



**XXXII CONGRESSO NACIONAL
DE MILHO E SORGO**



*"Soluções integradas para
os sistemas de produção
de milho e sorgo no Brasil"*

SOLUÇÕES INTEGRADAS PARA OS SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE MILHO E SORGO NO BRASIL

Editores

Maria Cristina Dias Paes
Renzo Garcia Von Pinho
Silvino Guimarães Moreira

Sete Lagoas, MG

Associação Brasileira de Milho e Sorgo

2018



Livro de Palestras

Soluções integradas para os sistemas de produção de milho e sorgo no Brasil

Editores Técnicos

Maria Cristina Dias Paes
Renzo Garcia Von Pinho
Silvino Guimarães Moreira

Sete Lagoas, MG
Associação Brasileira de Milho e Sorgo
2018

Revisão de texto

Antonio Claudio da Silva Barros

Normalização bibliográfica

Rosângela Lacerda de Castro (CRB 6/2749)

Tratamento das ilustrações

Tânia Mara Assunção Barbosa

Editoração eletrônica

Tânia Mara Assunção Barbosa

Soluções integradas para os sistemas de produção de milho e sorgo no Brasil / editores técnicos Maria Cristina Dias Paes, Renzo Garcia Von Pinho, Silvino Guimarães Moreira. – Sete Lagoas: ABMS, 2018.

Modo de acesso: <http://www.abms.org.br/eventosanteriores/cnms2018/CNMS2018_livro_palestras.pdf>.

ISBN: 978-85-63892-09-6

1. Milho. 2. *Zea mays*. 3. Sorgo. 4. *Sorghum bicolor*. I. Paes, Maria Cristina Dias. II. Von Pinho, Renzo Garcia. III. Moreira, Silvino Guimarães. IV. Congresso Nacional de Milho e Sorgo, 32., 2018, Lavras, MG.

CDD 633.15 (21. ed.)

Autores

Adílio de Sá Júnior, engenheiro agrônomo, doutor em Agronomia, analista de sementes, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG.

Alejandro Ledesma Miramontes, engenheiro agrônomo, M.Sc. em Agronomia, Department of Agronomy, Iowa State University, Ames, Iowa

Alex Oliveira Smaniotto, engenheiro agrônomo, mestrando em Agronomia (Produção Vegetal), Jataí, GO.

Alexandre Ferreira da Silva, engenheiro agrônomo, doutor em Fitotecnia, pesquisador, Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG.

Álvaro Vilela de Resende, engenheiro agrônomo, doutor em Solos e Nutrição de Plantas, pesquisador, Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG.

Ana Paula Branco Corguinha, bióloga, doutora em Ciência do Solo, pesquisadora, Departamento de Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

Ana Paula Mijone, engenheira agrônoma, mestre em Fitotecnia, melhorista de plantas, Monsanto do Brasil, Uberlândia, MG.

Ana Stella Freire Gonçalves, engenheira agrônoma, mestre em Fitotecnia, Faculdade de Ciências Agrônômicas (FCA), Universidade Estadual Paulista (UNESP), Botucatu, SP.

Analiza Piovesan Alves, engenheira agrônoma, doutora em entomologia, Corteva AgrisciencesTM, Agriculture Division of DowDupontTM, Johnston, Iowa, EUA

Anderson Luiz Verzeznazzi, biólogo, MSc em biologia, Department of Agronomy, Iowa State University, Ames, IA, EUA.

André Aguirre Ramos, engenheiro agrônomo, mestre em Solos e Nutrição de Plantas, consultor, Aguirre e Ramos Consultoria e Treinamento Ltda., Goiânia, GO.

Antonio Eduardo Furtini Neto, engenheiro agrônomo, doutor em Solos e Nutrição de Plantas, pesquisador, Centro Tecnológico COMIGO, Rio Verde, GO

Antônio Marcos Coelho, engenheiro agrônomo, Ph.D. em Solos e Nutrição de Plantas, pesquisador, Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG

Antônio Paulino da Costa Netto, engenheiro agrônomo, doutor em Biologia Funcional e Molecular (Bioquímica), professor,

Universidade Federal de Goiás - Regional Jataí (UFG/REJ), Jataí, GO.

Arthur Pereira da Silva, engenheiro agrônomo, mestre em melhoramento de plantas, Department of Agronomy, Iowa State University, Ames, IA, EUA.

Beckembauer Ferreira, engenheiro agrônomo, coordenador comercial, COMIGO, Rio Verde, GO.

Benjamin Trampe, engenheiro agrônomo, assistente de pesquisa, Iowa State University, Ames, IA, EUA.

Caio Antonio Carbonari, engenheiro agrônomo, doutor em Agronomia (Proteção de Plantas), professor, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, SP.

Carlos Juliano Brant Albuquerque, engenheiro agrônomo, doutor em Fitotecnia, professor, Universidade Federal de Minas Gerais, Montes Claros, MG.

Celso Wobeto, engenheiro agrônomo, mestre em Fitotecnia, pesquisador, Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária - FAPA, Guarapuava, PR.

Charles Martins de Oliveira, engenheiro agrônomo, doutor em Entomologia, pesquisador, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Cerrados), Brasília, DF.

Cícero Beserra de Menezes, engenheiro agrônomo, doutor em Fitotecnia, Pesquisador, Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG.

Cimélio Bayer, engenheiro agrônomo, doutor em Ciência do Solo, professor, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS.

Cristiano Cabianca Ramos, engenheiro agrônomo, analista de inteligência de mercado, ADM do Brasil, São Paulo, SP.

Cynthia de Oliveira, engenheira agrônoma, doutora em Fisiologia Vegetal, pesquisadora PNPd CAPES, Departamento de Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

Dagma Dionísia da Silva, engenheira agrônoma, doutora em Agronomia (Fitopatologia), pesquisadora, Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG.

Daniel Dalvan do Nascimento, engenheiro agrônomo, estudante de mestrado em Agronomia (Produção Vegetal), Universidade Estadual Paulista, "Júlio de Mesquita Filho", Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, SP.

Dannylo Oliveira de Sousa, médico veterinário, doutor em Nutrição e Produção Animal, pesquisador, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, SP.

Darlene Sanchez, engenheira agrônoma, Ph.D em melhoramento de plantas, Department of Agronomy, Iowa State University, Ames, IA, EUA.

Décio Karam, engenheiro agrônomo, Ph.D. em Ciência das Plantas Daninhas, pesquisador, Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG.

Dieimisson Paulo Almeida, engenheiro agrônomo, doutor em Agronomia, pesquisador, Centro Tecnológico COMIGO, Rio Verde, GO.

Dimas Antonio Del Bosco Cardoso, engenheiro agrônomo, mestre em Fitotecnia, especialista em silagem, Riber KWS Sementes, Patos de Minas, MG.

Dionísio Luís Pisa Gazziero, engenheiro agrônomo, doutor em Agronomia, pesquisador, Embrapa Soja, Londrina, PR.

Edivaldo Domingues Velini, engenheiro agrônomo, doutor em Produção Vegetal, professor, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, SP.

Elizabeth de Oliveira Sabato, bióloga, doutora em Fitopatologia, pesquisadora, Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG.

Elizabeth Orika Ono, bióloga, doutora em Botânica, professora, Universidade Estadual Paulista – UNESP, Campus de Botucatu, Botucatu, SP.

Emerson Borghi, engenheiro agrônomo, doutor em Zootecnia, pesquisador, Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG.

Ester Alvarenga Santos Buiate, engenheira agrônoma, doutora em Fitopatologia, melhorista de integração de tecnologia, Monsanto do Brasil, Uberlândia, MG

Evandro Binotto Fagan, engenheiro agrônomo, doutor em Fitotecnia, professor adjunto da Universidade de Patos de Minas – UNIPAM, Centro Universitário de Patos de Minas, Patos de Minas, MG.

Fabio Aurélio Dias Martins, engenheiro agrônomo, doutor em Fitotecnia, pesquisador, Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais - EPAMIG/Sul - Campo Experimental de Lavras, Lavras, MG.

Fernanda Carvalho Lopes de Medeiros, engenheira agrônoma, doutora em Fitopatologia, professora, Departamento de Agricultura, Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

Fernando de Lellis Garcia Bertolucci, engenheiro agrônomo, mestre em Agronomia (Genética e Melhoramento de Plantas), diretor de tecnologia e inovação, Fibria Celulose S.A., São José dos Campos, SP.

Fernando Storniolo Adegas, engenheiro agrônomo, doutor em Agronomia, pesquisador, Embrapa Soja, Londrina, PR.

Flávio Araújo de Moraes, engenheiro agrônomo, Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

Flávio Henrique Vasconcelos de Medeiros, engenheiro agrônomo, doutor em fitopatologia, professor, Departamento de Fitopatologia, Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

Gabriela Silva Thomazelli, estudante de Ciências Biológicas, Universidade Estadual Paulista, “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, SP.

Guilherme Lopes, engenheiro agrônomo, doutor em Ciência do Solo, professor, Departamento de Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

Gustavo Gonçalves de Souza Salvati, zootecnista, mestre em Produção de Ruminantes, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ/USP, Piracicaba, SP.

Henrique Uliana Trentin, engenheiro agrônomo, Department of Agronomy, Iowa State University, Ames, Iowa, EUA.

Herberte Pereira Silva, engenheiro agrônomo, doutor em Genética e Melhoramento de Plantas, pesquisador, Agromen Sementes Agrícolas Ltda, Guaira, SP.

James Bing, engenheiro florestal, doutor em Entomologia, líder estratégico de portfólio de tecnologia em milho, Corteva Agrisciences™, Agriculture Division of DowDupont™, Johnston, IA, EUA

João Domingos Rodrigues, engenheiro agrônomo, doutor em Fisiologia Vegetal, professor, Universidade Estadual Paulista – UNESP, Campus de Botucatu, Botucatu, SP.

João Pedro Gomes da Costa, estudante de Engenharia Agrônômica, Universidade Estadual Paulista, “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, SP.

José Avelino Santos Rodrigues, engenheiro agrônomo, doutor em Agronomia, pesquisador, Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG.

José Magid Waquil, engenheiro agrônomo, Ph.D. em Entomologia, professor convidado da Universidade Federal de São João del-Rei, Campus Sete Lagoas, Sete Lagoas, MG.

Júlio Carlos Pereira da Silva, engenheiro agrônomo, doutor em Fitopatologia, pesquisador, Departamento de Fitopatologia, Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

Kamila Rezende Dázio de Souza, bióloga, doutora em Agronomia (Fisiologia Vegetal), pós-doutoranda, Universidade Federal de Alfenas, UNIFAL-MG, Alfenas, MG.

Kimberly Vanous, engenheiro agrônomo, Ph.D em genética e genômica, cientista, Complex Computation LLC, Ames, Iowa, USA.

Leandro Vargas, engenheiro agrônomo, doutor em Fitotecnia (Matologia), pesquisador, Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS

Leonardo Duarte Pimentel, engenheiro agrônomo, doutor em Fitotecnia, professor, Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

Lucia Madalena Vivan, engenheira agrônoma, doutora em Entomologia, pesquisadora, Fundação MT, Rondonópolis, MT.

Luciane Gonçalves Torres, graduanda em engenharia agrônômica, Universidade Federal de São João del-Rei, Sete Lagoas, MG.

Luciano Correia Botelho, engenheiro agrônomo, presidente, ADM do Brasil, São Paulo, SP.

Luciano Viana Cota, engenheiro agrônomo, doutor em Agronomia (Fitopatologia), Pesquisador, Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG.

Luis Fernando Alliprandini, engenheiro agrônomo, doutor em genética e melhoramento de plantas, melhorista, Bayer, Rolândia, PR.

Luiz Gustavo Nussio, engenheiro agrônomo, doutor em Zootecnia, professor, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ/USP, Piracicaba, SP.

Luiz Roberto Guimarães Guilherme, engenheiro agrônomo, Ph.D. em Ciência do Solo e Toxicologia Ambiental, professor, Universidade Federal de Lavras, Lavras, M

Maria Celuta Machado Viana, engenheira agrônoma, doutora em Zootecnia, Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais, Prudente de Morais, MG.

Miguel Marques Gontijo Neto, engenheiro agrônomo, doutor em Zootecnia, pesquisador, Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG.

Narjara Fonseca Cantelmo, engenheira agrônoma, doutora em genética e melhoramento de Plantas, melhorista de milho, Monsanto do Brasil, Uberlândia, MG.

Nicholas P. Storer, cientista natural, doutor em entomologia, analista em regulamentação e stewardship, Corteva Agrisciences, Agriculture Division of DowDupont, Indianapolis, IN, EUA.

Patriciani Estela Cipriano, engenheira agrônoma, mestre em Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

Paulo César Magalhães, engenheiro agrônomo, Ph.D. em Fisiologia de Plantas Cultivadas, pesquisador, Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG.

Pedro Luiz Martins Soares, engenheiro agrônomo, doutor em Agronomia (Entomologia Agrícola), professor, Departamento de Fitossanidade, Universidade Estadual Paulista, “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, SP.

Rafael Augusto Vieira, engenheiro agrônomo, mestre em Genética e Melhoramento de Plantas, melhorista de Milho, Monsanto do Brasil, Sorriso, MT.

Rafael Cadore, engenheiro agrônomo, mestre em Agronomia (Produção Vegetal), Universidade Federal de Goiás - Regional Jataí (UFG/REJ), Jataí, GO.

Rafaela Araújo Guimarães, engenheira agrônoma, mestre em Fitopatologia, Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG

Ramon Costa Alvarenga, engenheiro agrônomo, doutor em Solo e Nutrição de Plantas, pesquisador, Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG.

Renan Costa Beber Vieira, engenheiro agrônomo, doutor em Ciência do Solo, professor, Universidade Federal da Fronteira Sul, Cerro Largo, RS.

Renato Paulo de Moraes, técnico agrícola, Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária, Guarapuava, PR.

Renzo Garcia Von Pinho, engenheiro agrônomo, doutor em Melhoramento de Plantas, professor, Departamento de Agricultura, Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

Rivanildo Júnior Ferreira, biólogo, mestre em Agronomia (Produção Vegetal), assistente de laboratório, Universidade Estadual Paulista, “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, SP.

Roberta Luiza Vidal, engenheira agrônoma, mestre em Agronomia, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo (ESALQ/USP), Piracicaba, SP.

Roberto de Rissi, engenheiro agrônomo, Ph.D em Genética e Citogenética, consultor, RRissi Consultoria e Treinamentos no Agronegócio, Porto Alegre, RS.

Rodolfo Bianco, engenheiro agrônomo, doutor em Entomologia, Pesquisador, IAPAR, Londrina, PR.

Rodrigo Véras da Costa, engenheiro agrônomo, doutor em Agronomia (Fitopatologia), pesquisador, Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG.

Rogério Soares de Freitas, engenheiro agrônomo, doutor em Fitotecnia, pesquisador, Instituto Agronômico de Campinas, Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios, Votuporanga, SP.

Rosangela Cristina Marucci, engenheira agrônoma, doutora em Entomologia, professora, Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

Samuel Covari Isaak, bacharel em Relações Internacionais, analista de inteligência de mercado, ADM do Brasil, São Paulo, SP.

Sandra Mara Vieira Fontoura, engenheira agrônoma, mestre em Ciência do Solo, pesquisadora, Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária, Guarapuava, PR.

Sara Morra Coser, engenheira agrônoma, doutora em Genética e Melhoramento de Plantas, pesquisadora, Monsanto do Brasil, Uberlândia, MG.

Silvino Guimarães Moreira, engenheiro agrônomo, doutor em Solos e Nutrição de Plantas, professor, Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

Simério Carlos Silva Cruz, engenheiro agrônomo, doutor em Agronomia (Agricultura), professor, Universidade Federal de Goiás - Regional Jataí, Jataí, GO.

Simone Cristiane Brand, engenheira agrônoma, doutora em Fitopatologia, pesquisadora, Centro Tecnológico COMIGO, Rio Verde, GO.

Simone Martins Mendes, engenheira agrônoma, doutora em Entomologia, pesquisadora, Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG.

Thiago Corrêa de Souza, biólogo, doutor em Agronomia (Fisiologia Vegetal), professor, Universidade Federal de Alfenas, Alfenas, MG.

Thomas Lübberstedt, engenheiro agrônomo, Ph.D. em Biologia, professor, Department of Agronomy, Iowa State University, Ames, IA, EUA.

Ubirajara Oliveira Bilego, médico veterinário, doutor em Ciência Animal, pesquisador, Centro Tecnológico Comigo, Rio Verde, GO.

Ursula Karoline Frei, engenheira agrônoma, Ph.D. Melhoria Genética de Plantas, pesquisadora, Department of Agronomy, Iowa State University, Ames, IA, EUA.

Victor Biazzotto Porto, engenheiro agrônomo, mestrando em Fitopatologia, Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

Walter Luiz Trevisan, engenheiro agrônomo, mestre em Genética e Melhoria de Plantas, consultor, GEM (Germplasm Enhancement of Maize) Technical Steering Group Chair, Dekalb, Illinois, EUA.

Willian Pereira dos Santos, engenheiro agrônomo, mestre em Produção de Ruminantes, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ/USP Piracicaba, S

Apresentação

O aumento da produção brasileira de milho e sorgo ao longo dos últimos anos somente foi possível por causa dos sucessivos crescimentos de produtividade dessas culturas. Os principais fatores que influenciaram esse incremento foram o desenvolvimento de novos híbridos mais produtivos e a melhoria nos manejos do solo e dos estresses bióticos.

Nos últimos anos, tanto a cultura de milho como a de sorgo tiveram reduzidas suas participações nos cultivos de verão e se tornaram as principais culturas de segunda safra, após a soja. Atualmente, cerca de 60 e 95% das produções de grãos de milho e de sorgo no Brasil, respectivamente, têm sido feitos na segunda safra ou safrinha. Com isso, os desafios nos campos de cultivo se tornaram ainda maiores, pois muito do conhecimento científico gerado para o manejo do milho e sorgo na primeira safra não se aplica para o cultivo destes na segunda safra, que apresenta condições climáticas mais restritivas, aumentando os problemas no campo. Como exemplo, muitas doenças e pragas que não eram conhecidas ou importantes, para o cultivo tradicional do milho, se transformaram em grande desafio para o cultivo na segunda

safra. Dentre estas se destacam a incidência dos enfezamentos do milho e a ocorrência dos percevejos nos estádios iniciais do milho e do sorgo em sucessão à soja, mudando o cenário de produção de milho e sorgo nos últimos anos.

Na maioria das regiões brasileiras, o proprietário rural deixou de ser produtor apenas de milho e sorgo e passou a trabalhar com um sistema de produção mais complexo, incluindo soja, milho, sorgo, trigo, feijão, dentre outras culturas, além da Integração Lavoura-Pecuária-Floresta. Em muitas regiões há culturas no campo o ano inteiro, servindo de ponte verde e potencializando os problemas com insetos-praga, doenças, nematoides, plantas daninhas e outros. Além disso, o aquecimento global vem influenciando mudanças no calendário e na frequência de chuvas, contribuindo para as alterações no sistema produtivo. Diante desse novo cenário, não há mais como manejar o solo e os estresses bióticos e abióticos apenas para uma cultura de forma isolada, mas, sim, dentro de um sistema com culturas anuais. Com base nessa realidade, surgiu o tema central do XXXII CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, “Soluções integradas para os sistemas de produção de milho e sorgo no Brasil”, com o objetivo de discutir soluções conjuntas dentro do sistema de produção agrícola mais complexo, com novas tecnologias aplicadas e com a evolução no melhoramento genético para esse novo sistema, com necessidade de cultivares com componentes inovadores nesse novo cenário. Nesta publicação, estão reunidos os conteúdos de palestras apresentadas durante o evento, tornando disponíveis os avanços científicos e tecnológicos apresentados pelos palestrantes.

Os editores

Sumário

Capítulo 1

A Evolução dos Sistemas de Produção de Grãos: do Monocultivo aos Sistemas Integrados de Produção23

Capítulo 2

Situação Atual e Perspectivas de Produção, Exportação e Importação43

Capítulo 3

Os Nematoides de Galha (*Meloidogyne* spp.) nas Culturas de Milho e Sorgo66

Capítulo 4

É Possível Aumentar a Produtividade de Sorgo Granífero no Brasil?..... 106

Capítulo 5

Mitos e Verdades Sobre o Cultivo de Sorgo..... 140

Capítulo 6

Potencial, Limitações e Uso de *Azospirillum brasilense* na Cultura do Milho 183

Capítulo 7

A Experiência da Cooperativa Agrária Agroindustrial na Produção de Milho na Região Sul do País.....222

Capítulo 8

A Realidade da Cultura do Milho na Região Sudoeste de Goiás: a Experiência da COMIGO239

Capítulo 9

Manejo de Pragas nos Sistemas de Produção de Milho no Brasil: Inovações Tecnológicas no Manejo de Lagartas em Lavouras de Milho Convencional e Bt 260

Capítulo 10

Monitoramento e Estratégias de Manejo de Percevejos na Fase Inicial da Cultura do Milho 281

Capítulo 11

Novas Alternativas para a Produção de Silagem de Milho e Sorgo para a Alimentação Animal 303

Capítulo 12

Impacto na Qualidade da Silagem nos Sistemas de Produção de Leite e Carne 331

Capítulo 13

Construção da Fertilidade do Solo para o Sistema de Produção de Culturas Anuais 347

Capítulo 14

Novos Enfoques para Adubações de Manutenção em Solos de Fertilidade Construída 383

Capítulo 15

Milho e Sorgo: Culturas Estratégicas para Arranjos Produtivos em Integração Lavoura-Pecuária-Floresta 396

Capítulo 16

Importância das Micotoxinas em Sistemas Produtivos de Grãos..... 434

Capítulo 17

The Route of Dissemination of Maize Around the World & Heterotic Patterns Utilized in Maize Breeding Around the World..... 462

Capítulo 18

Progress in Doubled Haploid Technology and Application for Utilization of Genetic Resources 507

Capítulo 19

Desafios para as Empresas Nacionais no Melhoramento Genético e no Mercado de Sementes de Milho 538

Capítulo 20

Respostas Morfofisiológicas do Milho e Sorgo sob Déficit Hídrico..... 575

Capítulo 21

Biorreguladores na Amenização dos Efeitos de Estresse Abiótico nas Culturas de Milho e Sorgo 621

Capítulo 22

O Futuro dos OGMs nos Sistemas de Produção de Culturas Anuais no Brasil..... 662

Capítulo 23

Desafios do Melhoramento Genético de Milho para Safrinha 691

Capítulo 24

Desafios no Melhoramento de Soja como Cultura Antecessor ao Milho de Segunda Safra 718

Capítulo 25

Estratégias de Manejo de *Dalbulus maidis*, para Controle de Enfezamentos e Virose na Cultura do Milho 748

Capítulo 26

Panorama de Vinte anos de Milho Transgênico nos Estados Unidos..... 778

Capítulo 27

Milho e Sorgo na Era da Agricultura Funcional 809

Capítulo 28

Panorama de 10 anos do Milho Transgênico no Brasil..... 857

Capítulo 29

Manejo de Doenças de Milho no Sistema de Produção de Grãos 865

Capítulo 30

O Sucesso da Agropecuária Brasileira: Alavanca ou Armadilha para o Futuro?890

Capítulo 31

Situação Atual da Resistência de Plantas Daninhas a Herbicidas nos Sistemas Agrícolas900

Capítulo 1

A Evolução dos Sistemas de Produção de Grãos: do Monocultivo aos Sistemas Integrados de Produção

André Aguirre Ramos

Introdução

O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de milho atrás dos Estados Unidos da América e China, e segundo maior exportador atrás somente dos Estados Unidos, contribuindo fortemente para a nossa balança comercial. Com uma área de mais de cinco milhões de hectares no verão, e 11,5 milhões de hectares na segunda safra, praticamente mantendo a área do ano passado, porém uma das maiores áreas de milho de nossa história (Conab, 2018).

As pessoas que acompanharam o desenvolvimento da agricultura no Brasil nos últimos 25 anos tiveram a oportunidade de vivenciar o que foi a evolução da cultura do milho, e os que estão presentes hoje no mercado, não deixam de se encantar com o processo evolutivo do mesmo.

O milho era coadjuvante na produção brasileira de grãos, e o Brasil, por muitas vezes se tornava importador eventual do grão. Não tínhamos predomínio de plantio direto no Brasil, a segunda

safras de milho estava se iniciando no Paraná e Mato Grosso do Sul, e em muitas regiões do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Sul de Minas tínhamos monocultura de milho no verão. Nesta época também aconteceram doenças graves no milho, que persistem até os dias de hoje, como viroses, enfezamentos, doenças de grãos, etc.

Mas com o passar dos anos essa situação mudou, o milho ganhou destaque dentro do sistema integrado de produção, seja na safra de verão, ou principalmente na segunda safra, após a colheita da soja.

Evolução da cultura do milho no Brasil

Nos anos 1990 e início dos anos 2000, o milho era entendido como um competidor da área de soja no Brasil, o crescimento ou redução da área de milho, que na média ficava entre 30% da área de soja no Brasil, era definido pelo preço das commodities, ou seja, preço alto da soja e baixo do milho estimulava o plantio de soja, preço alto do milho e baixo da soja, aumentava-se a área de milho. O fato mais relevante desta época foi a famosa variabilidade de preços, chamada curva “M” do milho, onde em um ano os preços de milho eram baixos, desestimulando o plantio da cultura, e com isso na próxima safra poucos agricultores plantavam, fazendo com que na safra seguinte os preços do milho explodissem, levando os agricultores a plantarem grandes áreas, o que culminava em preços normalmente baixos na safra posterior, muitas vezes reflexo do preço internacional (Figura 1). Este sobe e desce do preço era extremamente prejudicial aos agricultores e aos produtores de proteína animal, altamente dependentes do milho. Neste cenário, 120 sacas de milho por hectare era entendida como uma boa produtividade.

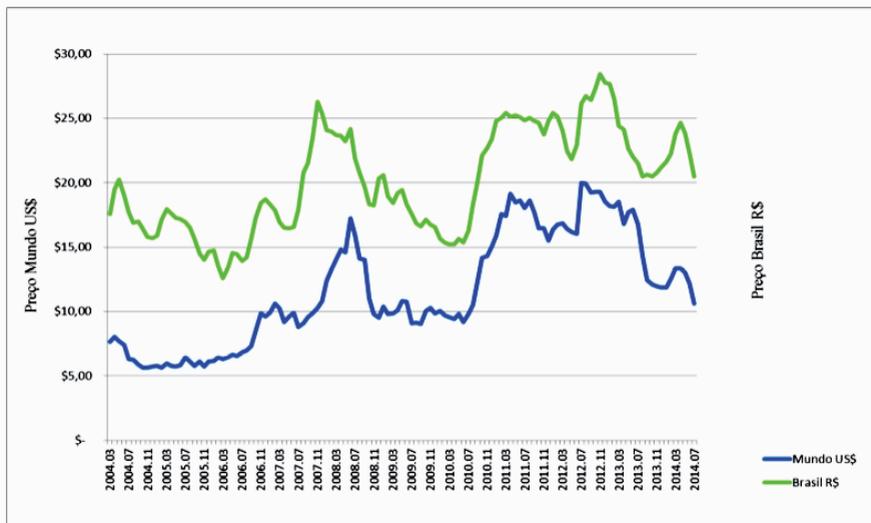


Figura 1. Média mensal dos preços de milho no mercado internacional e média mensal dos preços do milho no Brasil de 2004 a 2014. Fonte: Freitas et al. (2015).

Já a partir de 1996, o plantio direto praticamente dominou a maior parte das regiões produtoras do Brasil, e juntamente com o avanço do que se chamava de “Safrinha” (segunda época de plantio de milho), muito em função do estado do Paraná. Nesta época, algumas empresas de sementes proibiam a comercialização de seus híbridos para esta modalidade, pois era conhecida como de baixíssimo investimento, e por muitas vezes utilizados híbridos que haviam sobrado da safra de verão, não importando muito a real adaptação desses materiais, porque muitas vezes eles não conseguiriam completar o ciclo, por causa da seca ainda no estágio vegetativo, ou pela geada nos estados do Paraná e Mato Grosso do Sul (**Figura 2**). Portanto, demorou de 1979 a 2002 para se atingir a média 60 sacas por hectare (23 anos), em 2011 já atingisse mais de 85 sacas por hectare (9 anos), e nos últimos 2 anos a média foi 90 sacos/ha.

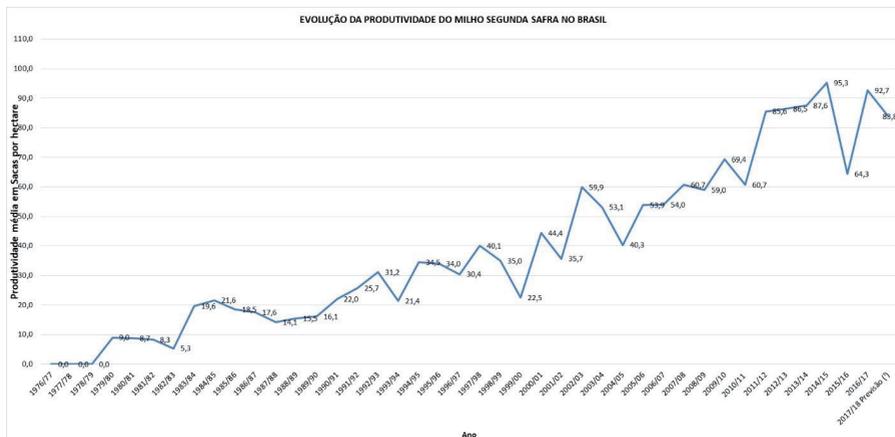


Figura 2. Evolução da produtividade do milho segunda safra no Brasil. Fonte: Conab (2018)

No final desta década, foram liberados os primeiros ensaios de milho transgênicos resistentes à lagarta no Brasil, os quais foram conduzidos, mas ao final deles não ocorreu a liberação dessa tecnologia, a qual ocorreu apenas em 2007, 9 anos depois. Os ganhos em razão da transgenia foram elevados, e não somente com relação ao controle da temida lagarta-do-cartucho-do-milho (*Spodoptera frugiperda*), mas principalmente pelo ganho em manutenção de estante final de plantas. Até então, era comum em sistemas de cultivo convencional ou mesmo de plantio direto, semearmos 60.000 sementes por hectare e contabilizarmos 45 a 50.000 plantas finais, muito disso em razão do ataque de lagartas de solo, como a própria lagarta-do-cartucho, mas também a elasm (*Elasmopalpus lignosellus*) e a lagarta-roscas (*Agrotis ipsilon*) em primeiros instares. Após a liberação do milho transgênico, resistentes a lagartas, esse número foi muito além, aproximadamente 57 a 58 mil plantas finais por hectare. Com isso, tivemos um ganho também em produtividade, e como

se sabe produtividade de milho é estande e uniformidade de plantas.

Os testes dos híbridos transgênicos coincidiram com o desenvolvimento acelerado de novas fronteiras agrícolas, Mato Grosso, Maranhão, Bahia, Piauí, Tocantins, Pará e Rondônia no início dos anos 2000, com uma forte ampliação das áreas de milho verão e segunda safra. Já tínhamos o predomínio de plantio direto no Brasil, e o milho já era conhecido como o principal fornecedor de palhada para esse incrível sistema. A rotação de culturas, onde o milho tinha uma excepcional participação, quase deixou de existir, e começamos um processo de sucessão de culturas, na qual os produtores passaram a cultivar soja cada vez mais precoce no verão, deixando o milho para a segunda época.

Já no início desta época, os produtores do Cerrado brasileiro, mais especificamente do sudoeste do estado de Goiás, se deparam com o problema de uma doença que não havia histórico, a cercosporiose (*Cercospora zeaе maydis*) (**Figura 3**). Segundo Silva et al. (2014), os prejuízos ocasionados por essa doença em híbridos susceptíveis podem chegar a 85% de redução de produtividade. O aparecimento repentino dessa doença ocasionou pânico no mercado, e uma procura insistente por materiais mais tolerantes, visto que a aplicação de fungicida na época era economicamente inviável, chegando ao custo de 21 sacas de milho por aplicação aérea por hectare. Depois, materiais tolerantes foram aparecendo, e o ganho tecnológico da cultura após este fato tornou a “safrinha” mais profissional.



Figura 3. Cercosporiose no milho, atacando milho de alto potencial produtivo em sistema irrigado por pivô central.

Nos anos de 2002 e 2003 aconteceu um fator, que apesar de não estar ligado diretamente a cultura do milho, provocou um profundo impacto no que se conhece da cultura do milho de hoje, a ferrugem da soja (*Phakopsora pachyrhizi*). A soja, como principal cultura anual do Brasil estava em cheque. Não havia genética para salvaguardar o seu potencial produtivo perante esse patógeno, mas havia fungicidas que faziam isso a um custo na época de 5 a 7 sacas de soja por hectare por aplicação, às vezes necessitando de três a quatro aplicações. Esse processo levou imediatamente os produtores a reduzirem o ciclo das variedades de soja com a finalidade de reduzir o número de aplicações de fungicida. Portanto, quando os agricultores se depararam com

pressão muito alta de ferrugem na soja, principalmente nas mais tardias, e/ou plantadas mais tardiamente, a primeira ação foi usar variedades mais precoces, e em como segunda plantar mais rápido.

Desse modo, o plantio antecipado da soja de menor ciclo, criou um ambiente totalmente favorável ao plantio do milho segunda safra em épocas tidas como “nobres”, para se buscar bom potencial produtivo do milho. A **Figura 4** apresenta uma ilustração hipotética do deslocamento da época de semeadura da soja em milho segunda safra no estado do Mato Grosso, mas pode ser usada para as demais regiões do Brasil. Desse modo, na expectativa de se fazer um bom sistema soja precoce e milho safrinha, muitos agricultores sacrificavam o potencial da soja, reduzindo o seu ciclo em demasia para proporcionar um plantio de milho em segunda safra em melhores condições. Essa estratégia não mostrou grande êxito, pois a soja possibilita maior remuneração do que o milho safrinha, e em muitos casos o agricultor não conseguia lucratividade na safra de verão, e colocava toda sua expectativa no milho a ser plantado a seguir, o qual estava vulnerável a riscos climáticos e com menor rentabilidade.



Figura 4. Ilustração hipotética do deslocamento da época de semeadura da soja e do milho segunda safra no estado do Mato Grosso. Fonte: Duarte e Kappes (2015).

A **Figura 4** também demonstra como a época de semeadura do milho safrinha mudou. Os milhos que eram semeados em março passam por maior restrição hídrica, desse modo os híbridos superprecoces tinham maior probabilidade de sucesso. Os plantios de milho realizados mais cedo geralmente estão sujeitos a uma melhor distribuição de chuvas, principalmente na floração sendo que os híbridos de ciclo precoce e normal tem tido uma excelente performance nos dias de hoje em detrimento dos superprecoces, os quais têm um ciclo muito rápido, e tendem a perder em potencial de produtividade.

Outra mudança com esse sistema foi no manejo de doenças do milho. O milho oriundo da safrinha possuía características bastante positivas para os compradores de grãos para produção de rações, por apresentarem baixos teores de micotoxinas, as quais advêm normalmente de danos nos grãos favorecidas por altas precipitações na floração, enchimento de grãos e nas fases pré colheita. O que não ocorria na safrinha, pois após a floração, normalmente em abril, não há chuvas, nem ao menos para o desenvolvimento da cultura, imaginem para o desenvolvimento de grãos. Mas esta situação mudou, agora, com os plantios de janeiro, esses materiais florescem em março, mês muito chuvoso e nos últimos três anos, o problema de grãos ardidos na região norte do Mato Grosso é altamente frequente.

A dimensão deste sistema de plantio é bem representada pela **Figura 5**, que foi extensamente divulgada no Brasil e no exterior que exemplifica tudo o que mencionamos, a colheita da soja precoce e o imediato plantio do milho safrinha pela agricultura empresarial, conhecida como o Agronegócio. Exemplo claro da dimensão do cerrado brasileiro onde os processos são simultâneos e um dos poucos lugares no mundo que se consegue obter duas safras por ano.



Figura 5. Colheitadeiras à frente e plantadeiras atrás, colhendo a primeira safra e já semeando a segunda. Fonte: Domínio público.

Hoje a situação está bem diferente, pois a maioria dos agricultores visa a máxima produtividade da soja, por saberem que o melhor caminho para se obter boas produtividades do milho safrinha já partem de uma ótima produtividade da soja precoce.

Pois, segundo Below (2002), para as condições dos Estados Unidos da América, para cada tonelada de soja produzida, esta leguminosa deixaria 17 kg de nitrogênio por hectare, o qual será aproveitado pela próxima cultura na safra seguinte, transformando em nossa situação, teríamos aproximadamente 1 kg de nitrogênio por saco de soja produzido, podendo entender a eficiência do sistema de milho segunda safra como extremamente eficiente no proveito desse nitrogênio.

Outra tecnologia que foi popularizada por causa da redução do seu custo na cultura do milho foi a utilização de fungicida. Favorecida pela utilização em larga escala na soja, influenciou

em demasia os preços desta tecnologia, e viabilizou o mesmo emprego na cultura do milho, tanto no verão quanto na segunda época. Só para se ter uma ideia disso, o custo hoje de uma aplicação de um bom fungicida para a ferrugem na soja via avião oscila em torno de 1,7 sacas de soja/ha e no milho para o controle das principais doenças como a ferrugem polissora (*Puccinia polissora*), manchas brancas (*Phaeosphaeria maydis* e outros) e cercosporiose (*Cercospora zea-maydis*) algo em torno de 3,5 sacas de milho/ha. O uso de fungicidas viabilizou o uso de materiais de milho de genética mais temperada do sul do Brasil para as regiões centrais, ocorrendo um gigantesco ganho de produtividade e precocidade, elevando os patamares produtivos da cultura do milho para o cerrado brasileiro e deixando mais estável as produtividades nas regiões sul do Brasil. As produtividades nesta época eram de aproximadamente 200 sacas de milho por hectare, e em regiões como Guarapuava, no estado do Paraná, as produtividades podem atingir 260 sacas por hectare, com relatos de produtividade de 292 sacas de milho por hectare no Rio Grande do Sul na safra 2016-2017 (Santiago, 2018).

Outros fatores que contribuíram fortemente para o ganho de produtividade no verão a partir de 2005, além do uso de materiais mais temperados foram o aumento das quantidades de nitrogênio, aumento da população de plantas, passando em muitos casos para mais de 70.000 plantas por hectare, e o incremento de novas máquinas no processo produtivo, tais como plantadeiras com distribuição a vácuo, pulverizadores e colheitadeiras todas elas com uso de sistema georreferenciado.

Colaborando com o aumento de produtividade da cultura do milho, em 2008 aconteceu a liberação do uso de milho geneticamente modificado, no caso, resistente a lagartas. Este

fato, segundo Cardoso et al. (2016) incrementou a produtividade do milho, não somente pelo controle da lagarta-do-cartucho, mas também pela profissionalização da cultura no Brasil. Segundo alguns especialistas de mercado a área destinada a muito baixa tecnologia foram reduzidas, migrando para nichos de mercado com algum grau de tecnologia. Foi nesta época que a utilização de braquiárias juntamente com o plantio de milho se consagrou como integração lavoura-pecuária (ILP), e depois a constituir também a integração lavoura, pecuária e floresta (ILPF) (Machado et al., 2011). Tecnologia que se iniciou como sistema Barreirão em 1991 com a utilização de gramíneas com a cultura do arroz para formação de pastagem, passou para a cultura do milho na região de Santa Fé de Goiás, conhecido como sistema Santa Fé, migrou para os solos da Bahia, não exclusivamente para a formação de pastagem na entre safra, mas também para melhoria das características químicas, físicas e biológicas dos solos de textura média a arenosa, e passando para várias regiões do Brasil para a melhoria dos solos ou mesmo possibilitando com que o agricultor obtenha uma safra de soja, uma de milho e a terceira de carne (Embrapa, 2018).

Mas a partir dessas melhorias, ocorreu um contínuo aumento dos custos de produção. Tentando minimizar esse efeito, a melhor opção para redução dos custos fixos foi partir para uma segunda safra. O sucesso foi tão grande que em a partir de 2012 a área de milho segunda época passou a superar a área de milho verão (**Figura 6**). Mesmo assim, apesar da substituição de parte das áreas de primeira e segunda safra, sempre aumentamos a produção nacional.

Com isso, passou-se a ter duas ofertas significativas de milho durante o ano no mercado brasileiro, fazendo com que ocorresse

maior oscilação do tamanho da área entre elas, mas sempre se mantendo, pois quando há a diminuição de uma, a outra automaticamente compensa. A única área de milho que se mantém estável até o momento é a de milho para silagem.

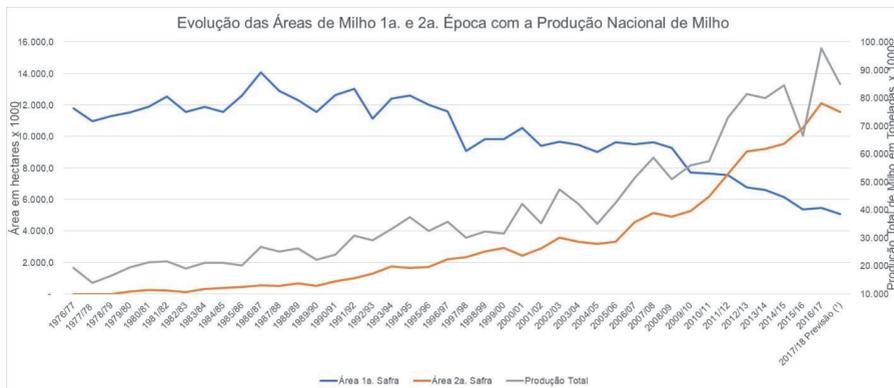


Figura 6. Evolução das áreas de milho no Brasil primeira e segunda safras e produção total. Fonte: Conab (2018).

Tecnicamente, os pesquisadores, consultores e agricultores em sua maioria passaram a enxergar a sucessão soja precoce, e milho safrinha como sendo basicamente uma cultura só, entendendo que não somente a adubação de sistema era fundamental para o sucesso de ambas, mas também o manejo de plantas daninhas, doenças e principalmente insetos, com alta interdependência do manejo de ambas, basicamente no mesmo ciclo de chuvas.

Antes disso, o milho que era praticamente um concorrente da soja para as áreas de verão, passou a ser um complementar do processo produtivo no Brasil. Esta dinâmica de sucessão também ocorreu no sul do Brasil, mas de modo oposto, sendo que os plantios bastante cedo, em agosto, de híbridos de milho superprecoces, e bastante tolerantes a baixas temperaturas

nos estágios vegetativos, com a colheita em janeiro/fevereiro e plantio de soja na segunda época.

Na década de 1990, os processos de abertura de áreas de cerrado permitiam implantação do milho 4 a 5 anos após o plantio consecutivo de soja ou arroz (amansar cerrado), na atualidade, com o uso de doses elevadas de calcário e gesso, já com ótimas produtividades de soja na primeira safra, é possível obter boas produtividades de milho verão ou segunda safra após 2 a 3 anos de soja.

A partir dessa época, o incremento de novas áreas para o cultivo de milho segunda época não ficou restrito as regiões naturalmente providas de melhor, e maior distribuição de chuvas. Ela foi além, áreas tidas como marginais à safrinha, graças a materiais genéticos de soja indeterminados, precoces, melhor correção dos solos, melhoria do desenvolvimento radicular das culturas favoreceram que novas áreas se adentrassem no processo produtivo, soja precoce e milho segunda safra, mas isso não impediu que na safrinha 2016 acontecesse uma grande frustração climática no cerrado brasileiro, levando os produtores a focarem mais em materiais que possuem teto produtivo mais baixo, conseqüentemente de menor custo, pois o que limita a produtividade de milho safrinha não seria o fator genético, mas, sim, o fator ambiental. Este fato se torna mais grave quando se sai das janelas ideais de plantio. Os produtores perceberam que para produzir 120 sacas por hectares, não precisam gastar valores exorbitantes em materiais genéticos com alta heterose, e de uso de sementes de custo altíssimos para produzir, simplesmente bastariam materiais de boa performance, condizentes com o ambiente de produção para tetos produtivos de 90 a 120 sacas por hectare, principalmente plantios de risco a partir de 15 de

fevereiro. A utilização pelo produtor, de híbridos de preço mais acessível, levou algumas empresas a voltarem a produzir híbridos triplos de menor custo, e a alguns produtores plantarem híbridos duplos originários de híbridos simples de diferentes empresas. Os reflexos disso está sendo vivenciado no momento, como sobra de sementes nos canais de distribuição e perspectiva de menor produção.

A partir de 2013, a ampliação das áreas de milho segunda safra em regiões onde ainda se cultivava áreas de milho verão, e também lavouras de milho no inverno irrigado no Brasil Central, foram palco de diversas pragas e doenças em razão da permanência de lavouras de milho de diferentes estágios fisiológicos durante todo o ano, o que chamamos de “ponte verde”. Essa ponte verde juntamente com o cultivo de diversas culturas facilitou a dispersão e sobrevivência da *Helicoverpa armigera*, relatada em 2013 em várias regiões do Brasil (Ramos, 2013), e mais recentemente, a partir de 2014, o reaparecimento da cigarrinha do milho (*Dalbulus maydis*), praga específica do milho, e que também pode transmitir alguns enfezamentos e virose para essa cultura (Sabato, 2018), causando bastante prejuízo tanto para o milho de “terras baixas”, regiões com altitudes abaixo de 700 metros acima do nível do mar, quanto para os de “terras altas”, regiões de cultivo acima de 700 metros acima do nível do mar. E em alguns casos causando danos até em altitudes próximas a 1.000 metros em materiais susceptíveis.

Diante do exposto, quais seriam os novos desafios para a cultura do milho? Acredito que um deles seria termos mais estabilidade produtiva na segunda safra, principalmente em plantios um pouco fora das épocas ideais, ou mesmo plantios nas melhores janelas em regiões com menor vocação de safrinha. Como fazer

isso? Podemos usar a experiência dos agricultores da região nordeste da África do Sul, que já passam por problema similar há 35 anos. Eles plantam em dezembro/janeiro, dispõe de 350 a 600 mm de chuva por ano, solos arenosos. Esta areia, no entanto, não é originária de formação geológica, e sim da deposição de areia trazida pelo vento do deserto de Kalahari, com uma profundidade de deposição de 2 a 11 metros. Estão a 1.500 metros de altitude, as chuvas se concentram nos meses de fevereiro e março, e neste ano, com o fenômeno La Niña fraco, eles tiveram algo em torno de 392 mm de chuvas, e mesmo assim têm potencial para colher 7200 kg de grãos por hectare.



Figura 7. Híbridos de milho sob forte estresse hídrico no nordeste da África do Sul, solo arenoso (12% de argila), 35.000 plantas finais, 1.500 metros de altitude e 392 mm de chuva durante o ciclo. Uma planta, três espigas viáveis.

Qual o milagre? Eles trabalham logicamente com híbridos selecionados para cada local, e com populações bastante baixas algo em torno de 35.000 a 38.000 plantas finais por hectare, mas esses híbridos são prolíficos, com perfilhos, e com 2 a 3 espigas viáveis por planta (**Figura 7**). Os espaçamentos variam de 0,9 a 2,5 metros entre linhas.

Sem dúvida se queremos plantar em áreas de maior risco, de plantios mais tardios, teremos que desenvolver tecnologias parecidas com as do sul africanos.

E o outro lado futurista, que não podemos deixar de mencionar é o que está acontecendo muito rapidamente na agricultura de vários países do mundo, com o uso de dados coletados automaticamente das máquinas e equipamentos, e que associados a análises de clima poderão nos dar no futuro informações mais precisas de como plantar, conduzir e colher mais eficientemente nossas lavouras.

O chamado Big data, associado à Inteligência artificial dos complexos algoritmos, certamente nos levará para o futuro. Empresas gigantes da programação, como a IBM, adquiriram empresas de previsão climatológicas como a “The Weather”, que possuem sistemas integrados com aviões comerciais para estudar, e analisar o clima no globo, são 50.000 voos por ano coletando dados. Outras empresas de colheitadeiras estão criando sistemas de auto regulação de colheita, as quais se comunicam e regulam todo o processo de trilha e limpeza, sem desperdícios, totalmente automatizadas e integradas. Sem falar das empresas de sementes que recentemente, apesar de já ser passado, usam sistemas que integram dados de híbridos,

colheitas, clima e manejos para que os agricultores possam acompanhar em tempo real a atual situação da lavoura.

Grande parte do desenvolvimento tecnológico obtido no Brasil durante todos esses anos, tais como, cultivos no Cerrado, uso do sistema de plantio direto, plantio de milho em segunda safra, uso da soja RR, uso de espaçamento reduzido, adubação de sistema, uso de fungicidas em milho, entre outros, foram iniciados por agricultores. A busca de novas tecnologias pelo agricultor geralmente é motivado para resolver problemas operacionais da fazenda, sendo feitas muitas vezes por tentativa e erro, o que chamamos de operacional x agrônômico.

O desenvolvimento de tecnologia continua, como sempre pelos produtores, mas hoje existe uma espantosa divulgação desses processos através de mídias sociais e aplicativos de mensagens. Por isso, não espante quando assistir um vídeo no WhatsApp de um agricultor testando algo que parece uma loucura, pois é bem possível que a tecnologia que iremos usar em 5 ou 10 anos seja algo bem parecido com esse vídeo. Por tudo isso, a esses agricultores, o nosso respeito e total gratidão.

Considerações finais

A cultura do milho ainda está em transformação, podemos ver novas tecnologias sendo testadas no campo a cada momento. Sistemas de integrações e consórcios com culturas de cobertura na tentativa de melhorar as condições para a implantação da soja no verão.

Dentre as culturas plantadas no Brasil, a cultura do milho foi a que mais se alterou, saiu de uma situação de verão para uma

de safrinha, modificou-se completamente as características desejáveis desses materiais, e ainda está em processo de estabilização. A única constante na atual conjuntura do milho que conhecemos, é a mudança.

Para vermos inovações acontecendo a cada momento é só irmos para as regiões de referência de produção de milho, e as surpresas acontecerão, teorias que num passado não muito distante eram soberanas, hoje não passam de história.

Agradecimentos

Agradecimento especial a minha esposa, professora Doutora Cristiane R.B. Aguirre Ramos, pela fundamental ajuda neste trabalho. Também ao M.Sc. Daniel Glat, proprietário da Glat Associados, pelo grande apoio nos relatos deste artigo.

Referências

BELOW, F. **Fisiologia, nutrição e adubação nitrogenada do milho**. Piracicaba: POTAFOS, 2002. (Informações Agronômicas, 99).

CARDOSO, M. J.; CARVALHO, H. W. L. de; GUIMARÃES, P. E. de O.; GUIMARÃES, L. J. M.; ROCHA, L. M. P. da. Comportamento de híbridos de milho transgênico e convencional em ambientes do meio-norte brasileiro. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 31., 2016, Bento Gonçalves. **Milho e sorgo: inovações, mercados e segurança alimentar: anais**. Sete Lagoas: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2016.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Série histórica de safras**. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras>>. Acesso em: 20 maio 2018.

DUARTE, A. P.; KAPPES, C. Evolução dos sistemas de cultivo de milho no Brasil. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 152, p. 15-18, 2015.

FREITAS, M. S.; MIRANDA, R. A.; GARCIA, J. C. Análise da evolução dos preços de milho no Brasil. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE MILHO SAFRINHA, 13., 2015, Maringá. **Anais...** Maringá: Embrapa Milho e Sorgo, 2015. p. 7-11.

EMBRAPA. **Soluções tecnológicas: Sistema Barreirão**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/2784/sistema-barreirao>>. Acesso em: 18 jun. 2018.

MACHADO, L. A. Z.; BALBINO, L. C.; CECCON, G. **Integração lavoura-pecuária-floresta: 1. Estruturação dos sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2011. 41 p. (Embrapa Agropecuária Oeste. Documentos, 110).

RAMOS, A. A. **Helicoverpa armigera, o novo desafio da agricultura brasileira**. Santa Cruz do Sul: Pioneer Sementes, 2013. Disponível em: <<http://www.pioneersementes.com.br/media-center/artigos/163/helicoverpa-armigera-o-novo-desafio-da-agricultura-brasileira>>. Acesso em: 20 jun. 2018.

SABATO, E. Cigarrinha e enfezamentos no milho: manejo do risco e convivência. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/>

busca-de-noticias/-/noticia/32498191/cigarrinha-e-enfezamentos-no-milho-manejo-do-risco-e-convivencia>. Acesso em: 20 jun. 2018.

SANTIAGO, D. **Produtividade do milho**: como colher 292 sacas por hectare? Disponível em: <<https://sfagro.uol.com.br/produtividade-milho-como-colher-292-sacas-por-hectare/>>. Acesso em: 18 jun. 2018.

SILVA, D. D. da; COTA, L. V.; COSTA, R. V. da. Doenças. In: CRUZ, J. C. (Ed.). **Cultivo do milho**. 8. ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, [2014]. (Embrapa Milho e Sorgo. Sistema de Produção, 1). Disponível em: <https://www.spo.cnptia.embrapa.br/en/conteudo?p_p_id=conteudoportlet_WAR_sistemasdeproducao1f6_1ga1ceportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_count=1&p_r_p_-76293187_sistemaProducaold=3821&p_r_p_-996514994_topicold=3723>. Acesso em: 18 jun. 2018.

Capítulo 2

Situação Atual e Perspectivas de Produção, Exportação e Importação

Luciano Botelho

Cristiano Cabianca Ramos

Samuel Covari Isaak

Introdução

O milho e o sorgo são matrizes de diversos usos, seja alimentação humana em espigas, grânulos, sêmolos, farinhas e enlatados, ou para produção de energia através do etanol e ainda para a ração animal pelo milho in natura ou por subprodutos de seu processamento. Todos esses usos sustentam uma necessidade das mais rudimentares da vida humana, bem como outra que hoje é indispensável para o crescimento econômico. O ser humano depende de grãos para alimentar o mundo e para limitar o uso de combustíveis finitos, dentre eles os que se encontram abordados por esse manuscrito. O milho, pela mais diversa utilização e maior importância nos mercados globais brasileiro, será abordado com maior ênfase.

Perspectivas globais de longo prazo

Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU), a população mundial era de 7,6 bilhões em 2017, quase 2,5 vezes maior que os 3 bilhões no ano de 1960. De acordo com a Organização

das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO), a combinação de fatores como redução da taxa de mortalidade, aumento da expectativa de vida e maior população jovem em regiões com fertilidade mais elevada contribuíram para o aumento da população mundial. Além disso, desde 2008, há mais pessoas vivendo nas cidades do que em áreas rurais (FAO, 2015). Até 2050, ainda que permaneça igual em algumas regiões, a população mundial deverá atingir 9,7 bilhões (**Figura 1**), dos quais 6,7 bilhões (**Figura 2**) vivendo em áreas urbanas.

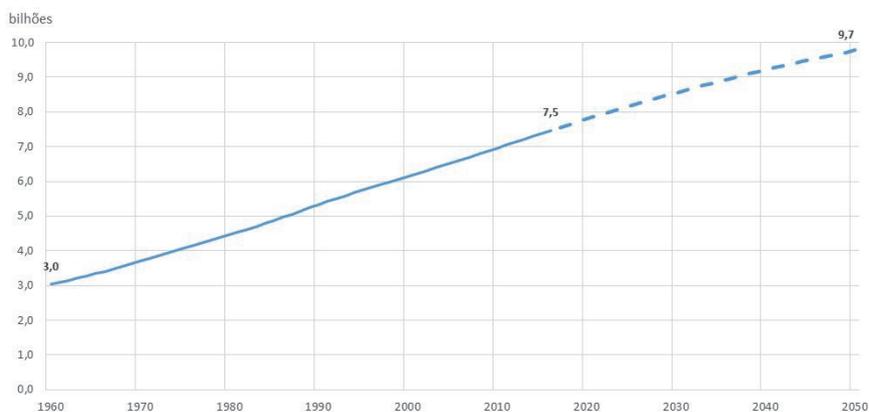


Figura 1. Evolução da população mundial. Fonte: United Nations (2018).

Porém, a população mundial não cresceu somente em quantidade, mas também em poder de compra (**Figura 3**). Segundo a FAO, “o acesso aos alimentos é determinado principalmente pela renda, preços dos alimentos e capacidade das famílias e indivíduos em obter acesso ao suporte social. Além disso, é fortemente influenciado por outras variáveis sociais, incluindo posicionamento de gênero e hierarquias de poder dentro das famílias. Além da acessibilidade econômica, o acesso físico a alimentos também é facilitado por infra-estrutura adequada, como linhas ferroviárias e estradas pavimentadas” (FAO, 2015).

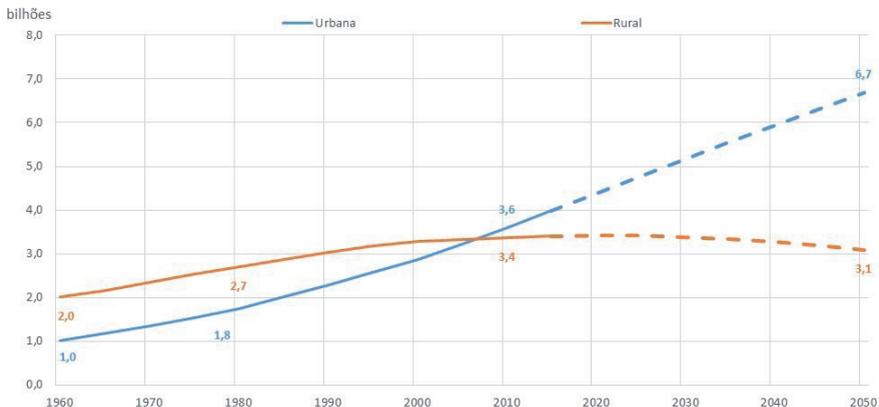


Figura 2. Percentual da população mundial residindo em áreas urbanas. Fonte: United Nations (2018).

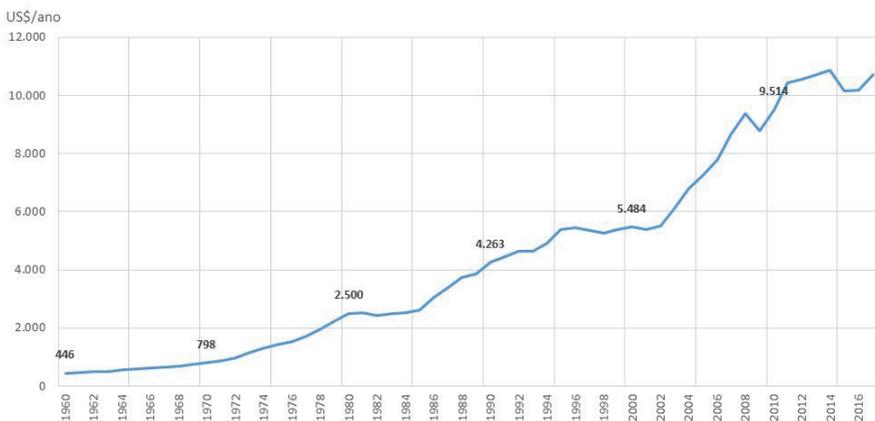


Figura 3. Evolução do PIB per capita mundial.

Em vista disso, é necessário adicionar que o incremento de renda é mais significativo para o consumo de alimentos nos países de menor renda e, por isso, é extremamente relevante o crescimento econômico desses países, que passaram a responder por 35% do PIB mundial em 2017 ante 17% em 2000. Embora a distribuição

de renda continue a distanciar países ricos, o simples incremento do Produto Interno Bruto per capita nos países de “baixa e média renda”, segundo a definição do banco mundial, é significativo para alterações nos padrões de consumo, como no caso das carnes (**Figura 4**).

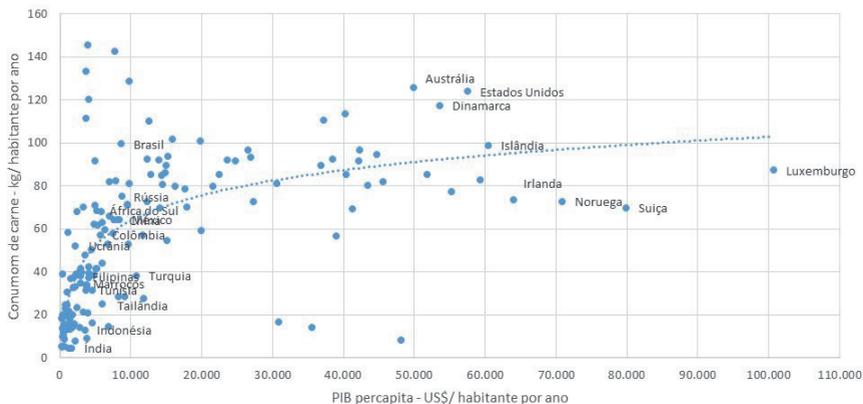


Figura 4. Relação entre o consumo de carne e renda per capita. Fonte: FAO (2003) e The World Bank (2018).

Existe uma forte correlação entre o nível de renda e o consumo de proteína animal. A urbanização também é variável importante já que estimula melhorias na infraestrutura, incluindo cadeias de frio que permitem o comércio de produtos perecíveis. Em comparação com as dietas menos diversificadas das comunidades rurais, os moradores das cidades têm uma dieta variada, rica em proteínas e gorduras animais, e caracterizada pelo maior consumo de carne, aves, leite e outros produtos lácteos (FAO, 2003).

Sendo assim, o aumento da renda e a urbanização estão fazendo com que as dietas se tornem mais ricas em proteínas, gorduras e açúcar. Isso está causando uma tendência na substituição

de cultivos como trigo e arroz, para grãos e oleaginosas para atender às demandas de alimentos, rações e biocombustíveis (FAO, 2015).

“Uma importante alavanca para o crescimento na demanda por alimentos é o crescimento da demanda per capita induzida pelo aumento da renda per capita. Já que a proporção de gastos da renda com alimentos diminuí conforme a renda aumenta, o crescimento da demanda global por alimentos será maior se a renda crescer mais rapidamente nos países em desenvolvimento do que nos países de alta renda” (Banco Mundial, 2017). Conforme já mencionado, esse padrão de convergência de renda se estabeleceu nos últimos anos, tornando ainda mais relevante o impacto das projeções de população e renda nos próximos anos. Dito isso, a FAO sugere que será necessário 60% a mais de comida, 50% a mais de energia e 40% a mais de água para responder a demanda dos quase 10 bilhões de habitantes do planeta em 2050, dos quais quase 70% vivendo em cidades. Para tanto, a eficiência do uso de recursos naturais, em especial água, energia e terra, deverá ser aumentada. No mesmo relatório, a FAO afirma que, em países em desenvolvimento, 80% do aumento necessário na produção deveria vir do aumento nas produtividades e apenas 20% da expansão do uso de terra.

Excepcionalismo brasileiro

Dentre os diversos recursos naturais do Brasil, três deles se destacam para o futuro da agricultura no país, da qual cada vez mais dependerá o mundo. São eles área apta, disponibilidade hídrica, e a possibilidade climática de duas safras por ano, que posicionando o país para atender e incrementar sua participação na oferta global de alimento, incluirá cereais como o sorgo e, principalmente, o milho.

Em dados do Banco Mundial de 2014, o Brasil aparece percentualmente como um dos países que ocupa a menor parcela de sua área agrícola dentre os grandes produtores mundiais, com 33,81%. Figura esta consideravelmente menor que seus vizinhos Argentina (54,34%) e Paraguai (55,08%); que a Europa Ocidental, com Alemanha (47,94%), França (52,54%), Espanha (53,13%), Itália (44,75%) e Inglaterra (71,23%); ou seu maior concorrente no comércio global de soja, milho e algodão, os Estados Unidos (44,63%). Além disso, somente 28,3% dessa área é utilizada pela agricultura, sendo 71,7% ocupado pela pecuária extensiva.

Sobre disponibilidade hídrica, em entrevista de agosto de 2016 à Sosland Publishing Co, Juan Luciano, CEO da trading americana Archer Daniels Midland Co. descreve de maneira bastante objetiva a relação da produção global de alimentos e as bocas que o consomem:

“I have this simplistic view of what we do in grain – we equalize humidity in the world,” he said. “Because what happens is that humidity is unevenly distributed. So water is unevenly distributed. For example, China has 22% of the world population, 6% of the fresh water. They will always be an importer. So, you always are going to be shifting humidity from the U.S., from Brazil and Argentina, from Eastern Europe into North Africa, the Middle East and China. And that’s nothing that geo-politics or the dollar can change. Eventually you still have humidity in one place and you still have the mouths in another place. And you need to match that, and that’s what we do in grain, and very efficiently” (Sosland, 2016).

Complementando, o Brasil possui quase 20% da água doce mundial, segundo dados do banco mundial, mas somente 2.79%

da população. A excepcionalidade brasileira de disponibilidade hídrica possibilita, por exemplo, 62% da energia no país ser gerada através de hidrelétricas, figura impensável no resto do mundo. Já o clima, terceiro recurso natural em questão, não é desértico, possui temperaturas mínimas anuais acima de 0°, e é privilegiado pela localização geográfica entre trópicos. Essas características possibilitam cultivos de duas safras ao ano, de Santa Catarina ao Maranhão, ou inclusive da pioneira integração lavoura-pecuária em certas regiões e a plantação de uma terceira safra de pastagem.

Dessa forma, a água é o recurso que possibilita a expansão da agricultura, que pode ocorrer sobre uma grande área já desmatada pela pecuária, sem a necessidade de atingir porcentagens europeias de ocupação do território e com uma maior produção anual por hectare, dado à cultura de duas ou até três safras. Porém, a variável não natural que permite o fomento da produção é a tecnologia, que faz com que a produção em duas ou três safras seja não somente possível, mas economicamente viável, com produtividades que justifiquem a implementação desse modelo.

Evolução recente da produção de milho e sorgo

O milho é o cereal mais produzido no mundo. Segundo o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (United States Department of Agriculture, 2018), o mundo produziu mais de 1 bilhão de toneladas na última safra, seguido pelo trigo, segundo cereal mais produzido mundialmente com 758 milhões de toneladas. Considerado o “primo pobre” do milho, o sorgo é, segundo o USDA, o quinto cereal mais produzido no mundo com 63 milhões de toneladas produzidas na última safra (**Figura 5**).

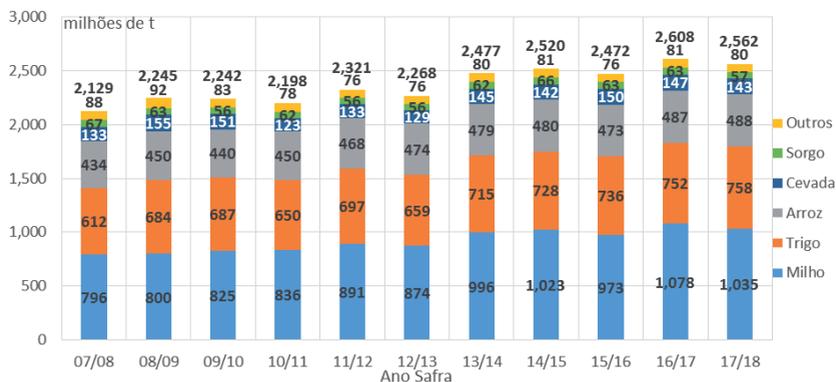


Figura 5. Evolução da produção mundial dos principais cereais. Fonte: United States Department of Agriculture (2018).

Estados Unidos, China, Brasil, União Europeia e Argentina, nessa ordem, são os maiores produtores mundiais de milho, respondendo juntos por praticamente 75% da produção mundial (USDA, 2018), sendo que os 2 maiores produtores, Estados Unidos e China, produzem mais da metade do milho do mundo (Figura 6).

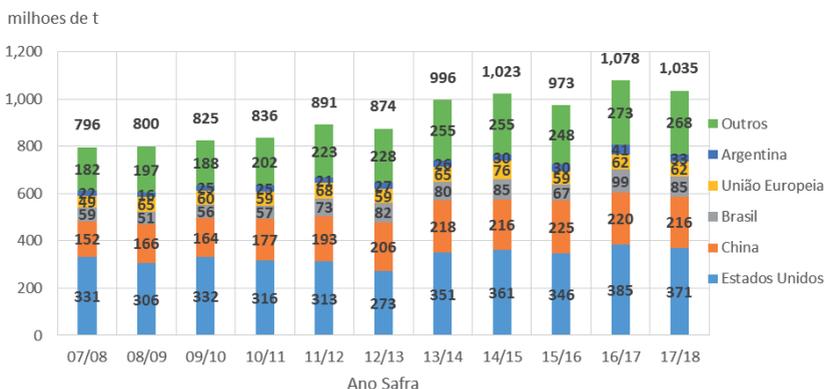


Figura 6. Evolução da produção de milho pelos principais produtores mundiais. Fonte: United States Department of Agriculture (2018).

De todo milho produzido mundialmente, cerca de 15% é comercializado internacionalmente, dos quais 87% por apenas 4 países, Estados Unidos, Brasil, Argentina e Ucrânia (**Figura 7**).

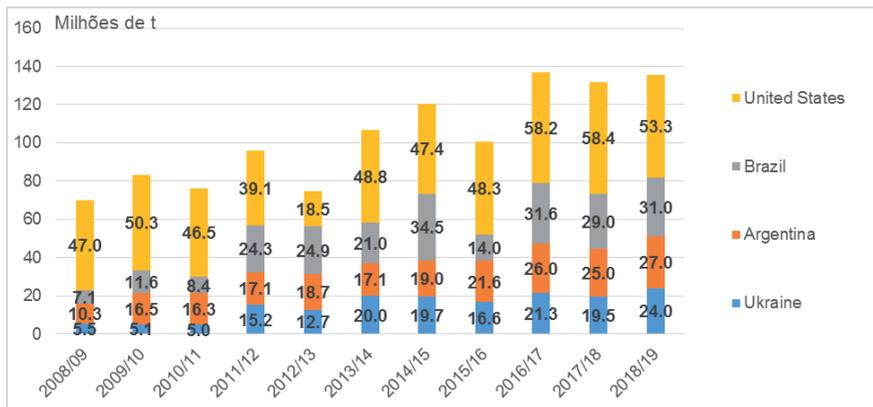


Figura 7. Evolução das exportações de milho pelos principais exportadores mundiais. Fonte: United States Department of Agriculture (2018).

No lado da importação, há maior diversificação de destinos do grão, uma vez que o maior exportador (Estados Unidos), que representa um terço do comércio global, poderia suprir sozinho, a demanda dos três maiores importadores (União Europeia, o Japão e o México) , que representam cada um cerca de 11% do comércio global (**Figura 8**).

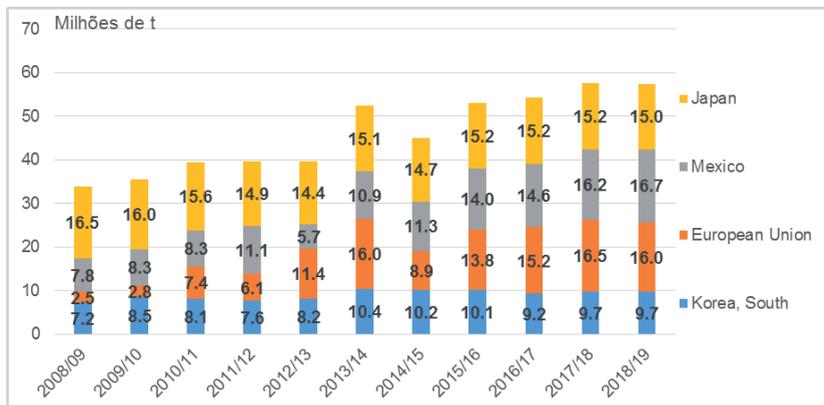


Figura 8. Evolução das importações de milho pelos principais importadores mundiais. Fonte: United States Department of Agriculture (2018).

O sorgo, que tem origem africana, é bastante adaptado a regiões quentes e áridas, além de exercer papel importante na dieta de diversos países daquele continente. Por esse motivo, o sorgo tem, entre os 5 principais produtores mundiais, 2 países africanos; Nigéria e Etiópia (**Figura 9**). Diferentemente do milho, a produção mundial de sorgo, encontra-se menos concentrada que a do milho. Ainda assim, os 5 maiores produtores, Estados Unidos, Nigéria, México, Índia e Etiópia, são responsáveis por pouco mais da metade da produção mundial do cereal (United States Department of Agriculture (2018)).

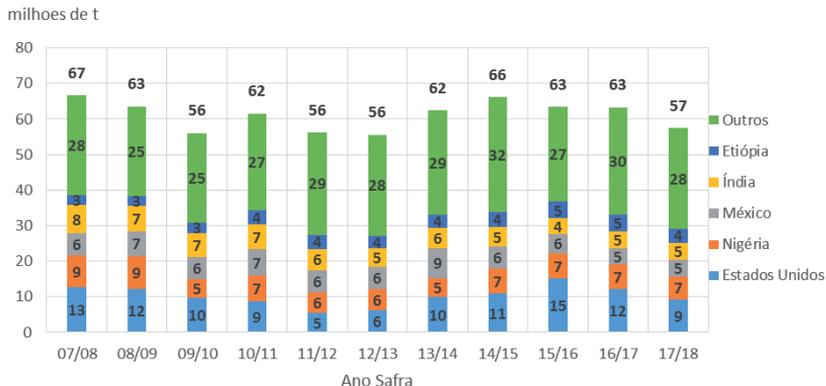


Figura 9. Evolução da produção de sorgo pelos principais produtores mundiais. Fonte: United States Department of Agriculture (2018).

O mercado de exportação mundial de sorgo é menor. Apenas 13% da produção é comercializada mundialmente. O principal exportador são os Estados Unidos, que respondem por 70% do volume total (**Figura 10**).

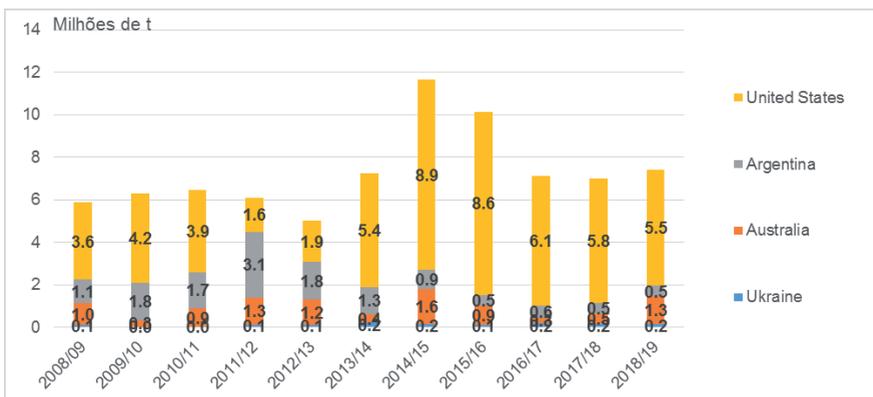


Figura 10. Evolução das exportações de sorgo pelos principais exportadores mundiais. Fonte: United States Department of Agriculture (2018).

Do lado importador, a China tem se destacado no comércio mundial, ao buscar mais um produto como alternativa para a ração animal internamente. Pelo baixo volume comercializado mundialmente, o comércio do grão se dá em momento de oportunidade, como é possível notar nos volumes inconsistentes dos 4 maiores importadores (**Figura 11**).

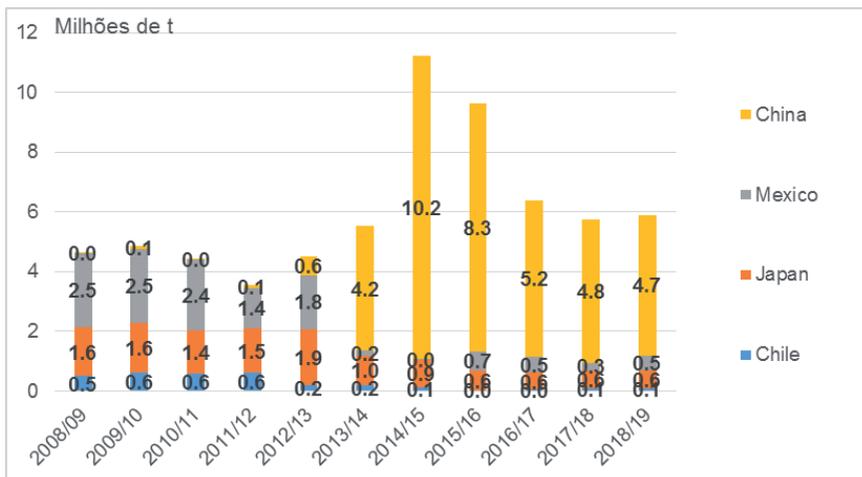


Figura 11. Evolução das importações de sorgo pelos principais importadores mundiais. Fonte: United States Department of Agriculture (2018).

Já no Brasil, nos últimos 10 anos, a produção de milho aumentou 67%. Segundo dados da Companhia Nacional de Abastecimento (Conab), a produção brasileira de milho saiu de 58,7 milhões de toneladas em uma área de 14,8 milhões hectares em 2008 para 97,8 milhões de toneladas em uma área de 17,6 milhões hectares na última safra. Assim, no período de 10 anos, o Brasil aumentou a área em apenas 19% , o que significa afirmar que o aumento nos níveis de produtividade foi o principal responsável pelo aumento na produção (**Figura 12**).

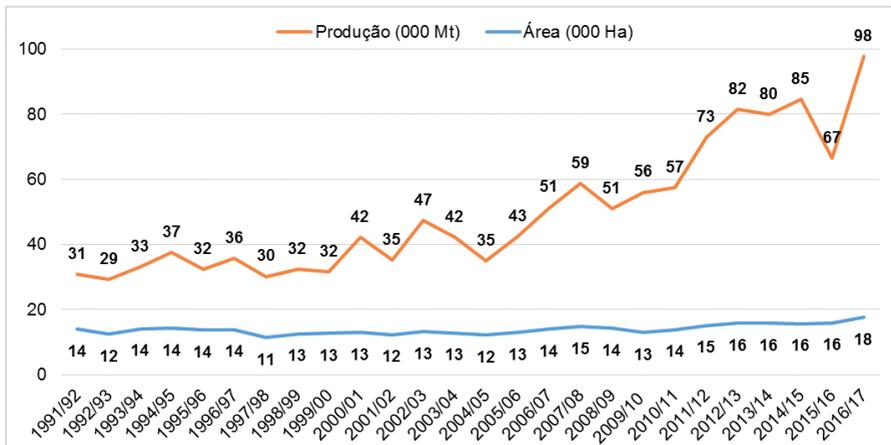


Figura 12. Área e produção de milho no Brasil. Fonte: Conab (2017).

Utilizando o milho como estudo de caso da produtividade, o artigo de Claudio de Miranda Peixoto, “A evolução da produtividade do milho no Brasil”, diz:

“Motivado pelos resultados e pela maior segurança na adoção de novas tecnologias e práticas de manejo, a cultura do milho iniciou um processo de rápida transformação tecnológica. Esse fato foi percebido e testemunhado nesta última safra, 2010/2011, quando muitos agricultores de diversas regiões do Brasil estão alcançando produtividades médias acima de 12.000 kg/ha, ultrapassando 14.000 e chegando a 15.000, 16.000 até 17.000 kg/ha. (...). Uma nova realidade está sendo estabelecida e um novo patamar de produtividade é estabelecido e passa a ser uma realidade no Brasil. O que antes era um sonho ou meta a ser atingida, agora é uma realidade de muitos agricultores nas mais diferentes regiões onde se cultiva o milho no Brasil” (Peixoto, 2011).

É interessante notar que a disseminação de novas tecnologias continua nos anos subsequentes ao artigo, demonstradas no crescente distanciamento das linhas de área e produção ilustradas na **Figura 12**. A tecnologia, porém, impacta não só a produtividade, mas o sistema de produção, em que o milho implementado com tecnologia pode ser cultivado nos meses mais secos do inverno. Dessa forma, o incremento de produção ao longo dos anos veio primariamente da região Centro-Oeste (**Figura 13**), em especial do Mato Grosso, pioneiro na agricultura de precisão. Ainda que não tenhamos quase nenhuma alteração nos volumes produzidos nas demais regiões, nós tivemos alterações importantes na área plantada durante a primeira e segunda safra em todas as regiões do país (**Figura 14**). É bastante interessante esta mudança porque, além de permitir o Brasil aumentar a produção de soja como safra de verão, houve redução do volume de milho ofertado durante o primeiro semestre e aumento na oferta do segundo semestre, justamente na janela posterior ao pico das exportações de soja, proporcionando uma continuidade das exportações e movimentação dos portos.

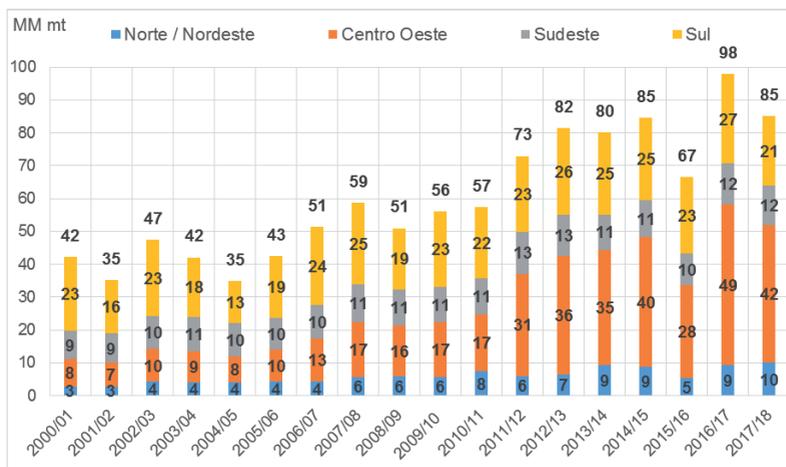


Figura 13. Mudança na geografia da produção de milho no Brasil. Fonte: Conab (2017).

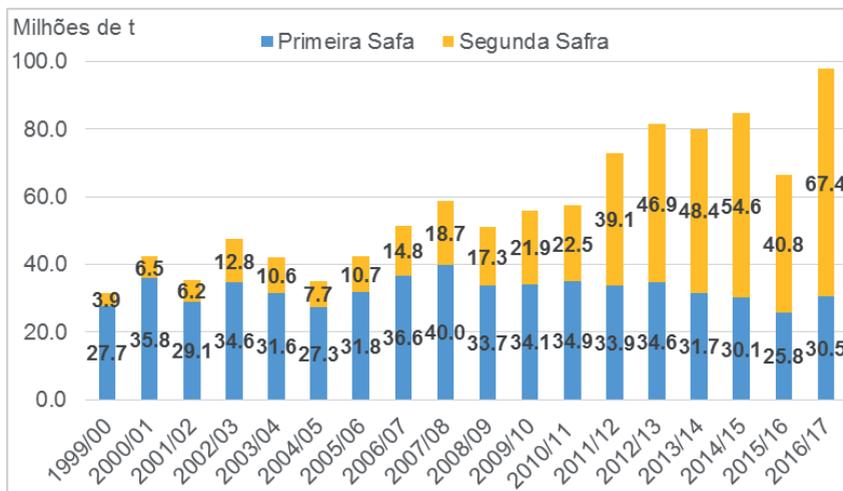


Figura 14. Primeira safra versus segunda safra. Fonte: Conab (2017).

As consequências do aumento da produção brasileira

A produção da segunda safra de milho no cerrado, longe dos principais polos de consumo doméstico da commodity, alterou a dinâmica de precificação, exportação e importação do produto. O agricultor se beneficia com soja de primeira safra e milho de segunda, expandindo a produção sob uma mesma área, diminuindo o risco financeiro ao comercializar duas commodities ao mesmo tempo e utiliza melhor os recursos da fazenda: tratores, silos, pivôs, mão de obra, etc. Porém, a consequência imediata do rápido crescimento do milho no Centro-Oeste se tornou o escoamento para a exportação (**Figura 15**), utilizando os mesmos corredores logísticos para a soja e alterando a dinâmica prévia de precificação do grão. Além disso, por ser a segunda safra colhida em condições de menor umidade, houve um incremento de qualidade no produto brasileiro que permitiu o país melhor

acessar o mercado externo. Com a exportação, as grandes tradings, disputando no mercado internacional, aproximaram os preços domésticos à bolsa de Chicago, pois somente assim o grão brasileiro poderia competir internacionalmente, já que no país não havia demanda para tanto milho. Atrelado ao preço internacional, em tempos de oferta excedente no globo, preço de milho e de banana se tornariam sinônimos, mas em tempos de quebra de safra nos países concorrentes, poderia se achar ouro no meio da lavoura.



Figura 15. Exportação de milho por ano em milhões de toneladas. Fonte: Comex Stat (2018).

A produção brasileira de milho, agora brigando por demanda mundial, encontrou um mercado consumidor menos dependente de um único país como a China para a soja, mas também, menos dependente da produção nacional, com uma maior competição dos demais grandes produtores mundiais, Estados Unidos, Argentina e Ucrânia. Porém, as últimas projeções de longo prazo do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA) colocam o Brasil ganhando 2% do mercado internacional em 10 anos pois, de semelhante forma, o país ganhara 2% da parcela da

produção mundial do grão até 2028, exemplificando o potencial agrícola brasileiro. No entanto, nem todo o crescimento da produção nacional encontrará seu destino na exportação. A projeção de 10 anos mostra um mercado doméstico oportunista pela maior oferta interna de milho, ao passo que o Brasil não só exportará mais, ele consumirá ainda mais internamente. Especialmente dois setores têm se destacado na busca do milho do cerrado, a produção animal e a produção de etanol.

Dados de abate do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), demonstram que no período de 10 anos entre 2007 e 2017, o Brasil aumentou a produção de carne de frango em 34% e de suínos em 68%. Tal façanha, fora o extensivo trabalho de promoção da carne brasileira munda afora, se tornou possível pela competitividade do produto, em muito, pelo preço do principal insumo da produção de granjeiros, o milho dentro da ração. A expansão da produção nacional, mitigou a necessidade de importação pelos granjeiros do país, recurso utilizado hoje somente de forma oportunista ou em cenários de quebra de safra em determinado estado. Além disso, a abundância do milho no território nacional, permitiu o avanço da produção de carnes sobre novas fronteiras estatais ou entre novas rotas de exportação que se colocaram entre o caminho do milho do interior aos portos do litoral.

A outra consequência indireta do aumento da produção nacional, é a utilização do grão de novas maneiras, principalmente à exemplo dos Estados Unidos. Enquanto o modelo nacional de biocombustíveis utiliza a cana-de-açúcar em larga escala, o etanol de milho veio como alternativa nas regiões em que a cana não se encontrava. Em regiões de disponibilidade tanto de cana como de milho, a tecnologia flex para as usinas já está sendo

implementada, mas não só grupos de usineiros de cana estão buscando expandir as atividades. Em reportagem do começo desse ano, a revista Valor Econômico identificava 6 projetos de ampliação ou construção no Centro-Oeste, que deveriam triplicar a demanda por milho para etanol na região, chegando a 3 milhões de toneladas, em um movimento bastante recente de novas utilizações do grão (Etanol..., 2018). Usinas estabelecida ou em construção, serão 8 no Mato Grosso e 3 em Goiás, mas possíveis novos projetos poderiam surgir pois, como também aponta a entrevista do Valor Econômico, o projeto advém de um perfil de investidores muito diversificado, buscando o pioneirismo em novas microrregiões desses e de outros estados.

Mesmo com o aumento percentual do consumo doméstico da safra de milho nas projeções de longo prazo, como do USDA, o potencial produtivo brasileiro é tamanho que, mesmo com menor porcentagem para a exportação, em números absolutos essa expectativa de excedente exportável é suficiente para aumentar a participação brasileira no comércio mundial do grão. Nesse sentido, é importante notar como a logística de exportação tem evoluído. O gráfico abaixo mostra o tempo de espera dos navios nos dois principais portos de grãos do Brasil, Santos e Paranaguá. É nítido olhar que, especialmente Paranaguá, conviveu historicamente com longas filas de navios, alguns chegando a ficar mais de 100 dias esperando para atracar e carregar, ao contrário do ano atual em que quase não existem mais filas (**Figura 16**). É importante perceber que, apesar de todos os problemas de infraestrutura, o país é capaz de escoar as safras de grãos com bastante eficiência. Isso é resultado de investimentos na infraestrutura, mas não apenas isso. No caso específico de Paranaguá é também resultado da mudança na maneira de operar.

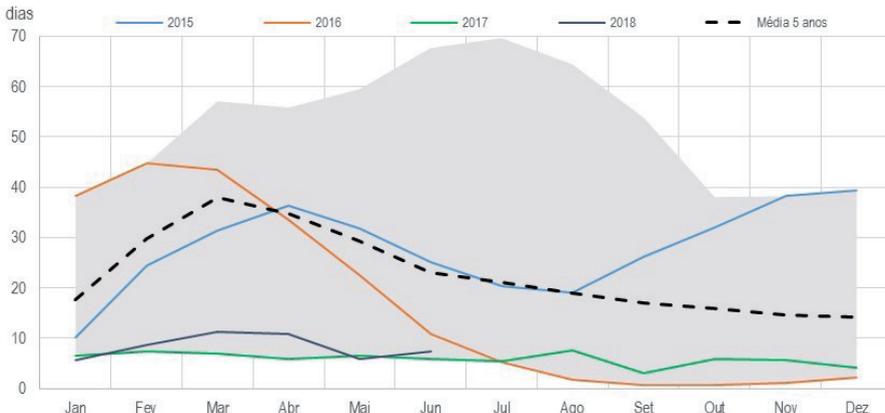


Figura 16. Tempo de espera médio de navios de grãos no corredor de exportação de Paranaguá. Fonte: Administração dos Portos de Paranaguá e Antonina.

Nesse cenário, o Brasil deverá ter potencial e deverá continuar a crescente participação no mercado internacional de milho, tão como subsidiando o mercado doméstico a novas oportunidades de expansão da indústria nacional e exportação de seus subprodutos. Para a commodity, segundo o USDA, as exportações devem crescer 32% nos próximos 10 anos, junto com a produção crescendo 37% e o consumo nacional crescendo 38%. Os números refletem a oportunidade de crescimento nos dois lados do preço mundial do grão, na oferta e na demanda. Desta maneira, no lado da oferta, os maiores incrementos devem continuar na região Centro-Oeste pelos motivos já contemplados anteriormente. No lado da demanda, para a exportação, a região tem a maior possibilidade de corredores logísticos e, para o consumo nacional do produto, terá atraído grande parte dos investimentos pela proximidade geográfica. O etanol se beneficiaria pelos menores custos logísticos da proximidade com o produtor e a produção de carnes, dado que o incremento na

produção nacional tem sido de excedente exportável, utilizaria alguns dos mesmos corredores de exportação do milho.

Sorgo como alternativa para a segunda safra

O sorgo, apesar de ser o quinto cereal mais produzido globalmente, tem sua comercialização ainda restrita às fronteiras nacionais, à exceção dos Estados Unidos. A Nigéria e a Etiópia, segundo e quinto produtores mundiais respectivamente, tornam a produção possível em regiões mais secas devido ao fato de que o produto possui necessidade hídrica inferior à do milho. Esta característica do sorgo poderia torná-lo uma alternativa para a segunda safra brasileira em regiões mais áridas, como ocorre em partes de Goiás e Minas Gerais. Porém, a tecnologia presente na cadeia de produção do sorgo não é comparável aos de seus primos “ricos”. Através do desenvolvimento de novas utilizações para o produto, seria possível impulsionar a demanda, a pesquisas por novas sementes e variedades adaptadas a microclimas específicos impulsionaria a oferta.

Considerações finais

No que diz respeito ao potencial produtivo brasileiro, as mais diversas projeções de longo prazo, há 10 anos, não foram capazes de apostar em safras de grãos acima de 200 milhões de toneladas produzidas nos últimos 2 anos. Isto é um testemunho de como o país tem superado expectativas, principalmente em termos de produtividade através de tecnologia, tanto nos insumos para a produção como no manejo do campo. Também é importante mencionar que o milho no Brasil deverá continuar a crescer como uma alternativa à segunda safra e no ritmo do crescimento da área plantada com soja. No que diz respeito ao

comércio mundial, será breve o posicionamento do país como o principal fornecedor de alimentos para o mundo. A crescente dependência mundial do alimento produzido no Brasil, direta ou indiretamente, será de extrema relevância para o crescimento econômico nacional e sua influência nas negociações e disputas internacionais.

Referências

COMEX STAT. **Exportação e importação**. Disponível em: <<http://comexstat.mdic.gov.br>>. Acesso em: 7 ago. 2018. Portal para acesso gratuito às estatísticas de comércio exterior do Brasil.

CONAB. Companhia Nacional do Abastecimento. **Safras: séries históricas**. Brasília, DF, 2017. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras>>. Acesso em: 27 jun. 2018.

ETANOL de milho avança no centro-oeste. **Valor Econômico**, 30 jan. 2018. Disponível em: <<https://www.valor.com.br/agro/5290501/etanol-de-milho-avanca-no-centro-oeste>>. Acesso em: 4 jul. 2018.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Diet, nutrition and the prevention of chronic diseases**. Rome, 2003. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/005/ac911e/ac911e00.htm#Contents>>. Acesso em: 29 jun. 2018.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **How to feed the world in 2050**. Disponível em: <http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/expert_paper/How_to_Feed_the_World_in_2050.pdf>. Acesso em: 27 jun. 2018.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Statistical pocketbook world food and agriculture**. Rome, 2015. 231 p. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/a-i4691e.pdf>>. Acesso em: 29 jun. 2018.

FUKASE, E.; MARTIN, W. **Economic growth, convergence, and world food demand and supply**. 2017. Disponível em: <<http://documents.worldbank.org/curated/en/519861511794565022/pdf/WPS8257.pdf>>. Acesso em: 4 jul. 2018.

PEIXOTO, C. de M. **A evolução da produtividade do milho no Brasil**. 2011. Disponível em: <<http://www.pioneersementes.com.br/media-center/artigos/135/a-evolucao-da-produtividade-do-milho-no-brasil>>. Acesso em: 29 jun. 2018.

SOSLAND, L. J. **Luciano taking ADM forward confidently in grain**. 2016. Disponível em: <http://www.world-grain.com/articles/news_home/Features/2016/08/Luciano_taking_ADM_forward_con.aspx?ID=%7B64D42F41-C592-45F5-9587-58379685DE75%7D>. Acesso em: 29 jun.2018.

UNITED NATIONS. **World population prospects: the 2017 revision**. New York, 2017. Disponível em: <https://esa.un.org/unpd/wpp/publications/Files/WPP2017_KeyFindings.pdf>. Acesso em: 29 jun. 2018.

UNITED NATIONS. **World urbanization prospects 2018**. New York, 2018. Disponível em: <<https://esa.un.org/unpd/wup/Download>>. Acesso em: 29 jun.2018.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Foreign Agricultural Service (FAS): production supply and distribution**.

Disponível em: <<https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/advQuery>>. Acesso em: 28 jun. 2018.

THE WORLD BANK. **World Development Indicators 2017 Maps**. Disponível em: <<https://data.worldbank.org/products/wdi-maps>>. Acesso em: 28 jun. 2018.

WORLD TRADE ORGANIZATION. **World Trade Report 2014**. <https://www.wto.org/english/res_e/booksp_e/wtr14-2b_e.pdf>. Acesso em: 4 jul. 2018.

Capítulo 3

Os Nematoides de Galha (*Meloidogyne* spp.) nas Culturas de Milho e Sorgo

Pedro Luiz Martins Soares

Roberta Luiza Vidal

Daniel Dalvan do Nascimento

Gabriela Silva Thomazelli

João Pedro Gomes da Costa

Rivanildo Júnior Ferreira

Introdução

A cultura de milho (*Zea mays* L.) possui grande relevância mundial e é considerada indispensável à humanidade. Dentre os grãos produzidos no Brasil, ocupa o primeiro lugar em termos de volume produzido e o segundo em área cultivada, perdendo apenas para o complexo da soja (Môro; Fritsche-Neto, 2015). Segundo a Conab (2017), na safra 2016/17 foram produzidos cerca de 97,8 milhões de toneladas de milho no país que ocuparam uma área de 17,5 milhões de ha. De acordo com a Garcia et al. (2008) o milho é insumo para centenas de diferentes produtos, no entanto sua principal utilização, tanto no Brasil quanto no mundo, é na indústria de ração para aves e suínos.

Em alguns estados brasileiros este cereal pode ser cultivado em duas safras. A primeira corresponde ao plantio de verão na época chuvosa, geralmente em meados de agosto a novembro, dependendo da localidade. Já a segunda safra ou “safrinha” como é conhecida popularmente, ocorre em época de sequeiro,

em meados de janeiro a abril, em sucessão a uma cultura de verão, basicamente após a soja precoce (Fornasieri Filho, 2007).

Além desta possibilidade de plantio em duas safras, o aumento das áreas agricultáveis no País, a adoção do sistema de plantio direto, o aumento do uso de sistemas de irrigação, a ausência de rotação de culturas bem como o emprego de materiais suscetíveis, têm promovido modificações na dinâmica populacional de muitos patógenos, resultando em incrementos de novas doenças a cada safra. Dentre as doenças, os nematoides merecem destaque e em muitos casos são negligenciados, principalmente, na cultura de milho. Estes patógenos causam danos ao sistema radicular da planta, reduzindo a absorção, o fluxo de água, nutrientes e seivas, levando a sintomas de deficiência mineral e hídrica (Silva et al., 2017).

Mais de 60 espécies de nematoides já foram encontradas associadas à cultura do milho nas mais diversas regiões do mundo. Contudo, algumas são mais frequentes e impactantes para a referida cultura como os nematoides de galha (*Meloidogyne* spp.), os nematoides das lesões radiculares (*Pratylenchus* spp.) e os nematoides de cisto do milho (*Heterodera* spp. e *Puctodera* sp.) são considerados pragas relevantes que constituem fatores restritivos de produtividade da cultura do milho. Apesar de ocorrerem mais de nove espécies de nematoides de cisto associadas ao milho, somente três são consideradas economicamente importantes: *Heterodera zae* Koshy, Swarup e Setthi, *H. avenae* Wollenweber e *Punctodera chalcoensis* Stone, Sosa Moss e Mulvey (o nematoide do cisto do milho mexicano), sendo que nenhuma dessas ocorre no Brasil (Luc et al., 2005). Nos EUA, espécies de *Pratylenchus* Filipjev, *Meloidogyne* Goeldi, *Hoplolaimus* Von Daday, *Tylenchorhynchus* Cobb, *Trichodorus*

Cobb, Paratrichodorus Siddiqi, Longidorus (Micoletzky) Thorne e Swanger, Xiphinema Cobb, Belonolaimus Steiner, Dolichodorus Cobb e *Heterodera zaeae* são alistados como os nematoides-chave da cultura (Bird, 1978; Barker et al., 1998).

No Brasil são mencionadas duas espécies de Meloidogyne mais comuns para a cultura do milho, a saber: *M. incognita* (Kofoid e White) Chitwood, *M. javanica* (Treub) Chitwood (Brito; Antonio, 1990; Asmus; Andrade, 1997; Lordello et al., 2001; Wilcken et al. 2006; Carneiro et al., 2007).

Em outras regiões do mundo, essas espécies e *M. arenaria* (Neal) Chitwood também são consideradas espécies-chave da cultura do milho (Baldwin; Barker, 1970; Windhan; Williams, 1988; Davis; Timper, 2000), embora outras espécies de ocorrência localizada, tais como *M. chitwood* Golden, O'Bannon, Santo e Finley, nos EUA (Windham, 1998), *M. africana* Whitehead, na Índia (Krishnamurthy; Elias, 1967) e no Paquistão (Maqbool, 1980; 1981) também causem danos consideráveis ao milho.

Além das espécies de Meloidogyne mencionadas, *Pratylenchus* spp., notadamente *P. brachyurus* (Godfrey) Filipjev e Schuurmans Stekhoven, *P. zaeae* Graham e espécies de Paratrichodorus Siddiqui, também são considerados nematoides chave da cultura no Brasil (Lordello et al., 1983, 1985; Lordello; Lordello, 1989; Lordello, 1992; Duarte et al., 1994; Goulart, 2008).

Conforme Sasser e Freckman (1987) estimaram, os nematoides causam perdas anuais na cultura de milho da ordem de 10,2%. Considerando-se que o milho é a segunda cultura mais cultivada no mundo essas perdas assumem proporções alarmantes. Esse percentual de perdas, aplicado à produção brasileira, na safra

passada, permitiu estimar-se os prejuízos que os nematoides causaram a produção de milho em nosso país, conforme dados contidos na **Tabela 1**.

Tabela 1. Estimativas das perdas causadas por nematoides na cultura de milho no Brasil na safra 2016/17.

Ano Safra*	Produção* (t)	Perda estimada em 10,2%** (t)	R\$/saca (60 kg)	Prejuízos (R\$)
16/17	97.710.000	9.966.420	30,00	≈ 4,983 bilhões

*Fonte: Conab (2017) (Milho 1ª e 2ª safras); ** Sasser e Freckman (1987)

O sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) assim como o milho pertence à família Poaceae e é um importante cereal cultivado que ocupa a quinta posição no ranking de produção, atrás do trigo, arroz, cevada e do milho (Shewale, 2008). É típico de regiões mais quentes e/ou secas, onde há limitações para a produção de outros cereais, e é considerado como uma das espécies mais versáteis em termos de usabilidade, esta que se estende desde o uso de seus grãos na alimentação humana e animal, como matéria prima na produção de álcool anidro, bebidas alcoólicas, colas e tintas, extração de açúcar do colmo, até sua utilização como forrageira na nutrição de ruminantes (Ribas, 2003). O autor também cita que a cultura é muito utilizada em rotação e sucessão de culturas e plantio nas entre linhas por atribuir características positivas ao solo. Segundo a Conab foram produzidas na safra 2016/17 cerca de 1,8 milhões de toneladas de sorgo no país, ocupando uma área de 628 mil ha.

Este cereal tem a habilidade de crescer em áreas com baixa pluviosidade e elevadas temperaturas, onde o crescimento de

qualquer outro cereal é muito limitado. Além disso, possui baixa exigência em uma estação de crescimento definida, bem como pode ser utilizado em sucessão ou rotação de culturas com outras plantas (Smith; Frederiksen, 2000; Ribas, 2009).

Apesar do grande número de espécies de nematoides terem sido relatadas associadas ao cultivo do sorgo, pouca informação está disponível no que diz respeito a problemas de nematoides específicos (McDonald; Nicol, 2005). Como abordagem geral as espécies inclusas nos gêneros, *Meloidogyne*, *Pratylenchus* e *Tylenchorhynchus* são os mais importantes para a cultura do sorgo (De Waele; McDonald, 2000).

Os nematoides das lesões são frequentemente associados ao sorgo. Entre as espécies mais reportadas estão *P. zaeae*, *P. brachyurus*, *P. crenatus* Loof, *P. penetrans* (Cobb) Chitwood e Oteifa, *P. coffeae* (Zimmermann) Goodey, *P. scribneri* Steiner, *P. goodeyi* Sher e Allen e *P. hexincisus* Taylor e Jenkins (Motalaote et al., 1987; Gallaher et al., 1991; Prasad et al., 1995; De Waele; McDonald, 2000).

Entre os formadores de galhas, *M. incognita*, *M. javanica*, *M. naasi* Franklin, e *M. graminicola* Golden e Birchfield já foram reportados para a cultura (Sharma; McDonald, 1990; De Waele; McDonald, 2000; Kollo, 2002).

No Brasil, levantamentos realizados em áreas experimentais mostraram que as espécies de *Criconemoides* Taylor, *Pratylenchus* e *Meloidogyne* foram predominantes, porém foram também encontradas espécies de *Helicotylenchus* Steiner, *Tylenchulus* Cobb, *Trichodorus*, *Xiphinema* e *Dorylaimus* De Man (Pinto, 2003). As espécies de *Meloidogyne* Goeldi (nematoides

de galha), englobam 98 espécies endoparasitas de plantas, distribuídas mundialmente e capazes de infectar praticamente todas as espécies vegetais, este grupo é apontado como o principal entre os nematoides parasitos de plantas, pela sua alta e rápida capacidade de reprodução, além dos danos às culturas a nível mundial (Jones et al., 2013). Com efeito, mais de 2000 espécies de plantas já foram alistadas como hospedeiras desses nematoides (Jepson, 1987). Algumas espécies são amplamente distribuídas enquanto que outras têm distribuição limitada e são mais específicas (McDonald; Nicol, 2005).

As duas espécies mais comuns para a cultura do milho e sorgo no Brasil, a saber: *M. incognita* e *M. javanica*, são as mais frequentes causadoras de danos nas condições da agricultura brasileira, podendo prejudicar significativamente a produtividade de várias culturas de importância econômica, usadas no sistema de rotação/sucessão de milho e sorgo.

O ciclo de vida das espécies deste gênero inicia-se pelos ovos, passando por quatro estádios juvenis até atingir a fase adulta e recomeçar o ciclo. De acordo com Perry et al. (2010) a fêmea deposita seus ovos em uma massa gelatinosa, com função de proteção, que fica aderida a ela. Dentro do ovo desenvolve-se o juvenil de primeiro estágio (J1), que evolui para o segundo estágio (J2) ainda dentro do ovo e, após a eclosão, é atraído até as raízes pelos exsudados radiculares. Ao infectar a planta, o J2 migra até células do protoxilema ou protofloema, onde iniciam seu sítio de alimentação permanente e induzem essas células a um processo de diferenciação, sendo denominadas então de células gigantes, levando a formação das galhas. Em condições ambientais favoráveis os J2 continuam seu desenvolvimento

para J3, J4 e forma adulta, quando se diferenciam em fêmeas e machos.

Uma fêmea adulta pode depositar de 500–2000 ovos aglomerados em uma massa gelatinosa na superfície ou dentro das raízes. O seu desenvolvimento embrionário ocorre no solo ou no interior das raízes. Os juvenis de segundo estágio migram no solo e penetram nas raízes tornando-se sedentários e continuam seu desenvolvimento até o estágio adulto (Campos, 1985).

Diferentemente do que ocorre nas associações entre muitas plantas cultivadas e espécies de *Meloidogyne*, em que as galhas são bem visíveis a olho nu, nas raízes de milho parasitadas observam-se, no geral, apenas leves engrossamentos e poucas galhas evidentes (Asmus et al., 2000). Conforme informação de Pinto (2003), a infecção por *Meloidogyne* spp. em raízes de sorgo podem apresentar pronunciada formação de galhas, em muitos casos mais acentuada que em milho.

O primeiro registro de danos de *Meloidogyne* em milho foram relatados por Lordello et al. (1986), em uma lavoura de Goiás em razão do parasitismo de *M. incognita*. Os danos causados por nematoides na parte aérea de plantas podem ser semelhantes aos sintomas provocados por estresse hídrico e por deficiências nutricionais.

O sintoma típico de danos por nematoides no campo é a formação de áreas de tamanho variado, onde as plantas têm uma aparência irregular. Plantas encontradas sob altas infestações são menores do que as plantas normais e são usualmente cloróticas, têm tendência ao murchamento nas horas mais quentes do dia, em função do comprometimento do funcionamento das raízes no

processo de absorção e transporte de água e nutrientes (Pinto, 2003; Chen et al., 2004). Todavia, conforme menção de Dias et al. (2010b) a maioria dos cultivares de milho disponíveis no país, são tolerantes a *M. incognita* e *M. javanica*, as principais espécies mais distribuídas. Também, em geral, o sistema radicular abundante do milho e do sorgo, causam um efeito de diluição nos níveis populacionais encontrados na área, levando as plantas a apresentarem um desenvolvimento normal, na maioria das situações encontradas, não sendo possível perceber pelo aspecto visual da cultura o dano/impacto causado pelos nematoides.

Os nematoides são parasitos obrigatórios, dessa forma, quando não há hospedeiro favorável, sua população decresce consideravelmente. Entretanto, algumas espécies possuem elevada capacidade de sobrevivência em determinadas fases do ciclo de vida, mesmo na ausência do hospedeiro. A sobrevivência de espécies de *Meloidogyne* são garantidas principalmente pelos ovos que podem apresentar dormência, caso as condições sejam desfavoráveis (Amorim, 1995; Goulart, 2008). Também, a maior parte da população tem sobrevivido por ainda mais tempo nas áreas, nas raízes secas de milho e/ou sorgo, além de outras plantas hospedeiras, por causa da sua alta relação C:N, bem como o sistema de plantio direto e/ou cultivo mínimo, que ajudam a preservar e proteger as raízes e os nematoides nas áreas, impactando significativamente na produtividade das referidas culturas, principalmente, para aquelas que serão utilizadas em sucessão.

A capacidade de adaptação dos nematoides é elevada, sendo capazes de sobreviver a mais diversas variações físicas e ambientais. A principal forma de sobrevivência dos nematoides

é a dormência, que pode ser dividida em quiescência e diapausa. Essas são as mais simples estratégias, e também as mais estudadas, que envolvem uma resposta imediata a um particular estresse ambiental resultando em metabolismo reduzido (“envelhecimento reduzido” = quiescência) e o qual pode, se o estresse persistir (ou aumentar), conduzir a um metabolismo não mensurável (“suspensão animada” = criptobiose ou anabiose). Estas alterações podem ser incitadas por certas condições ambientais adversas como desidratação (anidrobiose), resfriamento (criobiose), falta de oxigênio (anoxibiose) e choque osmótico (osmobiose) e são reversíveis com o fim das condições de estresse (Michereff et al., 2005).

Em razão do alto potencial reprodutivo, ampla gama de hospedeiros, hábito de vida no solo e nas raízes de plantas, um dos grandes desafios é atingir nos nematoides (*Meloidogyne* spp.) no alvo, de modo que a utilização de apenas uma medida de controle é na maioria das vezes insuficiente, sendo necessário a utilização de várias medidas para obtenção do manejo integrado de nematoides.

Manejo integrado de nematoides

Prevenção

A principal e mais efetiva forma de manejo de nematoides é evitar sua entrada na área. Os nematoides de galha (*Meloidogyne* spp.) não ocorrem em todas as áreas, na maioria das vezes eles surgem em uma e/ou algumas pequenas reboleiras, que poderão ser destruídas as plantas e as raízes e semeada alguma espécie que não multiplique as espécies presentes na área. Com essa simples medida, vamos interromper a multiplicação dos nematoides,

bem como retardar e/ou evitar a disseminação deles na área e até em outros talhões. Também, manejar primeiro as áreas com altos níveis de infestação, por último as não infestadas e/ou com baixa infestação. Após o manejo nas áreas com alta infestação, lavar as máquinas e implementes, com água sob pressão, de forma a remover o solo infestado, não sendo necessário o uso de produtos. Depois de instalado na área, dificilmente será possível erradicá-lo. Desta forma, a utilização de medidas preventivas se torna de fundamental importância na rotina do agricultor.

Utilização de cultivares resistentes

A resistência genética é considerada por muitos autores como a forma de controle mais efetiva e ambientalmente correta no manejo de nematoides de galha (Pinheiro et al., 2012; Hussain et al., 2014; Liu et al., 2015), sendo, portanto, peça valiosa dentro do manejo integrado de nematoides.

De acordo com Trudgill (1991), a resistência genética é definida como a habilidade da planta em reduzir ou impedir a reprodução dos nematoides. Desta forma, as populações tendem a baixar na área infestada até atingirem níveis que não causem danos às culturas. Também, a durabilidade de genes de resistência a nematoides sedentários tende a ser muito alto por causa das características biológicas destes patógenos, como reprodução assexuada, que reduz a variabilidade genética, e a relativa baixa mobilidade, que contribui para que a variabilidade existente não seja rapidamente distribuída (Castagnone-Sereno, 2002).

O milho já foi muito indicado para sucessão com soja por acreditar-se que esta cultura reduzia a população de nematoides na área, além de propiciar retorno financeiro ao agricultor (Moritz

et al., 2009). Apesar de a cultura ser considerada tolerante à *Meloidogyne* spp., muitas vezes não apresentando nem os sintomas típicos da formação de galhas e sendo capaz de produzir bem mesmo em áreas infestadas, muito materiais permitem alta reprodução destes nematoides (Asmus et al., 2000; Silva et al., 2001; Dias et al., 2010b), pelo volume de raízes que a espécie tem, bem como um ciclo maior que outras culturas de grãos.

Desta forma, o conhecimento acerca da resistência dos materiais de milho disponíveis ao agricultor é fundamental para que se opte pelo híbrido que permita a menor reprodução do nematoide possível, visando reduzir a população a níveis baixos que não ocasionem danos. Cabe ressaltar que o sucesso deste método depende do conhecimento das espécies de nematoides presentes na área e da reação dos híbridos e cultivares a estas espécies (Wilcken et al., 2006). A **Tabela 2** contém trabalhos de avaliação de resistência a *Meloidogyne* spp. e os genótipos de milho resistentes.

Tabela 2. Materiais de milho com resistência a *Meloidogyne* spp. e as respectivas fontes.

Material/ais	Espécie	Fonte
CD-3121, CD-301, CD-302, A 2288, A 2555, DKB440, DKB911, P 30F33, P 30F88, P 30F80, BRS2114, BRS2160, BR106, BRS4150, AG9090, AG9020, AG7575, AG1051, XL205, NB5218, NB7228, NB5318, 85 E 03, 8420, 84 E 60, 84 E 80 e XB 7012	M. javanica	Silva et al. (2001)

Tabela 2 cont. Materiais de milho com resistência a *Meloidogyne* spp. e as respectivas fontes.

Material/ais	Espécie	Fonte
SHS-5080, NB7361, BM-1115, BRS-1031, GNX-3010 e GNX-1020	<i>M. enterolobii</i>	Dias et al. (2010a)
NB7361, GNX-3010 e GNX-1020	<i>M. ethiopica</i>	Dias et al. (2010b)
NB7201, Exceller, Flash, Fort, Garra, Master, NB7233, NB7241, NB7253, NB7283, NB7443, Penta, Premium, Flex, Speed, Strike, Tork, Traktor e Valent	<i>M. incognita</i> raça 1 e <i>M. paranaensis</i>	Levy et al. (2009)
AG5016, AG3010, PX1297J, PX1297H, AG6018, XL357, AG5010, XL255, C929, G186Traktor, P32R21, XL355, AGX6690, C747, P302, XL215, XL221, C806, P3071, C901, Avant, P3081, XL344, ND3047(Flash), P 30F33, P 30F80, Exceller, Master, Premium, Tork, P3041 e Dominionum	<i>M. javanica</i>	Manzotte et al. (2002)

Tabela 2 cont. Materiais de milho com resistência a *Meloidogyne* spp. e as respectivas fontes.

Material/ais	Espécie	Fonte
DKB199, CATI AL-BAND, CATI AL-30, Dow 506, P 30F90, P 30F87, AGX9014, D 2C599, B HT-125, CATI AL-34, B A4450, D 2C577, D 519, P 30F75, A 2560, D 8480, DKB 199, AG 7000, AG 1051, D 8460, CATI PI-RATININGA, CATI ALVORADA, DKB 466, A3663, DKX 8512 e A 2288	M. javanica	Wilcken et al. (2006)
A 2288, A 2555, AG 3010, AG 5011, AG 6018, AG 9020, AG 9090, DKB 215, DKB 747, DOW 657, DOW 2A120, DOW 2C577, DOW 8460, DOW 8480, Speed, Fort, Pointer, Tork, Master, Exeler, Tractor, Plemium, Avant, Flash, P 30F88, P 3027, P 30F33, P 30F80, P 32R21, P 3081, P 3071, SHS 4070, SHS 4080, SHS 7070, NB 7302, NB 7361 (Somma) e Maximum	M. javanica	Tecnologias... (2011)

Tabela 2 cont. Materiais de milho com resistência a *Meloidogyne* spp. e as respectivas fontes.

Material/ais	Espécie	Fonte
AG 9090, BRS 2114, DOW 657, DOW 2C577, DOW 2A120, NB 7361 (Somma), P 30F80, P 30F33, P 3027, SHS 4080 e SHS 7070	M. incognita	Tecnologias... (2011)

Vários materiais resistentes à *M. javanica* estão disponíveis aos agricultores. Esta espécie é considerada a mais importante para a cultura da soja por ter distribuição mais generalizada no país, considerando que o milho é a cultura mais utilizada em sucessão à soja no Brasil (Silva et al., 2001), a utilização destes materiais é alternativa válida para a redução da população da referida espécie em áreas infestadas.

Com relação à *M. paranaensis*, o milho parece demonstrar resistência. Em estudo conduzido por Moritz et al. (2003), das 30 cultivares de milho avaliadas apenas uma se mostrou susceptível a esta espécie. Carneiro et al. (2007) também encontraram resistência em todos os onze genótipos avaliados. Por fim, Moritz et al. (2009) ao avaliarem sete cultivares de milho também encontraram apenas genótipos resistentes a esta espécie.

Com relação à cultura do sorgo, algumas cultivares foram identificadas como resistentes às espécies *M. incognita* e *M. javanica*. Em trabalho conduzido pela Embrapa (Tecnologias..., 2011) as cultivares AG 2005E, AG 2501-C e DASIG 200 apresentaram resistência à *M. javanica*. Já em trabalhos conduzidos por

Carneiro et al. (2007), as cultivares de sorgo BR 204, BRS 306, Zeneca 732, BR 601 e Planta Baixa foram resistentes à *M. incognita* raça 1, as cultivares BRS 306 e BR 601 à *M. incognita* raça 3 e as cultivares BRS 306, BR 601 e Planta Baixa à *M. paranaensis*.

Em estudos realizados por Santos et al. (2017) e Silva et al. (2017), todos os híbridos apresentaram o fator de reprodução > 1 , sendo classificados como suscetíveis a *Meloidogyne javanica* e *M. incognita* (**Tabela 3**).

Tabela 3. Fator de reprodução de *Meloidogyne javanica* (Mj) e *M. incognita* (Mi) em híbridos de milho.

Híbridos	Mj	Mi	Híbridos	Mj	Mi
<i>Crotalaria spectabilis</i> (padrão R)	0,1	0,1	MG 30A37 RR	13,5	15,6
SUPREMO VIP	1,5	-	2B433 PW	13,8	10,3
STATUS VIP 3	1,9	6,2	ADV 9345 PRO3	14,6	14,1
SX 7331 VIPTERA	2,1	2,6	KWX 76610	14,6	14,7
P 30F35	3,2	4,7	RB 9004 PRO	15,5	11,9
P 3862 HX	3,6	3,8	P 3630 H	15,8	27,9
P 3646 YHR	3,7	12,2	MG 652 PW	16,9	20,7
NS 50	4,0	29,6	RB 9006 PRO	16,9	21,8
P 30S31 VYH	4,3	14,0	RB 9110	18,2	29,4
P 3646 YH	4,4	16,9	MG 580 PW	18,8	31,2
DKB 310	5,8	8,7	ADV 9105 PRO	19,0	28,3
RK 3014	6,3	31,7	LG 3055 PRO	19,5	20,4
GARRA VIPTERA	6,4	15,3	AG 3700 RR2	19,6	18,9
NS 90 PRO	6,6	20,4	AS 1777 PRO3	19,7	12,6
RB 9210 PRO2	6,8	3,3	DKB 310 PRO3	20,1	28,7
RB 1701	7,3	5,5	CELERON TL	20,6	29,0
RB 9110 PRO	7,8	27,2	2B688 RR	21,9	38,8
KWX 628A4	8,0	20,5	DKB 390 PRO3	22,4	14,9
DKB 310 PRO2	8,4	8,4	ADV 9275 PRO	23,0	15,7

Tabela 3 cont. Fator de reprodução de *Meloidogyne javanica* (Mj) e *M. incognita* (Mi) em híbridos de milho.

Híbridos	Mj	Mi	Híbridos	Mj	Mi
DKB 290 PRO2	9,1	-	DKB 285 PRO	23,1	27,5
DKB 315	9,2	4,1	LG 36701 PRO2	23,6	22,8
AS 1575 PRO	9,5	8,3	DKB 290	23,8	46,6
P 2830 VYH	9,5	8,8	AG 8061 PRO	24,0	21,4
CD 384 PW	10,2	30,4	BG 7640 VYH	24,7	15,6
DKB 290 PRO	10,6	20,7	BG 7046 H	26,0	16,7
MG 600 PW	10,9	36,7	P 30F53	26,2	30,5
2B512 PW	11,1	9,8	BM 709 PRO 2	26,7	19,9
3700 RR2	11,2	7,8	AS 1555 PRO2	27,4	10,9
ADV 9434 PRO	11,3	12,3	2B688 PW	29,3	13,8
ADV 9860	11,5	18,0	P 30F53 VYHR LEPTRA	30,0	88,0
2B587 PW	11,7	17,9	DAS 28628 PW	31,8	36,8
BRS 610	11,8	19,2	MG 699	32,1	27,4
P 3456 VYH	12,0	25,8	P 30F53 VYH	34,9	47,6
FÓRMULA VIP 2	12,1	38,2	AG 8690 PRO3	36,1	28,1
SYN 7205 TLTG VIPTERA	12,3	7,7	AG 8088 PRO2	36,8	49,4
AG 8700 PRO3	12,7	16,6	BRS 7980 (padrão S)	46,6	44,1
FEROZ VIP	12,9	15,7			

Padrão R = resistente; padrão S = suscetível.

É muito comum, os resultados do fator de reprodução serem diferentes ou até divergentes nos trabalhos publicados. Isso acontece, principalmente, por causa das diferenças utilizadas nos materiais, nas metodologias de avaliação, nas condições experimentais e ambientais, bem como nas populações das espécies utilizadas nos estudos. Diante disto, são fundamentais a confirmação dos resultados obtidos, principalmente a resistência

ou o baixo fator de reprodução das espécies de nematoides, nos híbridos, em condições de campo regionais e até locais, em razão das nossas características de grandes extensões territoriais e bioecológicas das espécies de nematoides.

Destruição de restos culturais e revolvimento do solo

Nos atuais sistemas de produção de milho e sorgo é comum o não revolvimento do solo após a finalização da colheita, resultando na permanência das raízes por mais tempo na área. Essas raízes secas, em geral, não permitem a multiplicação dos nematoides, por serem parasitos obrigatórios, contudo, os protegem por mais tempo na área na ausência de plantas hospedeiras e condições ambientais favoráveis. O sorgo, em geral após a colheita, muitas vezes, as plantas continuam formando folhas e provavelmente raízes por várias semanas, permitindo que os nematoides deem continuidade ao seu ciclo, aumentando ainda mais a sua população para próxima safra. Para se ter uma ideia do quanto a população pode aumentar na área em um curto período de tempo, as espécies de *Meloidogyne*, completa seu ciclo entre três a cinco semanas, podendo produzir em média 500 ovos ao final dele (Lordello, 1992). Além disso, outro problema que é recorrente nas áreas de cultivo é a ausência de controle das tigueras, plantas restantes/sobreviventes do cultivo anterior. Estas plantas, além de serem hospedeiras de nematoides, permitem também a sobrevivência de diversas pragas e doenças que retornarão a causar problemas no próximo cultivo.

Partindo disso, a destruição dos restos culturais torna-se uma importante medida de controle em condições de alta infestação, por causa da sua alta eficiência na redução populacional do nematoide (Noling; Becker, 1994). No caso do milho e sorgo,

essa prática é um pouco mais complexa, já que é necessário o revolvimento do solo para que se torne efetiva. Os nematoides são sensíveis ao calor e à falta de água. Portanto, revolver o solo regularmente durante períodos quentes, ensolarados e secos, expõe as raízes à desidratação e, conseqüentemente, reduz as populações dos nematoides. Entretanto, isso pode não ser tão eficiente caso a espécie de nematoide predominante possua algum dos mecanismos de sobrevivência supracitados.

Outra medida de controle que tem mostrado resultados interessantes, é a irrigação realizada logo após o revolvimento do solo. A associação entre esses métodos pode trazer resultados interessantes, principalmente no controle das espécies de *Meloidogyne* (Dutra; Campos, 2003; Dutra et al., 2006), bem como para outras espécies.

Para compreender melhor esse método, é importante conhecer um pouco mais sobre a biologia do nematoide. Em condições ambientais favoráveis, os juvenis de segundo estágio (J_2) eclodem do ovo após, aproximadamente, 14 dias de formados. Entretanto em condições desfavoráveis de temperatura e humidade, o mecanismo de sobrevivência permite ao nematoide desenvolver-se embrionariamente, mas não eclodir, evitando que o J_2 fique livre sem a presença do hospedeiro. A eficiência do método, consiste na indução da eclosão dos J_2 no solo através da irrigação e em sua morte pela falta de alimento (Dutra; Campos, 2003; Ferraz et al., 2012).

O período necessário para a multiplicação celular e o desenvolvimento embrionário dentro do ovo dos nematoides de galha, em condições ideais de temperatura e umidade, é de 14 dias (Lee; Atkinson, 1977), encerrando com a saída do juvenil

de segundo estágio (J_2) do ovo para o solo, que imediatamente iniciará sua movimentação em busca de alimento, resultando no consumo das reservas energéticas corporais, basicamente lipídicas e glicogênicas (Chitwood, 1998), cuja perda de parte dela leva à redução da sua infectividade (Van Gundy et al., 1967).

O revolvimento do solo pode ser feito utilizando grade aradora, quanto mais profunda, melhor. É importante que a irrigação seja realizada logo após o revolvimento do solo e no mínimo 14 dias antes do plantio, dependendo das condições de umidade no ambiente, elevando o teor de água até atingir a capacidade de campo. Outro ponto importante é a realização do processo nos momentos mais quentes do dia, preferencialmente entre as 9 e 16 horas. Além disso, optar sempre por semanas quentes e preferencialmente sem chuva, de forma a elevar a eficiência do método (Campos et al., 2005).

Embora o revolvimento do solo seja um método extremamente eficaz na redução populacional do nematoide, é importante ponderar que os sistemas de preparo de solo mudaram exatamente porque trouxeram enormes benefícios. A reversão para preparos próximos ao convencional por um lado resultará na desejável redução da densidade de nematoides, mas por outro levará a consequências indesejáveis, tais como: aumento da perda de solo e oxidação da matéria orgânica do solo, redução da umidade e da densidade de organismos benéficos do solo (Galbieri; Belot, 2016), além de ajudar a disseminar os nematoides na área. Todavia, tem áreas que não tem o que disseminar, os nematoides estão em todo talhão e não adianta continuar fazendo o plantio direto e/ou cultivo mínimo nas áreas de alta infestação de nematoides, a maioria dos benefícios não são obtidos na rentabilidade das culturas. Após a destruição das

raízes, visando a dessecação das delas e do solo, para redução da infestação, o plantio direto com culturas de cobertura e resistentes deverão ser utilizadas na área.

Pousio

O pousio pode ser definido como, a permanência do solo sem nenhuma prática cultural por determinado período. Esse método de manejo surgiu com o objetivo de restabelecer a nutrição do solo, através do crescimento da vegetação espontânea na área. Entretanto, atualmente essa tática não é recomendada, pois possibilita o aumento de plantas daninhas, além disso, essas plantas servem como hospedeiras alternativas de pragas, doenças e inclusive nematoides. No caso desse último, vários são as espécies de plantas daninhas que possibilitam a multiplicação de nematoides, principalmente *Meloidogyne* spp., além de outras espécies de importância econômica. Na **Tabela 4** estão citadas algumas plantas daninhas consideradas boas hospedeiras de *M. incognita* e *M. javanica*.

Tabela 4. Algumas plantas daninhas hospedeiras de nematoides de galha (*Meloidogyne* spp.)

Espécie	Nome Comum	<i>M. incognita</i>	<i>M. javanica</i>
<i>Aeschynomene rudis</i>	Angiquinho	S	S
<i>Ageratum conyzoides</i>	Mentrasto	S	S
<i>Alternanthera tenella</i>	Apaga-fogo	S	S
<i>Amaranthus hybridus</i>	Caruru-branco	S	S
<i>Amaranthus spinosus</i>	Bredo-de-espinho	S	-
<i>Amaranthus viridis</i>	Caruru manso	S	S

Tabela 4 cont. Algumas plantas daninhas hospedeiras de nematoides de galha (*Meloidogyne* spp.)

Espécie	Nome Comum	<i>M. incognita</i>	<i>M. javanica</i>
Ambrosia elatior	Ambrosia, cravo-da-roça	-	S
Caperonia palustres	Castanheiro-do-brejo	S	S
Chenopodium album	Ançarinha-branca	S	S
Chenopodium ambrosioides	Erva-santa-maria	S	S
Chenopodium carinatum	Anserina-rendada	S	S
Commelina benghalensis	Trapoeiraba	S	S
Echinochloa colonum	Capim-arroz	S	S
Eclipta alba	Erva-de-botão	S	S
Eragrostis pilosa	Capim-barbicha-de-alemão	S	-
Euphorbia heterophylla	Amendoim-bravo	S	S
Galinsoga parviflora	Picão-branco	S	S
Gamochaeta spicata	Macela	-	S
Hyptis lophanta	Castanheiro-do-brejo	S	S
Hyptis suaveolens	Cheirosa	S	S
Ipomoea nil	Corda-de-viola	S	S
Ipomoea purpúrea	Corda-de-viola	S	S
Leonurus sibiricus	Rubim	S	S
Merremia cissoides	Corda-de-viola	S	S
Physalis angulata	Joá-de-capote	S	S
Polygonum persicaria	Erva-de-bicho	S	S
Raphanus raphanistrum	Nabiça	S	S

Tabela 4 cont. Algumas plantas daninhas hospedeiras de nematoides de galha (*Meloidogyne* spp.)

Espécie	Nome Comum	<i>M. incognita</i>	<i>M. javanica</i>
Rhynchelytrum repens	Capim-favorito	S	S
Setaria itálica	Moa	S	S
Siegesbeckia orientalis	Botão-de-ouro	S	S
Solanum americanum	Maria-pretinha	S	S
Solanum sisymbriifolium	Joá-bravo	-	S
Verbena litoralis	Erva-de-pai-caetano	S	S

S = Suscetível

Fonte: Adaptado de Mônico et al. (2009) e Silva et al. (2013).

Dessa forma, o controle dos nematoides, em razão do efeito do pousio, pode ser bastante variável. Se o número de plantas daninhas hospedeiras de *Meloidogyne* spp. for elevado, é possível que a população desses fitoparasitos sofra reduções pouco significativas, podendo inclusive elevar-se, dependendo do fator de reprodução da planta daninha e do seu grau de incidência na área (Galbieri; Belot, 2016). Sabendo disso é importante o monitoramento das plantas daninhas presentes no ambiente de cultivo, sendo necessário a tomada de medidas de controle, de forma a evitar a proliferação de nematoides na área, bem como de outras pragas e doenças.

Rotação de culturas

A rotação de culturas pode ser definida como a alternância regular do cultivo de diferentes espécies vegetais, numa sequência

temporal em determinada área agrícola (Prestes et al., 1999). Já a sucessão de culturas é definida como ordenamento de duas culturas na mesma área agrícola por tempo indeterminado, cada qual cultivada em uma estação do ano (Franchini et al., 2011). Os dois métodos objetivam manter ou reestabelecer o equilíbrio biológico do solo e a ciclagem de nutrientes, além disso, ambos podem ser eficientes no manejo de nematoides, entretanto, devem ser muito bem planejados, uma vez que a maioria das espécies cultivadas, multiplicam os nematoides, principalmente os nematoides de galha (Dias et al., 2010a).

Como já foi dito as espécies de *Meloidogyne* são pouco seletivas, ou seja, apresentam ampla gama de hospedeiros. Desse modo, há comprometimento da utilização de rotação de culturas, pois existe escassez de opções de plantas resistentes ou com baixo fator de reprodução (Pinto et al., 2006). Além disso, outro ponto importante é que na maioria dos casos, as culturas que apresentam resistência aos nematoides de galha, não são economicamente rentáveis ao agricultor, reduzindo ainda mais as opções disponíveis no mercado. Entretanto, a prática de rotação de culturas, quando bem empregada, traz inúmeros benefícios ao solo e conseqüentemente o incremento da produtividade da cultura em questão, não apenas para a próxima safra, mas, por várias.

A associação de espécies vegetais por meio da rotação, sucessão, consórcio de culturas e integração lavoura-pecuária, além da utilização de adubos verdes, aumenta a diversidade de espécies, e conseqüentemente a quantidade e a qualidade dos resíduos vegetais e da matéria orgânica, favorecendo a agregação do solo (Carvalho et al., 1999). A utilização de adubos verdes, no sistema de rotação, é uma prática que vem sendo utilizada a bastante

tempo no controle de pragas e doenças (Curl, 1963; Makunde et al., 2018). Além de permitir que o solo seja beneficiado com os efeitos positivos de cada uma das espécies usadas no sistema, principalmente no que se refere aos seguintes aspectos: persistência da palhada sobre a superfície do solo para minimizar a erosão; capacidade de produção de fitomassa para ciclagem de C, N e outros nutrientes; capacidade de supressão de plantas daninhas; aumento da agregação, da infiltração e do armazenamento de água no solo; e resistência à erosão (Lima Filho et al., 2014), além de redução na temperatura do solo, bem como evita e/ou retarda a disseminação de nematoides na área pelo maquinário, água de chuva e vento.

Os principais adubos verdes atualmente utilizados para produção de palhada tem sido as braquiárias, as crotalárias e os milhetos, principalmente em cultivos consorciados ou em sucessão ao cultivo de milho, ou ainda, logo nas primeiras chuvas da primavera, antecedendo a cultura de verão subsequente. De maneira geral, as braquiárias, as crotalárias e os milhetos em uso no Brasil têm se mostrado boas opções, se tratando de baixo fator de reprodução dos nematoides de galhas, com algumas variações entre diferentes espécies de nematoides e cultivares (Brito; Ferraz, 1987; Dias-Arieira et al., 2003). Se tratando de leguminosas, podemos citar as crotalárias como as principais representantes desse grupo na redução de *Meloidogyne* spp., tendo como destaque as espécies *Crotalaria spectabilis*, *C. breviflora*, *C. grantiana*, *C. mucronata*, *C. paulinea*. Além das crotalárias, outras culturas podem ser interessantes no manejo dos nematoides de galha, sendo que mucuna preta, mucuna cinza e nabo forrageiro, já foram relatadas como opções na redução populacional das espécies de *M. javanica* e *M. incognita* (Dias

et al., 2010), contudo, podem apresentar resultados variáveis, devendo ser evitadas a utilização delas.

Um outro método que vem ganhando popularidade dentre os produtores, é a consorciação de braquiária e/ou milheto com crotalária, além de outras culturas, objetivando resolver as principais limitações de *C. spectabilis* e *C. breviflora* como culturas de coberturas, que são de crescimento inicial muito lento e a palhada de decomposição muito rápida. Como todo consórcio, o efeito sobre os nematoides é uma média do efeito de cada componente, ponderado de acordo com a quantidade relativa de raízes de cada um. Por exemplo, algumas cultivares de milheto são boas hospedeiras de *M. incognita*, entretanto *C. spectabilis* é considerada como não hospedeira. Os exemplares do nematoide que infectarem as raízes de milheto irão se reproduzir, e os que infectarem as de *C. spectabilis*, não. Portanto, o efeito do consórcio no manejo desse nematoide não será tão ruim como uma cultura solteira de milheto, nem tão bom como em uma solteira de *C. spectabilis* (Galbieri; Belot, 2016). Também, o pouco da manutenção e/ou aumento da população de nematoide galha na área, pelo milheto, poderá ser muito para a cultura em sucessão, trazendo significativas perdas. Portanto, o monitoramento permanente da lavoura é essencial para evitarmos ao máximo o impacto dos nematoides na rentabilidade das culturas.

Visto a importância dos sistemas de rotação/sucessão, tanto no manejo ecológico do solo quanto no controle de nematoides, é importante ressaltar que seu sucesso no controle desse patógeno só é efetivo com a escolha adequada da cultura que ingressara no sistema, sendo preferível as espécies não hospedeiras e/ou

resistentes e as com maior produção e persistência de palhada no solo.

Utilização de nematicidas químicos e biológicos

Dentre os nematicidas disponíveis no mercado, os biológicos vem sendo os mais utilizados e se destacando, pois promovem a redução das populações de nematoides pela ação de outro organismo vivo, que ocorre naturalmente no solo, ou através da manipulação do ambiente incluindo a introdução de organismos antagonistas. Baseia-se na relação antagônica entre micro-organismos e fitopatógenos, tais como os nematoides, podendo ser caracterizado por diferentes modos de ação: antibiose, predação, indução de resistência da planta hospedeira, micoparasitismo, produção de enzimas e toxinas, colonização sistêmica da planta hospedeira, competição por nutrientes e sítios de colonização e liberação de enzimas hidrolíticas que atuam na degradação da parede celular (Bettiol; Morandi, 2009). Mais de 200 diferentes organismos são considerados inimigos naturais dos nematoides, como fungos, bactérias, nematoides predadores, ácaros, entre outros (Poinar; Jansson, 1988; Kerry, 1990).

Até o momento, no Brasil, os seguintes produtos biológicos estão registrados para controle de pelo menos uma das espécies de Meloidogyne: Andril® e Andril Prime® à base da bactéria *Bacillus firmus*, Nemat® à base do fungo *Purpureocillium lilacinum* (Sin. *Paecilomyces lilacinus*), Oleaja® e Oleaja Prime® à base de *B. firmus*, Onix® e Onix OG® à base da bactéria *B. methylotrophicus*, Quartzo® à base das bactérias *B. subtilis* e *B. licheniformis*, Rizos® e Rizos OG® à base de *B. firmus*, Rizotec® à base do fungo *Pochonia chlamydosporia*, Votivo Prime® à base de *B. firmus*

e Presence® à base de *B. subtilis*. Mais informações sobre os produtos podem ser obtidas no sistema AGROFIT do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Brasil, c2003).

Não foram encontrados estudos publicados de eficiência de controle de nematoides de galha nas culturas de milho e sorgo, com os produtos mencionados anteriormente.

Com relação aos nematicidas químicos, até o momento não há produtos formulados, registrados para o controle de nematoides de galha nas culturas do milho e sorgo.

Considerações finais

Os nematoides de galha são de extrema importância no sistema de produção de milho e sorgo. Sua baixa seletividade aos hospedeiros, permitem sua permanência e rápida proliferação nas áreas de cultivo, demandando medidas cada vez mais eficientes no controle desse patógeno. A principal forma de controle é o manejo preventivo, buscando evitar a entrada e estabelecimento do patógeno, posterior a isso, é importante a associação entre as medidas de controle, tais como, o alqueive, visando a destruição das raízes com alta infecção, dessecação delas e do solo, com o uso de grade e/ou arado; rotação de culturas com não hospedeiras e/ou resistentes; controle biológico com produtos via tratamento de sementes e/ou aplicados no sulco de plantio e o uso de híbridos resistentes (controle genético) e/ou com baixo fator de reprodução (FR), estão entre os métodos disponíveis e mais eficazes que podem ser utilizados visando a redução populacional de nematoides. Este último método se destaca dos demais, em geral tem sido o mais utilizado, por seu baixo custo, facilidade de utilização e eficiência na

redução populacional das espécies de nematoides. Contudo, outras espécies podem aumentar com a utilização desta prática, sendo necessário o monitoramento da área permanentemente, através da observação visual no desenvolvimento das partes aéreas e raízes, principalmente a sanidade de raízes e análises nematológicas, sempre que necessária. Portanto, a associação entre esses métodos mencionados, é fundamental e aumenta a eficiência de controle, uma vez que é difícil atingir os nematoides no solo e nas raízes, bem como uma prática pode ser mais eficiente para uma espécie e menos para outra. Também, um solo bem manejado, com condições físicas, químicas e biológicas adequadas, que permita um desenvolvimento de raízes em maior profundidade e volume, proporciona um efeito de diluição na população de nematoides, permitindo uma maior tolerância das plantas, melhor produtividade e rentabilidade das culturas.

Referências

AMORIM, L. Sobrevivência do inóculo. In: BERGAMIN FILHO, A.; KIMATI, H.; AMORIM, L. (Ed.). **Manual de fitopatologia**: princípios e conceitos. 3. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1995. v. 1, p. 246-267.

ASMUS, G. L.; ANDRADE, P. J. M. Reprodução de *Meloidogyne javanica* em cultivares de milho. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v. 21, n. 2, p. 39-47, 1997.

ASMUS, G. L.; FERRAZ, L. C. C. B.; APPEZZATO-DA-GLÓRIA, B. Alterações anatômicas em raízes de milho (*Zea mays* L.) parasitadas por *Meloidogyne javanica*. **Nematrópica**, v. 30, n. 1, p. 33-39, 2000.

BALDWIN, J. G.; BARKER, K. R. Histopathology of corn hybrids infected with root-knot nematode, *Meloidogyne incognita*. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 60, p. 1195-1198, 1970.

BARKER, K. R.; PEDERSON, G. A.; WINDHAM, G. L. **Plant and nematode interactions**. Madison: American Society of Agronomy, 1998. 771 p.

BETTIOL, W.; MORANDI, M. A. **Biocontrole de doenças de plantas: uso e perspectivas**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2009. 341 p.

BIRD, G. The nematodes that attack corn and how they do their damage. In: MIDWEST CORN NEMATODE CONFERENCE, 1., 1978, Springfield. **Proceedings...** Springfield: FMC Corporation, 1978. p. 13-26.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **AGROFIT: sistema de agrotóxicos fitossanitário**. Brasília, DF, c2003. Disponível em: <http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons>. Acesso em: 20 maio 2018.

BRITO, J. A. de; FERRAZ, S. Antagonismo de *Brachiaria decumbens* e *Panicum maximum* cv. Guiné a *Meloidogyne javanica*. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v. 11, p. 270-285, 1987.

BRITO, J. A.; ANTONIO, H. Reação de genótipos de milho a *Meloidogyne javanica*. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v. 14, p. 7-8, 1990.

CAMPOS, V. P.; DUTRA, M. R.; SILVA, J. R. C.; VALÉRIO, C. R. **Revolvimento do solo e irrigação no controle de fitonematoides**. Lavras: UFLA, 2005. 36 p. (Boletim Agropecuário, 63).

CAMPOS, V. P. Doenças causadas por nematoides. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte v. 11, p. 21-28, 1985.

CARNEIRO, R. G.; MORITZ, M. P.; MÔNACO, A. P. A.; NAKAMURA, K. C.; SCHERER, A. Reação de milho, sorgo e milheto a *Meloidogyne incognita*, *M. javanica* e *M. paranaensis*. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v. 31, n. 2, p. 9-13, 2007.

CARVALHO, A. M.; BURLE, M. L.; PEREIRA, J.; SILVA, M. A. **Manejo de adubos verdes no cerrado**. Planaltina, DF: Embrapa-CPAC, 1999. 28 p. (Embrapa-CPAC. Circular Técnica, 4).

CASTAGNONE-SERENO, P. Genetic variability of nematodes: a threat to the durability of plant resistance genes? **Euphytica**, Netherlands, v. 124, p. 193-199, 2002.

CHEN, Z. X.; CHEN, S. Y.; DICKSON, D. W. **Nematology**: nematode management and utilization. Wallingford: CABI Publishing, 2004. v. 2, 1234 p.

CHITWOOD, D. J. Biosynthesis. In: PERRY, R. N.; WRIGHT, D. J. (Ed.). **The physiology and biochemistry of free-living and plant-parasitic nematodes**. London: CAB International, 1998. p. 303-330.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Série histórica das safras**. Brasília, DF, 2017. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras?start=10>>. Acesso em: 22 maio 2018.

COSTA, R. V.; CASELA, C. R.; COTA, L. V. **Sistemas de produção**, ISSN 1679-012X Versão eletrônica. 9. ed. 2015. Disponível

em: <https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p_p_id=conteudoportlet_WAR_sistemasdeproducao6_1ga1ceportlet_p_lifecycle=0ep_p_state=normalep_p_mode=viewep_p_col_id=column-1ep_p_col_count=1ep_r_p_-76293187_sistemaProducaoId=7905ep_r_p_-996514994_topicId=8666>. Acesso em: 14 jun. 2018.

CURL, E. A. Control of plant diseases by crop rotation. **The Botanical Review**, New York, v. 29, n. 4, p. 413-479, 1963.

DAVIS, R. F.; TIMPER, P. Resistance in selected corn hybrids to *Meloidogyne arenaria* and *M. incognita*. **Journal of Nematology**, Raleigh, v. 32, p. 633-640, 2000.

DE WAELE, D.; McDONALD, A. H. Diseases caused by nematodes. In: FREDERIKSEN, R. A.; ODVODY, G. N. (Ed.). **Compendium of sorghum diseases**. 2. ed. Saint Paul: American Phytopathological Society, 2000. p. 50-53.

DIAS, W. P.; GARCIA, A.; SILVA, J. F. V.; CARNEIRO, G. D. S. **Nematoides em soja**: identificação e controle. Londrina: Embrapa Soja, 2010a. 7 p. (Embrapa Soja. Circular Técnica, 76).

DIAS, W. P.; FREITAS, V. M.; RIBEIRO, N. R.; MOITA, A. W.; CARNEIRO, R. M. D. G. Reação de genótipos de milho a *Meloidogyne mayaguensis* e *M. ethiopica*. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v. 34, p. 98-105, 2010b.

DIAS-ARIEIRA, C. R.; FERRAZ, S.; FREITAS, L. G.; MIZOBUTSI, E. H. Avaliação de gramíneas forrageiras para controle de *Meloidogyne incognita* e *M. javanica* (Nematoda). **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 25, n. 2, p. 473-477, 2003.

DUARTE, A. P.; LORDELLO, A. I. L.; LORDELLO, R. R. A.; SAWAZAKI, E.; KANTHACK, R. A. Comportamento de cultivares de milho em área infestada por *Pratylenchus* spp. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v. 18, n. 1/2, p. 5-6, 1994.

DUTRA, M. R.; CAMPOS, V. P.; ROCHA, F. S.; SILVA, J. R.; POZZA, E. A. Manejo do solo e da irrigação no controle de *Meloidogyne incognita* em cultivo protegido. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, DF, v. 31, p. 405-407, 2006.

DUTRA, M. R.; CAMPOS, V. P. Manejo do solo e da irrigação como nova tática de controle de *Meloidogyne incognita* em feijoeiro. "Soil and water management as a new tactic for controlling *Meloidogyne incognita* in *Phaseolus vulgaris*". **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, DF, v. 28, n. 6, p. 608-614, 2003.

FERRAZ, S.; FREITAS, L. G.; LOPES, E. A.; DIAS-ARIEIRA, C. R. **Manejo sustentável de fitonematoides**. Viçosa, MG: UFV, 2010. 306 p.

FORNASIERI FILHO, D. **Manual da cultura do milho**. Jaboticabal: Funep, 2007. 273 p.

FRANCHINI, J. C.; COSTA, J. M. da; DEBIASI, H.; TORRES, E. **Importância da rotação de culturas para a produção agrícola sustentável no Paraná**. Londrina: Embrapa Soja, 2011. 52 p. (Embrapa Soja. Documentos, 327).

GALBIERI, R.; BELOT, J. L. (Ed.). **Nematoides fitoparasitas do algodoeiro nos cerrados brasileiros: biologia e medidas de controle**. Cuiabá: Instituto Mato-Grossense do Algodão, 2016. 339 p. (Boletim de P&D, n. 3).

GALLAHER, R. N.; MCSORLEY, R.; DICKSON, D. W. Nematode densities associated with corn and sorghum cropping system in Florida. **Journal of Nematology**, Lakeland, v. 23, p. 668-672, 1991. Supplement.

GARCIA, J. C.; MATTOSO, M. J.; DUARTE, J. de O.; CRUZ, J. C.; PADRÃO, G. de A. Aspectos econômicos da produção e utilização do milho. In: CRUZ, J. C.; KARAM, D.; MONTEIRO, M. A. R.; MAGALHAES, P. C. (Ed.). **A cultura do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2008. cap. 1, p. 21-46.

GOULART, A. M. C. **Aspectos gerais sobre os nematoides das lesões radiculares (gênero *Pratylenchus*)**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2008. 30 p. (Embrapa Cerrados. Documentos, 219).

HUSSAIN, M. A.; MUKHTAR, T.; KAYANI, M. Z. Characterization of susceptibility and resistance responses to root-knot nematode (*Meloidogyne incognita*) infection in okra germplasm. **Pakistan Journal of Agricultural Science**, Faisalabad, v. 51, p. 309-314, 2014.

JANSSON, H. B.; TUNLIB, A.; NORDBRING-HERTZ, B. Biological control: nematodes. In: ANKE, T. (Ed.). **Fungal biotechnology**. Weinheim: Chapman and Hall, 1997. p. 38-50.

JEPSON, S. B. **Identification of root-knot nematodes (*Meloidogyne* species)**. Wallingford: CAB International, 1987.

JONES, T. J.; HAEGEMAN, A.; DANCHIN, E. G. J.; GAUR, H. S.; JONES, M. G. K.; KIKUCHI, T.; MANZANILLA-LÓPEZ, R.; PALOMARES-RIUS, J. E.; WESEMAEL, W. M. L.; PERRY, R. N. Top 10 plant-parasitic nematodes in molecular plant pathology. **Molecular Plant Pathology**, v. 14, n. 9, p. 946-961, 2013.

KERRY, B. R. An assessment of progress toward microbial control of plant-parasitic nematodes. **Journal of Nematology**, College Park, v. 22, n. 4S, p. 621, 1990.

KOLLO, I. A. Plant-parasitic nematodes of sorghum and pearl millet: Emphasis on Africa. In: LESLIE, J. F. (Ed.). **Sorghum and millets diseases**. Chichester: John Wiley, 2002. p. 259-266.

KRISHNAMURTHY, G. V. G.; ELIAS, N. A. Host range of *Meloidogyne incognita* causing root-knot on tobacco in Hunsur. **Indian Phytopathology**, New Delhi, v. 20, n. 3, p. 274-277, 1967.

LEE, D. L.; ATKINSON, H. J. **Physiology of nematodes**. New York: Columbia University Press, 1977.

LEVY, R. M.; HOMECHIN, M.; SANTIAGO, D. C.; CADIOLI, M. C.; BAIDA, F. C. Reação de milho ao parasitismo de *Meloidogyne incognita* raça 1 e *M. paranaensis*. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 31, p. 575-578, 2009.

LIMA FILHO, O. F.; AMBROSANO, E. J.; ROSSI, F.; CARLOS, J. A. D. **Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e prática**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. v. 2, 507 p.

LIU, B.; REN, J.; ZHANG, Y.; AN, J.; CHEN, M.; CHEN, H.; XU, C.; REN, H. A new grafted rootstock against root-knot nematode for cucumber, melon, and watermelon. **Agronomy for Sustainable Development**, Paris, v. 35, p. 251-259, 2015.

LORDELLO, L. G. E. **Nematóides das plantas cultivadas**. 8. ed. São Paulo: Nobel, 1992. 314 p.

LORDELLO, A. I. L.; LORDELLO, R. R. A.; SAWASAKI, E. Resistência de milho a *Meloidogyne javanica*. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v. 13, p. 71-79, 1989.

LORDELLO, R. R. A.; LORDELLO, A. I. L.; SAWAZAKI, E. Avaliação da resistência de milho a *Meloidogyne incognita* raça 3. **Summa Phytopathologica**, Jaboticabal, v. 27, p. 86-88, 2001.

LORDELLO, R. R. A.; LORDELLO, A. I. L.; SAWAZAKI, E.; TREVIISAN, W. L. Nematóide das galhas danifica lavoura de milho em Goiás. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v. 10, p. 145-149, 1986.

LORDELLO, R. R. A.; SAWAZAKI, E.; LORDELLO, A. I. L.; ALOISI-SOBRINHO, J. Controle de *Pratylenchus* spp. em milho com nematicidas sistêmicos e com torta de mamona. **Sociedade Brasileira de Nematologia**, Piracicaba, v. 7, p. 241-250, 1983.

LORDELLO, R. R. A.; LORDELLO, A. I. L.; SAWAZAKI, E.; ALOISI-SOBRINHO, J. Reação de genótipos de milho a *Pratylenchus* spp. em campo. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v. 9, p. 163-173, 1985.

LUC, M.; SIKORA, R. A.; BRIDGE, J. **Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture**. 2nd. ed. Wallingford: CABI Publishing, 2005. 877 p.

MAKUNDE, P. T.; DIMBI, S.; MAHERE, T. S. Leguminous crops as an alternative rotation with tobacco to control *Meloidogyne javanica*. **Journal of Entomology and Nematology**, v. 10, n. 1, p. 1-5, 2018.

MANZOTTE, U.; DIAS, W. P.; MENDES, M. L.; SILVA, J. F. V.; GOMES, J. Reação de híbridos de milho a *Meloidogyne javanica*. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v. 26, p. 105-108, 2002.

MAQBOOL, M. A. Occurrence of eight cyst nematodes on some agricultural crops in Pakistan. **Journal of Science**, Pakistan, v. 8, p. 103-108, 1980.

MAQBOOL, M. A. Occurrence of root-knot and cyst nematode in Pakistan. **Nematologia Mediterranea**, Bari, v. 9, p. 211-212, 1981.

McDONALD, A. H.; NICOL, J. M. Nematode parasites of cereals. In: LUC, M.; SIKORA, R. A.; BRIDGE, J. **Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture**. 2. ed. Wallingford: CABI Publishing, 2005. p. 131-192.

MICHEREFF, S. J.; ANDRADE, D. E. G. T.; MENEZES, M. **Ecologia e manejo de patógenos radiculares em solos tropicais**. Recife: UFRP-Imprensa Universitária, 2005. 398 p.

MÔNACO, A. P. D. A.; CARNEIRO, R. G.; KRANZ, W. M.; GOMES, J. C.; SCHERER, A.; SANTIAGO, D. C. Reação de espécies de plantas daninhas a *Meloidogyne incognita* raças 1 e 3, a *M. javanica* e a *M. paranaensis*. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v. 33, n. 3, p. 235-242, 2009.

MOORE, W. F.; BOST, S. C.; BREWER, F. L.; DUN, R. A.; ENDO, B. Y.; GRAU, C. R.; HARDMAN, L. L.; JACOBSEN, B. J.; LEFFEL, R.; NEWMAN, M. A.; NYVALL, R. F.; OVERSTREET, C.; PARKS, C. L. **Soybean cyst nematode**. Washington: Soybean Industry Resource Committee, 1984. 23 p.

MORITZ, M. P.; MÔNACO, A. P. A.; CARNEIRO, R. G.; SCHERER, A.; SANTIAGO, D. C.; NORA, T. D. Reação de cultivares de milho e soja a *Meloidogyne paranaensis*. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v. 33, p. 94-98, 2009.

MORITZ, M. P.; SIMÃO, G.; CARNEIRO, R. G. Reação de genótipos de milho às raças 1 e 3 de *Meloidogyne incognita* e a *M. paranaensis*. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v. 27, p. 211-214, 2003.

MÔRO, G. V.; FRITSCHÉ-NETO, R. Importância e usos do milho no Brasil. In: BORÉM, A.; GALVÃO, J. C. C.; PIMENTEL, M. A. (Ed.). **Milho: do plantio à colheita**. Viçosa, MG: UFV, 2015. p. 9- 25.

MOTALAOTE, B.; STARR, J. L.; FREDERICKSON, R. A.; MILLER, F. R. Host status and susceptibility of sorghum to *Pratylenchus* species. **Revue de Nématologie**, Paris, v. 10, p. 81-86, 1987.

NOLING, J. W.; BECKER, J. O. The challenge of research and extension to define and implement alternatives to methyl bromide. **Journal of Nematology**, Saint Paul, v. 26, n. 4S, p. 573, 1994.

PERRY, R. N.; MOENS, M.; STARR, J. L. *Meloidogyne* species: a diverse group of novel and important plant parasites. In: PERRY, R. N.; MOENS, M.; STARR, J. L. (Ed.). **Root-Knot nematodes**. Wallingford: CABI, 2010. p. 1-17.

PINHEIRO, J. B.; RODRIGUES, C. S.; CARVALHO, A. D. F.; PEREIRA, R. B. **Nematoides na cultura da batata-doce**. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2012. 9 p. (Embrapa Hortaliças. Circular Técnica, 105).

PINTO, N. F. J. A. **Doenças de sorgo causadas por nematoides**. Sete Lagoas: Embrapa-CNPMS, 2003. 3 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Comunicado Técnico, 84).

PINTO, N. F. J. A.; SANTOS, M. A.; WRUCK, D. S. M. Principais doenças da cultura do milho. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 27, n. 233, p. 82-94, 2006.

POINAR JR., G. O.; JANSSON, H. **Diseases of nematodes**. Boca Raton: CRC Press, 1988. v. 1, 149 p.

PRASAD, J. S.; SESHU REDDY, K. V.; SOKORA, R. A. Hosts of the banana root-lesion nematode, *Pratylenchus goodeyi* in East Africa. **Nematologia Mediterrânea**, Italy, v. 23, p. 253-254, 1995.

PRESTES, A. R.; VALE, F. X. R.; ZAMBOLIM, L.; JESUS JÚNIOR, W. C.; COSTA, H. Rotação de culturas no manejo de doenças de plantas. **Revisão Anual de Patologia de Plantas**, v. 7, p. 369-405, 1999.

RIBAS, P. M. **Sorgo**: introdução e importância econômica. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2003. 14 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos, 26).

RIBAS, P. Importância econômica. In: RODRIGUES, J. A. S. (Ed.). **Cultivo do sorgo**. 5. ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2009. (Embrapa Milho e Sorgo. Sistema de produção, 2).

RITZINGER, C. H. S. P.; FANCELLI, M.; RITZINGER, R. Nematoides: bioindicadores de sustentabilidade e mudanças edafoclimáticas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Cruz das Almas, v. 32, n. 4, p. 1289-1296, 2010.

SANTOS, T. de F. S. dos; SILVA, R. G. da; SILVA, M. B. S. da; RIBEIRO, L. Q.; MORAES, E. P. de; SCHIMOLLER, R. C.; SANTOS, T. S. dos. Comportamento de híbridos de milho a *Meloidogyne javanica*. In: SEMINÁRIO NACIONAL [DE] MILHO SAFRINHA, 14., 2017, Cuiabá. **Construindo sistemas de produção sustentáveis e rentáveis**: livro de palestras. Sete Lagoas: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2017. p. 311-316.

SASSER, J. N.; FRECKMAN, D. W. A world perspective on nematology: the role of the society. In: VEECH, J. A.; DICKSON, D. W. (Ed.). **Vistas on nematology**. Hyattsville: Society of Nematologists, 1987. p. 714.

SHARMA, S. B.; McDONALD, D. Global status of nematode problems of groundnut, pigeonpea, chickpea, sorghum and pearl millet, and suggestions for future work. **Crop Protection**, Guildford, v. 9, p. 453-458, 1990.

SHEWALE, S. D. **Studies in the enzymatic depolymerisation of natural polisaccharides**. 2008. 268 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - University of Mumbai, Mutunga, 2008.

SILVA, J. F. V.; DIAS, W. P.; MANSOTE, U.; GOMES, J. **Produção de grãos em ambientes com nematoides de galha**. Londrina: Embrapa Soja, 2001. 20 p. (Embrapa Soja. Documentos, 168).

SILVA, R. G. da; SANTOS, T. de F. S. dos; CORADINI, D.; SILVA, M. B. S. da; RIBEIRO, L. Q.; SANTOS, T. S. dos; SILVA, S. S. S. S. Reação de híbridos de milho a *Meloidogyne incognita*. In: SEMINÁRIO NACIONAL [DE] MILHO SAFRINHA, 14., 2017, Cuiabá. **Construindo sistemas de produção sustentáveis e rentáveis**: livro de palestras. Sete Lagoas: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2017. p. 317-322.

SILVA, S. L.; SANTOS, T. F.; RIBEIRO, N. R.; SILVÉRIO, A. T.; MORAIS, T. S. Reação de plantas daninhas a *Meloidogyne incognita* e *M. javanica*. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v. 37, p. 3-4, 2013.

SMITH, C. W.; FREDERIKSEN, R. A. (Ed.). **Sorghum**: origin, history, technology, and production. New York : John Wiley, 2000. 824 p.

TECNOLOGIAS de produção de soja - Região Central do Brasil 2012 e 2013. Londrina: Embrapa Soja, 2011. 261 p. (Embrapa Soja. Sistemas de Produção, 15).

TRUDGILL, D. L. Resistance to and tolerance of plant parasitic nematodes in plants. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v. 29, p. 167-192, 1991.

VAN GUNDY, S. D.; BIRD, A. F.; WALLACE, H. R. Aging and starvation in juvenile or *Meloidogyne javanica* and *Tylenchulus semipenetrans*. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 57, p. 559-571, 1967.

WILCKEN, S. R. S.; FUKAZAWA, R. M.; ROSA, J. M. O.; JESUS, A. M.; BICUDO, S. J. Reprodução de *Meloidogyne incognita* raça 2 e *M. javanica* em genótipos de milho em condições de casa-de-vegetação. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v. 30, p. 35-38, 2006.

WINDHAN, G. L. Corn. In: BARKER, K. R.; PEDERSON, G. A.; WINDHAN, G. L. **Plant and nematode interactions**. Madison: American Society of Agronomy, 1998. p. 335-357.

WINDHAN, G. L.; WILLIAMS, W. P. Resistance of maize inbreds to *Meloidogyne incognita* and *M. arenaria*. **Plant Disease**, Saint Paul, v. 72, n. 1, p. 67-69, 1988.

Capítulo 4

É Possível Aumentar a Produtividade de Sorgo Granífero no Brasil?

Cícero Beserra de Menezes

Antônio Marcos Coelho

Alexandre Ferreira da Silva

Dagma Dionísia Silva

Simone Martins Mendes

Carlos Juliano Brant Albuquerque

José Avelino Santos Rodrigues

Introdução

O sorgo é o quinto cereal mais importante do mundo, podendo seu grão ser utilizado na alimentação humana, animal e produção de etanol. O grão de sorgo é produto de alta liquidez, pelo seu elevado valor nutricional, sendo excelente alternativa para compor rações com qualidade e menor custo. Por ser um dos cereais mais tolerantes à seca, o sorgo é considerado uma cultura de segurança para plantios em final de chuva ou épocas com chuvas erráticas e mal distribuídas.

Na **Figura 1** são apresentados série histórica de área, rendimento e produção de sorgo no Brasil entre os anos de 1977 e 2017 (Acompanhamento da Safra Brasileira [de] Grãos, 2018). Observa-se que a produção do grão aumentou 430%, passando de 435 mil toneladas em 1977 para 1,9 milhão de tonelada em 2017. A partir de meados da década de 90 houve aumento significativo de área no Brasil, alavancado pelo Grupo Pró-Sorgo, constituído de representantes da indústria de sementes, da pesquisa agropecuária, de instituições públicas e outros, que teve como

objetivo o fomento da produção de sorgo no Brasil, com maior divulgação das potencialidades da cultura e suas modernas tecnologias, como a adoção de híbridos simples.

Este aumento de produção deveu-se basicamente ao aumento de área e pouco ao aumento de produtividade. Neste período estudado a área de sorgo no Brasil aumentou 350%, passando de 178 mil hectares para 628 mil hectares, explicando quase totalmente o aumento de produção.

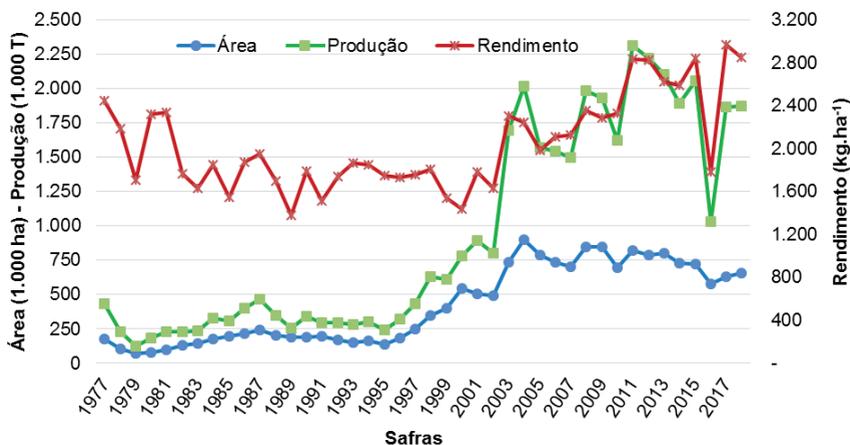


Figura 1. Série histórica de produção, área e produtividade de sorgo granífero no Brasil. 2018. Fonte: Acompanhamento da Safra Brasileira [de] Grãos (2018).

O rendimento de grãos durante este período aumentou somente 20%, equivalendo a apenas 10 kg ha⁻¹ ano⁻¹. Observa-se um período de queda e depois um de recuperação do rendimento de grãos. Esta oscilação é explicada pela época de plantio do sorgo. Inicialmente a segunda safra (safrinha) era plantada toda com sorgo, ou seja, o produtor colhia a soja ou o milho em janeiro e já plantava o sorgo. Com a valorização da soja, o

milho foi empurrado para a segunda safra, e conseqüentemente também levou o plantio de sorgo para épocas mais tardias. Com os trabalhos do Grupo Pró-Sorgo e desenvolvimento de híbridos mais adaptados à safrinha tardia o rendimento voltou a aumentar nas últimas décadas. Mas a pesquisa em sistema de produção e melhoramento do milho evolui mais rápido do que a de sorgo, e a cada ano o plantio do milho está mais tarde, levando o plantio do sorgo para épocas ainda mais marginais (Menezes et al., 2015).

As regiões Centro-Oeste e Sudeste respondem por 90% da produção nacional de sorgo, mesmo assim as regiões Sul e Nordeste também têm mostrado investimentos em pesquisa e divulgação da cultura. Goiás é o principal estado produtor, com 46% da produção nacional, seguido por Minas Gerais com 34% (Acompanhamento da Safra Brasileira [de] Grãos, 2018). Na **Figura 2**, são apresentados área e rendimento nos principais estados produtores de sorgo. À semelhança da produção, as maiores áreas de sorgo estão nos estados de Goiás e Minas Gerais, seguidos por Bahia e Mato Grosso. Os rendimentos por hectare variam entre os estados, sendo o Distrito Federal a unidade que apresenta maiores rendimentos, com médias acima de quatro toneladas por hectare (**Figura 2**).

Apesar dos aumentos observados na produtividade, a média nacional está muito aquém do potencial desta cultura. Experimentos demonstram que a produtividade dos híbridos mais novos pode ultrapassar $7,0 \text{ t ha}^{-1}$, em condições favoráveis de safrinha (Santos et al., 2005; Resende et al., 2009). Estudos de viabilidade econômica mostram que produtividades acima de 2.750 kg ha^{-1} de sorgo cobrem até os custos fixos da cultura. Se considerarmos a impossibilidade de semeadura de outro cereal nesta época de plantio, e que o produtor terá estes custos fixos

de qualquer forma, a produtividade média já apresentada pelo sorgo é suficiente para cobrir os custos (Godinho et al., 2011; Barros, 2008). No entanto, dado ao seu potencial, fica evidente que seguindo as recomendações técnicas o sucesso desta cultura poderá ser ainda maior.

Neste capítulo serão abordados os fatores essenciais para aumento da produtividade de sorgo, de forma a incentivar o produtor a buscar o potencial máximo ofertado pela cultura. Muitas tecnologias estão disponíveis ao produtor, no entanto, faltam incentivos para a pesquisa e extensão, e novos parceiros poderão ajudar no desenvolvimento e expansão desta cultura.

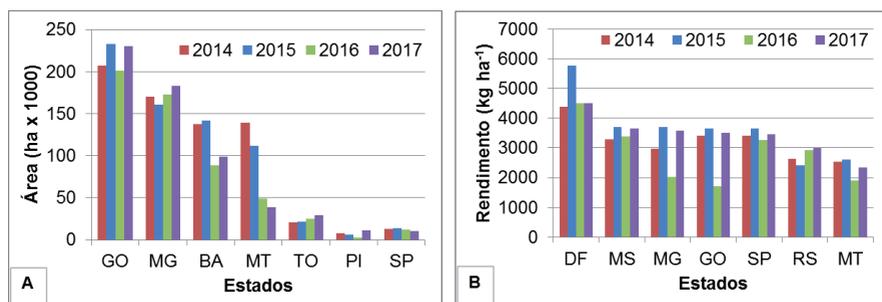


Figura 2. Áreas de produção (A) e rendimento de grãos (B) nos principais estados produtores de sorgo. Fonte: Acompanhamento da Safra Brasileira [de] Grãos (2018).

Fatores que determinam altos rendimentos em sorgo granífero

Planejamento da lavoura

O plantio de sorgo deverá ter um planejamento prévio realizado pelo produtor, auxiliado pela assistência técnica de alguma instituição de pesquisa ou mesmo da empresa em que ele

está adquirindo seus insumos. O produtor deve estabelecer metas e delinear um cronograma de atividades para assim ele ter maior aproveitamento de mão de obra e maquinário. Todo o planejamento da lavoura de sorgo deverá ser feito quando o produtor ainda estiver para colher sua lavoura de soja. A primeira decisão é escolher a área de plantio do sorgo e rever a análise de solo desta área. Baseado no tamanho da área, deve-se realizar levantamento de custos.

A compra de corretivos e fertilizantes precisa ser feita com antecedência, de preferência quando for comprar os da soja, para permitir maior poder de negociação. A compra das sementes da cultivar escolhida também deve seguir este procedimento.

Na manutenção da plantadeira, deve ser feita uma checagem geral, especialmente nos elementos de corte e deposição do adubo, engrenagens e correntes de transmissão, discos de corte do carrinho de sementes e, principalmente, dos componentes de distribuição de sementes e adubos. A regulagem da plantadeira deve ser feita de acordo com o espaçamento entre fileiras de sorgo. Atualmente, a semeadura do sorgo segue os mesmos espaçamentos da soja e do milho, ganhando tempo na ocasião do plantio. No entanto, muita atenção deve ser dada ao disco de plantio. A semente de sorgo é menor que as sementes de soja e milho, de forma que para se obter melhor plantabilidade deve ser utilizado um disco específico para sorgo, que melhora a distribuição das sementes em relação à quantidade e distância entre elas, evitando falhas e duplas, e obtendo espaços equidistantes entre sementes.

O tamanho das sementes da cultivar de sorgo pode variar de um ano para o outro, portanto, mesmo o produtor utilizando a

mesma cultivar plantada na safra anterior, é necessário um teste no campo para avaliar a distribuição das sementes. A escolha do disco e o teste de distribuição das sementes no campo são sérios problemas enfrentados principalmente por pequenos produtores que não possuem sua própria plantadeira e necessitam de serviços de terceiros para realização do plantio. Lembrar sempre que a regulagem da plantadeira deve ser realizada no campo e não no galpão.

Semeadura de sorgo granífero

Com a valorização da cultura da soja no mercado internacional, ela ocupou grande parte das áreas de produção de verão, empurrando os plantios de outras culturas para a segunda safra. Neste sentido, diversas culturas surgiram como opções de cultivo no outono, em sucessão à soja, aumentando significativamente a área plantada no Cerrado. O sorgo granífero merece destaque por tolerar mais seca que outros cereais, e pode substituir o milho no grande mercado de alimentação animal.

Muitas vezes o sorgo é posicionado erroneamente como uma cultura marginal, relegado a terras pouco férteis e baixo investimento em insumos. Em épocas de boa pluviosidade, o milho possui maior potencial produtivo que o sorgo. Entretanto, quando se trata de segunda safra, de maior risco climático, o potencial de ambas as culturas se equipara, principalmente em semeaduras tardias, tornando o cultivo do sorgo mais atrativo (**Figura 3**). Assim, por se tratar de uma cultura mais tolerante a períodos de restrição hídrica e de menor custo de produção, a semeadura de sorgo no final da safrinha (final de fevereiro/março) é opção mais adequada e rentável em relação a semeadura de

milho. Na **Figura 3** observa-se que a partir de segundo decênio de fevereiro o rendimento de grãos de sorgo supera o de milho.

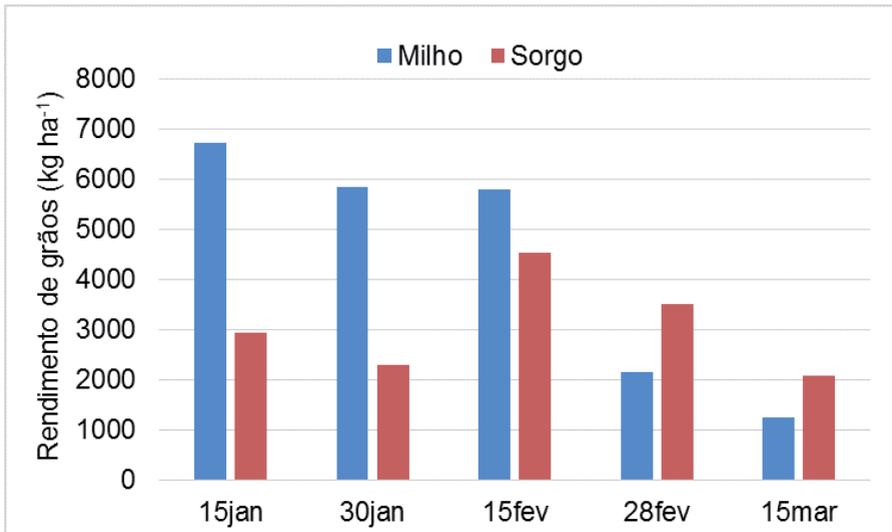


Figura 3. Rendimento de grãos de milho e sorgo em diferentes datas de semeadura em Rio Verde-GO. Adaptado de Barros (2008).

A possibilidade de semeadura mecanizada do sorgo sem a necessidade de grandes ajustes no conjunto semeadora-adubadora é outra grande vantagem. Espaçamentos entrelinhas mais reduzidos, entre 45 e 50 cm, são os mais adequados para o sorgo granífero (Albuquerque et al., 2011; Rabelo et al., 2012; Rodrigues et al., 2015), sendo também bastante utilizados pelos produtores de soja do Brasil.

A população de plantas varia conforme a cultivar e a época de plantio, quanto mais tarde a semeadura menor deve ser a densidade de plantas na área. Para semeaduras em meados de fevereiro, a população final deve ser de 180.000 a 200.000 plantas

por hectare. Para semeaduras mais tardias (a partir da segunda quinzena de fevereiro), o ideal é população de entre 160.000 e 180.000 plantas por hectare. Para semeaduras mais tardias, após 15 de março, recomenda-se estande final entre 140.000 e 160.000 plantas por hectare (Menezes et al., 2015).

Tabela 1. Consumo de sementes e densidade populacional de sorgo granífero.

Consumo de sementes (kg)	Condição de semeadura	População (plantas/ha)
7 a 8	Abertura safrinha	180.000-200.000
6 a 8	Fechamento safrinha	160.000-180.000
5 a 6	Alto risco	140.000-160.000

Fonte: Embrapa Milho e Sorgo

Quando se usa maior densidade de plantas, as condições de clima e nutrientes devem ser favoráveis, para não ocorrer competição entre plantas por luz, nutrientes e água. Em condições de estresse há uma relação negativa entre o número de plantas e a produtividade por planta, quanto maior o número de plantas, menor a panícula e o número de grãos. Como na safrinha quanto mais se atrasa o plantio mais aumenta a chance de estresse hídrico, o ideal é que o número de plantas também seja reduzido para dar condições da planta se desenvolver sem competição.

Para que a densidade ideal de plantas seja atingida com êxito, o produtor deve atentar para alguns fatores: calcular a quantidade de semente em função do poder germinativo do lote (buscar sementes de, no mínimo, 80% de germinação), seguir recomendação citada na embalagem da cultivar; escolher corretamente o disco para sorgo; regular a profundidade de

deposição da semente e adubo no solo; ajustar a velocidade de semeadura em função da capacidade operacional. Estes fatores influenciam na população final de plantas e, em consequência, na produtividade de grãos.

Na semeadura de sorgo, recomenda-se que a deposição da semente esteja entre 3 e 5 cm profundidade. Em solos mais argilosos ou com maior umidade, a semente pode ser depositada a 3 cm de profundidade, e em solos arenosos ou com menor umidade, no máximo a 5 cm em relação à superfície do solo. A deposição do fertilizante também deve ser monitorada, sendo recomendada a deposição do adubo 7 cm abaixo e ao lado das sementes, pois a presença de sais próximo da semente pode prejudicar o sistema radicular em formação, uma vez que as sementes de sorgo são pequenas, o que agrava ainda mais o efeito de salinidade. Além disso, a velocidade de semeadura não deve ultrapassar 6 km/h. O aumento da velocidade, embora possa parecer economia de combustível, pode diminuir a quantidade de sementes depositadas no solo, reduzindo população final (Mantovani; May, 2015).

Dependendo da quantidade de palha deixada pela colheita de soja, recomenda-se especial atenção à regulagem do disco de corte da semeadora, a fim de possibilitar o corte da cobertura vegetal e facilitar a deposição da semente e do fertilizante nas profundidades adequadas. Além disso, deve-se verificar as rodas limitadoras de profundidade e de fechamento do sulco para que, após a passagem da máquina, não deixe sementes expostas ou ocasione revolvimento excessivo de solo na linha de semeadura, pois nesta região a emergência de plantas daninhas pode ser favorecida.

Escolha da cultivar de sorgo

Existem no mercado nacional diferentes cultivares de sorgo, com adaptação específica às regiões de plantio. Neste capítulo estaremos dando maior atenção à recomendação de escolha para a região do Cerrado, por ser a principal área de produção. Dentre as cultivares disponíveis no mercado, os híbridos simples têm predominado. Esses materiais apresentam ampla adaptabilidade e estabilidade de produção. Na **Tabela 2** são apresentados os principais híbridos de sorgo granífero para plantio na região do Cerrado.

Tabela 2. Principais híbridos de sorgo granífero plantados na safra 2017/2018.

Empresa	Cultivar	Cultivar	Empresa
Advanta	ADV 123		BRS 310
Agromen	AGN 70G35	Embrapa	BRS 330
	AGN 80G40		BRS 332
	AGN 80G80		BRS 373
Atlantica/Nuseed	Nugrain 410	Helix	BRS 380
	Nugrain 430		BM 737
	Enforcer	ISS - Innotive Seed Solution	SHS 410
	Buster		AG1080
	Fox		AG1085
	MR-43		AG 1090
	Alvo ¹		AS 4639
Summer T70*	AS 4650		
Brevante	1G100		DKB540
	1G233		DKB550
	1G245		DKB590
Pioneer	50A10	Chromatin -	A9735R
	50A40	Nidera	A9755R
	50A60		
Semeali	A 6304		
	Ranchero		

¹ Grão branco; * Com tanino

Na escolha do híbrido, principalmente para o plantio em sucessão, devem ser observadas as seguintes características: alta produtividade de grãos, tolerância estresse hídrico, tolerância a alumínio, resistência a doenças foliares (antracnose, helmintosporiose e míldio), porte entre 100 e 150 cm, ausência de tanino, resistência ao acamamento e ao quebramento, ciclo precoce.

Informações referentes às principais características de cada cultivar, como recomendação de local e época de semeadura, podem ser encontradas nos sites das empresas que os comercializam, na página do Ministério da Agricultura (www.agricultura.gov.br), ou em links associados a Zoneamento Agrícola e Registro Nacional de Cultivares (Landau; Guimarães, 2015; Menezes et al., 2015). Para a cultura do sorgo granífero existe o zoneamento de risco climático para os diferentes estados. Em razão das características da planta de sorgo, de tolerância a seca e de maior eficiência na utilização de água para completar seu ciclo vital, quando comparada à planta de milho, as datas limites para a semeadura são mais amplas em comparação ao milho, fazendo com que o sorgo seja uma melhor opção para a semeadura no avançar da safreinha.

O produtor deve estar atento ao comprar suas sementes, escolher empresas idôneas, bem consolidadas na sua região, que já tenham mais tempo de pesquisa e teste de seus cultivares naquela região. Evitar escolher cultivares somente porque viu plantadas no vizinho ou em outra região. Ao plantar cultivar nova, deve-se começar com área pequena, pois cada cultivar interage diferente com o manejo do produtor, com a temperatura e as doenças da região. Outra dica é plantar mais de uma cultivar, isso reduz o risco de perda total da lavoura, pois cada cultivar

responde de forma diferente a estresses de doenças ou seca, reduzindo a vulnerabilidade genética da cultivar.

Considerando o risco inerente ao sistema de plantio em sucessão, principalmente com a ocorrência de doenças e deficiência hídrica, recomenda-se que o produtor utilize uma combinação de cultivares, iniciando a semeadura com aquelas de maior teto produtivo, que geralmente são mais tardias, e finalizando com as mais precoces. Os híbridos expressam a produtividade máxima na primeira geração, sendo necessária a aquisição de sementes todos os anos. A semeadura de sementes da segunda geração (F2) proporcionará redução na produtividade de 15 a 40% e grande variação entre plantas, com efeito negativo na qualidade do produto, bem como aumento de plantas infestantes na área.

Adubação do sorgo

Na literatura encontramos adjetivos para o sorgo que podem ser interpretados de forma errônea, por exemplo, quando se diz que o sorgo é uma cultura "rústica". A rusticidade do sorgo está relacionada à sua tolerância ao estresse hídrico, portanto, sem qualquer relação com necessidade de nutrientes. O sorgo responde intensamente a adubação, sendo que seu requerimento nutricional varia diretamente com o potencial de produção. Os dados apresentados na **Tabela 3** mostram que a extração de nutrientes pelo sorgo granífero é muito similar ao extraído pelo milho, e em alguns casos é até maior que este último. Observa-se que a maior exigência do sorgo se refere a nitrogênio e potássio, seguindo-se de cálcio, magnésio e fósforo (Santi et al., 2006; Santos et al., 2015).

Tabela 3. Extração de nutrientes pela cultura do sorgo e milho para produção de uma tonelada de grãos.

Cultura	Macronutrientes						Micronutrientes			
	N	P	K	S	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn
	----- kg t ⁻¹ -----						----- g t ⁻¹ -----			
Sorgo ¹	17,5	2,6	2,6	0,8	0,2	1,4	3,0	34,6	8,9	12,6
Milho ²	15,0	2,4	7,0	1,3	1,0	1,2	2,2	16,1	6,6	22,0

Estimativa para produtividade de 6,0 t de grãos por hectare. Para converter P em P₂O₅ e K em K₂O, multiplicar por 2,29 e 1,20, respectivamente.

¹ Fonte: Embrapa Milho e Sorgo.

² Fonte: Fancelli e Dourado Neto (2000)

O fósforo e o nitrogênio absorvidos pela planta são quase todos translocados para os grãos, seguindo-se do potássio, do magnésio e do cálcio. Apenas parte do potássio é exportada para os grãos, a necessidade maior deste nutriente é na parte aérea da planta, onde exerce função importante na sanidade e sustentação da planta. Isso quer dizer que a incorporação dos restos culturais do sorgo devolve ao solo parte dos nutrientes, principalmente potássio, cálcio e magnésio, contidos na palhada. O sorgo não exerce efeito alelopático sobre a planta de soja, esta última só terá problema quando o sorgo não for adubado. Mesmo com a manutenção da palhada de sorgo na área de produção, em decorrência das grandes quantidades que são exportadas pelos grãos, faz-se necessária a reposição desses nutrientes em cultivos subsequentes.

O sorgo apresenta períodos diferentes de intensa absorção, com o primeiro ocorrendo durante a fase de desenvolvimento vegetativo (3 a 5 folhas), quando o número potencial de grãos

está sendo definido, e o segundo, durante a fase reprodutiva ou formação dos grãos, quando o potencial produtivo é atingido. Até a época do florescimento, a planta absorve 65%, 60% e 80% de seu requerimento em N, P e K, respectivamente.

A absorção de potássio apresenta um padrão diferente em relação ao nitrogênio e ao fósforo, com a máxima absorção ocorrendo no período de desenvolvimento vegetativo, com elevada taxa de acúmulo nos primeiros 30 a 40 dias de desenvolvimento, com taxa de absorção superior ao de nitrogênio e fósforo, sugerindo maior necessidade de potássio na fase inicial como um elemento de "arranque". Nitrogênio é o nutriente que mais frequentemente limita a produtividade do sorgo. Para o nitrogênio e o fósforo, o sorgo apresenta dois períodos de máxima absorção durante as fases de desenvolvimento vegetativo e reprodutivo ou formação dos grãos. Estas informações vislumbram três épocas para aplicação de fertilizantes na cultura: 1ª na semeadura, 2ª no início do crescimento rápido, ± 25 dias após semeadura, e 3ª na fase de diferenciação floral, ± 40 dias após semeadura (Coelho et al., 2002).

A taxa de aplicação de fertilizantes depende de uma variedade de fatores, incluindo o tipo de solo, a cultivar, o clima, a rotação e a cultura de sucessão.

A adubação nitrogenada em cobertura deve ser efetuada quando as plantas atingirem entre 30 e 40 centímetros de altura (estádio de desenvolvimento de 5 a 7 folhas), que se dá em torno de 25 a 35 dias após semeadura. Nas adubações em coberturas convencionais se o fertilizante usado for a ureia, esta deve ser incorporada com implementos apropriados a uma profundidade de 5 cm para redução das perdas. Nos casos de uso constante de

formulações concentradas e em áreas sem aplicação do gesso agrícola, sugere-se a aplicação de 30 kg de S/ha por cultivo, utilizando-se uma fonte nitrogenada como o sulfato de amônio (24% S).

Na adubação fosfatada e potássica de manutenção para a cultura do sorgo, em solos em que os teores de fósforo e potássio “disponíveis” se enquadram na classe classificada como bom **Tabela 4**, pode-se utilizar o conceito da aplicação da dose de acordo com a quantidade removida no produto colhido. Para o fósforo, considera-se que, para cada tonelada de grãos produzida, são exportados de 6 a 7 kg de P_2O_5 . Para o potássio, as quantidades exportadas variam de 4 a 5 kg de K_2O por tonelada de grãos.

Tabela 4. Recomendações de adubação de manutenção para o sorgo granífero de acordo com a interpretação de classes de fertilidade dos solos.

Classes de Interpretação	Adubação de sementeira			Adubação de cobertura	
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	K ₂ O
	----- kg ha ⁻¹ -----			---- kg ha ⁻¹ ----	
Muito bom	0	0	0	80	0
Bom	20 – 30	30	30	60	0
Médio	20 – 30	50	60	60	0
Baixa	30 - 40	80	80	80	50
Muito baixo	30 – 40	120	80	80	80

Em solos de textura arenosa ou em casos em que a recomendação da adubação potássica for superior a 80 kg de K_2O ha⁻¹, sugere-se

que a metade da dose deve ser aplicada por ocasião da semeadura e a outra metade juntamente com a adubação nitrogenada de cobertura.

De um modo geral, pode-se classificar o sorgo como tendo uma alta sensibilidade à deficiência de zinco e ferro, média à de boro, manganês e cobre, e baixa à de molibdênio. No Brasil, o zinco é o micronutriente mais limitante à produção do sorgo, sendo a sua deficiência muito comum na região central do País, onde predominam os solos originalmente sob vegetação de Cerrado. Contudo, não se exclui a possibilidade de vir a ocorrer resposta do sorgo aos demais micronutrientes, principalmente em solos arenosos.

Em solos com teores baixos de micronutrientes, deve-se aplicar a lanço, na semeadura, 6 kg ha⁻¹ de zinco, 2 kg ha⁻¹ de boro, 2 kg ha⁻¹ de cobre e 6 kg ha⁻¹ de manganês. A dose desta adubação poderá ser dividida em três partes iguais (2 kg de Zn/ha, 0,70 kg de B/ha, 0,70 kg de Cu/ha e 2 kg de Mn/ha), aplicadas no sulco de semeadura em três cultivos sucessivos. Quando os teores de micronutrientes no solo se enquadrarem no nível médio, deve-se aplicar um quarto das doses recomendadas para aplicação a lanço, e quando os teores no solo estiverem no nível alto, dispensa-se a adubação com micronutrientes. O efeito residual esperado é de quatro a cinco cultivos tanto para a adubação a lanço como para aquela feita parceladamente no sulco de semeadura. Deve-se fazer análise foliar e de solo a cada três cultivos para verificar se há necessidade de reaplicação dos micronutrientes.

Quando a deficiência é detectada na cultura em desenvolvimento, a correção poderá ser feita com duas pulverizações nos estádios de desenvolvimento vegetativo de V4 e V7 folhas, respectivamente,

com 400 l ha⁻¹ de solução contendo 0,5% de sulfato de zinco, 0,5% de bórax ou 0,3% de ácido bórico, 0,5% de sulfato de cobre, 0,5% de sulfato de manganês. As soluções, exceto a de bórax, devem ser neutralizadas com a adição de 0,25% de cal extinta ou cal hidratada.

Manejo de plantas daninhas

O manejo de plantas daninhas pode ser preventivo, cultural, mecânico e químico. O controle preventivo tem por objetivo evitar a introdução ou a disseminação das plantas na área a ser cultivada. O método cultural visa aumentar a capacidade competitiva da cultura em detrimento das plantas daninhas, como o menor espaçamento entre linhas e uso de plantio direto na palhada. O controle mecânico é o realizado por capina manual ou mecânica. O controle químico consiste na utilização de herbicidas para controle de plantas daninhas. O controle químico se caracteriza como principal método adotado pelos produtores, por proporcionar vantagens como: apresentar menor dependência de mão de obra; não causar danos no sistema radicular da cultura; apresentar controle eficiente de plantas daninhas em solo úmido; e controlar as plantas daninhas na linha de semeadura. Porém, é necessário que o produtor compreenda que o controle químico deve ser utilizado como um método complementar e não como único método de controle das plantas daninhas (Silva et al., 2014a).

São poucos os herbicidas registrados para a cultura do sorgo (**Tabela 5**), resumindo-se basicamente a atrazine. Este herbicida se caracteriza por ser um inibidor do fotossistema II, podendo ser utilizado em pré e/ou pós-emergência, dependendo de registro de uso do produto comercial. O atrazine é indicado, principalmente,

para o controle de folhas largas, apresentando baixo espectro de controle sobre gramíneas. A adição de óleo mineral ou vegetal à calda herbicida melhora a eficiência de controle sobre essas espécies, quando aplicado em pós-emergência inicial antes do perfilhamento das gramíneas. No entanto, deve-se verificar na bula do produto se há essa recomendação; caso não exista, não é indicado realizar a mistura por conta própria, pois pode potencializar o efeito do herbicida, causando intoxicação à cultura.

Em virtude da baixa eficiência dos herbicidas sobre determinadas espécies de plantas daninhas, é importante que a cultura inicie o seu crescimento no limpo para que ela possa ter vantagem competitiva sobre a comunidade infestante. O período crítico para manejo de plantas daninhas no sorgo situa-se entre 20 e 42 dias após a emergência, o que equivale aos estádios vegetativos de três a sete folhas verdadeiras (Oliveira; Karam, 2015). Medidas de controle cultural, como redução do banco de sementes pela dessecação da área no verão e/ou antes do plantio do sorgo, uso de cultivares adaptadas às regiões, arranjo de plantas, época de semeadura, rotação de cultura, cobertura morta, adubação balanceada, são de grande importância para que o crescimento da cultura seja favorecido em detrimento das plantas daninhas.

Pela carência de herbicidas registrados para a cultura do sorgo, especial atenção deve ser dada ao manejo das plantas daninhas antes da semeadura do sorgo. Dentre os herbicidas utilizados nesse manejo destaca-se o glyphosate, por não apresentar efeito residual no solo. (Freitas et al., 2014). Estudos com o herbicida carfentrazone-ethyl têm mostrado resultados satisfatórios para uso como em pré-emergência no sorgo, mas ele não possui registro no Mapa para esta finalidade.

Tabela 5. Herbicidas registrados para o controle pré e pós-emergente de plantas daninhas na cultura do sorgo.

Marca Comercial	Titular de Registro	Ingrediente Ativo	Aplicação	Dose l ou kg ha ⁻¹
AclamadoBR ²	Ouro Fino	atrazina	PRÉ ¹	4,0 a 5,0 l ha ⁻¹
Atraer WG	Rainbow	atrazina	PÓS	2,0 a 3,0 kg ha ⁻¹
Atralhida	Rainbow	atrazina	PÓS	2,0 a 3,0 kg ha ⁻¹
Atralex WG	Adama Brasil S.A	atrazina	PÓS	2,0 a 3,0 l ha ⁻¹
Atrazina Atanor 50 SC	Albaugh Agro	atrazina	PRÉ ¹	4,0 a 5,0 l ha ⁻¹
Atrazina 500 SC	Nortox S.A.	atrazina	PRÉ e PÓS	3,0 a 6,5 l ha ⁻¹
Atrazina 500 SC	Rainbow	atrazina
Coyote WG	Adama Brasil S.A	atrazina	PÓS	2,0 a 3,0 l ha ⁻¹
Facero SC	Iharabras S.A.	atrazina	PRÉ ¹ e PÓS	4,0 a 5,0 l ha ⁻¹
Gesaprim GrDa	Syngenta	atrazina	PRÉ ¹ e PÓS	2,0 a 3,0 kg ha ⁻¹
Gesaprim 500	Syngenta	atrazina	PRÉ ¹ e PÓS	4,0 a 5,0 l ha ⁻¹
Herbitrin 500 BR	Adama Brasil S.A	atrazina	PÓS	4,0 a 5,0 l ha ⁻¹
Herbzina Plus	Rainbow	atrazina	PÓS	2,0 a 3,0 kg ha ⁻¹
Proof	Syngenta	atrazina	PRÉ ¹ e PÓS	4,0 a 5,0 l ha ⁻¹
Flumyzin 500 ⁴	Sumitomo	flumioxazina	PRÉ plantio	120 g ha ⁻¹
Sumisoya ⁴	Sumitomo	flumioxazina	PRÉ plantio	120 g.ha ⁻¹
2,4-D Nortox	Nortox S.A.	2,4-D	PÓS ³	0,4 a 0,7 l ha ⁻¹
Pooper	Nortox S.A.	2,4-D	PÓS ³	0,4 a 0,7 l ha ⁻¹

¹Não aplicar em solos arenosos em pré-emergência; ²Aplicar logo após a semeadura em pré-emergência das plantas infestantes e da cultura; ³Aplicar em pós-emergência das plantas daninhas, com o sorgo até estágio de 4 folhas; ⁴Recomendado para buva, aplicar 30 dias antes do plantio.

Existem no mercado substâncias utilizadas para proteger as sementes de sorgo e evitar injúrias que prejudicam a emergência e o desenvolvimento da plântula. Esses são chamados de protetores químicos ou “safeners”. O protetor fluxofenim no tratamento de sementes de sorgo aumenta a seletividade ao herbicida S-metolachlor aplicado em pré-emergência (Silva et al., 2014c).

Os produtores devem ter atenção ao realizar a semeadura do sorgo em sucessão após a soja, pois herbicidas que apresentam efeito residual no solo utilizados nesta cultura, como imazaquin, imazapyr, imazethapyr, trifluralin, sulfentrazone etc, se não respeitado o intervalo de segurança, podem intoxicar lavouras de sorgo semeadas em sequência. O efeito residual irá depender do herbicida e da dose utilizada, das características físico-químicas do solo e das condições climáticas após a aplicação (Silva et al., 2014a).

Manejo de doenças de sorgo

As principais doenças que afetam o sorgo são a antracnose, a helmintosporiose, a ferrugem, o míldio e o ergot. As quatro primeiras são doenças foliares, já o ergot é doença específica das panículas que impede a produção dos grãos. Todas as regiões de cultivo do sorgo apresentam condições favoráveis à ocorrência destas doenças, porém a intensidade de cada uma depende das condições climáticas durante o ciclo da cultura e do nível de resistência das cultivares. Assim, o manejo das doenças do sorgo deve ser baseado no conhecimento do histórico de doenças na área de plantio associado à época em que ocorrem, na escolha adequada das cultivares e no manejo adequado da cultura (Silva et al., 2014b).

Antracnose (*Colletotrichum sublineolum*) pode atacar todas as partes da planta, sendo a mais comum a antracnose foliar. Os sintomas iniciais ocorrem após o florescimento e se caracterizam por lesões elípticas a circulares nas quais se desenvolvem pequenos centros circulares de coloração palha, com margens que variam de avermelhadas, alaranjadas, púrpura-escuras a castanhas, dependendo da cor da folha da cultivar (**Figura 4**). A helmintosporiose (*Exserohilum turcicum*) ocorre na fase vegetativa do sorgo e por isso seu controle será mais eficiente se realizado entre 40 e 45 dias após a semeadura. Os sintomas da helmintosporiose são lesões elípticas necróticas, alongadas, com bordas púrpuro-avermelhadas, acinzentadas ou amareladas, que variam em função da cultivar.



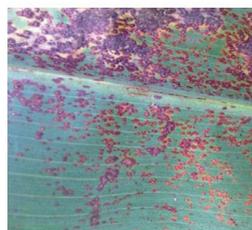
Antracnose



Helmintosporiose



Míldio



Ferrugem



Ergot

Figura 4. Sintomas das principais doenças do sorgo.

A ferrugem (*Puccinia purpúrea*) é caracterizada por pústulas de cor castanho-avermelhada distribuídas paralelamente entre as nervuras, onde grande quantidade de uredosporos é produzida. O míldio (*Peronosclerospora sorghi*) pode apresentar dois tipos

de infecção, a sistêmica e a localizada. Os sintomas sistêmicos são caracterizados por faixas de tecido verde alternadas com áreas de tecidos cloróticos distribuídos paralelamente pelo comprimento das folhas e o localizado por lesões de formato retangular delimitado pelas nervuras das folhas. Além da resistência genética, recomenda-se plantio de sementes de boa qualidade, eliminação do capim-massambará e outros hospedeiros. Uma medida importante é o tratamento de sementes à base de metalaxyl, 100 mL de produto concentrado para cada 100 kg sementes.

O ergot (*Sphacelia sorghi*) é favorecido por temperaturas entre 13 e 19 °C e 76 a 84% de umidade. O patógeno infecta o ovário não fertilizado, ocupando lugar do pólen e impedindo a produção de grãos ou sementes. Após a infecção dos ovários, gotas açucaradas são exsudadas nas panículas. Em razão da falta de genótipos resistentes, seu controle deve ser baseado no uso de estratégias que garantam a polinização associadas ao uso preventivo com fungicidas.

A resistência genética é a primeira medida a ser considerada no manejo de doenças, havendo variação na reação das cultivares comerciais para as principais doenças. A escolha das cultivares deve ser realizada com base em critérios como o histórico de doenças na área de cultivo; a época em que ocorrerá a semeadura (verão ou safrinha). Algumas estratégias de manejo como a rotação de cultivares e a diversificação das cultivares são recomendadas. A rotação tem apresentado bons resultados no manejo da antracnose (Silva et al., 2015). A semeadura de uma única cultivar em grandes áreas resulta em risco de perdas quando a cultivar é suscetível a um patógeno.

O tratamento de sementes não deve ser ignorado já que a proteção das sementes pode garantir a arrancada inicial das plântulas com sanidade e permitir um estande de plantas adequado. Existem no Mapa produtos registrados para o tratamento de sementes de sorgo, todos eles apresentam ação sobre vários patógenos que atacam sementes e plântulas (**Tabela 6**). Na Tabela 6 estão apresentados os grupos químicos que poderão ser utilizados no controle químico das doenças. Em lavoura de alta tecnologia é comum uma aplicação de fungicidas preventivos antes do florescimento e outra após o florescimento. Dependendo da cultivar pode ser necessária uma terceira aplicação no final do florescimento.

Manejo de insetos pragas no sorgo

A ocorrência de insetos-pragas é um dos fatores de prejuízos na cultura do sorgo. É fundamental que o produtor, ao monitorar sua lavoura para a ocorrência desses insetos saiba diferenciar aqueles que se alimentam das plantas, e têm potencial de causar prejuízos, daqueles que são benéficos e contribuem para o controle biológico.

A suscetibilidade dos diferentes estádios de desenvolvimento da cultura também aponta para as possíveis espécies de insetos-praga, dentro de cada fase de desenvolvimento. Para o sorgo granífero, são cinco espécies de insetos-praga consideradas pragas primárias e que causam prejuízos para essa cultura. Destacam-se as lagartas elasmó e do cartucho (*Elasmopalpus lignosellus* e *Spodoptera frugiperda*), broca-da-cana-de-açúcar (*Diatraea saccharalis*), pulgão-verde (*Schizaphis graminum*), e de ocorrência mais recente, a *Helicoverpa armigera*.

Tabela 6. Fungicidas registrados no Brasil para controle de doenças em sorgo (Brasil, c2003).

Produto comercial	Ingrediente Ativo	Patógenos	Doença
Aprove	Fluazinam, tiofanato metílico	Cercospora fusimaculans	Cercosporiose
Azimute	Epoxiconazol, Piraclostrobin	P. purpurea	Ferrugem
Captan 200 FS	Captana	Pythium spp. Rhizoctonia spp.	Estiolamento; Podridão radicular Tombamento
Captan 750 TS	Captana	Phoma sorghina C. cladosporioides	Tombamento
		Alternaria tenuissima	Mofo-preto
		Alternaria alternata	Mofo-preto
		C. sublineolum	Antracnose
		E. turcicum	Mancha-foliar
		F. moniliforme	Podridão
		Rhizopus spp.	Mofo-preto
Certeza	Tiofanato metílico, fluazinam	Aspergillus spp.	Tombamento
		F. moniliforme, Penicillium oxalicum	Podridão de fusarium (Bolor-azul)
Maxim Advanced	Metalaxil-M, Tiabendazol, Fludioxonil	P. sorghina	Tombamento
		E.turcicum	Mancha-foliar
		Aspergillus spp.	Tombamento
		C. sublineolum	Antracnose
		Curvularia spp.	Mofo dos grãos
Maxim XL, Maxim Professional	Fludioxonil, Metalaxil-M	F. moniliforme	Podridão
		Rhizoctonia solani	Damping-off
		Penicillium spp.	Mofo
		Aspergillus spp.	Tombamento
		P. aphanidermatum	Tombamento
		C. sublineolum	Antracnose
Opera	Epoxiconazol, Piraclostrobin	F. moniliforme	Podridão-vermelha
		P. purpurea	Ferrugem
Solist 430 SC	Tebuconazol	E. turcicum	Helminthosporiose
Orkestra SC	Piraclostrobin, Fluxapiraxade	S. sorghi (C. africana)	Doença-açucarada, ergot ou mela
Aug 137; Tebuconazol 200 EC Agria; Tebuconazole CCAB 200; Triade, Constant; Elite, Erradicur, Folicur 200 EC; Keyzol EC; Lost; Orbis; Tebas	Tebuconazol		

A lagarta-elasmó é uma praga que ataca a planta na fase inicial de desenvolvimento reduzindo o estande da lavoura. A injúria causada pela lagarta é um sério problema para o estabelecimento da cultura do sorgo, pois é difícil de ser observada e contribui para a redução na produtividade. A lagarta penetra na base da planta, formando uma galeria no interior do colmo, a qual pode

ser reconhecida pela presença de detritos, teias e terra no orifício de entrada na planta. Esse inseto sobrevive alimentando-se de plantas e de material vegetal em decomposição, seus danos são mais acentuados em áreas de plantio convencional ou onde foram realizadas queimadas. O prejuízo é causado pelo grande número de falhas no campo. O tratamento de sementes antes da semeadura, com inseticidas seletivos aos inimigos naturais, se torna uma prática tão importante quanto usar uma semente de boa qualidade.

A praga de maior importância para a cultura do sorgo é a lagarta-do-cartucho (**Figura 5**), que ataca a planta durante as fases vegetativa e reprodutiva. As mariposas depositam os ovos nas folhas e após a eclosão das larvas, que possuem um comportamento dispersivo, migram para outras folhas e plantas. No início, raspam as folhas e deslocam-se para as partes mais protegidas da planta, denominadas cartucho. A larva ao se alimentar nas folhas antes de se abrirem, no “palmito” da planta, provoca lesões que podem se tornar simétricas nas folhas após sua abertura. Os danos são causados pela redução da área foliar das folhas mais novas.

Uma prática recomendada para lavouras de sorgo é o monitoramento de adultos de *S. frugiperda*, utilizando-se de armadilhas de feromônio sintético disponível no mercado. O controle biológico com liberação de *Trichogramma* spp e *Cotesia* spp é uma alternativa viável a ser considerada. O uso do controle químico deve ser feito antes que os danos tenham sido provocados, portanto, quando a larva está no início de desenvolvimento. Para o uso eficiente de inseticidas para o controle, é importante que o produto atinja o interior do cartucho da planta. Portanto, recomenda-se a pulverização utilizando

alto volume. Produtos com ação de profundidade tendem a ser mais eficientes no controle da lagarta. Deve-se estar atento para usar produtos seletivos aos inimigos naturais para evitar o desequilíbrio biológico.



Spodoptera frugiperda - Casal de adultos, lagarta e danos na lavoura



Diatraea saccharalis - Casal de adultos, ovos e lagarta



Casal de Adultos e lagarta de *Helicoverpa armigera*



Dano lagarta elasmó no campo



Pulgão verde

Figura 5. Principais pragas da cultura do sorgo.

A broca-da-cana (**Figura 5**) inicialmente raspa a folha e dirige-se para a face interna da bainha, penetrando no colmo logo acima do nó. Ao se alimentar no interior do colmo, a lagarta cava uma galeria ascendente, que termina num orifício para o exterior. A broca provoca danos diretos e indiretos no sorgo, sendo os diretos decorrentes da alimentação dos tecidos da planta, que pode apresentar perda de massa verde, abertura de galerias no colmo,

morte da gema apical, tombamento, encurtamento do entrenó, enraizamento aéreo e germinação das gemas laterais. Os danos indiretos estão relacionados com a entrada de microrganismos oportunistas nas galerias no colmo. A infestação no início de desenvolvimento da planta causa o sintoma conhecido como “coração morto” ou o perfilhamento. Nas infestações mais tardias, causa a morte da panícula, (panícula-branca), sendo o prejuízo total.

Recomenda-se monitorar essa espécie nas lavouras com a utilização de armadilhas contendo fêmeas virgens (feromônio natural) e manejar a infestação com a utilização de agentes de controle biológico. Deve-se priorizar a utilização de parasitoides de ovos (*Trichogramma* spp.) com intuito de reduzir a infestação inicial. Uma vez detectada infestação de lagartas nos colmos, deve-se utilizar parasitoides de larvas, especialmente *Cotesia* spp., que apresenta alta especificidade com as larvas dessa praga. A utilização do controle biológico deve ser a estratégia de manejo prioritária, sobretudo pela inexistência de inseticidas registrados para o controle dessa praga em sorgo.

O pulgão-verde (*Schizaphis graminum*) é uma praga que ocorre durante todo estágio vegetativo (**Figura 5**). Tanto os adultos como as ninfas sugam seiva das folhas e introduzem toxinas que provocam bronzeamento e morte da área foliar afetada. Os adultos, principalmente as formas aladas, são também importantes vetores de vírus como o do mosaico-da-cana-de-açúcar. Tanto o pulgão como essa virose têm sido frequentemente observados nas áreas cultivadas com o sorgo. Pode-se reconhecer o pulgão-verde por apresentar o corpo globoso, maior parte das antenas e extremidades escura, cauda clara, com a mesma coloração do abdome. Embora essa praga normalmente

infeste a face inferior das folhas, o sintoma de danos pode ser observado na face superior, na forma de manchas bronzeadas ou necrosadas. A extensão dos danos causados pelo pulgão-verde às plantas depende da densidade populacional, do estágio de desenvolvimento, vigor e suprimento de água das plantas. Em geral, a população dos pulgões é naturalmente controlada pela ação das chuvas e dos inimigos naturais. A infestação na fase inicial da cultura pode ser evitada através do tratamento de sementes e/ou do solo com inseticidas sistêmicos. Nos casos de pulverização, deve-se dar preferência para o uso de inseticidas sistêmicos seletivos, pois os inimigos naturais têm papel muito importante na manutenção do equilíbrio biológico da população de pulgões no campo.

A lagarta *Helicoverpa armigera* (**Figura 5**) é uma praga recentemente introduzida no Brasil e tem preocupado as regiões produtoras de grãos. A lagarta ataca a panícula do sorgo durante o período de formação dos grãos, causando prejuízo direto na produção pela redução da massa, e indiretas, pela contaminação por microrganismos. Aparentemente, os danos são semelhantes aos causados por pássaros. As panículas abertas dificultam a alimentação e expõem as larvas a ação dos inimigos naturais e sua própria agressividade canibal, reduzindo assim, as perdas, por causa do controle natural. No entanto, sob condições de altas infestações a interferência pode ser necessária. Neste caso, o controle deve ser feito quando as lagartas forem encontradas ainda pequenas na panícula. As condições brasileiras, em que a sequência de culturas, no verão, safrinha e inverno, constitui a conhecida “ponte verde”, além da presença de inúmeros hospedeiros dessas espécies durante todo ano, permite o aumento populacional e potencializa os problemas para os cultivos subsequentes.

Ao contrário do milho, em que os grãos estão protegidos pela palha na espiga, no sorgo, os grãos estão expostos na panícula. A exposição dos grãos por muito tempo no campo pode acarretar, entre outros problemas, maior ataque de pragas e germinação dos grãos, ocasionando perdas na colheita.

Colheita e pós colheita do sorgo

A partir da maturação fisiológica do grão, a colheita pode ser iniciada, com o grão com alta umidade, em torno de 28%. Entretanto, uma recomendação mais adequada é colher em uma faixa intermediária, entre 18 e 20%, quando o grão está mais maleável, evitando quebra, e com menores perdas. Para esta faixa de umidade, o grão precisa de secagem artificial para ser armazenado em um teor de umidade de 12 a 14%, o que na maioria das propriedades agrícolas não dispõem (Mantovani et al., 2014).

A maturação das panículas do sorgo ocorre de cima para baixo, isto é, o terço superior da panícula é a primeira parte que entra em processo de maturação; logo após é o terço médio, e, por último, o terço inferior. Portanto, para se determinar o ponto de colheita, é preciso se observar a fase de maturação em que se encontra o terço inferior da panícula. Com umidade acima de 25%, aumentam as possibilidades de os grãos não se soltarem das panículas, por ocasião da trilha, e, abaixo de 18%, aumentam as perdas na plataforma.

O uso de dessecante (**Tabela 7**) pode ser uma alternativa para acelerar e uniformizar a colheita, além de controlar plantas daninhas e rebrota. Não existem produtos registrados no Mapa

para dessecação de sorgo no Brasil. Nos Estados Unidos, são usados glyphosate, carfentrazone e clorato de sódio.

Tabela 7. Produtos testados para dessecação em sorgo granífero.

Produto*	Dose p.c ha ⁻¹	Quando aplicar ¹	Precauções
Carfentrazone	125 ml ha ⁻¹	3 a 7 dias antes da colheita	Usar doses maiores quando umidade maior
Glyphosate	1,5 kg ha ⁻¹	7 dias antes da colheita	Não usar em campos de sementes
Diquat	2,0 kg ha ⁻¹	3 a 5 dias antes da colheita	
Glufosinate de amônio	2,0 l ha ⁻¹	3 a 5 dias antes da colheita	+ 0,25% (v/v) de óleo mineral

* Não existe registro no Mapa destes produtos para esta finalidade.¹ Umidade do grão deve estar < 30%

A colheita é realizada mecanicamente através de colhedoras automotrizes ou tracionadas que realizam as operações de corte, trilhagem, separação da palha, limpeza, e mesmo o ensacamento ou descarga do grão em carretas. São as mesmas máquinas utilizadas para colheita da soja, trigo e o arroz, que em muitos casos otimizam a utilização do equipamento, reduzindo o seu custo operacional.

O armazenamento de sorgo pode ser feito em armazém, silos metálicos e silos bolsa. O armazém deve ser projetado de modo a possuir boa ventilação, conforto térmico e reduzida umidade. Em geral, utiliza-se sacaria para o armazenamento do sorgo nestas instalações. Assim, deve-se evitar reutilizar sacarias. Não sendo possível, deve-se expurgá-la antes da reutilização.

As sacarias devem ser colocadas sob estrado, afastadas das paredes e empilhadas de modo a se obter coluna com vão central, garantindo-se a circulação de ar, reduzindo a possibilidade de focos de insetos e roedores. Deve-se garantir afastamento entre os lotes de pilhas de sacaria, para facilitar as etapas de carregamento e descarregamento do sorgo, pelos operadores ou carregadoras mecânicas (hidráulica ou motorizada).

O silo metálico permite a secagem e aeração dentro do próprio silo. Além disso, a aeração pode ser feita pela transferência da massa de grãos de um silo para outro, em processo conhecido como “transilagem”, reduzindo sua temperatura e renovando a atmosfera do ambiente. O silo bolsa consiste em um túnel de polietileno de alta densidade constituído em camadas. Por ser hermeticamente fechado, a massa de grãos consome todo o oxigênio (O_2) interno da bolsa e gera dióxido de carbono (CO_2). Uma atmosfera rica em CO_2 e pobre em O_2 pode diminuir a capacidade de reprodução e/ou desenvolvimento de insetos e de fungos, como também a própria atividade metabólica dos grãos, favorecendo a sua conservação.

Referências

ACOMPANHAMENTO DA SAFRA BRASILEIRA [DE] GRÃOS: safra 2017/18: nono levantamento. Brasília, DF: Conab, v. 5, n. 9, 2018. 178 p.

ALBUQUERQUE, C. J. B.; VON PINHO, R. G.; RODRIGUES, J. A. S.; BRANT, R. S.; MENDES, M. C. Espaçamento e densidade de semeadura para cultivares de sorgo granífero no semiárido. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 2, p. 278-285, 2011.

BARROS, A. S. **Viabilidade agrônômica de híbridos de milho, sorgo e girassol em safrinha no município de Rio Verde, GO.** 2008. 74 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade de Rio Verde, Rio Verde, 2008.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **AGROFIT: sistema de agrotóxicos fitossanitário.** Brasília, DF, c2003. Disponível em: <http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons>. Acesso em: 16 jul. 2018.

COELHO, A. M.; WAQUIL, J. M.; KARAM, D.; CASELA, C. R.; RIBAS, P. M. Seja o doutor do seu sorgo. **Informações Agrônômicas**, Piracicaba: Potafós, n. 100, 2002. (Arquivo do Agrônomo, 14).

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho.** Guaíba: Agropecuária, 2000. 360 p.

GODINHO, V. de P. C.; UTUMI, M. M.; BROGIN, R. L.; OLIVEIRA, S. J. de M.; SILVA, G. S. da; BOTELHO, F. J. E.; PASSOS, A. M. A. dos; ARAUJO, L. V. de; TARDIN, F. D.; RODRIGUES, J. A. S. **Custo estimado de produção de sorgo safrinha, em plantio direto, na região de Vilhena, Rondônia, safra 2010/11.** Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2011. 4 p. (Embrapa Rondônia. Comunicado Técnico, 375).

LANDAU, E. C.; GUIMARÃES, D. P. Clima, época de plantio e zoneamento agrícola. In: PEREIRA FILHO, I. A.; RODRIGUES, J. A. S. (Ed.). **Sorgo: o produtor pergunta, a Embrapa responde.** Brasília, DF: Embrapa, 2015. cap. 1, p. 15-26. (Coleção 500 perguntas, 500 respostas).

MANTOVANI, E. C.; MAY, A. Mecanização. In: PEREIRA FILHO, I. A.; RODRIGUES, J. A. S. (Ed.). **Sorgo: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília, DF: Embrapa, 2015. cap. 3, p. 41-50. (Coleção 500 perguntas, 500 respostas).

MANTOVANI, E. C.; MAY, A.; SILVA, J. R. da; MOREIRA, C. A. Colheita. In: BORÉM, A.; PIMENTEL, L. D.; PARRELLA, R. A. da C. (Ed.). **Sorgo: do plantio à colheita**. Viçosa, MG: UFV, 2014. cap. 11, p. 266-275.

MENEZES, C. B. de; SILVA, A. F. da; TARDIN, F. D. Sorgo safrinha. In: PEREIRA FILHO, I. A.; RODRIGUES, J. A. S. (Ed.). **Sorgo: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília, DF: Embrapa, 2015. cap. 18, p. 293-308. (Coleção 500 perguntas, 500 respostas).

OLIVEIRA, M. F. de; KARAM, D. Manejo de plantas daninhas. In: PEREIRA FILHO, I. A.; RODRIGUES, J. A. S. (Ed.). **Sorgo: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília, DF: Embrapa, 2015. cap. 9, p. 141-154. (Coleção 500 perguntas, 500 respostas).

RABELO, F. H. S.; RABELO, C. H. R.; DUPAS, E.; NOGUEIRA, D. A.; REZENDE, A. V. Parâmetros agrônômicos do sorgo em razão de estratégias de semeadura e adubação. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, Guarapuava, v. 5, n. 1, p. 47-66, 2012.

RESENDE, A. V.; COELHO, A. M.; RODRIGUES, J. A. S.; SANTOS, F. C. **Adubação maximiza o potencial produtivo do sorgo**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2009. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 119).

RODRIGUES, J. A. S.; MENEZES, C. B. de; MACHADO, J. R. de A.; TABOSA, J. N.; SIMPLICIO, J. B. Manejo cultural. In: PEREIRA FILHO, I. A.; RODRIGUES, J. A. S. (Ed.). **Sorgo: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília, DF: Embrapa, 2015. cap. 8, p. 123-139. (Coleção 500 perguntas, 500 respostas).

SANTI, A.; CAMARGOS, S. L.; SCARAMUZZA, W. L. M. P.; SCARAMUZZA, J. F. Deficiências de macronutrientes em sorgo. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 2, p. 228-233, 2006.

SANTOS, F. G.; CASELA, C. R.; WAQUIL, J. M. Melhoramento de sorgo. In: BORÉM, A. (Org.). **Melhoramento de espécies cultivadas**. 2. ed. Viçosa, MG: UFV, 2005. v. 1, p. 429-466.

SILVA, A. F. da; D'ANTONINO, L.; FERREIRA, F. A.; FERREIRA, L. R. Manejo de plantas daninhas. In: BORÉM, A.; PIMENTEL, L. D.; PARRELLA, R. A. da C. (Ed.). **Sorgo: do plantio à colheita**. Viçosa, MG: UFV, 2014a. cap. 8, p. 188-206.

SILVA, D. D. da; COTA, L. V.; COSTA, R. V. da; PARREIRA, D. F. Principais doenças do sorgo. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 35, n. 278, p. 102-111, jan./fev. 2014b.

SILVA, D. D.; COSTA, R. V.; COTA, L. V.; FIGUEIREDO, J. E. F.; CASELA, C. R.; LANZA, F. E. Genotype rotation for leaf anthracnose disease management in sorghum. **Crop Protection**, Guildford, v. 67, p. 145-150, 2015.

SILVA, J. R. V.; MARTINS, C. C.; SILVA JUNIOR, A. C.; MARTINS, D. Fluxofenim used as safener on sorghum seed for S-Metolachlor herbicide. **Bioscience Journal**, Uberlandia, v. 30, p. 158-167, 2014c. Supplement 1.

Capítulo 5

Mitos e Verdades Sobre o Cultivo de Sorgo

Carlos Juliano Brant Albuquerque

Rogério Soares de Freitas

Leonardo Duarte Pimentel

Introdução

O sorgo possui grande diversidade de uso. Além da produção de grãos e forragem, vem sendo estudado para produzir etanol e cogeração de energia. O seu cultivo permite a adoção de diferentes sistemas de produção. Em algumas regiões do semiárido brasileiro, em face às restrições e irregularidades das precipitações, predomina o cultivo do sorgo forrageiro como safra principal. Já no cerrado brasileiro, o principal cultivo é feito com uso do sorgo granífero, na segunda safra ou safrinha em sucessão a soja. Assim, a cultura do sorgo propicia melhor aproveitamento do solo, formação de palhada para o plantio direto da próxima safra de verão, maior quantidade de grãos ou forragem e maior estabilidade da produção por ser tolerante à seca.

O sistema de produção do sorgo granífero predominante no cerrado Brasileiro é caracterizado pelo cultivo em sucessão de culturas na segunda safra (safrinha). Entretanto, tem-se observado que a escolha do sorgo pelo produtor varia muito em virtude

do mercado e sua semeadura só é definida após a conclusão da semeadura do milho na segunda safra. Assim, é importante destacar que o sorgo granífero é na maioria das vezes cultivado em condições marginais ao cultivo do milho, dessa forma a condição climática é determinante na elaboração dos custos de produção pois a produtividade é limitada. As áreas registradas com esse cereal no Brasil representam apenas o sorgo granífero, pois o levantamento é baseado na comercialização de grãos.

Dados fornecidos pela Conab (2018) relatam que a partir da safra 2011/12 o milho safrinha (7,62 milhões de hectares) superou seu cultivo na safra (7,56 milhões de hectares), tendo o sorgo 786,9 mil hectares. De forma geral, a cada ano ocorre uma redução de aproximadamente 164,17 mil hectares de milho cultivado no verão e o incremento de 257,95 mil hectares de milho na safrinha. O avanço da soja no cerrado como principal cultura de verão foi preponderante para redução significativa de áreas com milho na safra e consolidação dessa cultura na safrinha. No caso do sorgo, a série histórica relata incrementos médios anuais de 20,18 mil hectares por ano, entretanto esses valores são bastante variáveis tendo anos com redução e anos com acréscimo de área. Desde a safrinha 2012/13 não era observado aumento de área cultivada com esse cereal. Na safrinha 2017/18 houve incrementos em relação a 2016/18, possivelmente pelo atraso na semeadura da soja no período.

Em 2018 a região Centro-Oeste apresentou a maior área cultivada com sorgo no país Landau et al. (2013). A partir de 1994, essa região passou a se destacar em termos de área plantada e quantidade produzida de grãos, principalmente no sul do Estado de Goiás e em municípios dos Estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul situados em altitudes maiores que 300 m.

Atualmente existem sistemas de produção bem definidos no Brasil Central onde a partir de fevereiro muitos produtores direcionam suas áreas para o cultivo desse cereal. Apesar de sua importância, ainda existem informações interpretadas sem embasamento científico e que muitas vezes geram por parte do setor produtivo desconfiança no uso do sorgo. Assim, pretende-se com essa revisão abordar alguns “mitos e desafios” sobre esse cultivo. Para isso serão apresentados aspectos relacionados aos custos de produção, alelopatia, manejo da palhada, uso em rotação e sucessão de culturas, espaçamento adensado, exportação e ciclagem de nutrientes pela planta. Essas informações são fundamentais para estabelecimento de sistemas de produção sustentáveis nos diferentes biomas do Brasil.

Caracterização e custos de produção do cultivo

Nos primeiros levantamentos (década de 70 e início da década de 80) sobre a produtividade nacional de sorgo, os dados apresentados na Figura 3 demonstram valores bem próximos aos atuais. Isso demonstra alguns ajustes no sistema de produção que foram realizados nesse cultivo onde os trabalhos eram conduzidos na safra, período de maior disponibilidade hídrica. No final da década de 80 esse cultivo começou a ser adotado como safrinha. Segundo Duarte et al. (2007) a crescente expansão da produção de soja no cerrado; a expansão do cultivo de safras de inverno (safrinha); e a expansão das áreas com uso de plantio direto foram os principais responsáveis pela evolução do sorgo no cerrado. Não existe uma ordem crescente de importância, pois os três fatores estão relacionados entre si. Assim, o plantio direto gerou oportunidades para o uso de sorgo em rotação de culturas e para produção de palhada de boa qualidade para proteção do solo. Quando o sorgo era cultivado na mesma época das

principais culturas de verão como milho e soja, apesar da maior produtividade a sua expansão era limitada. É possível visualizar na **Figura 1** uma queda na produtividade desse cereal até 1993.

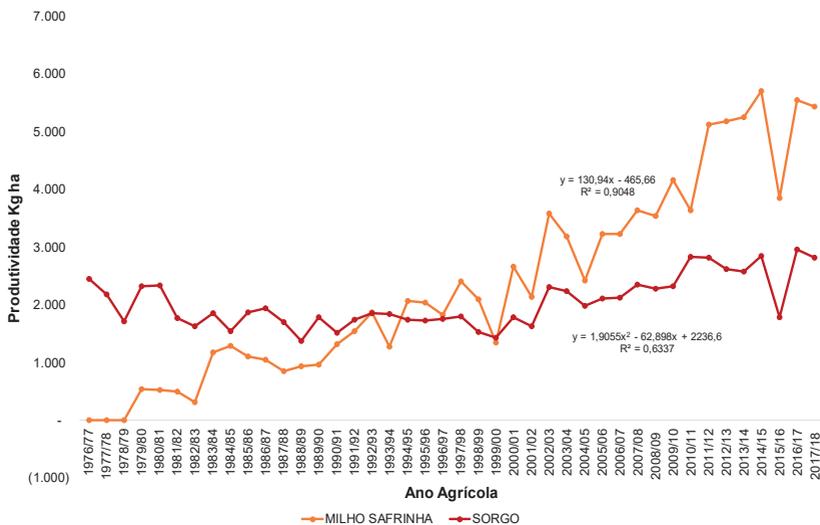


Figura 1. Série histórica da produtividade de grãos para o milho safrinha e sorgo safrinha. Fonte: Conab (2018).

A partir daí o sorgo tornou-se uma realidade em sucessão ao milho ou à soja, em razão do seu desempenho em condições de estresse hídrico quando comparado a outros cultivos.

Por ser uma semeadura mais precoce quando comparado ao sorgo safrinha, a condição climática prevalecente no milho safrinha propicia maior resposta ao uso de insumos e conseqüentemente maior produtividade. Na **Figura 2** são descritos os custos de produção para cultura do milho e sorgo nos últimos anos no município de Rio Verde, GO. Em 2013/14 o custo de produção do sorgo foi 14% inferior ao milho. Após esse período o custo do sorgo foi aproximadamente 47% inferior quando comparado

ao milho. Os componentes do custo de produção relacionados a sementes e defensivos em milho favoreceu o aumento do custo, já para o sorgo isso não ocorreu.

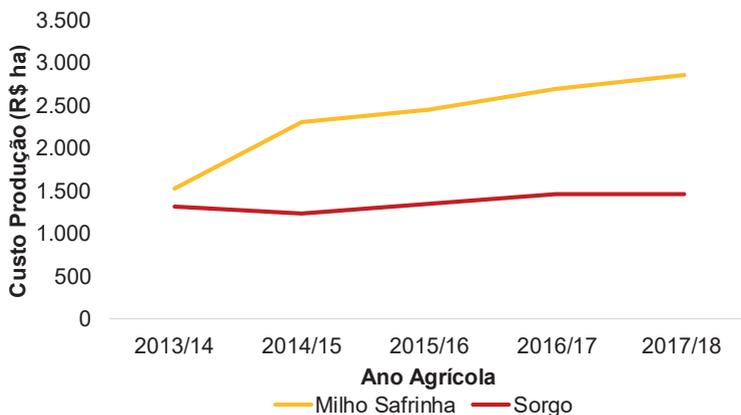


Figura 2. Custo de produção (ha) para o milho safrinha e sorgo safrinha no município de Rio Verde-GO. Fonte: Conab (2018).

Historicamente o custo da saca de sorgo é 20-25% inferior a saca de milho na maioria dos Estados produtores, exceção Minas Gerais que supera 30%, entretanto, safrinha tardia pode gerar redução considerável na produtividade do milho e reduzir a margem de lucro desse cereal favorecendo o cultivo do sorgo (Conab, 2018). Segundo Barros (2008), ao analisar a viabilidade agrônômica de híbridos de milho e sorgo em safrinha no município de Rio Verde, GO concluíram que as maiores viabilidades econômicas de milho foram obtidas até as semeaduras realizadas em 15 de fevereiro, e para o sorgo de 15 a 28 de fevereiro. Nesse trabalho foi demonstrado que a produtividade de milho decresce consideravelmente em função da semeadura mais tardia. O mesmo aconteceu com o sorgo, porém, constatou-se que a partir de fevereiro, a produtividade do sorgo foi semelhante ao

milho, demonstrando o potencial do sorgo como cultura para semeaduras a serem realizadas ao final do período chuvoso ou safrinha mais tardia.

Assim, o custo de produção do sorgo inferior ao do milho associado a produtividade similar ou até mesmo superior em plantios mais tardios tornam a semeadura do sorgo interessante, mesmo com a superioridade histórica nos preços do milho. O preço do sorgo é comumente atrelado ao preço do milho, outro aspecto importante, diz respeito à redução progressiva do plantio de milho verão (primeira safra). Em anos climáticos normais, isso tem dado suporte aos preços do grão da primeira safra (**Figura 3**), que tem como foco o mercado interno. Além disso, a alta das cotações do frete em razão do escoamento das safras recordes de soja tem encarecido os preços do cereal nesse período. Esse aspecto é relevante para expansão e oportunidade de negócio para o sorgo na primeira safra em regiões semiáridas do Brasil onde a colheita é feita nesse momento e outros cultivos são inviáveis pela restrição hídrica.



Figura 3. Série histórica dos preços do milho e do sorgo nas regiões sudeste e centro-oeste do Brasil. Fonte: Conab (2018).

Manejo da palhada do sorgo

Alelopatia do sorgo

Alelopatia é definida como a liberação, por um dado organismo, de substâncias químicas ao ambiente, as quais interagem com outro organismo presente, inibindo ou estimulando o seu crescimento e, ou, desenvolvimento (Rice, 1984). Ainda, de acordo com o mesmo autor, a alelopatia pode ocorrer entre microrganismos e plantas, entre plantas cultivadas, entre plantas daninhas, e entre plantas daninhas e plantas cultivadas. Em geral, substâncias alelopáticas, fitotoxinas, aleloquímicos ou produtos secundários, são as denominações dadas aos compostos químicos liberados pelos organismos no ambiente, que afetam os outros componentes da comunidade.

O sorgo vem se destacando nos sistemas agrícolas praticados no Brasil pois tolera condições desfavoráveis de umidade no solo e produz grande quantidade de matéria seca com relação C/N relativamente alta (Almeida Dan et al., 2010). Além disso, o sorgo, por apresentar as maiores taxas fotossintéticas e balanço de biomassa favorável quando comparado a milho e braquiária (*Brachiaria decumbens*), é a espécie que apresenta o melhor desempenho ecofisiológico sob restrição hídrica (Sani et al., 2011; Santos et al., 2014b; Tolk et al., 2013), constituindo-se, dessa forma, em cobertura apropriada para o estabelecimento e/ou a manutenção do sistema de semeadura direta da soja (Machado et al., 2011; Magalhães et al., 2014).

Os efeitos mais conhecidos de alelopatia causados pela planta de sorgo são: redução de germinação; falta de vigor vegetativo; morte das plântulas; amarelecimento ou clorose das folhas;

redução do perfilhamento e atrofiamento ou deformação das raízes (Oliveira Júnior et al., 2015). Em sorgo, esses compostos químicos são polifenóis exsudados pelos tricomas das raízes e ou derivados na degradação da palhada do sorgo, atuando, sobretudo, como inibidores da germinação de sementes de dicotiledôneas (Uddin et al., 2014).

O sorgoleone (2-hidroxi-5-metoxi-3 - [(Z, Z) -8, 11, 14-pentadecatrieno]-benzoquinona) é uma importante substância alelopática que é produzida nas raízes de sorgo (Dayan 2006; Jabran; Farooq, 2013; Santos et al., 2012). Segundo Dayan (2006), os pelos radiculares excretam o sorgoleone na forma de gotículas oleosas. A quantidade de sorgoleone produzido pelas raízes de sorgo parece ser proporcional ao número de pelos radiculares ao invés do volume radicular ou da área de superfície, como se pensava anteriormente (Dayan, 2006).

Nesse sentido, descobertas recentes descrevem ainda oportunidades que a alelopatia em sorgo pode proporcionar no controle biológico de plantas daninhas nas lavouras (Farooq et al., 2011; Jabran et al., 2008). As **Tabelas 1 e 2** apresentam uma visão geral das substâncias químicas alelopáticas observadas em sorgo e sua atividade sobre plantas daninhas e plantas de importância econômica, respectivamente.

O etileno desempenha um papel na regulação da produção de sorgoleone nas raízes do sorgo. Condições de luz, temperatura, maior ou menor do que a ideal, ou excesso de umidade (condições hipóxicas) podem inibir o crescimento de pelos radiculares, o que causará um declínio na produção de sorgoleone em raízes de sorgo (Dayan, 2006; Yang et al., 2004). Ao mesmo tempo, as raízes das plantas de sorgo podem encapsular o sorgoleone

numa faixa aproximada de 20-40 $\mu\text{g g}^{-1}$ de peso seco, havendo uma maior produção de sorgoleone por plantas jovens em comparação as mais velhas (Dayan et al., 2010; Uddin et al., 2010). Uma interessante revisão compilada por Dayan et al. (2010) fornece um relato detalhado sobre a descoberta, nomenclatura, atividade biológica, síntese e dinâmica no solo do sorgoleone.

Tabela 1. Aleloquímicos relatados em sorgo de diferentes partes do mundo.

Aleloquímicos	Região	Referências
Sorgoleone	EUA	Czarnota et al. (2003); Dayan (2006)
Sorgoleone	Brasil	Santos et al. (2012)
Sorgoleone	Coreia do Sul	Uddin et al. (2014)
Ácido clorogênico, m-cumárico, ácido, ácido cafeico	Paquistão	Cheema et al. (2009)
Ácido p-hidroxibenzóico, ácido p-cumárico, ácido cafeico, ácido ferúlico, ácido vanílico, ácido serídrico, p-hidroxibenzaldeído	Senegal	Sène et al. (2000)
Ácido ferúlico, ácido vanílico, ácido gálico, ácido p-cumárico, ácido siringico, ácido p-hidroxibenzóico	Iraque	Alsaadawi e Dayan (2009)
Ácido p-hidroxibenzóico	Iraque	Alsaadawi et al. (2007)

Tabela 2. Efeitos alelopáticos de sorgo em plantas daninhas e outras plantas cultivadas.

Alelo-químicos	Planta cultivada afetada	Impacto notado	Referência
Sorgoleone	A. retroflexus, E. crus-galli, Setaria viridis (L.) P.Beauv., Abutilon theophrasti Medik., Datura stramonium L., D. sanguinalis	Redução no crescimento	Einhellig e Leather (1988)
Sorgoleone	Milho, ervilha, soja	Inibição da fotossíntese e do funcionamento mitocondrial	Einhellig e Leather (1988); Rasmussen et al. (1992)
Sorgoleone	Soja e milho	Decréscimo na absorção de água e na atividade da bomba H ⁺ ATPase nas raízes	Hejl e Koster (2004)

Áreas cultivadas com sorgo apresentam grande quantidade de material vegetal após a colheita. Esta palhada deixada sobre o solo pode ser utilizada eficientemente no controle de plantas

daninhas, sobretudo quando das estratégias do plantio direto e do cultivo mínimo (**Tabela 3**).

Tabela 3. Efeitos de cobertura morta com palhada de sorgo sobre o desenvolvimento de plantas daninhas.

Região	Qtd. De palhada (ton ha ⁻¹)	Plantas daninhas suprimidas	Controle (%)	Referências
Brasil	1,3	Brachiaria plantaginea (Link) Hitchc.; Sida rhombifolia L.	~50	Trezzi e Vidal (2004)
Paquistão	(10 - 15)	C. rotundus	26–37	Cheema et al. (2004)
Paquistão	12	T. portulacastrum	~60	Khaliq et al. (2011)

Formação de palha e dessecação

Destacam-se três fatores importantes para o desenvolvimento da área de sorgo no cerrado (Duarte et al., 2007). O primeiro fator foi a crescente expansão da produção de soja; o segundo foi a expansão do cultivo de safras de inverno (safrinha) e o terceiro a expansão das áreas com uso de plantio direto. Não existe uma ordem crescente de importância, pois os três fatores estão relacionados entre si. Assim, o plantio direto gerou oportunidades para o uso de sorgo em rotação de culturas e para produção de palhada de boa qualidade para proteção do solo. O sorgo granífero é um grande componente dos sistemas de produção intensiva em áreas do cerrado. Na **Figura 4** pode-se observar o

desenvolvimento da cultura em áreas de safrinha sob plantio no cerrado de Minas Gerais.



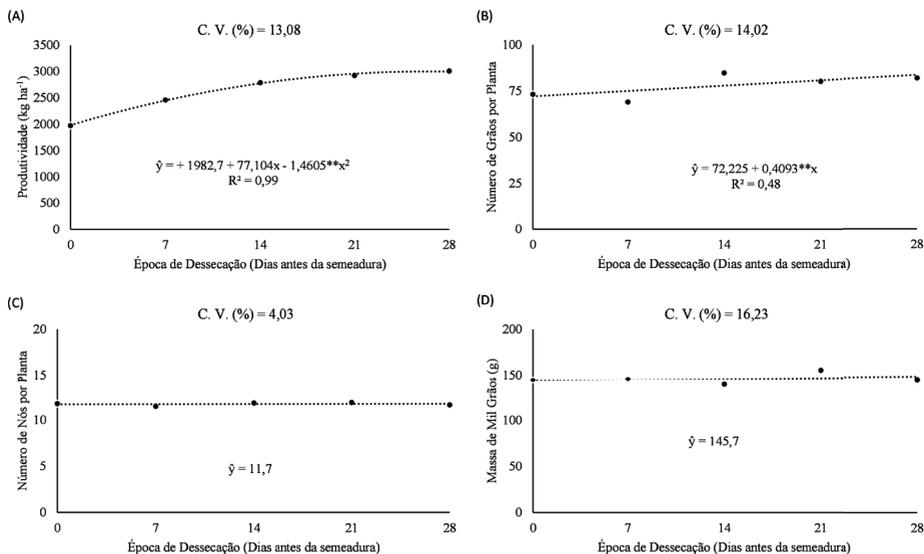
Figura 4. Lavouras de sorgo granífero em diferentes estádios de desenvolvimento semeado na safrinha sob plantio direto no município de Patos de Minas, MG. Fotos: Carlos Juliano Brant Albuquerque

O sorgo é um dos principais cereais cultivados no mundo, além de ser boa alternativa em regiões com deficiência hídrica, podendo ser cultivado solteiro ou em consórcio com outras forrageiras. Essa cultura pode se adaptar a vários ambientes e produzir razoavelmente bem sob condições desfavoráveis, e tem-se tornado uma alternativa para alimentação animal no Brasil e até mesmo na alimentação humana na Ásia e África. Além disso, o sorgo produz grande quantidade de palhada e com elevada relação C/N, o que é uma característica fundamental para a prática de semeadura direta em regiões quentes, em que a lenta decomposição da palha é desejada (Albuquerque et al., 2013a). Isso permite menor velocidade de decomposição, protegendo o solo por mais tempo contra a erosão e reduzindo a evaporação da água dele e, além disso, aumenta a eficiência da ciclagem de nutrientes (**Figura 5**).

Para eliminar o efeito alelopático do sorgo sobre a soja foi desenvolvida pesquisa por Freitas e Albuquerque (2018) no IAC envolvendo diferentes épocas de dessecação da rebrota do sorgo para semeadura da soja (0, 7, 14, 21, 28 dias após dessecação). Nesse trabalho foi observado que a maioria dos componentes de produção não foram afetados quando a semeadura ocorreu após os 14 dias de dessecação (Figura 6). Demuner et al. (2005) concluíram que o tempo de meia-vida da sorgoleona é 10 dias, o que classifica essa substância como não persistente. Assim sendo, o efeito fitotóxico reduz consideravelmente após este período.



Figura 5. Rebrota e palhada formada pelo sorgo granífero 60 dias após a colheita da safrinha no município de Araguari, MG. (Fotos: Carlos Juliano Brant Albuquerque)



*Letras minúsculas nas colunas em cada característica não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de produtividade.

Figura 6. Número de nós por planta; número de grãos por planta, massa de mil sementes e produtividade de grãos de soja semeadas em diferentes épocas após dessecação do sorgo. Fonte: Freitas e Albuquerque (2018).

Além da alelopatia, outra questão importante no manejo da palhada diz respeito a alta relação C/N do sorgo. Vários autores ao comparar a relação C/N do milho, sorgo e milheto para cobertura de solo concluíram que o sorgo tem maior relação C/N, principalmente quando mais tardiamente for o corte (Calvo et al., 2010; Silva et al., 2009). De acordo com Moreira e Siqueira (2002), na presença de fitomassa com concentração de N alta e, conseqüentemente, relação C/N baixa, como das leguminosas de maneira geral, a demanda por N dos microrganismos no processo de decomposição é satisfeita rapidamente, e o N em

excesso passa a ser liberado rapidamente no solo. Por outro lado, se a concentração de N dos resíduos vegetais for baixa (relação C/N alta), a quantidade de N mineralizado não é suficiente para atender a demanda dos microrganismos, os quais passam a imobilizar o N mineral disponível no solo, comprometendo a nutrição nitrogenada das lavouras. No que diz respeito à manutenção da palhada para viabilizar o sistema plantio direto, geralmente, plantas com alta relação C/N são fundamentais para aumentar a persistência da cobertura do solo ao longo do tempo (Andreola et al., 2000). Sendo assim, com o avanço da degradação da palhada em função das primeiras dessecações do sorgo, possivelmente ocorreu aumento da disponibilidade do nitrogênio do solo para a soja com conseqüentes incrementos nos componentes de produção (**Figura 6**).

O sorgo em consórcio com forrageiras também propicia maior cobertura de solo para formação de palhada. Experimentos envolvendo consórcio de sorgo com forrageiras em condições marginais de cultivo demonstraram o potencial produtivo da cultura nas regiões do semiárido e safrinha (Albuquerque et al., 2013c, 2011). Entretanto, o produtor deve ficar atento a falta de água na ocasião da semeadura, bem como fertilidade do solo. Apesar de o sorgo ser considerado tolerante a seca, a falta de água na primeira fase de crescimento, que vai do plantio até a iniciação da panícula pode trazer prejuízos na germinação, emergência e estabelecimento da plântula. O mesmo dano também pode ser extrapolado para a forragem em consórcio, entretanto com perdas mais significativas pois conforme destacado posteriormente neste capítulo as sementes das forrageiras são semeadas misturadas ao adubo de cobertura exigindo uma rápida germinação pela possibilidade da morte do embrião pelo sal existente nos adubos formulados.

A maior capacidade de extrair água do solo e maior eficiência na sua utilização apresentada pelo sorgo pode ser atribuída a maior taxa de exploração de volume de solo pelo sistema radicular e características morfológicas e fisiológicas da planta. Esses caracteres e rotas fotossintéticas torna essa planta altamente competitiva pelos recursos do ambiente.

Experimentos envolvendo espaçamentos e populações de plantas para o consorcio do sorgo com diferentes espécies de braquiárias foram implantados na Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais com o intuito de atenuar a competição entre as espécies (Albuquerque et al., 2011). Esses autores demonstraram que as produtividades foram superiores nos menores espaçamentos (40 a 50cm) e populações até 140 mil plantas ha⁻¹, entretanto a competição só foi reduzida quando a semeadura da forragem em consórcio foi feita a lanço na ocasião da semeadura do sorgo ou misturado em cobertura a adubação do sorgo (Albuquerque et al., 2014). No primeiro caso, ocorre maior distribuição das sementes da forragem da área com menor contato da semente com o solo o que favorece o crescimento lento da pastagem quando comparado ao sorgo. No segundo caso, em cobertura, o sorgo já apresenta seis folhas totalmente expandidas e tem maior capacidade de competir com as forrageiras em consórcio. Antes disso, a forrageira tem um crescimento inicial lento que favorece o consórcio. O consórcio proporciona uma vasta cobertura vegetal verde durante o período seco do ano gerando alimento para o gado neste período ou palha para cultura subsequente conforme ilustrado na **Figura 7**.



Figura 7. A esquerda sorgo solteiro no espaçamento 50 cm a direita consórcio do sorgo com *B. brizantha* no espaçamento 50 cm. Fonte: Carlos Juliano Brant Albuquerque

Utilização do sorgo na supressão de plantas daninhas e manejo de nematoides

A rotação de culturas é um método clássico de controle não químico de ervas daninhas, pragas e doenças. Ou seja, uma diferença no manejo de culturas e práticas agrônômicas que podem ajudar a quebrar o ciclo, também, das ervas daninhas. De forma a aumentar a eficiência, sobretudo do controle de plantas daninhas, vem sendo recomendado a inclusão, no sistema, de uma cultura alelopática (Jabran et al., 2015; Liebman; Dyck, 1993). Diferente do sistema de rotação o de sucessão uma mesma cultura pode se repetir na safra subsequente. Na **Figura 8**, são demonstrados exemplos de rotação e sucessão de culturas.

Rotação de culturas							
Ano 1		Ano 2		Ano 3		Ano 4	
Primavera / Verão	Outono / Inverno	Primavera / Verão	Outono / Inverno	Primavera / Verão	Outono / Inverno	Primavera / Verão	Outono / Inverno
Soja	Sorgo	Algodão	Milho	Soja	Sorgo	Algodão	Milho
Sucessão de culturas							
Ano 1		Ano 2		Ano 3		Ano 4	
Primavera / Verão	Outono / Inverno	Primavera / Verão	Outono / Inverno	Primavera / Verão	Outono / Inverno	Primavera / Verão	Outono / Inverno
Soja	Sorgo	Soja	Sorgo	Soja	Sorgo	Soja	Sorgo

Figura 8. Esquema de rotação e sucessão de culturas.

A sucessão de cultura, comumente utilizada no Brasil, é a prática mais comum nos sistemas de produção envolvendo o cultivo do sorgo com alternância do plantio de soja, embora essa prática não traz consigo os benefícios agrônômicos da diversificação de culturas.

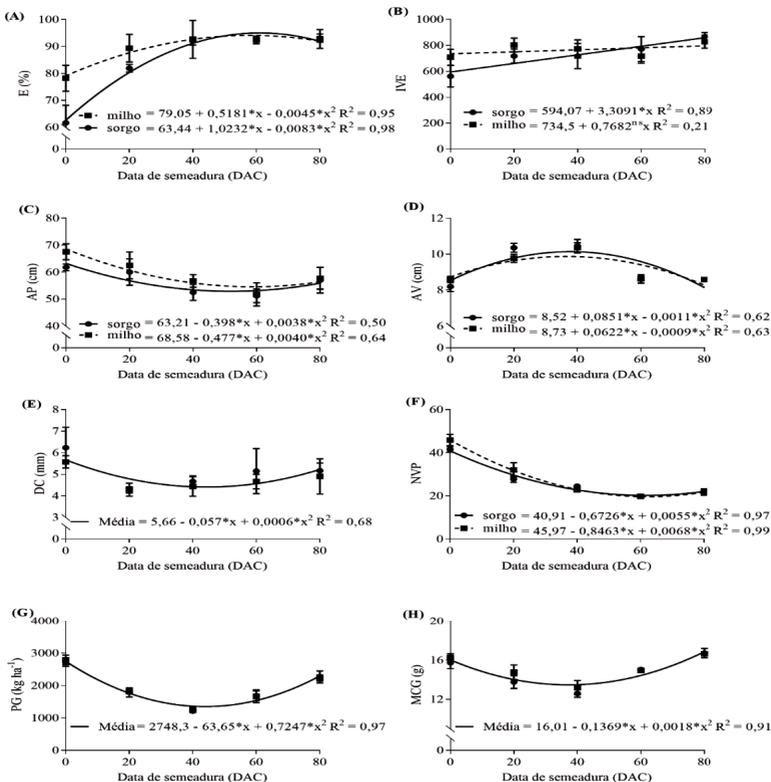
No entanto, apesar dos benefícios da diversificação de culturas, a expansão do portfólio agrícola é uma atividade complexa que envolve fatores técnicos, operacionais e financeiros da empresa rural, uma vez que esta afeta o planejamento produtivo em diferentes modos (Oliveira et al., 2012). A rotação de culturas faz parte dos três princípios para implantação do sistema de plantio direto, juntamente com semeadura direta na palha (ausência de preparo de solo) e cobertura do solo. Na maioria das vezes, o sistema de plantio direto é utilizado no Brasil em sua forma incompleta, pois o princípio da rotação é raramente respeitado e conseqüentemente benefícios agrônômicos não são efetivados.

O sorgo pode ser considerado como uma cultura ideal para ser usada em uma rotação ou sucessão de culturas por causa do seu alto potencial alelopático e por ser uma cultura que pode crescer sob condições de estresse (como o estresse hídrico) (Alsaadawi; Dayan, 2009). O sorgoleone, presente nas raízes do sorgo ou adicionada ao solo pelas raízes do sorgo, pode expressar sua

atividade e interferir no crescimento ou inibir a germinação das plantas daninhas. Além disso, a parte aérea do sorgo proporciona uma expressiva quantidade de biomassa vegetal, geralmente cheia de aleloquímicos (compostos fenólicos) que atuarão na supressão de plantas daninhas.

Importante contribuição, nesse aspecto, foi a obtida por Biesdorf (2017), o qual, objetivando avaliar o efeito alelopático do sorgo sobre a soja cultivada em diferentes datas após a colheita do sorgo e também sobre o comportamento da comunidade vegetal infestante, verificou que o desenvolvimento vegetativo inicial da soja é afetado negativamente quando a semeadura da soja é realizada em até 40 dias após a colheita do sorgo, apesar da produtividade final da soja não ter sido afetada pela cultura antecessora (**Figura 9**). Além disso, verificou que o cultivo de sorgo influenciou a fitossociologia e reduziu a incidência de plantas daninhas, podendo ser utilizado como estratégia de manejo integrado de plantas daninhas no sistema de rotação de culturas.

Em outro recente trabalho, Shahzad et al. (2016), no Paquistão, usaram diferentes culturas de verão como culturas de rotação com trigo semeado no inverno. Neste trabalho, foi observado que a semeadura de sorgo em um esquema de rotação de culturas foi eficaz na supressão das plantas daninhas na cultura do trigo. Os autores discutiram que o efeito alelopático do sorgo ajudava a suprimir as ervas daninhas nessa rotação (Shahzad et al. 2016). Ou seja, o sorgo, dado a sua eficácia na redução da comunidade infestante de plantas daninhas, pode ser incluído em diferentes sistemas de cultivo como uma cultura de rotação, a fim de controlar as ervas daninhas naturalmente, reduzindo-se a utilização de herbicidas químicos.



Dados: *p < 0,05. ns

Figura 9. Emergência (E) (%) (A), índice de velocidade de emergência (IVE) (B), altura de planta (AP) (cm) (C), altura de inserção de primeira vagem (AV) (cm) (D), diâmetro de coletor (DC) (mm) (E), número de vagens por planta (NVP) (F), produtividade de grãos (PG) ($kg\ ha^{-1}$) (G) e massa de cem grãos (MCG) (g) (H) da soja em função das culturas antecessoras sorgo e milho e época de semeadura. não significativo. Fonte: Biesdorf (2017).

Em relação a redução de nematoides na área com a rotação/sucessão de culturas, os produtores devem ficar atentos ao fator de multiplicação das espécies cultivadas, seja milho, sorgo, milheto, soja, etc. A ausência de plantas multiplicadoras de nematoides ou com fator de reprodução baixo é uma importante estratégia para o manejo integrado de áreas infestadas (Asmus et al., 2008). Dessa forma, tanto a cultura do sorgo quanto outras espécies cultivadas, devem ter informações suficientemente disponibilizadas pelas empresas para serem recomendadas nos sistemas de produção, em áreas infestadas. Assim, o uso de culturas não hospedeiras ou resistentes em rotação ou sucessão à cultura da soja configura-se como um dos métodos importantes no manejo das principais espécies de nematoides, pois além de não implicar em custos adicionais, não provoca impactos ambientais porque, mesmo em áreas já infestadas, dispensa o uso de produtos químicos.

Experimentos realizados em áreas de produção de algodão indicam que a rotação de culturas com milho, soja resistente e capim-braquiária (Davis et al., 2003; Asmus; Richetti, 2010) ou o estabelecimento de culturas de cobertura, tais como sorgo forrageiro, milheto e capim-braquiária (Asmus et al., 2008) promovem a redução da densidade populacional de algumas espécies de nematoides do solo, com reflexos positivos sobre a produção de algodão.

A rotação é fundamental quando não existem variedades resistentes e/ou os níveis populacionais de nematoides estão muito altos. A escolha da cultura, para a rotação, vai depender do resultado nematológico, pois existem culturas resistentes a um tipo de nematoide, e não resistentes a outros. A rotação de culturas quebra o ciclo do nematoide diminuindo a sua população

para a próxima safra. Se o agricultor não adotar a rotação, há o perigo do nematoide virar uma praga de difícil controle e de severos prejuízos à produtividade das plantas.

Segundo Inomoto e Asmus (2006), o milho e o sorgo granífero não são plantas hospedeiras de *Heterodera glycines* de *Rotylenchulus reniformis* e, portanto, seu uso como cultura safrinha pode ser considerado um dos componentes do manejo integrado de ambos os nematoides. Porém, tanto o milho como o sorgo devem ser evitados em locais em *Meloidogyne incógnita* e *Pratylenchus brachyurus* pois são nematoides-praga. Aquele que apresenta respostas mais variáveis para as culturas das safrinhas é o nematoide das galhas mais comum no Brasil, *Meloidogyne javanica*. A densidade de *M. javanica* é reduzida durante o ciclo de alguns híbridos de sorgo, mas pode ser aumentada em até 3x em outros. Fato semelhante ocorre em milho, com a diferença de que o aumento da população do nematoide, nos milhos suscetíveis, pode chegar a 8x. Portanto, existem milhos e sorgos resistentes a *M. javanica* e outros suscetíveis. Nesse aspecto, há outra vantagem dos sorgos graníferos, pois a maioria deles é resistente, enquanto somente 20 a 30% dos milhos apresentam essa característica. Além disso, coincidentemente, a maioria dos milhos resistentes é indicada para o sul do país, onde o milho é cultivado como cultura de verão, e somente cerca de 5 a 10% dos milhos recomendados como cultura safrinha são resistentes a *M. javanica*. Porém, vale a pena conhecê-los, obtendo a informação com as empresas produtoras de sementes, pois podem fazer a diferença entre uma produção satisfatória e uma frustrante.

Brida (2012) ao avaliar a resistência de diferentes híbridos de sorgo concluíram que o BRS-310, BRS-800, BRS-610 e BRS-330 são resistentes ao *M. incógnita*, já os híbridos BRS-700, BRS-

801, BRS-802, BRS-308 foram suscetíveis. Para *M. javanica*, os híbridos suscetíveis, com maiores fatores de reprodução, foram BRS-802 e BRS-700. Os demais híbridos estudados promoveram baixa multiplicação de *M. javanica*. Ainda nesse trabalho todos os híbridos de sorgo comportaram-se como resistentes para *M. enterolobii*.

Além do uso de cultivares resistentes de sorgo aos nematoides, outras práticas de manejo integrado devem ser utilizadas nas quais podemos destacar: tratamento de sementes com produtos químicos ou biológicos, bem como evitar disseminação do nematoide por meio da limpeza do maquinário usado na área de cultivo como forma de evitar a propagação. Análise previa dos nematoides existentes na área de cultivo é fundamental para direcionamento das práticas de manejo.

Espaçamento adensado

Para agilizar a semeadura do sorgo safrinha os produtores têm adotado espaçamentos recomendados para cultura da soja. Entretanto existem poucos estudos envolvendo espaçamentos adensados no cultivo, e os que existem corroboram em sua maioria com a necessidade de reduzir espaçamento para incrementos de produtividade. A falta de equipamentos específicos para semeadura adensada ainda é um limitante para cultura.

O sorgo é uma das espécies de importância agrícola que apresentam grande potencial de utilização da radiação solar por meio da fotossíntese para a conversão de carbono mineral em carbono orgânico na forma de grãos e de forragens. Em condições não estressantes, a fotossíntese é afetada pela quantidade de luz

fotossinteticamente ativa, proporção desta luz interceptada pela estrutura do dossel e pela distribuição ao longo do dossel.

Em trabalhos avaliando o perfilhamento de cultivares de sorgo semeado em diferentes arranjos de plantas, foi relatado que as interações entre os menores espaçamentos e maiores densidades proporcionaram menores números de perfilhos (Jones; Johnson, 1997; Baumhardt; Howell, 2006). O perfilhamento de cultivares de sorgo é uma característica afetada pela época de semeadura, espaçamento, densidade e ciclo da cultura (Baumhardt; Howell, 2006).

Meira et al. (1977) estudaram o arranjo de plantas de sorgo granífero nos municípios de Patos de Minas, Prudente de Moraes, Felixlândia e Jaíba e concluíram que houve efeito do espaçamento e da densidade apenas nas duas primeiras localidades. Nas regiões com maior precipitação, verificaram maior tendência para os menores espaçamentos e maiores densidades.

Montagner et al. (2004) afirmam que o sorgo possui compensação de rendimento de grãos quando submetido à redução da população inicial e o componente do rendimento de grãos mais afetado pela diminuição da população inicial é o número de grãos por panícula. Ou seja, altas densidades de semeadura não apresentam vantagens na produção da cultura do sorgo (Berenguer; Facci, 2001; Lopes et al., 2005).

Em trabalhos avaliando o perfilhamento de cultivares de sorgo semeado em diferentes arranjos de plantas, foi relatado que as interações entre os menores espaçamentos e maiores densidades proporcionaram menores números de perfilhos (Jones; Johnson, 1997; Baumhardt; Howell, 2006). O perfilhamento de cultivares

de sorgo é uma característica afetada pela época de semeadura, espaçamento, densidade e ciclo da cultura (Baumhardt; Howell, 2006).

De acordo com Baumhardt e Howell (2006) os menores espaçamentos aumentam a produtividade de grãos em qualquer regime hídrico, sendo que estes autores recomendam o espaçamento de 28 cm entre fileiras para o sorgo granífero. Steiner (1986) demonstrou que os menores espaçamentos entre fileiras no cultivo do sorgo proporcionaram maiores incrementos na produtividade de grãos.

Albuquerque et al. (2010) afirmaram que a redução do espaçamento 75 para 25 cm propicia incrementos na produtividade de grãos por causa do incremento no tamanho e peso dos grãos por panícula. Em condições de maior disponibilidade hídrica esses autores afirmam que ocorre maior enchimento das espiguetas e conseqüentemente maiores quantidades de grãos por panícula. O maior número de grãos por panícula é considerado o principal componente de produção associado ao rendimento do sorgo (Magalhães et al., 2000). Resultados semelhantes também foram reportados por Myers e Fole (1981) ao demonstrar maior produtividade de grãos no espaçamento 25cm. Vários trabalhos têm demonstrado incrementos na produção de grãos ou forragem com a redução do espaçamento (Lopes et al., 2005; Baumhardt; Howell, 2006; Albuquerque et al., 2011).

Aguilara e Emileb (2013) ao comparar espaçamentos 20 e 75cm destacaram que a redução do espaçamento favoreceu o rendimento de matéria seca e incrementos de proteína da forragem do sorgo. O benefício da redução do espaçamento

é obtido, principalmente, em anos sem deficiência hídrica (Albuquerque et al., 2011).

Segundo Albuquerque et al. (2013a) ao avaliar 4 espaçamentos entre plantas (25, 50, 75 e 90cm) reportaram que a redução do espaçamento entre plantas aumenta os teores de nitrogênio e enxofre exportados nos componentes remanescentes da parte aérea do sorgo granífero.

Mantendo-se a população adequada de plantas, espaçamentos reduzidos entre as fileiras propiciam melhor utilização dos recursos do ambiente, favorecendo uma rápida cobertura do solo e, conseqüentemente, o domínio e a vantagem da cultura sobre as plantas daninhas. Além disso, culturas com alto potencial produtivo causam maior depleção de recursos do ambiente, reduzindo sua disponibilidade para outras espécies e, desse modo, tornando-se mais competitivas com plantas daninhas.

Exportação de nutrientes e ciclagem de nutrientes

Mesmo com o aumento da produtividade do sorgo, a média nacional ainda está muito abaixo do potencial dos híbridos disponíveis no mercado. Na maior parte das regiões produtoras do Brasil se destacam a produção de soja na safra e o plantio de milho na entressafra. Normalmente, o sorgo é cultivado num período de entressafra mais tardia, quando aumentam os riscos de perda na cultura do milho pelas intempéries climáticas. Os plantios tardios tendem a reduzir a produtividade, principalmente por falta de água no enchimento de grãos.

O sorgo foi tratado como planta rústica por causa da sua capacidade de desenvolver-se bem em condições adversas,

principalmente em relação a escassez hídrica, porém o produtor deve estar ciente que isso não significa que ela necessite de menos nutrientes ou que não seja responsiva a adubação mineral suplementar (Von Pinho et al., 2014; Albuquerque et al., 2014; Whitney, 1998; House, 1985). À semelhança de outras culturas anuais, o sorgo pode apresentar grande exigência nutricional, sobretudo quando se busca alta produtividade (Resende et al., 2009). Ele é considerado muito eficiente na utilização de nutrientes do solo em razão de seu sistema radicular ser bem fibroso e desenvolvido. As quantidades de nutrientes absorvidos variam de acordo com as cultivares, condições de clima, fertilidade do solo e demais tratos culturais (Fornasieri Filho; Fornasieri, 2009).

O sorgo safrinha é cultivado sob sequeiro, após a colheita da safra de verão, sob condições ambientais peculiares, especialmente baixas temperaturas e pouca disponibilidade de água no solo, requerendo técnicas específicas de manejo que diferem daquelas recomendadas para as lavouras de verão. O sorgo safrinha em plantio direto deve ser cultivado em solos com fertilidade média a alta, pois em solos de baixa fertilidade seriam necessárias doses elevadas de adubos, que podem ser inviáveis economicamente pela baixa eficiência da adubação na safrinha quando comparado a safra. Além disso, os solos de baixa fertilidade que persistem nas áreas do cerrado são, quase totalmente bastante arenosos.

O planejamento da adubação do sorgo deve considerar a cultura antecessora bem como a cultura sucessora, que na maioria das vezes no cerrado trata-se da soja. Adubações limitadas do sorgo prejudica o próximo cultivo por limitações na fertilidade do solo podendo prejudicar todo sistema. Assim, a soja deve ser cultivada visando manter boas condições de solo para o sorgo e vice-versa. Importante destacar que os princípios básicos

utilizados na recomendação de adubação do sorgo safrinha em plantio direto são praticamente os mesmos da época normal, com o cuidado de se levar em consideração o menor potencial produtivo, que limita as doses econômicas, e a precipitação pluvial decrescente, que afeta o parcelamento da adubação. O cultivo da soja antecedendo o sorgo aumenta a disponibilidade de N no solo, a absorção de N pela planta e o rendimento de grãos, sendo o sistema de manejo da leguminosa importante para a melhoria dos componentes de produção da cultura. Em contrapartida, o sorgo fornece uma palhada proveniente dos restos culturais bem como rebrota de excelente qualidade para o plantio direto da soja.

As necessidades nutricionais das plantas são determinadas pelas quantidades totais de nutrientes absorvidos nas diferentes etapas fisiológicas do seu ciclo e tem relação direta com a produtividade (Bull; Cantarella, 1993). A maior exigência refere-se a nitrogênio e potássio, em seguida fósforo, enxofre, magnésio e cálcio. O fósforo é o nutriente mais translocável, seguido pelo nitrogênio e enxofre. Por sua vez, os nutrientes cálcio e magnésio apresentam reduzida translocação para os grãos (Taiz; Zeiger, 2013; Epstein; Bloom, 2004). As necessidades nutricionais da planta são determinadas pela quantidade de nutriente que ela extrai, dependendo da produtividade obtida e da concentração de nutrientes nos grãos e na palhada.

Albuquerque et al. (2013a) avaliando teores de macronutrientes na maturidade fisiológica em diferentes arranjos de plantas, na parte colmo mais folhas, encontrou teores maiores de K seguidos de N e P. O acúmulo de nutrientes no grão foi maior para N seguido de K e P. Mesma sequência observada por Franco (2011). Zandonadi et al. (2016) avaliando a extração e exportação

de macronutrientes de vários híbridos de sorgo granífero em Votuporanga, SP, observaram que os teores de macronutrientes nos diferentes estádios fenológicos variam de acordo época de semeadura avaliada apresentando a seguinte ordem decrescente de concentração: $N > K > P > Ca > Mg > S$.

O histórico da área é fundamental para definição da contribuição do N no sistema plantio direto, esse fator está relacionado à cultura de cobertura ou à cultura antecessora. Resíduos culturais com elevada relação C/N podem reduzir substancialmente as quantidades de N disponíveis no solo para a cultura em sucessão. A sequência de culturas em rotação também influencia o manejo da adubação nitrogenada. Espécies de leguminosas que fixam N_2 atmosférico em simbiose com bactérias do gênero *Rhizobium* promovem, para a cultura em sucessão, maior disponibilidade de N no solo. Em função desta disponibilização, pode-se reduzir em cerca de 50% a dose de N para a cultura seguinte (Lopes et al., 2004).

Com o acúmulo de palha na superfície em áreas de plantio direto, as perdas de N da ureia por volatilização de amônia tendem a ser mais intensas e rápidas por causa da maior atividade da urease nos resíduos vegetais. Ademais, a incorporação da ureia ao solo, reduz significativamente ou evita tais perdas. Em solos do cerrado, existe uma tendência de aumento das doses de N na semeadura do sorgo safrinha, dos 10 a 20 kg ha⁻¹ empregados há alguns anos, para cerca de 30 a 40 kg ha⁻¹. Isso é consequência do aumento da produtividade esperada, mas, reflete também a maior demanda por N das áreas em plantio direto.

No caso do sorgo safrinha, após a cultura da soja, esta leguminosa deixa muito nitrogênio no solo, mas este é mineralizado

lentamente e pode não suprir essa grande demanda do sorgo. Adubações nitrogenadas de semeadura com fórmulas NPK concentradas em nitrogênio, por exemplo, 12-16-16, 13-13-13, 16-16-16, permitem um rápido desenvolvimento inicial da planta.

Como na maioria das regiões de sorgo safrinha não existe o problema de perdas do nitrogênio por lixiviação, a adubação nitrogenada de cobertura deve ser realizada somente quando houver previsão de boas condições ambientais.

Para produtividades esperadas entre 4 a 6 kg ha⁻¹ recomenda-se entre 20-80 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 20 a 60 kg ha⁻¹ de K₂O (Sousa; Lobato, 2004; Cantarella et al., 1996).

Conhecer os teores foliares de nutrientes no sorgo é de fundamental importância dentro do manejo da nutrição, contribuindo para aumento na sua eficiência no campo, proporcionando ganhos em produtividade e redução de custos. A informação em relação a extração de nutrientes pelas plantas em diferentes níveis de produtividade deve ser levada em consideração para que se possa definir o manejo adequado da fertilidade do solo na propriedade, explorando ao máximo o potencial produtivo da cultura (Santos et al., 2014a).

Considerações finais

A cultura do sorgo tem grande potencial para maior estabilidade e sustentabilidade dos sistemas de produção, bem como segurança alimentar em algumas regiões do Brasil. A produtividade nacional de sorgo há 30 anos atrás demonstra valores bem próximos aos atuais. Isso ocorreu pela transferência do cultivo do sorgo da safra como cultura de safrinha nos tempos atuais.

A evolução do sorgo safrinha no cerrado foi devida a crescente expansão da produção de soja na mesma área. O plantio direto gerou oportunidades para o uso de sorgo para produção de palha de boa qualidade para proteção do solo (alta relação C/N). Os restos culturais do sorgo podem compor as estratégias para manejo integrado de plantas daninhas. Ou seja, os efeitos alelopáticos dos restos culturais do sorgo deve ser trabalhado como parte de soluções para os sistemas de produção e não como um problema nas culturas em sucessão que pode ser resolvido com dessecação antecipada e manejo de nutrientes. Assim, no manejo da rebrota do sorgo, é importante a dessecação com pelo menos 14 dias antes da semeadura da cultura sucessora para evitar efeitos sobre a cultura em sucessão.

O uso de espaçamentos reduzidos no sorgo tem potencial para incrementar ganhos em produtividade e redução de custos de produção pelo menor uso de herbicidas. Além disso, o manejo nutricional da planta é fundamental para sustentabilidade dos sistemas de produção envolvendo rotação ou sucessão de culturas.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq, Fapemig, Capes e Banco do Nordeste pelo apoio financeiro em algumas atividades de pesquisa apresentadas no capítulo.

Referências

AGUILARA, E. D. B.; EMILEB, J. C. Effect of row spacing and sowing density on sorghum forage yield and quality. **Revista Mexicana de Ciencias Pecuárias**, v. 4, n. 2, p. 161-176, 2013.

ALBUQUERQUE, C. J. B.; CAMARGO, R. de; SOUZA, M. F. de; Extração de macronutrientes no sorgo granífero em diferentes arranjos de plantas. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 12, n. 1, p. 10-20, 2013a.

ALBUQUERQUE, C. J. B.; MANTOVANI, E. C.; MENEZES, C. B. de; TARDIN, F. D.; FREITAS, R. S. de; MAY, A.; ZANDONADI, C. H. S. Sorgo granífero: manejo, colheita e armazenamento. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 35, n. 278, p. 41-48, jan./fev. 2014.

ALBUQUERQUE, C. J. B.; OLIVEIRA, R. M.; SILVA, K. M. J.; ALVES, D. D.; ALVARENGA, R. C.; BORGES, G. L. F. N. Consórcio de forrageiras tropicais com o sorgo granífero em duas localidades do Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 12, n. 1, p 1-9, 2013b.

ALBUQUERQUE, C. J. B.; VIANA, M. C. M.; FRANCO, F. O.; WENDLING, B.; DANTAS, I. B.; PEREIRA, D. R. A.; TAVARES, R. M. **Sorgo granífero em Sistema Integração Lavoura-Pecuária-Floresta sob residual de fósforo e diferentes arranjos de eucalipto**. Belo Horizonte: Epamig, 2013c. (Epamig. Circular Técnica, 184).

ALBUQUERQUE, C. J. B.; VON PINHO, R. G.; BRANT, R. S.; MENDES, M. C. Espaçamento e densidade de semeadura para cultivares de sorgo granífero no semiárido. **Bragantia**, Campinas, v. 70, p. 278-285, 2011.

ALBUQUERQUE, C. J. B.; ROCHA, G. R.; BRANT, R. S.; MENDES, M. C. Espaçamento reduzido para o cultivo do sorgo granífero no sistema irrigado e em sequeiro. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, v. 3, n. 2, p. 7-16, 2010.

ALMEIDA DAN, H.; LEMOS BARROSO, A. L.; MORAES DAN, L. G.; FINOTTI, T. R.; FELDKIRCHER, C.; SANTOS, V. S. Controle de plantas daninhas na cultura do milho por meio de herbicidas aplicados em pré-emergência. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 40, n. 4, p. 388-393, 2010.

ALSAADAWI, I. S.; ALEKELLE, M. H. S.; AL-HAMZAWI, M. K. Differential allelopathic potential of grain sorghum genotypes to weeds. **Allelopathy Journal**, v. 19, n. 1, p. 153-159, 2007.

ALSAADAWI, I. S.; DAYAN, F. E. Potentials and prospects of sorghum allelopathy in agroecosystems. **Allelopathy Journal**, v. 24, n. 2, p. 255-270, 2009.

ANDREOLA, F.; COSTA, L. M.; OLSZEWSKI, N. Influência da cobertura vegetal de inverno e da adubação orgânica e, ou, mineral obre as propriedades físicas de uma terra roxa estruturada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 24, n. 4, p. 857-865, 2000.

ASMUS, G. L.; RICHETTI, A. **Rotação de culturas para o manejo do nematoide reniforme em algodoeiro**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2010. 26 p. (Embrapa Agropecuária Oeste. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 55).

ASMUS, G. L.; INOMOTO, M. M.; CARGNIN, R. A. Cover crops for reniform nematode suppression in cotton: greenhouse and field evaluations. **Tropical Plant Pathology**, Brasília, DF, v. 33, n. 2, p. 85-89, 2008.

BARROS, A. S. **Viabilidade agrônômica de híbridos de milho, sorgo e girassol em safrinha no município de Rio Verde, GO**. 2008.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade de Rio Verde, Rio Verde, 2008.

BAUMHARDT, R. L.; HOWELL, T. A. Seeding practices, cultivar maturity, and irrigation effects on simulated grain sorghum yield. **Agronomy Journal**, Madison, v. 98, n. 3, p. 462-470, 2006.

BERENQUER, M. J.; FACI, J. M. Sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) yield compensation processes under different plant densities and variable water supply. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 15, n. 1, p. 43-55, Sept. 2001.

BIESDORF, E. M. **Alelopatia do sorgo granífero sobre a soja e as plantas daninhas**. 2017. 44 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2017.

BRIDA, A. L. **Reação de aveia branca, feijão, sorgo e trigo a *Meloidogyne incognita*, *M. javanica* e *M. enterolobii***. 2002. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2002.

BULL, L.T.; CANTARELLA, H. **Cultura do milho**: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: POTAFÓS, 1993. 301 p.

CABRAL, D. A.; ALBUQUERQUE, C. J. B.; SANTOS, F. E.; AGOSTINHO, F. B.; RODRIGUES, W. S.; CARDOSO, M. M. Matéria orgânica em solo cultivado com sorgo granífero sob diferentes coberturas vegetais para o sistema de integração lavoura-pecuária. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 33., 2011, Uberlândia. **Solos nos biomas brasileiros: sustentabilidade e mudanças climáticas: anais**. [Uberlândia]: SBCS: UFU, ICIAG, 2011. 1 CD-ROM.

CALVO, C. L.; FOLONI, J. S. S.; BRANCALIÃO, S. R. Produtividade de fitomassa e relação C/N de monocultivos e consórcios de guandu-anão, milheto e sorgo em três épocas de corte. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 1, p. 77-86, 2010.

CANTARELLA, H.; RAIJ, B. van; CAMARGO, C. E. O. Cereais. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: IAC, 1996. p. 43-71. (Boletim Técnico, 100).

CHEEMA, Z. A.; KHALIQ, A.; SAEED, S. Weed control in maize (*Zea mays* L.) through sorghum allelopathy. **Journal of Sustainable Agriculture**, Binghamton, v. 23, n. 4, p. 73-86, 2004.

CHEEMA, Z.; MUSHTAQ, M.; FAROOQ, M.; HUSSAIN, A.; ISLAM-UD-DIN, S. Purple nutsedge management with allelopathic sorghum. **Allelopathy Journal**, v. 23, p. 305-312, 2009.

CONAB. **Estatísticas:** dados de culturas. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 28 maio 2018.

CZARNOTA, M. A.; RIMANDO, A. M.; WESTON, L. A. Evaluation of root exudates of seven sorghum accessions. **Journal of Chemical Ecology**, New York, v. 29, p. 2073-2083, 2003.

DAVIS, R. F.; KOENNING, S. R.; KEMERAIT, R. C.; CUMMINGS, T. D.; SHURLEY, W. D. *Rotylenchulus reniformis* management in cotton with crop rotation. **Journal of Nematology**, St. Paul, v. 35, n. 1, p. 58-64, 2003.

DAYAN, F. E. Factors modulating the levels of the allelochemical sorgoleone in *Sorghum bicolor*. **Planta**, Berlin, v. 224, p. 339-346, 2006.

DAYAN, F. E.; RIMANDO, A. M.; PAN, Z.; BAERSON, S. R.; GIMSING, A. L.; DUKE, S. O. Sorgoleone. **Phytochemistry**, New York, v. 71, n. 10, p. 1032-1039, 2010.

DEMUNER, A. J.; BARBOSA, L. C. A.; CHINELATTO JÚNIOR, L. S.; REIS, C. Sorção e persistência da sorgoleona em um latossolo vermelho-amarelo. **Química Nova**, São Paulo, v. 28, n. 3, p. 451-455, 2005.

DUARTE, J. de O.; GARCIA, J. C.; MATOSO, M. J. **Área de plantio direto e área plantada com sorgo no cerrado**: existente alguma correlação entre elas? Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2007. 8 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Comunicado Técnico, 151).

EINHELLIG, F. A.; LEATHER, G. R. Potentials for exploiting allelopathy to enhance crop production. **Journal of Chemical Ecology**, New York, v. 14, n. 10, p. 1829-1844, 1988.

EPSTEIN, E. E.; BLOOM, A. J. **Nutrição mineral de plantas**: princípios e perspectivas. 2. ed. Londrina: Planta, 2004. 403 p.

FAROOQ, M.; FLOWER, K.; JABRAN, K.; WAHID, A.; SIDDIQUE, K. H. Crop yield and weed management in rainfed conservation agriculture. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 117, p. 172-183, 2011.

FORNASIERI FILHO, D.; FORNASIERI, J. L. **Manual da cultura do sorgo**. Jaboticabal: Funep, 2009.

FRANCO, A. A. N. **Marcha de absorção e acúmulo de nutrientes na cultura do sorgo**. 2011. 74 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba, 2011.

FREITAS, R. S.; ALBUQUERQUE, C. J. B. **Manejo da rebrota do sorgo para semeadura da soja**. Votuporanga: Instituto Agrônômico de Campinas, 2018. Relatório de pesquisa.

HEJL, A. M.; KOSTER, K. L. The allelochemical sorgoleone inhibits root H⁺-ATPase and water uptake. **Journal of Chemical Ecology**, New York, v. 30, n. 11, p. 2181-2191, 2004.

HOUSE, L. R. **A guide to sorghum breeding**. 2nd ed. Hyderabad: International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics, 1985.

INOMOTO, M. M.; ASMUS, G. L. Controle de nematoides une resistência, rotação e nematicidas. **Visão Agrícola**, Piracicaba, n. 6, p. 47- 50, dez. 2006.

INOMOTO, M. M.; ASMUS, G. L. Culturas de cobertura e de rotação devem ser plantas não hospedeiras de nematoides. **Visão Agrícola**, Piracicaba, n. 9, p. 112-116, 2009.

JABRAN, K.; FAROOQ, M. Implications of potential allelopathic crops in agricultural systems. In: CHEEMA, Z. A.; FAROOQ, M.; WAHID, A. (Ed.). **Allelopathy**. Berlin: Springer-Verlag, 2013. p. 349-385.

JABRAN, K.; CHEEMA, Z.; FAROOQ, M.; BASRA, S.; HUSSAIN, M.; REHMAN, H. Tank mixing of allelopathic crop water extracts

with pendimethalin helps in the management of weeds in canola (*Brassica napus*) field. **International Journal of Agriculture and Biology**, v. 10, p. 293-296, 2008.

JABRAN, K.; MAHAJAN, G.; SARDANA, V.; CHAUHAN, B. S. Allelopathy for weed control in agricultural systems. **Crop Protection**, Surrey, v. 72, p. 57-65, 2015.

JONES, O. R.; JOHNSON, G. L. **Evaluation of a short season. high density production strategy for dryland sorghum**. Texas: USDA-ARS, 1997.

KHALIQ, A.; MATLOOB, A.; FAROOQ, M.; MUSHTAQ, M.; KHAN, M. Effect of crop residues applied isolated or in combination on the germination and seedling growth of horse purslane (*Trianthema portulacastrum*). **Planta Daninha**, Rio de Janeiro, v. 29, p. 121-128, 2011.

LANDAU, E. C.; SANTOS, G. M.; NETTO, D. A. M. **Aumento potencial do plantio de sorgo granífero no Brasil considerando o zoneamento de risco climático**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2013. 32 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 76).

LIEBMAN, M.; DYCK, E. Crop rotation and intercropping strategies for weed management. **Ecological Applications**, Tempe, v. 3, n. 1, p. 92-122, 1993.

LOPES, S. J.; STORCK, L.; LÚCIO, A. D. C.; LORENTZ, L. H.; LOVATO, C.; DIAS, V. O. Tamanho de parcela para produtividade de grãos de sorgo granífero em diferentes densidades

de plantas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 40, p. n. 6, 525-530, 2005.

LOPES, A. S.; WIETHÖLTER, S.; GUILHERME, L. R. G.; SILVA, C. A. **Sistema plantio direto**: bases para o manejo da fertilidade do solo. São Paulo: Associação Nacional para Difusão de Adubos, 2004. 115 p.

MACHADO, V.; TUFFI SANTOS, L. D.; SANTOS JÚNIOR, A.; MOTA, V.; PADILHA, S.; SANTOS, M. Fitossociologia de plantas daninhas em sistemas de integração de sorgo com braquiária sob diferentes formas de implantação da pastagem. **Planta Daninha**, Rio de Janeiro, v. 29, n. 1, p. 85-95, 2011.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M.; SCHAFFERT, R. E. **Fisiologia da planta de sorgo**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2000. 46 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 3).

MAGALHÃES, P. C.; SOUZA, T. C.; MAY, A.; FILHO, O. F. L.; SANTOS, F. C.; MOREIRA, J. A. A.; LEITE, C. E. P.; ALBUQUERQUE, C. J. B.; FREITAS, R. S. Exigências edafoclimáticas e fisiologia da produção. In: BORÉM, A.; PIMENTEL, L.; PARRELA, R. (Ed.). **Sorgo**: do plantio à colheita. Viçosa, MG: UFV, 2014. p. 58- 88.

MEIRA, J. L.; AZEVEDO, J.T.; SILVA, J.; SCHAFFERT, R. E.; MURAD, A. M.; CARVALHO, L. J. C. B. Espaçamento e densidade do sorgo granífero. In: PROJETO Sorgo: relatório anual 72/73/74/75. Belo Horizonte: EPAMIG, 1977. p. 105-121.

MONTAGNER, D.; LOVATO, C.; GARCIA, D. C. Perdas aleatórias na população inicial e sua relação com o rendimento de grãos

em sorgo. **Revista Brasileira de Agrociência**, Santa Maria, v. 10, n. 3, p. 281-285, jul./set. 2004.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: UFLA, 2002.

MYERS, R. J. K.; FOLE, M. A. Row spacing and population density in grain sorghum. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 4, p. 147-154, 1981.

OLIVEIRA, A. F.; PEREIRA, C. N.; VIEIRA, P. A. Análise da rotação de grãos em área de reforma de canavial. In: CONGRESSO DA SOBER - SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 50., 2012, Vitória. **Anais eletrônicos...** SOBER: Vitória: 2012, p. 34-42.

OLIVEIRA, J.; PEIXOTO, C.; POELKING, V.; ALMEIDA, A. Avaliação de extratos das espécies *Helianthus annuus*, *Brachiaria brizanthae*, *Sorghum bicolor* com potencial alelopático para uso como herbicida natural. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Botucatu, v. 17, n. 3, p. 379-384, 2015.

RASMUSSEN, J. A.; HEJL, A. M.; EINHELLIG, F. A.; THOMAS, J. A. Sorgoleone from root exudate inhibits mitochondrial functions. **Journal of Chemical Ecology**, New York, v. 18, p. 197-207, 1992.

RESENDE A. V. de; COELHO, A. M.; RODRIGUES, J. A. S. **Adubação maximiza o potencial produtivo do sorgo**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2009. 8 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 119).

RICE, E. L. **Allelopathy**. 2nd ed. New York: Academic Press, 1984.

SANI, B. M.; DANMOWA, N. M.; SANI, Y. A.; JALIYA, M. M. Growth, yield and water use efficiency of maize-sorghum intercrop at Samaru, Northern Guinea Savannah, Nigeria Niger. **Journal of Basic and Applied Science**, v. 19, n. 2, p. 253-259, 2011.

SANTOS, F. C. dos; COELHO, A. M.; RESENDE, A. V. de; MIRANDA, R. A. de. Correção do solo e adubação na cultura do sorgo. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 35, n. 278, p. 76-88, jan./fev. 2014a.

SANTOS, O. O.; FALCÃO, H.; ANTONINO, A. C. D.; LIMA, J. R. S.; LUSTOSA, B. M.; SANTOS, M. G. Desempenho ecofisiológico de milho, sorgo e braquiária sob déficit hídrico e reidratação. **Bragantia**, Campinas, v. 73, n. 2, p. 203-212, 2014b.

SANTOS, I.; SILVA, C. da; SANTOS, S. dos; MAIA, M. Sorgoleone: lipídico benzoquinone of sorghum with allelopathic effects in agriculture as a herbicide. **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v. 79, n. 1, p. 135-144, 2012.

SÈNE, M.; DORÉ, T.; PELLISSIER, F. Effect of phenolic acids in soil under and between rows of a prior sorghum (*Sorghum bicolor*) crop on germination, emergence, and seedling growth of peanut (*Arachis hypogea*). **Journal of Chemical Ecology**, v. 26, p. 625-637, 2000.

SHAHZAD, M.; FAROOQ, M.; JABRAN, K.; HUSSAIN, M. Impact of different crop rotations and tillage systems on weed infestation and productivity of bread wheat. **Crop Protection**, v. 89, p. 161-169, 2016.

SILVA, P. C. G.; FOLONI, J. S. S.; FABRIS, L. B.; TIRITAN, C. S. Fitomassa e relação C/N em consórcios de sorgo e milho com espécies de cobertura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 44, n. 11, p. 1504-1512, nov. 2009.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, L. **Cerrado**: correção do solo e adubação. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 416 p.

STEINER, J. L. Dryland grain sorghum water use, light interception, and growth responses to planting geometry. **Agronomy Journal**, Madison, v. 78, n. 4, p. 720-726, 1986.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918 p.

TOLK, J. A.; HOWELL, T. A.; MILLER, F. R. Yield component analysis of grain sorghum grown under water stress. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 145, n. 1, p. 44-51, 2013.

TREZZI, M.; VIDAL, R. Potential of sorghum and pearl millet cover crops in weed suppression in the field: II-Mulching effect. **Planta Daninha**, Rio de Janeiro, v. 22, p. 1-10, 2004.

UDDIN, M. R.; PARK, S. U.; DAYAN, F. E.; PYON, J. Y. Herbicidal activity of formulated sorgoleone, a natural product of sorghum root exudate. **Pest Management Science**, Sussex, v. 70, n. 2, p. 252-257, 2014.

UDDIN, M. R.; PARK, K. W.; KIM, Y. K.; PARK, S. U.; PYON, J. Y. Enhancing sorgoleone levels in grain sorghum root exudates. **Journal of Chemical Ecology**, New York, v. 36, p. 914-922, 2010.

VON PINHO, R. G.; FIORINI, I. V. A.; SANTOS, A. O. Botânica In: BOREM, A.; PIMENTEL, L. D.; PARRELLA, R. A. C. (Ed.). **Sorgo**: do plantio à colheita. Viçosa, MG: UFV, 2014. p. 37-57.

WHITNEY, D. Fertilizer requirements: In: GRAIN sorghum production handbook. Manhattan: Kansas Agricultural Experiment Station, 1998. p. 12-14.

YANG, X.; OWENS, T. G.; SCHEFFLER, B. E.; WESTON, L. A. Manipulation of root hair development and sorgoleone production in sorghum seedlings. **Journal of Chemical Ecology**, New York, v. 30, p. 199-213, 2004.

ZANDONADI, C. H. S.; ALBUQUERQUE, C. J. B.; FREITAS, S. F. Chlorophyll index (SPAD) and macronutrients relation and productive performance of sorghum hybrids in different sowing dates. **Australian Journal of Crop Science**, v. 10, n. 4, p. 546-555, 2016.

Capítulo 6

Potencial, Limitações e Uso de *Azospirillum brasilense* na Cultura do Milho

Antônio Paulino da Costa Netto

Simério Carlos Silva Cruz

Rafael Cadore

Alex Oliveira Smaniotto

Adílio de Sá Júnior

Introdução

A maioria das espécies de fixadores de N_2 é de vida livre, ocorrendo em todos os tipos de solo, na rizosfera e filosfera de plantas, podendo ser encontrados em simbiose com várias espécies vegetais. Quando as relações entre microrganismos e plantas são menos especializadas, eles recebem denominação de associativos (Moreira; Siqueira, 2006).

Segundo Lopes (2007), os microrganismos fixadores de N mais estudados podem ser agrupados resumidamente para melhor entendimento sob as seguintes designações: Rizóbios, Cianobactérias, Franckia e bactérias diazotróficas associativas.

Os rizóbios são denominadas de bactérias fixadoras de nitrogênio que nodulam leguminosas. São conhecidas coletivamente como rizóbios pelo fato de que a primeira espécie descrita foi *Rhizobium leguminosarum* (Frank, 1889). Incluem-se nesse grupo às bactérias de diversos gêneros (*Azorhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Mesorhizobium*, *Sinorhizobium* e *Allorhizobium*) e outras

espécies que estabelecem associação simbiótica com a maioria das leguminosas.

Este grupo caracteriza-se como o mais eficiente decorrente de uma simbiose entre vegetal e microrganismo. A simbiose de leguminosas com esse grupo caracteriza-se pela formação de nódulos nas raízes e caules que podem suprir toda demanda por nitrogênio de vários hospedeiros desse grupo de bactérias, uma vez que existem estirpes específicas de alta eficiência, selecionadas para várias culturas; com a produção comercial de inoculantes com elevada concentração de bactérias, para que o processo de inoculação seja mais eficiente e produtivo. No Brasil, o sistema de inoculação com bactérias dos gêneros rizóbios, principalmente para a cultura da soja é considerado o sistema mais viável economicamente e ecologicamente para o fornecimento de nitrogênio (Hungria et al., 2001).

As Cianobactérias são microrganismos fotossintéticos que normalmente se encontram associados em simbiose com pteridófitas aquáticas do gênero *Azolla* (Lopes, 2007). Os principais gêneros de cianobactérias que formam simbioses com plantas são *Rhichelia* e *Nostoc* e são encontrados em raízes diferenciadas, glândulas axilares, cavidade das folhas de forma intercelular e intracelular (Moreira; Siqueira, 2006).

Essas cianobactérias possuem grande importância no manejo do nitrogênio na cultura do arroz inundado, onde antes do cultivo do arroz, cultiva-se *Azolla* que fixa nitrogênio pela simbiose com *Nostoc* (cianobactéria), ela é manejada como uma adubação verde, que pela decomposição de sua biomassa retorna quantidades significativas de nitrogênio para o sistema (Lumpkin, 1982).

Frankia são actinomicetos capazes de simbioses actinorrízicas. Espécies actinorrízicas compreendem desde arbustos muito pequenos, até arbustos maiores e árvores.

Este gênero pode estabelecer simbiose radiculares com formação de nódulos em plantas de 8 famílias pertencentes a 3 ordens (Moreira; Siqueira, 2006). Os gêneros de árvores economicamente importantes e mais estudados, que formam simbiose com Frankia são Casuarina e Alnus; estima-se que a fixação biológica de nitrogênio nesses gêneros situa-se entre 40 e 300 kg ha⁻¹ ano⁻¹ (Becking, 1973).

Bactérias Diazotróficas Associativas são microrganismos capazes de associar-se com espécies vegetais e são encontrados principalmente na rizosfera de gramíneas, podendo também ser encontrados na parte aérea.

As principais atribuições de importância agrícola referenciadas destes microrganismos são a fixação biológica de nitrogênio, a produção de substâncias que auxiliam no crescimento radicular, aumento da colonização micorrízica, e aumento na eficiência de absorção de nutrientes e, conseqüentemente, na produtividade. Por isso, também são consideradas rizobactérias promotoras do crescimento vegetal (RPCV) assumindo papel importante no que diz respeito à interação com raízes de plantas e ciclagem de nutrientes, entre outros (Moreira et al., 2010).

Azospirillum brasilense

Estudos realizados nas décadas de 50 e de 60 pela pesquisadora da Embrapa Dra. Joana Döbereiner, levou a descoberta de novas espécies dos gêneros Beijerinckia e Azotobacter associadas à

rizosfera de cana-de-açúcar e grama batatais com capacidade de realizar fixação biológica de nitrogênio (Döbereiner; Ruschell, 1958; Döbereiner, 1966).

Técnicas de isolamento e caracterização desses microrganismos diazotróficos fixadores de N, associados a diferentes plantas e condições de clima e solo levou a descoberta que bactérias diazotróficas que ocupam preferencialmente sítios com concentração de oxigênio limitada (Döbereiner; Day 1976; Döbereiner et al., 1995). Tais considerações científicas foram revolucionárias e resultaram em uma grande ampliação das pesquisas sobre todos os aspectos da fixação biológica de nitrogênio nas associações entre microrganismos diazotróficos e plantas não leguminosas (Baldani et al., 1997).

Posteriormente, foi relatada uma grande capacidade de fixação biológica de nitrogênio em plantas não leguminosas por uma espécie de bactéria *Spirillum lipoferum*, considerada então a principal fixadora de nitrogênio em gramíneas (Döbereiner; Day, 1976).

A descoberta do gênero *Azospirillum* aconteceu por causa dos avanços desses estudos iniciais baseados em características fisiológicas, bioquímicas e por homologia de DNA, representado principalmente pelas espécies *A. lipoferum* e *A. brasilense* (Döbereiner, 1978).

Em 1996, a Embrapa Soja e o grupo da Universidade Federal do Paraná Departamento de Bioquímica Molecular se uniram na realização de ensaios laboratoriais e testes agrônômicos a campo com *Azospirillum*. De acordo com os critérios da legislação brasileira para inoculantes estabelecidos pelo Ministério da

Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa) foram testadas e selecionadas estirpes de *Azospirillum* que apresentavam maior promoção de crescimento das plantas, maior sobrevivência no solo e maior adaptação às técnicas utilizadas na cultura do milho.

Foram realizados vários experimentos a campo em diversas safras, no qual surtiu a seleção de estirpes de *Azospirillum* brasileiro (AbV4, AbV5, AbV6 e AbV7), autorizadas pelo Mapa para a produção de inoculantes para a cultura do milho (Hungria, 2011).

Atualmente, as indústrias produtoras de inoculantes preferem produzi-los com a combinação de estirpes AbV5 + AbV6 de *Azospirillum* brasileiro em razão da eficácia deles nas culturas do milho e do trigo (Hungria, 2011).

Fixação biológica do nitrogênio via *Azospirillum* brasileiro

Nos sistemas agrícolas, as populações de bactérias de vida livre podem ser limitadas pela disponibilidade de fontes de carbono no solo. O potencial de algumas bactérias aeróbicas ou microaerófilas de vida livre, como o *Azospirillum* spp, demonstra por meio da inoculação de palhada ou outros resíduos ricos em carbono e sua incorporação ao solo, taxas consideráveis de fixação biológica de nitrogênio (Hill; Patriquin, 1996). Em solos sujeitos a inundação, outras classes de microrganismos diazotróficos, inclusive anaeróbios, contribui para o balanço de nitrogênio do sistema (Roper; Ladha, 1995).

A *Azospirillum* spp apresenta ampla distribuição nos solos (Döbereiner; Depolli, 1980), e possui capacidade de sobrevivência ausência da planta hospedeira por apresentar

vários mecanismos fisiológicos de proteção como a formação de cistos, produção de melanina e poli-hidroxitirato, que podem facilitar sua sobrevivência em condições desfavoráveis (Del Gallo; Fendirik, 1994). A *Azospirillum* spp é, entretanto, uma bactéria predominantemente rizosférica (Magalhães et al., 1979; Freitas et al., 1981).

O padrão de colonização das raízes das gramíneas pelas espécies de *Azospirillum* spp mostra uma tendência de especificidade entre grupos de plantas e as bactérias. Para a *Azospirillum lipoferum* a colonização ocorre preferencialmente no córtex de milho, sorgo e de diversas outras gramíneas; enquanto para a *Azospirillum brasilense* a colonização ocorre preferencialmente associado a trigo, cevada, aveia, arroz, centeio e gramíneas (Döbereiner; De-Polli, 1980; Rocha et al., 1981).

As espécies mais comumente encontradas são: *Azospirillum* spp. (*A. lipoferum*, *A. brasilense*, *A. amazonense*, *A. halopraefans*, *A. irakense*, *A. largimobile*, *A. doebereineriae*, *A. oryzae*) entre outras pertencentes aos gêneros *Herbaspirillum*, *Paenabacillus*, *Azotobacter*, *Azoarcus*, *Burkholderia*, *Gluconacetobacter*, *Klebsiella*, *Enterobacter*, *Citrobacter*, *Dexia*, *Pantoea* e *Serratia* (Moreira; Siqueira, 2006).

Após o estabelecimento na rizosfera, algumas espécies de *Azospirillum* possuem a capacidade de penetrar os espaços intercelulares das raízes e lá se alojar (Bashan et al., 1989). Espécies que possuem tal capacidade são favorecidas pela menor competição com outros microrganismos, pois dentro da planta trata-se de um habitat protegido, além do maior acesso aos nutrientes disponibilizados pelo hospedeiro (Baldani; Baldani, 2005).

O mecanismo exato de interação entre a planta e a *Azospirillum* spp. não é conhecido, mas acredita-se que em *Azospirillum brasilense* a sua adesão a rizosfera da planta ocorra em duas etapas. A etapa inicial, reversível, é mediada pelo flagelo polar, comum na subdivisão α -proteobactéria onde se encontram a maioria das bactérias gram-negativas, em forma de bastonete, podendo ser uniflageladas com um movimento vibratório característico quando crescidas em meio líquido e, quando crescidas em meio sólido, além do flagelo polar desenvolvem flagelos laterais adicionais (Tarrand et al., 1978). A segunda etapa, irreversível, possui aderência mediada por polissacarídeos secretados pela própria bactéria. Esse processo de interação dos microrganismos pertencentes a este grupo com as plantas se dá primeiramente pela disponibilização de substratos pela planta (rizodeposições), como exsudatos e lisados, que são utilizados como fonte de energia para as rizobactérias, as quais irão multiplicar-se e se estabelecer na rizosfera de forma que se associem às plantas não leguminosas (Steenhoudt; Vanderleyden, 2000; Bashan et al., 2004).

Posterior a todo o processo de interação planta-bactéria, ocorrerá ou não o processo de fixação biológica de nitrogênio de acordo com as condições bióticas e abióticas a que estarão submetidos.

A principal enzima no processo de fixação biológica de nitrogênio é a enzima nitrogenase, composta por duas metaloproteínas que contém ferro e molibdênio em sua estrutura. Essa enzima é uma das principais responsáveis pela regulação da fixação biológica de nitrogênio (Rees; Howard, 2000), tendo como principal característica regulatória sua sensibilidade à presença de O_2 . Desta forma, o processo de fixação de N_2 é anaeróbico, gerando "incompatibilidade" entre os diazotróficos que na sua maioria

são aeróbios, de modo que estes microrganismos desenvolvessem mecanismos para proteger o sítio da nitrogenase da interferência do oxigênio.

A amônia formada no processo de redução enzimática do N_2 atmosférico ou captada do meio externo é utilizada para a síntese de glutamina e glutamato. Na maioria das células, esses compostos servem como doadores de nitrogênio para reações biossintéticas. Em procariontes a assimilação de amônia pode ocorrer por duas vias (Merrick; Edwards, 1995): na primeira, a glutamina sintetase (GS) catalisa a conversão de glutamato e amônia em glutamina (**Reação 1**) e a glutamato sintase (GOGAT) catalisa a transferência do grupo amida da glutamina para o α -cetoglutarato produzindo 2 moléculas de glutamato, uma reação dependente de NAD(P)H, (**Reação 2**).

Reação 1:

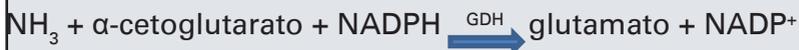


Reação 2:



Na segunda via, a glutamato desidrogenase (GDH) catalisa a conversão de amônia e α -cetoglutarato em glutamato, uma reação também dependente de NAD(P)H, (Reação 3) (Merrick; Edwards, 1995).

Reação 3:



A via da GDH é utilizada quando as células crescem na presença de excesso de nitrogênio fixado, enquanto a via GS/GOGAT em condições limitantes (Merrick; Edwards, 1995), sendo esta a via predominante de assimilação de amônio independente da fonte de nitrogênio utilizada para crescimento (Westby et al., 1987).

Interessantemente, genótipos de milho inoculados com *Azospirillum brasilense* demonstraram aumentos significativos na atividade da enzima redutase do nitrato (Salomone; Döbereiner, 1996; Machado et al., 1998; Sala et al., 2007; El-Komy et al., 2003) indicando que pode haver maior capacidade de assimilação do nitrato em milho pela inoculação dessa bactéria diazotrófica.

No entanto, a falta de efeito na atividade da redutase do nitrato pela inoculação com *Azospirillum brasilense* também foi relatada por Reis Júnior et al. (2008) e por Cadore et al. (2016).

***Azospirillum brasilense* como bactéria promotora do crescimento vegetal (RPCV)**

Muitos trabalhos têm evidenciado efeitos benéficos no crescimento das plantas pela inoculação de rizobactérias, dentre estas, destaca-se nas últimas décadas a ação do *Azospirillum brasilense*. Sabe-se que muitos destes efeitos se devem a produção de fitormônios pelas bactérias como fator responsável pelo efeito estimulatório. A inoculação por essas bactérias demonstra efeitos similares à aplicação de AIA, GA3 e citocininas por estimulação endógena radicular oriunda da biossíntese dessas classes de fitormônios (Tien et al., 1979; Kolb; Martin, 1985; Hadas; Okon, 1987; Cacciari et al., 1989; Bottini et al., 1989; Fallik et al., 1989; Perrig et al., 2007).

Estirpes de *Azospirillum* ssp. testadas em milho e soja produziram entre três a sete vezes mais compostos indólicos quando comparadas a espécies do gênero *Herbaspirillum* ssp. (Radwan et al., 2004). A estirpe Az39 de *Azospirillum brasilense* produziu concentrações maiores de AIA e zeatina e menores de giberelina que *Bradyrhizobium japonicum* E109 (Cassán et al., 2009).

O principal fitormônio produzido por estirpes de *Azospirillum brasilense* é a auxina ácido 3-indolacético (AIA), além de outros compostos indólicos (Crozier et al., 1988). O AIA, pertence ao grupo de fito-hormônios envolvidos na regulação do crescimento das raízes (Pilet; Saugy, 1987; Barazani; Friedman, 1999; Tian et al., 2008) podendo ser sintetizado e excretado por *Azospirillum brasilense* a partir do triptofano, que é comumente utilizado como fonte de N (Fallik et al., 1989).

Três vias biossintéticas foram descritas na produção de AIA em *Azospirillum*: duas dependentes de triptofano, como a via indole-3-acetamida (IAM) e indole-3-piruvato (IpyA), e uma outra independente de triptofano (Dobbelaere et al., 1999; Lambrecht et al., 2000b; Kuss et al., 2007). Nesse contexto, a enzima indol-3-piruvato descarboxilase, codificada pelo gene *ipdC*, é comum às duas vias IpyA e IAM sendo possível que ambas tenham início em um intermediário comum, o IpyA (Lambrecht et al., 2000b).

A produção da enzima indol-3-piruvato descarboxilase (transcrito do gene *ipdC*) de *Azospirillum brasilense*, envolvida na biossíntese do AIA, foi induzida pelo próprio AIA e outras auxinas sintéticas adicionadas exogenamente como o ácido-1-naftaleno acético (ANA), ácido 2,4-diclorofenoxipropiônico (2,4-DP), e ácido p-clorofenoxiacético (p-CPA), no entanto, na presença do triptofano não ocorreu uma regulação positiva, da mesma forma

que na presença de ácido acético, ácido propiônico ou com o AIA conjugado a éster etílico ou AIA conjugado com L-fenilalanina, indicando uma especificidade estrutural necessária para a expressão do gene (Vande Broek et al., 1999).

Esse mecanismo de biossíntese do AIA parece ser dependente da expressão do gene *ipdC* uma vez que a expressão desse gene quando monitorada em relação às condições ambientais de cultivo da bactéria (temperatura, disponibilidade de fonte de carbono e aeração), demonstrou que *Azospirillum brasilense* pode crescer e produzir AIA em meio de cultura com temperaturas entre 20 e 38 °C na presença de triptofano, e que a variação na concentração de triptofano possui efeito sobre o crescimento e a biossíntese de AIA para essas condições de cultivo. A biossíntese de AIA aumentou a medida em que houve uma diminuição da fonte de carbono do meio de crescimento em cultura, resultando na diminuição do crescimento populacional da bactéria. O aumento da aeração diminuiu o crescimento e inibiu a síntese de AIA (Ona et al., 2005).

Essa expressão de genes ligados a regulação do gene *ipdC* por AIA em *Azospirillum brasilense* citada acima demonstrou também que o promotor do gene possui um elemento responsivo a auxina (AuxRE) similar ao promotor de genes que induzem auxinas em plantas (Lambrecht et al., 2000a), evidenciando que os microrganismos podem selecionar uma via metabólica diferenciada, dependendo do meio ambiente (Patten; Glick, 1996).

Posteriormente, Vande Broek et al., (2005) verificaram que o promotor que regula a expressão do gene *ipdC* em *Azospirillum brasilense* fica localizado em um operon bicistrônico, revelando um segundo gene denominado *iaaC*, descrito também em *E. coli*,

zebra fish, e proteína KNP-I humana, todas ainda com função desconhecida e pertencente à superfamília DJ-1/Pfpl. Além dessa estrutura operon, *iaaC* também é transcrito monocisticamente. A análise de mutação deste gene indicou que a proteína codificada está envolvida no controle da biossíntese de AIA mas não a expressão de *ipdC*, indicando que realmente mais de uma via pode ser ativa na biossíntese endógena dessa bactéria. Além de ser regulado pelo AIA, a expressão do operon *ipdC-iaaC* é dependente flutuações de pH com maior expressão em condições ácidas.

Tal capacidade de produzir auxinas e outros indóis podem explicar as alterações nos padrões morfofisiológicos das raízes descritas pela literatura, como o incremento no diâmetro, densidade e comprimento dos pelos radiculares (Kapulnik et al., 1985), maior absorção de nutrientes (Rodelas et al., 1999; Rodriguez et al., 2004; Hungria et al., 2010; Moutia et al., 2010); aumento nos teores de ácido indol acético (AIA) e ácido indol butírico (AIB) nas raízes e maior atividade metabólica radicular (Hadas; Okon, 1987; Fallik et al., 1989), podendo conferir aos vegetais hospedeiros maior capacidade de absorção de água e nutrientes, maior acúmulo de matéria seca e aumento na tolerância das plantas a condições de estresse como por exemplo salinidade e déficit hídrico (Steenhoudt; Vanderleyden, 2000; Bashan et al., 2004; Moutia et al., 2010).

Métodos de aplicação e contribuição do *Azospirillum brasilense* na fixação biológica de nitrogênio para a cultura do milho

As pesquisas relacionadas a utilização de *Azospirillum* na cultura do milho vêm aumentando a cada ano e os resultados ainda são bastante controversos quanto aos ganhos proporcionados à essa

cultura, sejam eles quanto aos estímulos no desenvolvimento vegetativo, redução da mortalidade de plantas, maior resistências aos estresses abióticos, aumento da atividade da enzima redutase do nitrato, maior concentração de clorofila nas folhas e, principalmente, quanto aos incrementos em produtividade de grãos.

A grande variabilidade de resultados se deve, principalmente, a fatores como: cultivar, comunidade microbiana no solo, características genéticas das estirpes, disponibilidade de N no solo, resíduos vegetais depositados no solo pela cultura antecessora em sistema plantio direto e formas de aplicação da Azospirillum (Roesch et al., 2007; Braccini et al., 2012; Quadros et al., 2014).

Tem-se observado que cada híbrido apresenta uma resposta diferente para inoculação, sugerindo que, dependendo do genótipo do milho, o benefício da inoculação pode ser observado em diferentes partes da planta, como grãos, parte aérea ou colmo (Quadros et al., 2014).

Ainda neste sentido, existe uma grande variação quanto à eficiência das estirpes utilizadas, sendo necessário a seleção de estirpes adaptadas as condições edafoclimáticas locais, aos híbridos utilizados e ao próprio sistema de manejo (Kappes et al., 2017), reforçando a importância de testar as estirpes e buscar aquelas que melhor se adaptam a cada região (Kappes et al., 2013). Os resíduos vegetais da cultura antecessora também podem interferir na maior ou menor eficiência da relação de simbiose entre a bactéria e a planta. Sabundjian et al. (2014) avaliando doses de nitrogênio (0, 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de N) no feijão em sucessão a gramíneas (milho solteiro e milho consorciado com

Urochloa ruzizienses com e sem inoculação de *Azospirillum*), concluíram que para obter maior acréscimo de produtividade de grãos em sistema de plantio direto era necessário a aplicação de 80 kg ha⁻¹ de N em sucessão ao milho solteiro inoculado com *Azospirillum*.

Outro fator determinante no aumento da eficiência da relação bactéria-planta, é a forma de aplicação da *Azospirillum brasilense* no milho, que pode ser: a) via inoculação das sementes; b) no sulco de semeadura ou c) via foliar.

Para efetuar a aplicação da *Azospirillum brasilense* no milho, via inoculação das sementes, são utilizados tambor rotatório, máquina de tratamento de sementes ou outros mecanismos, com o intuito de melhorar a cobertura, aderência e uniformidade da distribuição do inoculante.

A vantagem desse método, deve-se principalmente, ao fato da bactéria diazotrófica ficar intimamente aderida às sementes facilitando a relação de simbiose na região da rizosfera, favorecendo sua multiplicação e seu estabelecimento próximo das raízes, o que é imprescindível para uma boa interação. Porém, como no tratamento de sementes não há apenas a adição do inoculante, mas também, de inseticidas, fungicidas, dentre outros produtos fitossanitários, esses, muitas vezes, prejudicam o desenvolvimento dos microrganismos, podendo reduzir o número de células viáveis, comprometendo assim a inoculação (Baldani et al., 1986; Kappes et al., 2017).

Apesar da possibilidade de redução do número de células viáveis, conforme relatado acima, esse parece ser o método com maior possibilidade de respostas positivas na cultura do milho.

Trabalhando com sementes de milho inoculadas com *Azospirillum*, Muñoz et al. (1991), verificaram aumento de matéria seca de raiz e da parte aérea; enquanto Salomone e Döbereiner (1996), avaliando a resposta de vários genótipos de milho à inoculação de quatro estirpes de *Azospirillum* spp. isoladas na Argentina e três isoladas de raízes de sorgo e milho no Brasil, constataram aumento na massa de grãos. A melhora dessas variáveis se relaciona com causas fisiológicas, talvez por causa da absorção maior de nitrogênio. Para Radwan et al. (2004) e Moreira et al. (2010), os incrementos verificados no diâmetro basal do colmo e no acúmulo de matéria seca das plantas submetidas à inoculação, podem ser associados à produção de fito-hormônios pelas bactérias, como auxina, giberelina e citocinina – este último responde pela mobilização de nitrogênio e potássio das raízes para as folhas e, possivelmente, para os grãos.

Didonet et al. (1996) afirmam que existem várias evidências de que sementes de milho inoculadas com *Azospirillum brasilense* sejam responsáveis pelo aumento e acúmulo de matéria seca, o que pode ter relação com o aumento das atividades das enzimas fotossintéticas e de assimilação do nitrogênio.

Cavallet et al. (2000) usaram sementes de milho inoculadas com bactérias *Azospirillum* spp e verificaram aumento na produtividade média de 17%, assim como no comprimento médio das espigas.

Em 273 experimentos na Argentina com a inoculação de *Azospirillum* em sementes de trigo, houve aumento médio de 256 kg ha⁻¹ em 76% dos ensaios. Resultados similares ocorreram com o milho: 85% dos casos responderam positivamente à inoculação

via sementes com incremento da produtividade média de 472 kg ha⁻¹ (Díaz; Fernandez, 2008).

Hungria (2011) conduziu, em Londrina e Ponta Grossa (PR), oito ensaios com milho com as estirpes A bV5 e A bV 6 da *Azospirillum* brasileira via tratamento de sementes. As estirpes mostraram-se promissoras porque se obteve aumento médio na produtividade de 26%. Bulla e Balbinot Júnior (2012), testando sementes de milho com e sem *Azospirillum brasilense*, também verificaram incremento significativo na produtividade de grãos.

A *Azospirillum brasilense* aplicada nas sementes incrementou a produtividade do milho verde em 30% em relação ao tratamento controle, em experimento conduzido em Teresina - PI (Araújo et al., 2014). Vale destacar que incrementos acima de 15% em produtividade de grãos de milho, com uso de *Azospirillum* brasileiro, não são comumente encontrados na literatura.

A inoculação via sulco é realizada na ocasião da semeadura, pulverizando o fundo do sulco com o inoculante diluído em água, na mesma operação de distribuição da semente no momento da implantação da cultura. As vantagens desse método ficam mais evidentes em condições adversas, como solos secos e quentes ou sementes tratadas com produtos deletérios às bactérias, pois, diminui o contato direto das estirpes com os inseticidas e fungicidas utilizados no tratamento de semente (Ramos; Ribeiro, 1993). Porém, sua desvantagem está relacionada a redução do contato da bactéria com a semente para o estabelecimento da relação de simbiose.

Müller et al. (2016), trabalhando com 3 métodos de inoculação (tratamento de sementes, sulco de plantio e controle não

inoculado) e doses de nitrogênio (0, 75, 150, 225 e 300 kg ha⁻¹), concluíram que a inoculação com a bactéria proporcionou incremento na produtividade de milho de 702 kg ha⁻¹ para inoculação no sulco de semeadura quando comparado ao tratamento controle, sem inoculação.

Como as bactérias do gênero *Azospirillum* são diazotróficas endofíticas facultativas a inoculação via pulverização foliar torna-se uma alternativa. Nesse método, a pulverização da cultura com a bactéria normalmente acontece entre os estádios vegetativos onde a planta de milho se encontra com três, quatro, cinco ou seis folhas completamente expandidas (V3, V4, V5 e V6, respectivamente). Isto é possível pelo fato de que quando essas bactérias são aplicadas nas folhas elas ficam alojadas na bainha e posteriormente com as chuvas podem ser carreadas para o colmo e solo, entrando em contato com as raízes.

A desvantagem desse método está relacionada ao período em que ocorrerá a simbiose, onde muitas vezes, as plantas já não terão tempo suficiente para expressar o efeito da inoculação (Costa et al., 2015), pois, para o milho, o potencial de produção é definido precocemente, ou seja, por ocasião da emissão da 4ª folha, podendo se estender até a 6ª folha, principalmente em função da natureza protândrica dos principais genótipos utilizados no Brasil (Fancelli; Dourado Neto, 2000).

Os resultados encontrados por Kappes et al. (2013), confirmam a desvantagem da aplicação via foliar em estágio fenológico mais avançado da cultura do milho. Esses autores, trabalhando com inoculação via foliar de *Azospirillum brasilense*, aplicado no estágio fenológico V5 e doses de N em cobertura (0, 30, 60, 90 e 120 kg ha⁻¹, via ureia), concluíram que a aplicação foliar da

bactéria não proporcionou benefícios para o desenvolvimento das plantas, bem como não permitiu incrementos na produtividade de grãos da cultura do milho.

Porém, como existem muitos fatores que podem interferir na eficiência da simbiose, como já mencionado anteriormente, é possível, em alguns casos, encontrar respostas positivas a aplicação foliar, como foi observado por Portugal et al. (2012). Ao realizar a aplicação do *Azospirillum brasilense*, via foliar, quando as plantas de milho se encontravam no estágio fenológico V6, houve incremento de 14,75% (868 kg ha⁻¹) na produtividade de grãos de milho quando comparado ao tratamento sem inoculação.

Muitas pesquisas, envolvendo a aplicação de *Azospirillum* na cultura do milho, fazem comparação entre as formas de aplicação com o intuito de verificar qual a metodologia mais eficiente ou mesmo a interação da forma de aplicação com outras fontes de variação.

Sá Júnior (2012) estudando o comportamento agrônomico do milho em resposta ao modo de aplicação (pulverização via sulco de semeadura; na base da planta em V3; via foliar em V6; no tratamento de sementes e controle sem inoculado) e concentrações de *Azospirillum brasilense* (100, 200, 300 e 400 ml ha⁻¹ do inoculante Masterfix® L gramíneas Stoller® do Lote B 07094 - estirpe abV5), concluiu que a inoculação com *Azospirillum brasilense* via tratamento de sementes, proporcionou um incremento de 6,3% na produtividade de grãos de milho e que as aplicações de inoculante via pulverizações e o aumento na dosagem não alteram a produtividade do milho. Um fato interessante observado por Sá Júnior (2012), e raro nas

pesquisas envolvendo aplicação de *Azospirillum*, trata-se do teor de N disponível no solo. Quando se inoculou as sementes com *Azospirillum brasilense* (Teor de N disponível no solo = $5,87 \text{ g kg}^{-1}$), houve um aumento de 93,73% no N disponível no solo em relação ao tratamento controle. O teor de N disponível no solo passou de $3,03 \text{ g kg}^{-1}$ de solo, no tratamento controle, para $5,87 \text{ g kg}^{-1}$ onde houve a inoculação via sementes. A maior disponibilidade de N no solo pela inoculação das sementes, conforme verificado por Sá Júnior (2012), pode ser parte da explicação para o maior teor de N nas raízes de milho inoculado com *Azospirillum* encontrado por Reis Júnior et al. (2018).

Para Dobbelaere et al. (2001), o aumento nos teores de N em várias partes das plantas inoculadas com *Azospirillum* spp. pode ser resultado tanto da fixação biológica de N_2 , quanto dos mecanismos de promoção do crescimento, que podem incrementar a capacidade das plantas em absorver este nutriente.

Limitações do uso de *Azospirillum brasilense* na cultura do milho

O metabolismo oxidativo aeróbico é o responsável pela produção de energia nos organismos, com rendimento energético muito superior do que o processo de fermentação. No entanto, o oxigênio (O_2) se torna tóxico por inativar enzimas que possuem íons metálicos ligados ao seu sítio ativo, como por exemplo a nitrogenase. O aumento do O_2 livre, a partir da atividade fotossintética pelas cianobactérias permitiu um processo de seleção de organismos que possuem defesas enzimáticas à presença do O_2 , como a expressão de superóxido dismutase, catalases, glutatona, dentre outros. Mecanismos alternativos com a função de se evitar a presença desse gás na fixação biológica de nitrogênio, também foram desenvolvidos em

algumas espécies, como a formação de nódulos, heterocistos, e migração para ambientes menos oxidativos (Ribbe et al., 1997).

No caso do *Azospirillum brasilense*, os mecanismos de proteção para evitar a interferência do O₂ não são muito eficazes, desse modo, microrganismos pertencentes ao gênero *Azospirillum* possuem movimento ondulatório rápido e característico que lhes permitem locomover-se até sítios onde a concentração de O₂ é baixa, de forma que seja adequado para a respiração e sem quantidades excessivas que venham a inibir a nitrogenase (Moreira; Siqueira, 2006).

Também é relatada a biossíntese de carotenoides e outros tipos de pigmentos, síntese de enzimas antioxidantes e atividade respiratória elevada além de alterações morfológicas, como a formação de cistos e flocos sob condições desfavoráveis ou de estresse (Marchal; Vanderleyden, 2000).

A tolerância do *Azospirillum brasilense* ao O₂ difere tanto entre espécies quanto entre linhagens, por causa das influências ambientais e de expressão gênica dos sistemas enzimáticos envolvidos na fixação biológica de nitrogênio. Como é espécie obrigatoriamente microaeróbica, fixa o nitrogênio em concentrações de oxigênio inferiores a 10 µM, com faixa ideal entre 2 a 8 µM (Hartmann; Hurek, 1988).

Outro fator de regulação da fixação biológica de nitrogênio é a concentração de nitrogênio disponibilizada no meio, uma vez que se esta for suficiente no sistema, a fixação biológica de nitrogênio poderá ser até inibida (Rudnick et al., 1997).

Silva et al. (2007) demonstraram que a adubação mineral com nitrogênio inibe a biossíntese do complexo nitrogenase, fazendo com que as bactérias passassem a utilizar o nitrogênio disponível no meio.

Em razão da presença da redutase do nitrato, a fixação de N_2 é prejudicada em altas concentrações de nitrato no solo ou na planta, o que desfavorece a complementação da fertilização nitrogenada com fixação biológica de nitrogênio (Döbereiner, 1990).

A regulação ao nível transcricional está relacionada a mudanças pós-traducionais da nitrogenase, mediada pela ADP-ribosilação da Fe-proteína da enzima DraT (dinitrogenase redutase - ribosiltransferase), que inativa a nitrogenase em resposta a amônia e alta intensidade luminosa. Essa modificação covalente da nitrogenase é revertida por DraG (dinitrogenase redutase glicohidrolase) (Halbleib et al., 2000; Masepohl et al., 2002).

A presença de radicais livres em consequência metabólica de vários processos bioquímicos/fisiológicos de grande importância como fotossíntese e respiração podem inativar enzimas pela reação de Fenton (Touati, 2000), que leva a produção de radicais mais reativos como o íon hidroxil e outros radicais secundários com reatividade variável (Imlay et al., 1988).

Interessantemente, a produção de radicais livres é utilizada em manejo cultural para várias espécies vegetais como arroz, cana-de-açúcar, milho e trigo, que são colonizadas pelo gênero *Azospirillum*. Tais herbicidas, como o paraquat, podem induzir estresse oxidativo em bactérias e elevadas concentrações levar a morte delas (Castro-Sowinski et al., 2007; Lee et al., 2007;

Bakshi et al., 2006). Concentrações de 0,5 mM de paraquat em meio de cultivo são letais a *Azospirillum* principalmente pela inadaptabilidade deste a ambientes mais oxidativos (Kitzler et al., 1990).

Herbicidas com os ingredientes ativos Alachor e Metolachor demonstraram significativos efeitos em *Azospirillum brasiliense* nas concentrações de 100, 300 e 500 $\mu\text{g ml}^{-1}$ em meio de cultura a partir de dialise de solo; onde os microrganismos cultivados na presença de Alachor apresentaram menor atividade de nitrogenase e menores níveis de ATP em comparação com as células controle. Os efeitos devidos ao Metolachor desapareceram após 48 horas, mostrando que o *Azospirillum* brasileiro pode tolerar altas concentrações desse herbicida (Salmeron et al., 1991).

Os herbicidas 2,4D e glifosato, não afetaram significativamente a população de *Azospirillum brasiliense* presente em raízes de trigo. A inoculação das sementes de trigo com *Azospirillum brasiliense*, na presença ou ausência dos herbicidas, demonstraram maior biomassa em comparação com plantas sem inoculação, e, na presença de 2,4D, a produção de biomassa foi aumentada (Aguirre-Cadena et al., 2014).

Em cana-de-açúcar, o glifosato e a mistura [trifloxysulfuron + ametryn] reduziram a velocidade de crescimento de *Azospirillum brasiliense*, enquanto MSMA, paraquat e amicarbazone afetam negativamente a fixação biológica de nitrogênio dessa bactéria. Todavia, o impacto negativo sobre a fixação biológica de nitrogênio é especialmente drástico na presença do paraquat (Procópio et al., 2011).

Segundo Döbereiner (1990), assim como nas leguminosas, o efeito da inoculação de cereais com estas bactérias depende do estabelecimento destas sob condições de campo. Diferentes estirpes da bactéria *Azospirillum* comportam-se distintamente conforme sua adaptação às condições em que é mantida, apresentando melhor crescimento quando isoladas de uma mesma região e de uma mesma espécie daquela que será utilizada (Didonet; Magalhães, 1993).

Considerações finais

Estudos futuros com *Azospirillum brasilense* devem evidenciar melhor os sistemas de proteção da enzima nitrogenase, assim como os mecanismos de expressão gênica dos genes envolvidos na FBN em presença e ausência de nitrogênio mineral e do reconhecimento bactéria-hospedeiro. Além disso, se torna importante o desenvolvimento de novos mecanismos que permitam maior sobrevivência da bactéria durante o transporte e a aplicação do inoculante no campo, e da longevidade da população de bactérias nos diferentes sistemas de cultivo e tipos de solos onde se cultiva a cultura do milho.

Referências

AGUIRRE-CADENA, J. F.; TÉLLEZ, S. R.; CUAUTLE, M.; AGUIRRE-MEDINA, J. F. Sobrevivencia de *Azospirillum brasilense* después de aplicar herbicidas en *Triticum aestivum* L. Var. Altiplano. **Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas**, México, v. 5, n. 8, p. 1549-1555, 2014.

ARAÚJO, R. M.; ARAÚJO, A. S. F.; NUNES, L. A. P. L.; FIGUEIREDO, M. V. B. Resposta do milho verde à inoculação com *Azospirillum*

brasilense e níveis de nitrogênio. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 44, n. 9, p. 1556-1560, 2014.

BAKSHI, C. S.; MALIK, M.; REGAN, K.; MELENDEZ, J. A.; METZGER, D. W.; PAVILOV, V. M.; SELLATI, T. J. Superoxide dismutase B gene (sodB)-deficient mutants of *Francisella tularensis* demonstrate hypersensitivity to oxidative stress and attenuated virulence. **Journal of Bacteriology**, Washington, v. 188, n. 17, p. 6443-6448, 2006.

BALDANI, J. I.; BALDANI, V. L. D. History on the biological nitrogen fixation research in graminaceous plants: special emphasis on the Brazilian experience. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 77, n. 3, p. 549-579, 2005.

BALDANI, J. I.; CARUSO, L.; BALDANI, V. L. D.; GOI, R. S.; DÖBEREINER, J. Recent advances in BNF with non-legumes plants. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v. 29, n. 5/6, p. 922-928, 1997.

BALDANI, V. L. D.; ALVARES, M. A. B.; BALDANI, J. I.; DÖBEREINER, J. Establishment of inoculated *Azospirillum* spp. in the rhizosphere and roots of field grown wheat and sorghum. **Plant and Soil**, The Hague, v. 90, n. 1/3, p. 35-46, 1986.

BARAZANI, O.; FRIEDMAN, J. Is IAA the major root growth factor secreted from plant-growth-mediating bacteria? **Journal of Chemical Ecology**, New York, v. 25, n. 10, p. 2397-2406, 1999.

BASHAN, Y.; SINGH, M.; LEVANONY, H. Contribution of *Azospirillum brasilense* Cd to growth of tomato seedlings is not

through nitrogen fixation. **Canadian Journal of Botany**, Ottawa, v. 67, n. 8, p. 2429-2434, 1989.

BASHAN, Y.; HOLGUIN, G.; BASHAN, L. E. Azospirillum-plant relationships: physiological, molecular, agricultural, and environmental advances (1997-2003). **Canadian Journal of Microbiology**, Ottawa, v. 50, n. 8, p. 521-577, 2004.

BECKING, J. H. Biological fixation of atmospheric nitrogen: other systems. In: CONFERENCE ON GLOBAL IMPACTS OF APPLIED MICROBIOLOGY, 4., 1973, São Paulo. **Proceedings...** São Paulo: Brazilian Microbiological Society, 1973. p. 421-460.

BOTTINI, R.; FULCHIERI, M.; PEARCE, D.; PHARIS, R. P. Identification of gibberellins A1, A3 and iso-A3 in cultures of *Azospirillum lipoferum*. **Plant Physiology**, Bethesda, v. 90, n. 1, p. 45-47, 1989.

BRACCINI, A. L.; DAN, L. G. M.; PICCININ, G. G.; ALBRECHT, L. P.; BARBOSA, M. C.; ORTIZ, A. H. T. Seed Inoculation with *Azospirillum brasilense*, associated with the use of bioregulators in maize. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 25, n. 2, p. 58-64, 2012.

BULLA, D.; BALBINOT JÚNIOR, A. A. Inoculação de sementes de milho com *Azospirillum brasilense* em diferentes doses de nitrogênio. **Agropecuária Catarinense**, Florianópolis, v. 25, n. 2, p. 61-63, 2012.

CACCIARI, I.; LIPPI, D.; PIETROSANTI, T.; PIETROSANTI, W. Phytohormone-like substances produced by single and mixed diazotrophic cultures of *Azospirillum* and *Arthrobacter*. **Plant and Soil**, The Hague, v. 115, n. 1, p. 151-153, 1989.

CADORE, R.; COSTA NETTO, A. P.; REIS, E. F.; RAGAGNIN, V. A.; FREITAS, D. S.; LIMA, T. P.; ROSSATO, M.; D'ABADIA, A. C. A. Híbridos de milho inoculados com *Azospirillum brasilense* sob diferentes doses de nitrogênio. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 15, n. 3, p. 399-410, 2016.

CASSÁN, F.; PERRIG, D.; SGROY, V.; MASCIARELLI, O.; PENNA, C.; LUNA, V. *Azospirillum brasilense* Az39 and *Bradyrhizobium japonicum* E109, inoculated singly or in combination, promote seed germination and early seedling growth in corn (*Zea mays* L.) and soybean (*Glycine max* L.). **European Journal of Soil Biology**, Montrouge, v. 45, n. 1, p. 28-35, 2009.

CASTRO-SOWINSK, S.; HERSCHKOVITZ, Y.; OKON, Y.; JURKEVITCH, E. Effects of inoculation with plant growth-promoting rhizobacteria on resident rhizosphere microorganisms. **FEMS Microbiology Letters**, Amsterdam, v. 276, n. 1, p. 1-11, 2007.

CAVALLET, L. E.; PESSOA, A. C. S.; HELMICH, J. J.; HELMICH, P. R.; OST, C. F. Produtividade do milho em resposta à aplicação de nitrogênio e inoculação das sementes com *Azospirillum* spp. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 1, p. 129-132, 2000.

COSTA, R. R. G. F.; QUIRINO, G. S. F.; NAVES, D. C. F.; SANTOS, C. B.; ROCHA, A. F. S. Efficiency of inoculant with *Azospirillum brasilense* on the growth and yield of second-harvest maize. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 45, n. 3, p. 304-311, 2015.

CROZIER, A.; ARRUDA, P.; JASMIM, J. M.; MONTEIRO, A. M. Analysis of indole-3-acetic and related indoles in culture medium

from *Azospirillum lipoferum* and *Azospirillum brasilense*. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v. 54, n. 11, p. 2833-2837, 1988.

DEL GALLO, M.; FENDIRIK, I. The rhizosphere and *Azospirillum*. In: OKON, Y. (Ed.). **Azospirillum plant associations**. Boca Raton: CRC Press, 1994. p. 57-75.

DÍAZ, Z. M.; FERNANDEZ, C. M. V. Análisis de la producción de cereales inoculados con *Azospirillum brasilense* en la República Argentina. In: CASSÁN, F. D.; GARCIA DE SALAMONE, I. (Ed.). **Azospirillum ssp.**: cell physiology, plant interactions and agronomic research in Argentina. Buenos Aires: Asociación Argentina de Microbiología, 2008. p. 155-166.

DIDONET, A. D.; MAGALHÃES, A. C. The role auxin-like compounds in plant growth promoting rhizobacteria: the wheat-*Azospirillum* association. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Londrina, v. 5, p. 179-183, 1993.

DIDONET, A. D.; RODRIGUES, O.; KENNER, M. H. Acúmulo de nitrogênio e de massa seca em plantas de trigo inoculadas com *Azospirillum brasilense*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 31, n. 9, p. 645-651, 1996.

DOBBELAERE, S.; CROONENBORGH, A.; THYS, A.; VANDE BROEK, A.; VANDERLEYDEN, J. Phytostimulatory effect of *Azospirillum brasilense* wild type and mutant strains altered in IAA production on wheat. **Plant and Soil**, The Hague, v. 212, n. 2, p. 153-162, 1999.

DOBELAERE, S.; CROONENBORGH, A.; THYS, A.; PTACEK, D.; VANDERLEYDEN, J.; DUTTO, P.; LABANDERA-GONZALEZ, C.; CABALLERO-MELLADO, J.; AGUIRRE, J. F.; KAPULNIK, Y.; BRENER, S.; BURDMAN, S.; KADOURI, D.; SARIG, S.; OKON, Y. Response of agronomically important crops to inoculation with *Azospirillum*. **Australian Journal Plant Physiology**, v. 28, n. 9, p. 871-879, 2001.

DÖBEREINER, J. Avanços recentes na pesquisa em fixação biológica de nitrogênio no Brasil. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 4, n. 8, p.144-152, 1990.

DÖBEREINER, J. *Azotobacter paspali* sp.: uma bactéria fixadora de nitrogênio na rizosfera de *Paspalum*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 1, p. 357-365, 1966.

DÖBEREINER, J. Influence of environmental factors on the occurrence of *Spirillum lipoferum* in soils and roots. **Ecological Bulletins**, v. 26, p. 343-352, 1978.

DÖBEREINER, J.; BALDANI, V. L. D.; BALDANI, J. I. **Como isolar e identificar bactérias diazotróficas de plantas não-leguminosas**. Brasília, DF: Embrapa-SPI, 1995. 60 p.

DÖBEREINER, J.; DAY, J. M. Associate symbioses in tropical grasses: characterization of microorganism and nitrogen fixer sites. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON NITROGEN FIXATION, 1976, Washington. **Proceedings...** Washington: State University, 1976. p. 518-538.

DÖBEREINER, J.; DE-POLLI, H. *Diazotrophic rhizocoenoses*. In: STEWART, D. P.; GALLON, R. (Ed.). **Nitrogen fixation**. London: Academic Press, 1980. p. 301-334.

DÖBEREINER, J.; RUSCHELL, A. P. Uma nova espécie de *Beijerinckia*. **Revista de Biologia**, v. 1, p. 261-272, 1958.

EL-KOMY, H. M.; HAMDIA, M. A.; ABD EL-BAKI, G. K. Nitrate reductase in wheat plants grown under water stress and inoculated with *Azospirillum* spp. **Biologia Plantarum**, Praha, v. 46, p. 281-287, 2003.

FALLIK, E.; OKON, Y.; EPSTEIN, E.; GOLDMAN, A.; FISCHER, M. Identification and quantification of IAA and IBA in *Azospirillum brasilense* inoculated maize roots. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 21, p. 147-153, 1989.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. Guaíba: Agropecuária, 2000. 360 p.

FRANK, B. Ueber die pilzsymbiose der leguminosen. **Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft**, v. 37, p. 376-387, 1889.

FREITAS, J. L. M.; PEREIRA, P. A. A.; DOBEREINER, J. Effect of organic matter and *Azospirillum* spp. strains in the metabolism of nitrogen in *Sorghum vulgare*. In: VOSE, P. B.; RUSCHEL, A. P. (Ed.). **Associative N₂ fixation**. Boca Raton: CRC Press, 1981. v. 1, p. 155-163.

HADAS, R.; OKON, Y. Effect of *Azospirillum brasilense* inoculation on root morphology respiration in tomato seedlings. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 5, p. 241-247, 1987.

HALBLEIB, C. M.; ZANG, Y.; LUDDEN, P. W. Regulation of dinitrogenase reductase ADP-ribosyltransferase and dinitrogenase reductase-activating glycohydrolase by redox-dependent conformational change of nitrogenase Fe protein. **Journal of Biological Chemistry**, Bethesda, v. 275, n. 5, p. 3493-3500, 2000.

HARTMANN, A.; HUREKT. Effect of carotenoid overproduction on oxygen tolerance of nitrogen fixation in *Azospirillum brasiliense* Sp7. **Journal of General Microbiology**, London, v. 134, p. 2449-2455, 1988.

HILL, N. M.; PATRIQUIN, D. G. Maximizing N₂ fixation in sugarcane litter. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM SUSTAINABLE AGRICULTURE FOR THE TROPICS: THE ROLE OF BIOLOGICAL NITROGEN FIXATION, 1995, Angra dos Reis. **Programme and abstracts**. Seropédica: Embrapa-CNPAB: UFRRJ, 1995. p. 59-60.

HUNGRIA, M. **Inoculação com *Azospirillum brasiliense***: inovação em rendimento a baixo custo. Londrina: Embrapa Soja, 2011. 36 p. (Embrapa Soja. Documentos, 325).

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; SOUZA, E. M. S.; PEDROSA, F. O. Inoculation with selected strains of *Azospirillum brasilense* and *A. lipoferum* improves yields of maize and wheat in Brazil. **Plant and Soil**, The Hague, v. 331, p. 413-425, 2010.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; MENDES, I. C. **Fixação biológica do nitrogênio na cultura da soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2001. 48 p. (Embrapa Soja. Circular Técnica, 35).

IMLAY, J. A.; CHIM, S. M.; LINN, S. Toxic DNA damage by hydrogen peroxide through the Fenton reaction in vivo and in vitro. **Science**, Washington, v. 240, p. 640-642, 1988.

KAPPES, C.; SILVA, R. G.; FERREIRA, V. E. N. Aplicação foliar de *Azospirillum brasilense* e doses de nitrogênio em cobertura no milho safrinha. **Scientia Agraria Paranaensis**, Marechal Cândido Rondon, v. 16, p. 366-373, 2017.

KAPPES, C.; ZANCANARO, L.; LOPES, A. A.; KOCH, C. V.; FUJIMOTO, G. R.; FERREIRA, V. E. N. Aplicação foliar de *Azospirillum brasilense* e doses de nitrogênio em cobertura no milho safrinha. In: SEMINÁRIO NACIONAL [DE] MILHO SAFRINHA, 12., 2013, Dourados. **Estabilidade e produtividade**: anais. Brasília, DF: Embrapa; Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2013.

KAPULNIK, Y.; OKON, Y.; HENIS, Y. Changes in root morphology of wheat caused by *Azospirillum inoculation*. **Canadian Journal of Microbiology**, Ottawa, v. 31, p. 881-887, 1985.

KITZLER, J. W.; MINAKAMI, H.; FRIDOVICH, I. Effects of paraquat on *Escherichia coli*: differences between B and K-12 strains. **The Journal of Bacteriology**, Washington, v. 172, p. 686-690, 1990.

KOLB, W.; MARTIN, P. Response of plants to inoculation with *Azospirillum brasilense* and to application of indole acetic acid. In: KLINGMULLER, W. (Ed.). **Azospirillum III**: genetics, physiology, ecology. Berlin: Springer-Verlag, 1985. p. 215-221.

KUSS, A. V.; KUSS, V. V.; LOVATO, T.; FLÔRES, M. L. Fixação do nitrogênio e produção de ácido indolacético in vitro por bactérias diazotróficas endofíticas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 42, n. 10, p. 1450-1465, 2007.

LAMBRECHT, M.; VANDE BROEK, A.; DOSSELAERE, F.; VANDERLEYDEN, J. The ipdC promoter auxin-responsive element of *Azospirillum brasilense*, a prokaryotic ancestral form of the plant AuxRE? **Molecular Microbiology**, Salem, v. 32, p. 889-891, 2000a.

LAMBRECHT, M.; OKON, Y.; VANDE BROEK, A.; VANDERELEYDEN, J. Indole-3-acetic acid: a reciprocal signalling molecule in bacteria-plant interactions. **Trends in Microbiology**, Cambridge, v. 8, p. 298-300, 2000b.

Lee, J. H.; Youn, C. H.; Kim, B. C.; Gu, M. B. An oxidative stress-specific bacterial cell array chip for toxicity analysis. **Biosensors and Bioelectronics**, Essex, v. 22, p. 2223-2229, 2007.

LOPES, E. S. Fixação biológica do nitrogênio no sistema solo-planta. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S.; VITTI, G. C. **Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira**. Piracicaba: INPI, 2007. p. 47-67.

LUMPKIN, T. A. Chinese technology for the cultivation of *Azolla*. In: GRAHAM, P. H.; HARRIS, S. C. (Ed.). **Biological nitrogen fixation technology for tropical agriculture**. Cali: CIAT, 1982. p. 537-548.

MACHADO, A. T.; SODEK, L.; DOBEREINER, J.; REIS, V. M. Efeito da adubação nitrogenada e da inoculação com bactérias diazotróficas no comportamento bioquímico da cultivar de milho

Nitroflint. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 33, p. 961-970, 1998.

MAGALHÃES, F. M. M.; PATRIQUIN, D.; DÖBEREINER, J. Infection of field grown maize with *Azospirillum* spp. **Revista Brasileira de Biologia**, Rio de Janeiro, v. 39, p. 587-596, 1979.

MARCHAL, K.; VANDERLEYDEN, J. The oxygen paradox of dinitrogen-fixing bacteria. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 30, n. 5, p. 363-373, 2000.

MASEPOHL, B.; DREPPER, T.; PASCHEN, A.; GROSS, S.; PAWLOWSKI, A.; RAABE, K.; RIEDEL, K. U.; KLIPP, W. Regulation of nitrogen fixation in the phototrophic purple bacterium *Rhodobacter capsulatus*. **Journal Molecular Microbiology Biotechnology**, v. 4, n. 3, p. 243-248, 2002.

MERRICK, M. J.; EDWARDS, R. A. Nitrogen control in bacteria. **Microbiology Review**, v. 59, p. 604-622, 1995.

MOREIRA, F. M. de S.; SILVA, K. da; NÓBREGA, R. S. A.; CARVALHO, F. de. Bactérias diazotróficas associativas: Diversidade, ecologia e potencial de aplicações. **Comunicata Scientiae**, v. 1, p. 74-99, 2010.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2 ed. Lavras: UFLA, 2006.

MOUTIA, J. F.; SAUMTALLY, S.; STIJN SPAEPEN, S.; VANDERLEYDEN, J. Plant growth promotion by *Azospirillum* sp. in sugarcane is influenced by genotype and drought stress. **Plant and Soil**, The Hague, v. 337, n. 1/2, p. 233-242, 2010.

MÜLLER, T. M.; SANDINI, I. E.; RODRIGUES, J. D.; NOVAKOWISKI, J. H.; BASI, S.; KAMINSKI, T. H. Combination of inoculation methods of *Azospirillum brasilense* with broadcasting of nitrogen fertilizer increases corn yield. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 46, p. 210-215, 2016.

MUÑOZ, G. A.; CABALLERO, M. J.; VALDÉS, M. Promoción del crecimiento del maíz por cepas productoras de siderófos de *Azospirillum* y *Pseudomonas* fluorescentes. In: CONGRESO NACIONAL DE LA FIJACION BIOLOGICA DEL NITROGENO Y I ENCUENTRO IBEROAMERICANO DE INVESTIGACION SOBRE FIJACION DE NITROGENO, 3., 1991, Cuernavaca. **Anais...** Cuernavaca: [s.n.], 1991. p. 61.

ONA, O.; VAN IMPE, J.; PRINSEN, C.; VANDERLEYDEN, J. Growth and indole-3-acetic acid biosynthesis of *Azospirillum brasilense* Sp245 is environmentally controlled. **FEMS Microbiology Letters**, Amsterdam, v. 246, p. 125-132, 2005.

PATTEN, C. L.; GLICK, B. R. Bacterial biosynthesis of indole-3-acetic acid. **Canadian Journal Microbiology**, Ottawa, v. 42, p. 207-220, 1996.

PERRIG, D.; BOIERO, L.; Masciarelli, O.; Penna, C.; Cassán, F.; LUNA, V. Plant growth promoting compounds produced by two agronomically important strains of *Azospirillum brasilense*, and their implications for inoculant formulation. **Applied Microbiology and Biotechnology**, Berlin, v. 75, p. 1143-1150, 2007.

PILET, P. E.; SAUGY, M. Effect on root growth of endogenous and applied IAA and ABA. **Plant Physiology**, Bethesda, v. 83, p. 33-38, 1987.

PORTUGAL, J. R.; ARF, O.; LONGUI, W. V.; GITTI, D. C.; BARBIERI, M. K. F.; GONZAGA, A. R.; TEIXEIRA, D.S. Inoculação com *Azospirillum brasilense* via foliar associada a doses de nitrogênio em cobertura na cultura do milho. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 29., 2012, Águas de Lindóia. **Diversidade e inovações na era dos transgênicos**: resumos expandidos. Campinas: Instituto Agrônômico; Sete Lagoas: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2012. p. 1413-1417.

PROCÓPIO, S. O.; FERNANDES, M. F.; TELES, D. A.; SENA FILHO, J. G.; CARGNELUTTI FILHO, A.; VARGAS, L.; SANT'ANNA, S. A. C. Toxicidade de herbicidas utilizados nas cultura da cana-de-açúcar à bactéria diazotrófica *Azospirillum brasilense*. **Planta Daninha**, Rio de Janeiro, v. 29, p. 1079-1089, 2011. Número Especial.

QUADROS, P. D.; ROESCH, L. F. W.; SILVA, P. R. F.; VIEIRA, V. M.; ROEHRS, D. D.; CAMARGO, F. A. O. Desempenho agrônômico a campo de híbridos de milho inoculados com *Azospirillum*. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 61, p. 209-218, 2014.

RADWAN, T.; EI-S. EI-D.; MOHAMED, Z. K.; REIS, V. M. Efeito da inoculação de *Azospirillum* e *Herbaspirillum* na produção de compostos indólicos em plântulas de milho e arroz. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 39, n. 10, p. 987-994, 2004.

RAMOS, M. L. G.; RIBEIRO, W. Q. Effect of fungicides on survival of *Rhizobium* on seeds and the nodulation of bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Plant and Soil**, The Hague, v. 152, n. 1, p. 145-150, 1993.

REES, D. C.; HOWARD, J. B. Nitrogenase: standing at the crossroads. **Current Opinion in Chemical Biology**, London, v. 4, n. 5, p. 559-566, 2000.

REIS JÚNIOR, F. B.; MACHADO, C. T. T.; MACHADO, A. T.; SODEK, L. Inoculação de *Azospirillum Amazonense* em dois genótipos de milho sob diferentes regimes de nitrogênio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 32, n. 3, p. 139-146, 2008.

RIBBE, M.; GADKARI, D.; MEYER, O. N₂ Fixation by *Streptomyces thermoautotrophicus* involves a molybdenum-dinitrogenase and a manganese-superoxide oxidoreductase that couple N₂ reduction to the oxidation of superoxide produced from O₂ by molybdenum-CO dehydrogenase. **Journal of Biological Chemistry**, Baltimore, v. 272, n. 42, p. 26627-26633, 1997.

ROCHA, R. E. M.; BALDANI, J. I.; DÖBEREINER, J. Specificity of infection by *Azospirillum* spp. in plant with C₄ photosynthetic pathway. In: VOSE, P. B.; RUSCHEL, A. P. (Ed.). **Associative N₂ fixation**. Boca Raton: CRC Press, 1981. p. 67-69.

RODELAS, B.; GONZÁLEZ-LÓPEZ, J.; MARTÍNEZ-TOLEDO, M. V.; POZO, C.; Salmerón, V. Influence of *Rhizobium*/*Azotobacter* and *Rhizobium*/*Azospirillum* combined inoculation on mineral composition of faba bean (*Vicia faba* L.). **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 29, n. 2, p. 165-169, 1999.

RODRIGUEZ, H.; GONZALEZ, T.; GOIRE, I.; BASHAN, Y. Gluconic acid production and phosphate solubilization by the plant growth-promoting bacterium *Azospirillum* spp. **Naturwissenschaften**, v. 91, p. 552-555, 2004.

ROESCH, L. F. W.; QUADROS, P. D.; CAMARGO, F. A. O.; TRIPLET, E. W. Screening of diazotrophic bacteria *Azospirillum* spp. for nitrogen fixation and auxin production in multiple field sites in

southern Brazil. **World Journal of Microbiology Biotechnology**, Dordrecht, v. 23, p. 1377-1383, 2007.

ROPER, M. M.; LADHA, J. K. Biological N₂ fixation by heterotrophic and phototrophic bacteria in association with straw. **Plant and Soil**, The Hague, v. 174, p. 211-224, 1995.

RUDNICK, P.; MELETZUS, D.; GREEN, A.; HE, L.; KENNEDY, C. Regulation of nitrogen fixation by ammonium in diazotrophic species of proteobacteria. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 29, p. 831-841, 1997.

SÁ JÚNIOR, A. de. **Comportamento agrônômico do milho em resposta ao modo de aplicação e concentrações de *Azospirillum brasilense***. 2012. 53 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2009.

SABUNDJIAN, M. T.; ARF, O.; KANEKO, F. H.; NASCIMENTO, V. Doses de nitrogênio no feijão de inverno em sucessão à gramíneas com e sem inoculação de *Azospirillum brasilense*: análise econômica. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, v. 8, p. 139-145, 2014.

SALA, V. N. R.; BRAN, E. J. B. N.; FREITAS, J. G.; SILVEIRA, A. P. D. Resposta de genótipos de trigo à inoculação de bactérias diazotróficas em condições de campo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 42, n. 6, p. 883-842, 2007.

SALMERON, V.; MARTINEZ-TOLEDO, M. V.; GONZALEZ-LOPEZ, J. Effects ofalachlor and metolachlor on the biological activity of *Azospirillum brasilense* grown in chemically defined and

dialyzedsoil media. **Environmental Toxicology and Chemistry**, New York, v. 10, n. 4, p. 493-499, 1991.

SALOMONE, I. E. G.; DÖBEREINER, J. Maize genotype effects on the response to Azospirillum inoculation. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 21, p. 193-196, 1996.

SILVA, D. M.; ANTONIOLLI, Z. I.; SEMINOTI, R. J. J.; VOSS, M. Bactérias diazotróficas nas folhas e colmos de plantas de arroz irrigado (*Oryza sativa* L.). **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 13, n. 2, p. 181-187, 2007.

STEENHOUD, O.; VANDERLEYDEN, J. Azospirillum, a free-living nitrogen-fixing bacterium closely associated with grasses: genetic, biochemical. **Microbiology Review**, v. 24, p. 487-506, 2000.

TARRAND, J. J.; KRIEG, N. R.; DÖBEREINER, J. A taxonomic study of the *Spirillum lipoferum* group, with description of a new genus. Azospirillum gen. nov. and two species, Azospirillum lipoferum (Beijerinck) comb. nov. and Azospirillum brasilense sp. nov. **Canadian Journal of Microbiology**, Ottawa, v. 8, p. 967-980, 1978.

TIAN, Q.; CHEN, F.; LIU, J.; ZHANG F; MI, G. Inhibition of maize root growth by high nitrate supply is correlated with reduced IAA levels in roots. **Journal of Plant Physiology**, Stuttgart, v. 165, n. 9, p. 942-951, 2008.

TIEN, T. M.; GASKIN, M. H.; HUBBELL, D. H. Plant growth substances produced by *Azospirillum brasilense* and their effect on the growth of pearl millet (*Pennisetum americanum* L.). **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v. 37, p.1016-1024, 1979.

TOUATI, D. Iron and oxidative stress in bacteria. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, New York, v. 373, n. 1, p. 1-6, 2000.

VANDE BROEK, A.; GYSEGOM, P.; ONA, O.; HENDRICKX, N.; PRINSEN, E.; VAN IMPE, J.; VANDERLEYDEN, J. Transcriptional analysis of the *Azospirillum brasilense* Indole-3-pyruvate decarboxylase gene and identification of a cis-acting sequence involved in auxin responsive expression. **Molecular Plant-Microbe Interactions**, Saint Paul, v. 18, p. 311-323, 2005.

VANDE BROEK, A.; LAMBRECHT, M.; EGGERMONT, K.; VANDERLEYDEN, J. Auxins upregulate expression of the indole-3-pyruvate decarboxylase gene in *Azospirillum brasilense*. **Journal of Bacteriology**, Washington, v. 181, p. 1338-1342, 1999.

WESTBY, C. A.; ENDERLIN, C. S.; STEINBERG, N. A.; JOSEPH, C. M.; MEEKS, J. C. Assimilation of $^{13}\text{NH}_4^+$ by *Azospirillum brasilense* grown under nitrogen limitation and excess. **Journal of Bacteriology**, Washington, v. 169, p. 4211-4214, 1987.

Capítulo 7

A Experiência da Cooperativa Agrária Agroindustrial na Produção de Milho na Região Sul do País

Celso Wobeto

Introdução

No ano de 1951 foi fundada a Cooperativa Agrária LTDA, hoje Cooperativa Agrária Agroindustrial, que administrou o mais bem-sucedido projeto de colonização de imigrantes suábios do pós-guerra. Na maioria agricultores, um grupo de 500 famílias adquiriu um total de 22.000 ha terras situadas no distrito de Entre Rios, município de Guarapuava, Paraná (Elfes, 1971). As primeiras culturas plantadas foram o arroz e o trigo; em 1968 a soja começou a ter importância econômica, seguida pela cevada, a aveia e, mais tarde, o milho.

A história da cultura do milho na Agrária é, relativamente, recente. A primeira safra colhida em área expressiva, cerca de 8% da área de verão, foi em 1985/1986, com produtividade extremamente baixa, 3.000 kg ha⁻¹. Cinco safras após, área e produtividade haviam crescido chegando a 40% e 7.000 kg ha⁻¹, respectivamente. A média de participação do milho nas três últimas safras foi de 23% e a produtividade do mesmo período foi de 12.956 kg ha⁻¹.

Para dar o apoio necessário aos cooperados, desde o início, a Agrária investiu em infraestrutura de recebimento, secagem e armazenagem da produção. São três unidades (entrepósitos) à disposição dos cooperados que, somadas, possuem capacidade estática de 1,27 milhões de toneladas de grãos (Cooperativa Agrária Agroindustrial, 2017). Em algumas propriedades existem armazéns e secadores, mas a capacidade instalada representa menos de 5% em relação ao total da cooperativa, restringindo-se às mais distantes dos entrepostos.

A Agrária sempre valorizou seus recursos humanos, em especial a equipe técnica. A assistência aos cooperados é realizada por 13 agrônomos, que atuam em campo e em tarefas de planejamento da propriedade. A Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária (FAPA), que conta com onze pesquisadores, desenvolve pesquisas com ênfase em demandas regionais, realizando-as em parceria com empresas de melhoramento de milho, universidades e órgãos oficiais. Os pesquisadores, de diferentes especialidades, atendem as necessidades do campo e da indústria, desde o manejo da adubação, plantas daninhas, pragas e doenças até qualidade industrial. Outros Departamentos também atendem e prestam serviços aos cooperados, em especial no apoio à comercialização e ao gerenciamento financeiro.

Localização e caracterização edafoclimática

No Centro-Sul do Paraná, onde se localizam os 20 municípios de atuação da Agrária, os solos são originados principalmente de rochas eruptivas da formação Serra Geral, com predominância de basalto (Larach et al., 1984). A região está situada no chamado “Terceiro Planalto” do estado, entre os paralelos 24° e 26° de Latitude Sul e 51° e 53° de Longitude Oeste, onde a altitude

varia de 600 a 1.300 m. O clima é subtropical úmido, do tipo Cfb (Köppen), sem estação seca e com geadas bastante frequentes (Santos et al., 2006).

Os principais solos na região são os Latossolos Brunos Distróficos, Neossolos Litólicos e Cambissolos Háplicos Tb Distróficos, com boa profundidade e boas condições físicas naturais. Tem, normalmente, alto potencial para uso agrícola, desde que corrigidas as restrições naturais de fertilidade, especialmente o fósforo. Sob vegetação natural, apresentam teores de matéria orgânica (MO) estável, variando de médio a alto, decorrente da sua textura argilosa e das temperaturas amenas (**Figura 1**), (Embrapa, 2014).

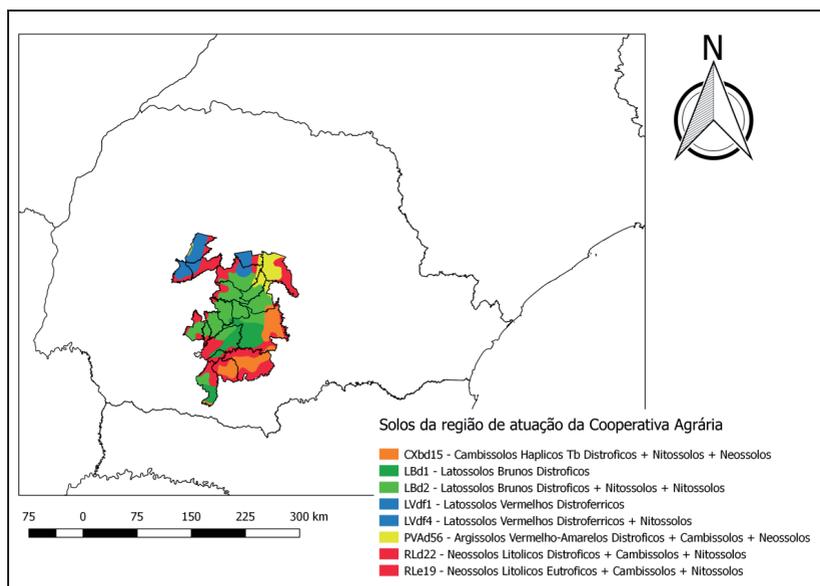


Figura 1. Mapa do Estado do Paraná, em destaque, os municípios de atuação da Cooperativa Agrária Agroindustrial e os solos predominantes na região. Fonte: Adaptação de Embrapa (2014).

Segundo registros da FAPA, no distrito de Entre Rios, sede da Agrária, as médias da temperatura do ar nos meses mais quentes (dezembro, janeiro e fevereiro) oscilam entre 19 °C e 20 °C, e nos meses mais frios (junho e julho), entre 12 °C e 13 °C, sendo a média anual de 16,8 °C.

A precipitação pluviométrica média anual é de 1.956 mm, com um Desvio-padrão de 19,5% na série histórica de 30 anos (1987-2016) em Entre Rios. Agosto tem os menores registros médios (103 mm) e o mês de outubro, os maiores (212 mm), seguido de dezembro (198 mm) e janeiro (192 mm) (**Figura 2**). O número de dias com chuva é elevado, em média, doze ao mês, o que permite o fornecimento de água em abundância para as culturas (dados não publicados).

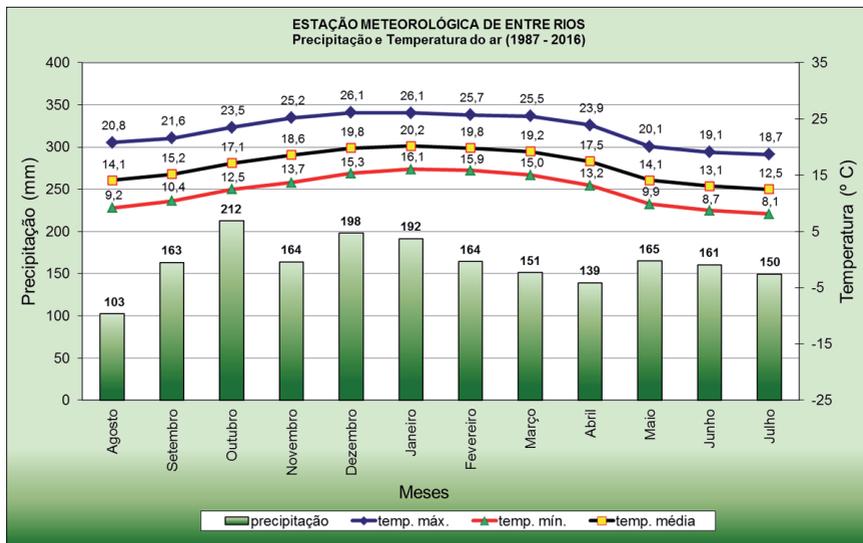


Figura 2. Dados médios de precipitação e temperatura do ar mínima, média e máxima em Entre Rios, Guarapuava-PR, entre 1987 até 2016. Fonte: Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária (dados não publicados).

Evolução tecnológica do milho na cooperativa agrária

O milho na rotação de culturas de verão e a melhoria na produtividade

Após muitos anos de monocultura de soja, entre 1970 e 1985, surgiram sérios problemas sanitários, como o cancro-da-haste (*Diaphorte phaseolorum* f. sp. meridionalis) e o tamanduá-da-soja (*Sternechus subsignatus*), que diminuíram a produtividade da cultura, demandando, com urgência, uma cultura de verão para rotação.

Mesmo com pouco conhecimento técnico e incertezas quanto à sua rentabilidade quando comparada à soja, o milho foi a melhor alternativa encontrada, pois o cereal já era conhecido e cultivado em pequena escala como cultura de subsistência de pequenos produtores e para alimentação animal nas fazendas. Após anos de pesquisa na FAPA, em parceria com empresas de sementes, pesquisadores de empresas públicas, agrônomos da assistência técnica da Cooperativa, com o apoio dos cooperados, além de resolver os problemas sanitários da soja supracitados, o milho se afirmou como uma opção técnica e economicamente viável.

Na série histórica apresentada na **Figura 3**, o ganho médio anual foi de 246 kg ha⁻¹. Nas últimas 15 safras, entretanto, o ganho foi maior ainda, próximo de uma tonelada a cada três safras, graças ao uso dos melhores híbridos e manejo técnico das lavouras.

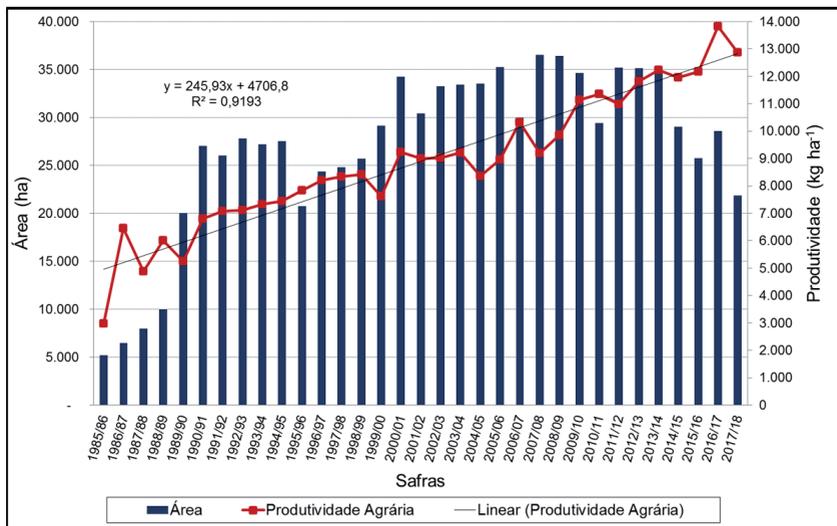


Figura 3. Evolução da área e produtividade de milho na Cooperativa Agrária, no período 1985/1986 até 2017/2018. Fonte: Cooperativa Agrária Agroindustrial (dados não publicados).

A maior produtividade média foi alcançada na safra 2016/2017, com 13.829 kg ha⁻¹, em uma área acima de 28.500 ha. Após cinco safras de cultivo do milho, na proporção de um quarto a um terço da área, e o lançamento de novas cultivares de soja, a produtividade da oleaginosa aumentou em mais de 35% da safra 1989/1990 para 1990/1991. Este aumento significativo de produtividade na soja, atribuído em grande parte ao efeito do milho na rotação, elevou a gramínea ao status de importância econômica semelhante à soja, uma vez que aquela não expressava todo seu potencial sem o milho no sistema. Durante cinco safras, 1990/1991 a 1994/1995, a participação do milho chegou próxima dos 40% da área plantada, depois estabilizou em torno de um terço, 1995/96 até 2013/2014 e na última safra foi de 20%, com tendência de recuperação (**Figura 4**).

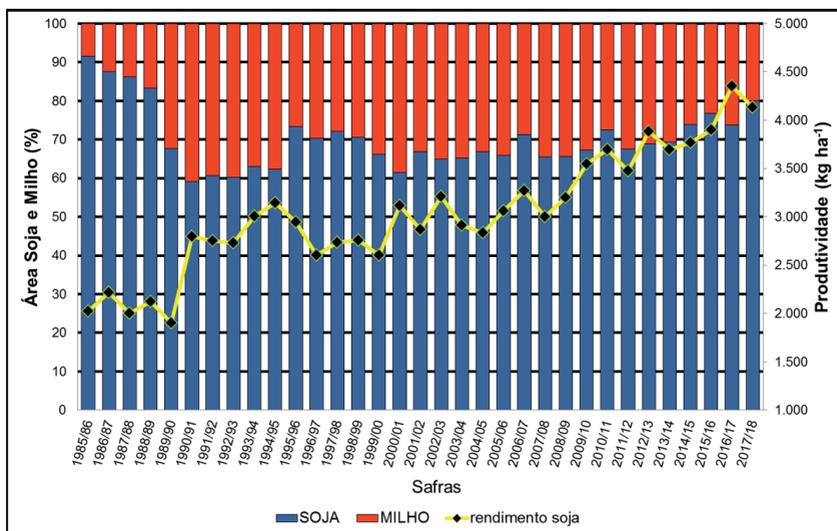


Figura 4. Evolução do percentual de área de milho e soja e produtividade de soja na Cooperativa Agrária, no período 1985/1986 até 2017/2018. Fonte: Cooperativa Agrária Agroindustrial (dados não publicados).

Para dar suporte a esta questão, foi estudada a participação do milho na rotação de culturas, em diferentes proporções com a soja: zero, 25%, 33% e 50%. Os melhores resultados em 16 anos de experimentação interna mostraram que a soja foi mais produtiva quando o milho estava presente em 33 ou 50% da área (Dados não publicados).

Pesquisa de milho na FAPA

Na safra 1985/1986, foi conduzido o primeiro trabalho interno de avaliação de híbridos de milho na Estação Experimental (atualmente FAPA), com 22 híbridos em plantio convencional e população de 55.000 plantas/ha. Neste trabalho, os quatro melhores híbridos produziram em média 8.559 kg ha⁻¹ (dados

não publicados). Este trabalho continuou sendo feito nos anos seguintes, com ajustes e melhorias na população e distribuição de plantas, aumento da adubação de base e cobertura, controle de pragas, objetivando subsidiar os cooperados na escolha dos melhores híbridos. Em 1996, o trabalho de avaliação e seleção de híbridos foi ampliado, pela condução de experimentos em diferentes locais e épocas de plantio. Além da produtividade, as principais avaliações introduzidas foram: grãos ardidos, doenças foliares, ciclo, estatura das plantas, altura de inserção das espigas, qualidade industrial e teor de gordura nos grãos. Esta rede, chamada de “Ensaio Regionalizados” é composta por quatro locais, com semeadura em três épocas. Os locais foram escolhidos em função da altitude e variações no regime de chuva. Os resultados destes experimentos são divulgados aos agrônomos da assistência técnica e cooperados da Agrária, agricultores não cooperados e empresas parceiras, através de Relatórios e eventos como Dias de Campo.

Outras demandas geradas pela assistência técnica e cooperados nas áreas de fitossanidade, fertilidade do solo e mecanização agrícola fizeram com que a FAPA contratasse mais pesquisadores para a geração de resultados regionais mais detalhados e multidisciplinares. Alguns exemplos destes estudos são: arranjo espacial de plantas, ensaios de calibração de nutrientes para adubação de base e de cobertura, pré-culturas e rotação de culturas, tratamento de sementes, manejo de plantas daninhas, pragas e doenças, dentre outros. Muitos destas pesquisas recebem o apoio financeiro de empresas fornecedoras de sementes e outros insumos, em troca dos resultados, pois auxiliam o posicionamento mais assertivo de seus produtos.

Um dos trabalhos de maior impacto, desenvolvido pela área de fertilidade da FAPA, foi a indicação de calagem e adubação, englobando as espécies envolvidas na rotação. Anteriormente, esta recomendação era baseada em indicações técnicas isoladas para cada cultura, dificultando a aplicação no atual sistema produtivo da região (Fontoura et al., 2015). Como a cultura do milho tem elevada demanda por fertilizantes, somando-se NPK na base mais nitrogênio em cobertura, podendo chegar a 30% dos custos diretos da lavoura, esta ferramenta permite a racionalização no uso destes insumos.

Em 2015, foi instalada uma rede de 20 Estações Meteorológicas, com objetivo de gerar informações para dar suporte às aplicações de produtos fitossanitários. Este serviço está disponível aos cooperados na forma de um Aplicativo conhecido como FAPA-Radar, cujo acesso é por telefone celular, e é gerenciado pela área de Fitopatologia. Também são emitidos alertas das doenças das culturas, permitindo o controle delas desde a fase inicial de ocorrência.

O posicionamento técnico para época de plantio e população de plantas também é de grande relevância para exploração do máximo potencial genético dos híbridos, cujos resultados são obtidos nos Ensaio Regionalizados e Ensaio de População de Plantas internos na FAPA. Agrônomos e cooperados seguem com elevado grau de fidelidade estes resultados. Ainda dentro da área de fitotecnia, ao longo dos últimos cinco anos, vêm sendo feitas avaliações de qualidade industrial dos híbridos pré-comerciais e comerciais, mais especificamente a dureza do endosperma. Por ser uma característica genética, há necessidade de classificação por nível de dureza e posterior indicação aos cooperados, para garantir o melhor rendimento industrial de grits e flakes. Para

incentivar o plantio, a Agrária bonifica financeiramente em dois níveis, grãos duros e semiduros.

Na **Tabela 1** consta um resumo das pesquisas realizadas com a cultura do milho na safra de 2017/2018, nas diferentes áreas, discriminando o número de linhas de pesquisa, número de experimentos, número de parcelas e o investimento com análises laboratoriais para qualidade, especialmente micotoxinas e/ou solos. Antes de serem implantadas, as pesquisas são discutidas e aprovadas pelo Conselho Curador da Fundação, composto por representantes dos cooperados, indústrias, assistência técnica e Conselho de Administração da Agrária. Cada área de pesquisa tem um ou dois pesquisadores, dependendo das demandas e alguns trabalhos são realizados de forma conjunta, entre duas ou mais equipes.

Tabela 1. Número de linhas de pesquisa, experimentos, parcelas e investimento em análises de laboratório, conduzidos com milho na FAPA na safra 2017/2018.

Áreas de pesquisa	Nº de linhas de pesquisa	Nº de experimentos	Nº de parcelas	Investimento em análises de laboratório (R\$)
Entomologia	5	17	1.500	3.000,00
Fertilidade	8	10	400	45.000,00
Fitopatologia	5	15	1.200	80.000,00
Fitotecnia	4	18	2.400	60.000,00
Herbologia	2	10	400	5.000,00
Mecanização	3	6	500	20.000,00

Fonte: Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária

Assistência técnica e apoio gerencial aos cooperados

Hoje, a Agrária conta com 619 cooperados, destes, 428 ativos na agricultura. A área cultivada é de 111.000 hectares de lavouras no verão com soja, milho e feijão e 45.000 no inverno com cevada, trigo e aveia branca.

Para dar apoio técnico aos cooperados, além da pesquisa, a Agrária também possui os departamentos de assistência técnica, produção de sementes, insumos agrícolas. Para auxiliar o cooperado nas tarefas de comercialização da produção, contratação de Custeios Agrícolas e Investimentos e sua gestão financeira, existe o departamento de atendimento ao cooperado.

As atividades dos agrônomos da assistência técnica estão definidas na Missão do departamento: “Transferir tecnologia agropecuária ao cooperado da Agrária através de visitas, difusão de tecnologia e prestação de serviços visando maximizar a rentabilidade da propriedade, com sustentabilidade.” São 13 grupos, cada um com área de plantio entre 6.000 ha e 12.000 ha. O número de cooperados também varia entre os grupos, mas todos são atendidos de forma personalizada, com visitas semanais nas propriedades, ou podem ser recebidos no escritório central para planejamento das atividades rurais e emissão de Receituário Agrônomo.

Do ponto de vista da condução e do manejo das lavouras, houve uma evolução, ou seja, uma redução das diferenças nas produtividades de milho entre os cooperados, quando se compara a safra 2013/2014 com a safra 2017/2018 (**Figuras 5 e 6**).

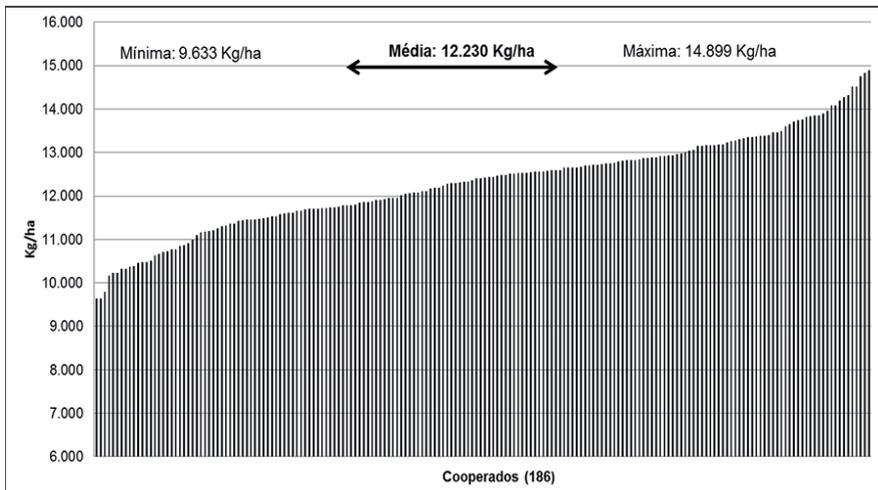


Figura 5. Produtividades de milho de 186 cooperados da Cooperativa Agrária na safra agrícola 2013/2014. Fonte: Cooperativa Agrária Agroindustrial (dados não publicados).

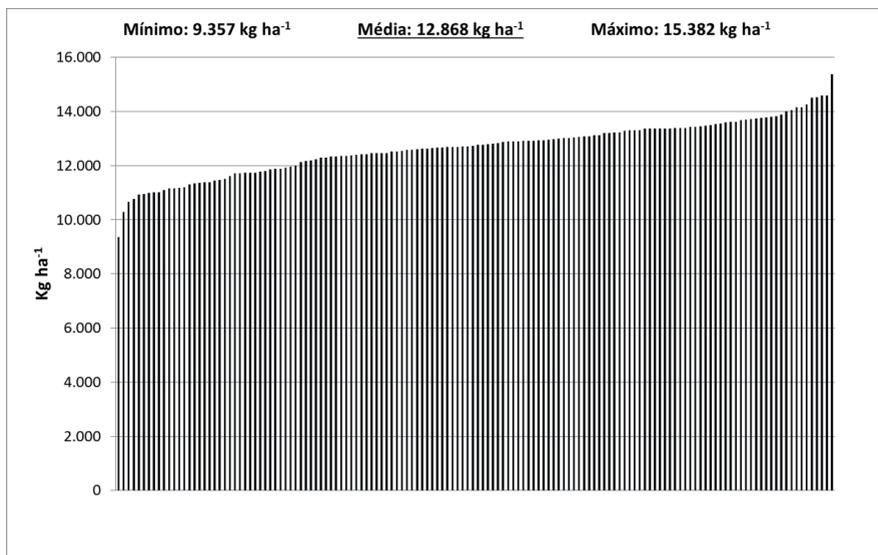


Figura 6. Produtividades de milho de 142 cooperados da Cooperativa Agrária na safra agrícola 2017/2018. Fonte: Cooperativa Agrária Agroindustrial (dados não publicados).

Utilizou-se, como medida de comparação, o Coeficiente de Variação, medido em %. Na primeira, 186 cooperados plantaram milho e o valor obtido foi de 8,8% contra 7,7% na mais recente, com a participação de 142 produtores. Houve aumento na produtividade média de 638 kg ha⁻¹, reflexo do melhor uso das tecnologias geradas e do manejo preconizado pela pesquisa e assistência técnica.

Sempre que a equipe técnica foi “chamada”, houve resposta e empenho para a solução dos problemas. Um bom exemplo disto foi a introdução do milho transgênico resistente a pragas entre os anos 2008 e 2010, em substituição dos híbridos convencionais. Para facilitar o trabalho de recomendação da nova tecnologia aos cooperados, foram realizados Workshops de Biotecnologia, com objetivo de melhor entendimento das Leis e Normas vinculadas ao uso deles, como refúgio e coexistência.

O milho, a exemplo de outras culturas, faz parte da Política Agrícola Governamental e recebe recursos para o custeio das lavouras dos cooperados. Por conta do histórico de pagamento em dia das dívidas destes custeios, embora limitados por CPF, os recursos liberados pelos bancos cobrem o custo dos insumos recomendados (semente, adubo, produtos fitossanitários). Na safra 2017/2018, este valor alcançou a cifra de R\$ 3.000,00 por ha, quando o VBC (Valor Básico de Custeio) foi de R\$ 3.811,00 por ha. Em muitos casos, os custos operacionais de plantio, pulverizações, colheita e transporte, secagem dos grãos na Cooperativa e taxas e impostos, devem ser bancados, parcialmente, pelo cooperado. Os Projetos de Custeio e de Investimento são elaborados pelo Departamento de Atendimento ao Cooperado, com o suporte dos responsáveis técnicos, os agrônomos. Toda área de plantio

dos cooperados é georreferenciada, o que dá maior segurança aos bancos nas vistorias, uma vez que é base dos Projetos.

Agregação de valor ao milho e facilidades aos cooperados

Em razão do grande volume de produto colhido, em média nas três últimas safras foi de 323 mil toneladas por ano, e a exemplo das outras culturas, a Agrária construiu duas indústrias para agregar valor ao milho: a fábrica de rações e a fábrica de grits e flakes. Nestes três anos, a fábrica de rações produziu uma média de 182 mil toneladas de rações ao ano, das quais o milho participou com 25% do volume, representando cerca de 14% do total produzido pelos cooperados. A Indústria de grits e flakes de milho, ainda em fase final de homologações de seus produtos acabados, processou em 2017, 52 mil toneladas de grãos, 30% da sua capacidade nominal instalada. A matéria-prima é o milho não transgênico (convencional), uma demanda dos fabricantes nacionais de cervejas, o qual deve ser segregado para posterior processamento na indústria. Um dos principais subprodutos dela, é o germe, destinado parcialmente para a fábrica de rações da Agrária como componente energético.

A participação dos insumos utilizados no milho também traz resultado positivo, uma vez que todos são comercializados pela Cooperativa. Na soma de todas as culturas, cevada, trigo, aveia, feijão, soja, milho, e cultivos de cobertura do solo, o milho participa com apenas 15% da área, mas o faturamento de insumos chega a 22%. Este resultado auxilia na amortização dos custos de toda estrutura de apoio oferecida aos cooperados.

Uma vez colhido o milho, o cooperado tem a opção de vender seu produto depositado nos armazéns da Agrária. A principal modalidade da Cooperativa é a venda em lotes, e quem estabelece o valor mínimo é o cooperado. Nas últimas safras houve, também, a possibilidade de realizar venda antecipada de parte da produção, mediante fixação do preço futuro. Cabe dizer que, a partir do momento da entrega, é cobrada uma taxa diária de armazenagem e quebra técnica, debitada na conta interna do cooperado. Isto, de certa forma, força a venda, não a especulação. Os principais destinos da venda são as indústrias internas da Agrária (33%), criadores de aves e suínos do Sul do Brasil (55%) e exportação (12%). Há uma série de ferramentas à disposição dos cooperados, com objetivo de informá-los e atualizá-los sobre o mercado das commodities, tais como: palestras com especialistas, aplicativo mediante assinatura, “torpedos” via celular, relatório no Portal da Agrária, dentre outros.

Considerações finais

Embora os cooperados da Agrária tenham alcançado níveis excelentes de produtividade, provavelmente os mais elevados do Brasil, a cultura do milho sofreu recentemente uma redução na área plantada em razão, principalmente, do seu elevado custo de produção. A rentabilidade do milho sempre é comparada à da soja, que teve avanços significativos em produtividade e facilidades de manejo o que, na visão do produtor, tem valor mensurável imediato. Fica a pergunta: como será o futuro do milho verão, ou primeira safra? Certo é que, no sistema de produção da Agrária, sem ele não há garantia de rentabilidade com sustentabilidade.

O desafio das empresas de melhoramento de milho está em combinar ciclo, arquitetura, defensividade, para alcançar um novo patamar de produtividade nos futuros híbridos. Uma das apostas está no uso da tecnologia “CRISPR”, que combina técnicas de melhoramento mais modernas com técnicas moleculares, para produzir híbridos mais produtivos e tolerantes a diferentes tipos de estresses. Recentemente aprovado no Brasil, pela CTNBio, como técnica convencional, deve reduzir as polêmicas da transgenia. Nada, porém, substitui as avaliações em campo, ambiente onde estas plantas deverão produzir. Ainda, novos eventos de biotecnologia são esperados, especialmente resistência às pragas sugadoras e às doenças que depreciam os grãos, cujo valor está em melhorar a qualidade das rações, para melhorar o desempenho animal.

Referências

COOPERATIVA AGRÁRIA AGROINDUSTRIAL. **Agrária**: relatório anual 2017. Guarapuava, 2017. 78 p. Disponível em: <http://www.agraria.com.br/arquivos/relatorio_anual_2017.pdf. > Acesso em: 12 abr. 2018.

ELFES, A. **Suábios no Paraná**. Curitiba: [s.n.], 1971. 115 p.

EMBRAPA. **Solo brasileiro agora tem mapeamento digital**. Brasília, DF, 2017. Notícias. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/2062813/solo-brasileiro-agora-tem-mapeamento-digital>>. Acesso em: 10 maio 2018.

FONTOURA, S. M. V.; VIEIRA, R. C. B.; BAYER, C.; VIERO, F.; ANGHINONI, I.; MORAES, R. P. de. **Fertilidade do solo e seu manejo em sistema plantio direto no Centro-Sul do Paraná**.

Guarapuava: Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária, 2015. 146 p.

LARACH, J. O. I.; CARDOSO, A.; CARVALHO, A. P. de; HOCHMULLER, D. P.; MARTINS, J. S.; RAUEN, M. de J.; FASOLO, D. J.; POTTER, R. O.; BARRETO, W. de O. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Paraná**. Londrina: EMBRAPA-SNLCS: IAPAR: SUDESUL, 1984. (EMBRAPA-SNLCS. Boletim de Pesquisa, 27; IAPAR. Boletim Técnico, 16).

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; OLIVEIRA, J. B. de; COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; CUNHA, T. J. F. (Ed.). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

Capítulo 8

A Realidade da Cultura do Milho na Região Sudoeste de Goiás: a Experiência da COMIGO

*Simone Cristiane Brand
Dieimisson Paulo Almeida
Ubirajara Oliveira Bilego
Beckembauer Ferreira
Antonio Eduardo Furtini Neto*

Introdução

O sistema de produção no Sudoeste de Goiás caracteriza-se basicamente pelo cultivo de soja na safra e milho na 2ª safra/safrinha. A partir de 2011, a produção de milho 2ª safra tem superado a produção da safra.

O Estado de Goiás no ano agrícola 2016/2017 foi o 3º maior produtor de milho, com 10,9 milhões de toneladas, incluindo safra e 2ª safra (Ribeiro, 2017). Os principais municípios produtores de milho do Sudoeste Goiano são Rio Verde, Jataí e Montividiu (**Tabela 1**), respondendo por aproximadamente 40% da produção do estado.

Em Goiás, a produção de milho se destaca em função da proximidade com o mercado consumidor, ou seja, as agroindústrias da região.

Tabela 1. Município, área (ha) e produção (ton) de milho de 1ª e 2ª safra.

Município	1ª safra		2ª safra	
	Área (ha)	Produção (ton)	Área (ha)	Produção (ton)
Rio Verde	8.000	81.600	245.000	1.715.000
Jataí	6.000	57.000	230.000	1.656.000
Montividiu	3.000	30.600	110.000	726.000

Fonte: Ribeiro (2017).

Sistema de produção

O período de semeadura da cultura da soja e seu ciclo desempenham papel fundamental sobre a cultura do milho. Na região, realiza-se em geral o plantio da soja no início de outubro, quando se encerra o vazio sanitário, com a utilização de variedades de ciclo superprecoce ou precoce (100 a 108 dias, aproximadamente), em sua maioria. Desta forma, as colheitas se iniciam nas primeiras semanas de janeiro. Em geral, o produtor também realiza a dessecação da cultura da soja buscando antecipar a colheita da oleaginosa e implantação do milho 2ª safra, decorrente do regime pluviométrico da região (**Tabela 2**), com redução das chuvas a partir do mês de abril. Assim, com a implantação da cultura do milho em final de janeiro e início de fevereiro (respeitando em geral a data limite de 15/02), o pendoamento ocorrerá ainda com alguma umidade no solo, possibilitando bons índices produtivos.

Tabela 2. Histórico de precipitação (mm) obtido de dados da estação meteorológica do Centro Tecnológico COMIGO (CTC) localizado em Rio Verde, GO.

ANO	MESES												TOTAL
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	
2002	279	159	128	75	31	0	12	8	45	52	159	337	1.285
2003	361	163	366	150	30	15	0	20	17	142	230	351	1.845
2004	244	461	207	145	81	0	10	0	0	162	214	216	1.740
2005	264	101	223	6	48	10	0	20	169	108	364	538	1.851
2006	124	225	325	65	16	0	23	22	3	292	395	448	1.938
2007	303	433	236	24	36	0	16	0	0	260	159	324	1.791
2008	357	363	282	201	0	0	0	2	21	175	212	155	1.768
2009	156	160	290	69	5	15	9	70	89	204	349	351	1.767
2010	212	359	171	32	0	0	17	0	80	129	170	194	1.364
2011	233	201	390	51	0	80	0	0	0	232	76	165	1.428
2012	275	265	125	99	61	15	0	0	89	113	335	127	1.504
2013	475	270	552	162	7	13	0	0	17	108	317	225	2.146
2014	52	144	272	109	11	6	74	0	74	116	431	368	1.657
2015	74	158	244	112	89	16	6	0	46	30	202	178	1.155
2016	322	189	293	8	14	35	0	78	17	137	116	270	1.479
2017	243	245	85	29	5	0	0	-	-	-	-	-	-
MÉDIA	248	244	262	84	27	13	10	15	44	151	249	283	1.648

Os plantios de milho mais tardios, na maioria dos anos, são bastante comprometidos em função da redução das chuvas, das temperaturas e do comprimento do dia. Simão et al. (2017) verificaram redução de 66 kg ha⁻¹ de grãos por cada dia de atraso na semeadura, nas condições da safrinha de 2014 na região de Rio Verde-GO. Alguns produtores da região têm alterado seu sistema de produção com a adoção da Integração Lavoura-Pecuária, em parte, por causa dos riscos do cultivo da 2ª safra com milho.

Manejo do solo

O milho é uma cultura exigente em nutrientes para a obtenção de boas produtividades, e nos solos da região do cerrado brasileiro é necessário um adequado input de nutrientes para a cultura. Os aumentos de produtividade obtidos pela cultura no Brasil têm sido obtidos principalmente em função do melhoramento genético e da adoção de boas práticas culturais, muitas vezes não acompanhadas pelo manejo correto da fertilidade do solo, inclusive pela aplicação de menores doses de nutrientes do que a sua exportação pela cultura, como muitas vezes tem sido observado na região Centro-Oeste do Brasil. Neste sentido, a definição de níveis adequados de nutrientes no solo para o cultivo do milho e de outras culturas em áreas de solos com a fertilidade já construída pela aplicação sistemática de nutrientes, ainda não está bem definida pela literatura e pelos técnicos que atuam no setor (Resende et al, 2016).

A exemplo de outras regiões do cerrado brasileiro, boa parte dos solos da região de atuação da COMIGO tem apresentado boa fertilidade na camada superficial, mas muitos problemas relacionados ao perfil do solo. Duas são as principais razões responsáveis por esta situação: a primeira está relacionada

à implantação do sistema de plantio direto (SPD) sem uma adequada correção do perfil do solo, sem uma adequada correção da fertilidade em profundidade na época de sua implantação. Assim, em algum momento adotou-se o SPD sem um prévio revolvimento do solo, aliado à aplicação de calcário, gesso e adubação fosfatada em profundidade. A segunda razão é a adoção, principalmente por razões operacionais, da adubação fosfatada e potássica à lanço e em área total. Este manejo tem concentrado os nutrientes na camada superficial do solo, enquanto que as camadas mais profundas do perfil não têm sua fertilidade devidamente construída. Não é incomum que se encontrem áreas com saturação por alumínio próximas a 70% na camada abaixo de 20 cm, tornando o ambiente bastante inóspito para o crescimento radicular em profundidade, incluindo as culturas do milho e da soja. No caso particular do milho, como relatado no presente trabalho, o predomínio do plantio da cultura em termos de área tem sido a 2ª safra, o que coincide com o período mais seco do ano, dificultando a aquisição de água e nutrientes pelas plantas, em função de restrições no crescimento radicular. Vários são os relatos da literatura sobre os efeitos da falta de cálcio e de fósforo, e da presença do alumínio na restrição do crescimento radicular (Marschner, 2012), com reflexos na produtividade das culturas.

Outro aspecto ligado ao manejo que tem tido efeito na produtividade das culturas, incluindo-se o milho, é o escoamento superficial de nutrientes. Em função de ganhos operacionais, os terraços têm sido eliminados ou reduzidos nas áreas de plantio, provocando escoamento superficial de solos e sedimentos. Infelizmente, ainda existe a crença de que sozinho o sistema de plantio direto é capaz de controlar a erosão, o que não é verdade.

Em relação ao manejo da fertilidade, predomina na região a realização da calagem e eventualmente a gessagem, antes do plantio da soja, sendo que a cultura do milho aproveita este residual da correção e condicionamento do solo. Não é prática comum que se faça a aplicação de calcário ou gesso após a colheita da soja e antes do plantio do milho de 2ª safra.

A adubação da cultura é realizada utilizando-se principalmente os formulados 04-20-18, 16-16-16, 12-14-12, 04-20-18 e 06-40-10, sendo que quando da aplicação deste último é feita a complementação com KCl e quando da utilização dos formulados com baixas concentrações de nitrogênio, a complementação é efetuada com ureia. De forma geral, exceto quando presentes nos formulados comerciais quase sempre em baixas concentrações, a adubação com micronutrientes é efetuada via aplicação foliar, geralmente junto com as aplicações de agroquímicos.

Manejo de plantas daninhas

No Sudoeste de Goiás assim como em boa parte das áreas cultivadas com milho no Brasil, o método de controle de plantas daninhas mais empregado é o químico por meio de herbicidas, aplicados tanto na pós-emergência da cultura quanto da comunidade infestante. Entretanto, em virtude da seleção de plantas daninhas tolerantes/resistentes tem ocorrido incremento no uso de herbicidas em pré-emergência da cultura no manejo denominado “plante-aplique”. De forma ainda incipiente tem sido também adotado o controle cultural por meio do consorcio da cultura do milho com espécies de *Urochloa*.

Em função da diversidade de plantas daninhas que compõem as comunidades infestantes na região e, conseqüentemente

a dificuldade em controlar determinadas espécies, como o capim-amargoso (*Digitária insularis*) e a trapoeraba (*Camelina bengalensis*), tanto no cultivo de milho tolerante ao glyphosate quanto nos convencionais, tem crescido o uso de herbicidas aplicados na modalidade “plante-aplique”. Na presente safra estima-se que foram aplicados herbicidas pré-emergentes em 159 mil hectares da região, o que representa em torno de 26,4% da área dos três principais municípios do Sudoeste de Goiás (**Tabela 1**). Vale ressaltar que na região, os herbicidas aplicados em pré-emergência estão voltando a fazer parte do manejo como uma ferramenta com potencial de manter a cultura no limpo desde a emergência e durante o período crítico de competição, uma vez que em algumas áreas não houve necessidade da aplicação de herbicidas em pós-emergência, uma vez que nestas áreas não houve fluxos de emergência de plantas daninhas.

O controle em pós-emergência no milho, sem tolerância ao glyphosate, tem sido realizado com atrazine associada a algum herbicida com ação gramínida, como nicossulfuron, mesotrione e tembentrione. Em híbridos de milho RR, tem-se utilizado a associação de atrazine com glyphosate com a premissa de controlar plantas monocotiledôneas.

Pelo fato de algumas linhagens de milho apresentarem diferentes graus de sensibilidade ao nicosulfuron, o cruzamento de uma linhagem sensível a nicosulfuron com alguma linhagem tolerante, pode gerar novos híbridos com diferentes níveis de herdabilidade de genes sensíveis ao herbicida (Timossi et al., 2014), o que tem promovido um certo receio na utilização do nicosulfuron, em função do seu risco potencial de fitointoxicação da cultura com o herbicida. Assim, boa parte das áreas do Sudoeste goiano passou a ser tratada com a associação de atrazine com mesotrione

ou tembotrione. Vale ressaltar que pesquisas realizadas na região indicam que em teste com 42 híbridos (convencionais e transgênicos) de milho, visando avaliar sua seletividade ao nicossulfuron, foi observado que em muitos casos, embora haja sintomas de intoxicação das plantas até os 30 dias após a aplicação do produto (DAA), não houve impacto negativo na produtividade destes híbridos com a utilização do produto. Esta excessiva preocupação na utilização do nicossulfuron pode estar excluindo uma ferramenta bastante útil no controle de outras plantas, como por exemplo o capim-custódio (*Pennisetum setosum*), que não é eficientemente controlado pelos herbicidas atualmente utilizados no controle de plantas daninhas da cultura do milho (Timossi et al., 2014, 2016).

É importante salientar que em áreas do Sudoeste de Goiás onde se aplicam o mesotrione e tembotrione, durante vários anos, a espécie *Pennisetum setosum* tem sido selecionada (Timossi et al., 2016). Observações de campo indicam que herbicidas contendo somente a molécula do nicossulfuron não controlam eficientemente o capim-colchão (*Digitária horizontalis*) e o capim-pé-de-galinha (*Eleusine indica*), especialmente à medida que as infestantes evoluem no seu estágio de crescimento. Neste sentido, resultados preliminares de pesquisas realizadas no Centro Tecnológico da COMIGO, indicam que a associação de nicossulfuron com tembotrione e/ou com mesotrione tem sido eficaz no controle destas espécies.

O consórcio do milho com algumas plantas de cobertura, como a braquiária (*Urochloa ruziziensis*), em primeira ou segunda safra, tem sido gradativamente adotada como estratégia para o manejo de plantas daninhas na cultura, já que, pela concorrência natural por luz, água e nutrientes, haverá uma supressão considerável

de emergência e estabelecimento de novas plantas daninhas nas entrelinhas da cultura. O manejo das plantas daninhas após a colheita do milho cultivado em segunda safra também é uma estratégia fomentada por pesquisadores e técnicos da região; assim, em áreas que a comunidade infestante é composta por espécies com fluxo de emergência no outono-inverno tem sido também utilizado controle mecânico através de roçada.

As ferramentas para manejar comunidades infestantes são eficientes, entretanto considera-se importante compreender que as plantas daninhas existentes em uma determinada área são selecionadas pelo próprio sistema de produção agrícola, exceto aquelas que possuem capacidade de adaptação em diferentes agroecossistemas. Métodos de controle preventivo, cultural, mecânico e químico devem ser adotados considerando-se as particularidades de cada ambiente de cultivo. Também a integração de diferentes métodos de controle como estratégia para o manejo antirresistência de plantas daninhas aos herbicidas deve ser considerada.

Manejo de insetos e doenças

Cigarrinha e enfezamento

A cigarrinha do milho, *Dalbulus maydis*, transmissora do enfezamento-vermelho, enfezamento-pálido e virose da risca do milho tem gerado aumento nos gastos com inseticidas na cultura do milho. Um dos fatores associados ao aumento nas populações de *Dalbulus maydis* refere-se a presença de plantas de milho tigueras na entressafra e durante o cultivo da soja, pois o inseto possui alimento durante o ano todo, favorecendo sua multiplicação. Essas condições têm levado a altas densidades populacionais na fase inicial de desenvolvimento da cultura do

milho, resultando em sintomas mais severos, como a redução do porte da planta e a proliferação de espigas, prejudicando a produtividade da cultura.

Os primeiros relatos do enfezamento no Sudoeste goiano ocorreram na 2ª safra de 2014. Na safra 2015-2016 foram observados sintomas severos de enfezamento com redução no porte de plantas e proliferação das espigas. No entanto, nas safras 2016/2017 e 2017/2018 observou-se menor severidade da doença, em parte porque o produtor está mais consciente do problema e otimizar o manejo. Na presente safra em particular, o plantio da soja ficou concentrado no mês de novembro em função do atraso nas chuvas, atrasando assim o plantio da 2ª safra de milho. Desta forma, a fase inicial de desenvolvimento da cultura do milho não coincidiu com altas densidades da cigarrinha, sendo observados apenas sintomas relacionados a infecções tardias da doença, caracterizados pela descoloração e o avermelhamento da margem e do ápice das folhas.

Os principais inseticidas utilizados no manejo compreendem o grupo dos neonicotinoides, piretroides e organofosforados. Além disso, a escolha do híbrido tem auxiliado de maneira significativa no manejo da doença, visto que há grandes diferenças na suscetibilidade dos materiais.

Pesquisas da Fundação Chapadão têm demonstrado que o tratamento de sementes é fundamental na proteção das plantas de milho nos estádios iniciais. Pulverizações de parte aérea não são capazes de suprir a ausência do tratamento de sementes. Inseticidas eficientes neste sentido são aqueles a base de imidacloprido, tiodicarbe, clotianidina, dentre outros.

Lagarta do cartucho, percevejo barriga verde e pulgão

Com o advento das tecnologias Bt, o produtor passou a fazer seu uso para o manejo de lagartas na cultura do milho. No entanto, estas tecnologias só são eficientes, em geral, até o 2º instar das lagartas, havendo necessidade, a partir deste momento, do uso de inseticidas mesmo em lavouras de milho com tecnologia Bt. Além disso, a não utilização de refúgio e outras práticas de manejo inadequadas tem resultado em redução da eficiência de algumas tecnologias Bt e, por conseguinte, problemas com a lagarta do cartucho. Desta forma, em algumas situações, o produtor tem optado pelo uso de híbridos de milho convencionais, que apresentam um custo de sementes inferior, pois ele avalia que de qualquer forma necessitará utilizar inseticidas para o manejo de lagartas.

O pulgão (*Rhopalosiphum maidis*) era considerado até pouco tempo, uma praga secundária na cultura do milho. Dependendo do híbrido, tem-se verificado pressões elevadas do inseto, demandando atenção em algumas situações, pois a praga pode afetar a polinização. O controle ocorre com os inseticidas neonicotinoides, organofosforados e carbamatos, mas o inseto fica alojado nas bainhas das folhas, dificultando a chegada do produto no alvo. Em função da sucção da seiva e, concomitante excreção de substância açucarada, os pulgões podem ainda favorecer a ocorrência de fumagina, além de serem vetores de viroses.

Em situações localizadas também têm sido observados danos ocasionados pelo percevejo barriga verde (*Dichelops furcatus*) em fases iniciais da cultura do milho. Esta é outra praga do sistema de produção devendo ser dada atenção às populações deste inseto na cultura da soja com vistas a evitar a migração

e danos na cultura do milho. Segundo Pelissari et al. (2015), o monitoramento é de extrema importância para o controle deste inseto, uma vez que, o dano do ataque do percevejo só é identificado na lavoura dias depois do seu início. Ainda segundo os mesmos autores, em função do percevejo manter-se enterrado ao lado do colmo do milho, embaixo da palhada ou em plantas daninhas, há dificuldade no contato do inseticida com o alvo, fazendo com que a tecnologia de aplicação seja fundamental no controle da praga. Além disso, existe grande limitação de produtos para o controle de percevejo em pós-emergência. Há relatos de pesquisas sobre tolerância/resistência que, aliado ao hábito da praga, somam negativamente para uma boa eficiência de controle.

Recentemente, pesquisadores da Embrapa provaram que a mosca-branca, importante praga da cultura da soja, algodão e feijão, também é capaz de completar seu ciclo na cultura do milho (Quintela et al., 2016). Já tem sido observada a presença de mosca-branca em lavouras de milho, no entanto, seus danos ainda não são foram quantificados. Atenção deve ser dada a esta praga na cultura do milho em função do sistema de sucessão soja-milho.

Manejo de doenças

A adoção de fungicidas na cultura do milho constitui-se em prática recente. No entanto, atualmente, esta prática tem-se mostrado essencial na manutenção de bons índices de produtividade. As principais doenças que ocorrem na região são mancha-branca ou mancha-de-*Phaeosphaeria* (*Phaeosphaeria maydis*), mancha-de-Turcicum ou Helminthosporiose (*Exserohilum turcicum*), ferrugem-polissora (*Puccinia polysora*), cercosporiose (*Cercospora zeaemaydis*) e mancha-de-diplodia (*Stenocarpella macrospora*), além

de podridões de colmo ocasionadas principalmente por fusarium (*F. moniliforme* e *F. moniliforme* var. *subglutinans*).

Segundo Costa et al. (2009), para entender como os fungicidas atuam na produtividade da cultura do milho, é necessário analisar os componentes de produtividade da cultura e a fase em que estes são definidos. O número de plantas por hectare é definido entre a germinação e emergência, demonstrando a importância de uma correta implantação da cultura. O número de espigas por planta é definido entre V3 a V5, o número de fileiras por espiga, entre V5 a V8 e o número de grãos por fileira entre V12 a VT. Já o peso de grãos é definido entre R1 a R6. Portanto, a planta de milho atinge a fase do pendoamento com seu potencial produtivo já definido em grande parte. A partir desse momento, ocorre apenas a realização do potencial produtivo através do enchimento dos grãos. Dessa forma, a aplicação de fungicidas é essencial para proteger a parte aérea da planta, preservando a produtividade da cultura.

Para determinar o melhor momento de aplicação de fungicidas para o controle de doenças na cultura do milho, deve-se levar em consideração a suscetibilidade do híbrido, o histórico da área e/ou da região, pressão de inóculo na área cultivada, as condições climáticas no período do desenvolvimento da cultura e o estágio fenológico da planta mais vulnerável a doença.

A partir do florescimento, as plantas de milho necessitam realocar fotoassimilados das folhas para o enchimento de grãos da espiga. Assim, qualquer estresse que interfira negativamente na área foliar nesta fase irá influenciar negativamente a produtividade. Por outro lado, essa mudança na fisiologia torna as folhas mais sensíveis a ocorrência de doenças.

O período do florescimento a maturação fisiológica tem duração aproximada de 60 dias. Como as folhas acima da espiga contribuem grandemente para a produtividade, estas precisam ser protegidas pelo maior período possível. Aplicações muito cedo podem resultar em falha na proteção neste intervalo de tempo, quando o milho precisa realocar os fotoassimilados destas folhas para o enchimento de grãos. Pesquisas realizadas por pesquisadores da região e no Centro Tecnológico COMIGO tem demonstrado que uma aplicação em pré-pendoamento, aliada a outra aplicação 15 dias após a primeira, tem resultado em boa sanidade das plantas, desde que a especificidade ativo-doença seja respeitada.

Além disso, deve se dar especial atenção ao híbrido plantado e às doenças predominantes nele. Os ativos presentes em diferentes fungicidas apresentam maior ou menor especificidade para determinada doença, ou seja, a escolha do fungicida a ser aplicado deve ser feita com base nas doenças predominantes em cada híbrido plantado. Alguns exemplos de ativos utilizados na região são piraclostrobina + epoxiconazole para o manejo de mancha-branca, tebuconazole para manejo de turcicum, mistura de triazol com estrobilurina para manejo da ferrugem, dentre outros.

Na área de atuação da COMIGO muitos produtores realizam o manejo de doenças fazendo uso da genética, a qual constitui-se na ferramenta mais econômica. A principal doença de ocorrência na região é a mancha-branca ou mancha-de-Phaeosphaeria. São raros os materiais que não apresentam sintomas da doença, mas há uma grande variação quanto a severidade da mesma nos diferentes híbridos, conforme ilustra a **Figura 1**. O mesmo é válido para outras doenças de importância na região.



Figura 1. Controle genético de mancha-de-Phaeosphaeria em milho.

Quando se fala em adubação, a palavra de ordem é equilíbrio e, para doenças, não deve ser diferente. Por exemplo, equilíbrio na relação nitrogênio/potássio está associado a resistência da planta a doenças, em especial, podridões de colmo, pois equilibra-se a disponibilidade de açúcares e outros compostos que favorecem os patógenos com a produção de metabólitos secundários de defesa e mecanismos associados a resistência da parede celular e processos de lignificação. Os solos do cerrado são pobres em micronutrientes devendo ser realizada a sua correção pois manganês, cobalto, cobre, boro, ferro, zinco, dentre outros, fazem parte de processos vitais e estruturais e de rotas de defesa da planta.

No caso de podridões de colmo, um bom manejo de doenças de parte aérea é fundamental, pois alguns agentes causais são também patógenos das folhas. Em áreas com histórico de Fusarium, a rotação de culturas pode ser indicada. Além disso, há diferenciação dos híbridos quanto a resistência do colmo, podendo o manejo ser auxiliado com a ferramenta genética.

Nematoídes

Em se tratando da cultura do milho sob condições de cerrado um dos grandes problemas é a ocorrência de *Pratylenchus brachyurus*, o nematoíde das lesões radiculares. Há preocupação dos produtores e técnicos, pois não há variedades de soja com resistência a este patógeno. Além disso, as áreas de integração lavoura-pecuária também são cultivadas com gramíneas hospedeiras deste nematoíde. Há variações quanto ao fator de reprodução de diferentes híbridos, mas é fundamental a adoção de práticas relacionadas ao manejo químico e biológico na safra e 2ª safra, além da rotação com crotalária em áreas com população elevada de nematoídes.

Uso na produção animal

A cultura do milho é uma das mais importantes atividades econômicas do país por causa das diversas formas de utilização como na alimentação animal, humana, biocombustíveis e indústrias de alta tecnologia. Segundo dados divulgados pela Agência Embrapa de Informação Tecnológica, o uso do milho em grão como alimentação animal representa a maior parte do consumo desse cereal, isto é, cerca de 70% no mundo e de 70 a 80% do Brasil (Garcia et al., 2006).

Além disso, o grão de milho constitui-se da principal fonte energética utilizada na nutrição animal. Chega a contribuir com mais de 60% do volume utilizado na alimentação animal de bovinos, aves e suínos. Juntamente com outros ingredientes, permite o ajuste e o balanceamento de rações específicas para cada espécie animal.

Existem várias formas de utilização do grão de milho. Além do processamento mecânico que permite o uso do grão moído nas rações, o milho pode ser utilizado na forma de silagem, onde a planta inteira do milho é usada para confeccionar um alimento volumoso ou de grão inteiro. Atualmente, existem tecnologias que permitem o uso do grão inteiro em dietas de confinamento, dispensando o uso de volumoso.

Na região do Sudoeste Goiano, o milho, juntamente com o sorgo, tem sido amplamente utilizado para a alimentação animal. A COMIGO possui duas fábricas de rações dentro do complexo industrial, localizado em Rio Verde-GO, visando atender as demandas dos produtores da região. A produção anual chega a 300 mil toneladas de rações para as diversas espécies animais. A participação relativa dos principais ingredientes no volume total das rações encontra-se na **Figura 2**.

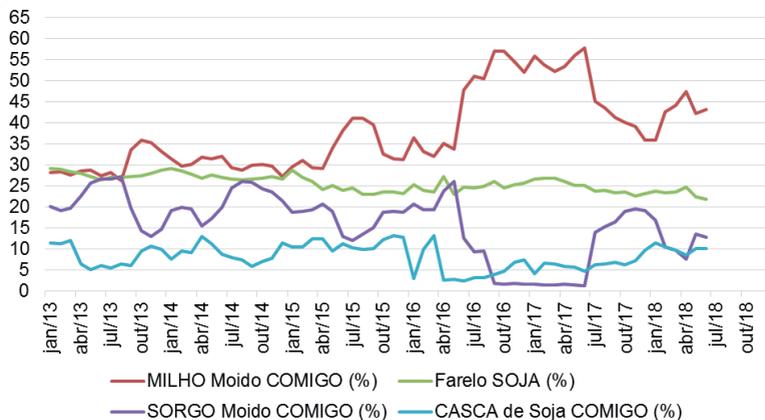


Figura 2. Percentual relativo do uso de matérias primas na indústria de rações da COMIGO, entre 2013 e 2018. Fonte: Rações COMIGO.

Ao avaliar os valores do referido gráfico, verifica-se que entre janeiro de 2013 e o primeiro semestre de 2016 havia uma contribuição constante de cada ingrediente energético na composição das rações. Entretanto, percebe-se que nos momentos em que houve ausência do sorgo existiu uma maior participação do milho. Tal fato foi melhor evidenciado entre julho de 2016 e julho de 2017, quando houve falta de sorgo e a contribuição do grão de milho alcançou quase 60% de participação nas rações comerciais, além de elevar os custos com o produto final. A partir de agosto de 2017, os valores voltaram aos indicadores históricos.

Considerações finais

O plantio de milho 2ª safra no Sudoeste goiano pode ser considerado como uma atividade com emprego de tecnologia intermediária com relação ao manejo, e alta tecnologia com relação a escolha dos híbridos. As principais dificuldades no

manejo estão associadas principalmente ao sistema de produção soja-milho, à ausência de rotação de culturas e algumas falhas no manejo da cultura. O sistema de produção tem favorecido problemas com *Pratylenchus brachyurus* e *Dalbulus maydis*, por exemplo.

Um ponto importante refere-se à necessidade da adoção da rotação de culturas para incremento na produção de palhada e/ou melhoria do manejo fitossanitário, visto que a sucessão soja-milho tem acarretado problemas neste sentido. Além disso, as características do clima tornam o milho 2ª safra uma atividade de alto risco, fazendo com que, em alguns anos, o produtor precise fazer uso dos rendimentos obtidos na cultura da soja para custear prejuízos obtidos na cultura do milho. No entanto, deve-se ressaltar que a cultura do milho e do sorgo são imprescindíveis para a produção animal na região.

A COMIGO, enquanto cooperativa de grande porte da região, tem procurado estimular a adoção das melhores estratégias para a cultura do milho, envolvendo o manejo integrado de plantas daninhas, de insetos e doenças, adequados níveis de fertilização, escolha de material genético adequado, entre outras práticas, com o objetivo de que os produtores tenham maior sustentabilidade e melhor rentabilidade na atividade.

Referências

BORÉM, A.; GALVÃO, J. C. C.; PIMENTEL, M. A. **Milho**: do plantio à colheita. Viçosa, MG: UFV, 2017. 382 p.

COSTA, R. V. da; CASELA, C. A.; COTA, L. V. Doenças. In: CRUZ, J. C. (Ed.). **Cultivo do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2009. (Embrapa Milho e Sorgo. Sistema de Produção, 1).

GARCIA, J. C.; MATTOSO, M. J.; DUARTE, J. de O.; CRUZ, J. C. **Aspectos econômicos da produção e utilização do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2006. 12 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 74).

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London: Elsevier, 2012. 643 p.

PELISSARI, A.; HAUAGGE, T. S.; MACHINSKI, P. Monitoramento e controle de percevejo barriga verde na cultura do milho safrinha. **Agronegócio em Foco**, 3 mar. 2015. Blog. Disponível em: <<http://www.pioneersementes.com.br/blog/24/monitoramento-e-controle-de-percevejo-barriga-verde-na-cultura-do-milho-safrinha>>. Acesso em: 9 jun. 2018.

QUINTELA, E. D.; ABREU, A. G.; LIMA, J. F.; MASCARIN, G. M.; SANTOS, J. B.; BROWN, J. K. Reproduction of the whitefly *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) biotype in maize fields (*Zea mays* L.) in Brazil. **Pest Management Science**, Oxford, v. 72, p. 2181-2187, 2016.

RESENDE, A. V.; FONTOURA, S. M. V.; BORGHI, E.; SANTOS, F. C.; KAPPES, C.; MOREIRA, S. G.; OLIVEIRA JÚNIOR, A.; BORIN, A. L. D. C. Solos de fertilidade construída: características, funcionamento e manejo. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 156, p. 1-19, dez. 2016.

RIBEIRO, A. B. **Economia agrícola, julho 2017**: milho. Disponível em: <<http://www.emater.go.gov.br/w/17402>>. Acesso em: 7 jun. 2018.

SIMÃO, E. P.; RESENDE, A. V.; GONTIJO NETO, M. M.; BORGHI, E.; MARTINS, D. C.; VANIN, A. Demanda de nutrientes pelo milho safrinha em função da época de semeadura e adubação. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 16, n. 3, p. 481-494, 2017.

TIMOSSI, P. C.; ALMEIDA, D. P.; LIMA, S. F. Seletividade do herbicida nicosulfuron para híbridos de milho. In: WORKSHOP E MOSTRA DETRABALHOS DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA DA UFG-REGIONAL JATAÍ, 2., 2014, Jataí. **Atualidades e perspectivas para a cultura do milho: anais**. Jataí: UFG, 2014. p. 33.

TIMOSSI, P. C.; SILVA, U. R.; LIMA, S. F.; ALMEIDA, D. P. Eficácia de nicosulfuron e tembotrione no controle de *Pennisetum setosum*. **Global Science and Technology**, Rio Verde, v. 9, p. 1-6, 2016.

Capítulo 9

Manejo de Pragas nos Sistemas de Produção de Milho no Brasil: Inovações Tecnológicas no Manejo de Lagartas em Lavouras de Milho Convencional e Bt

Simone Martins Mendes

Rosangela Cristina Marucci

José Magid Waquil

Introdução

As condições tropicais de cultivo favorecem a exploração intensiva do solo, permitindo a produção de duas a três safras em sequência a cada ano. Esse tipo de exploração do solo permite ao produtor obter maior rendimento por unidade de área; desse modo, é cada vez mais comum encontrar várias lavouras ocupando extensas áreas em uma mesma região, com safras sobrepostas.

Tais condições de cultivo vêm demandando ajustes do sistema de produção, que se torna cada vez mais intensivo e com características regionalizadas. Essa prática, no entanto, tem favorecido a ocorrência de insetos-pragas polípagos. De acordo com Lima et al. (2006), pragas polípagas são aquelas capazes de se alimentar e completar seu ciclo de desenvolvimento em várias espécies de plantas. O resultado da abundância de alimentos e de um período de tempo maior para as pragas se multiplicarem resulta no fenômeno que vem sendo conhecido no Brasil como “ponte verde” conectando duas safras de primavera/verão.

Muitos insetos-pragas polípagos pertencem à ordem Lepidoptera e são em muitos casos, destrutivos e cosmopolitas (Lima et al., 2006). A principal praga das lavouras de milho no Brasil se encaixa nessa categoria, a lagarta-do-cartucho do milho, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) (**Figura1**), tem ampla distribuição geográfica é endêmica nas Américas. Essa praga ocorre o ano todo em várias culturas, como o milho, *Zea mays* L.; sorgo, *Sorghum bicolor* (L.) Moench; algodão, *Gossypium herbaceum* L.; pastagem, *Panicum maximum* Jacq. Cv. Tanzânia; cana- de- açúcar, *Saccharum officinarum* L. e soja, *Glycine max* (L.) Merrill. (Boregas et al., 2013). Além de causar prejuízos em varias lavouras de importância econômica, esse inseto tem como hospedeiros também varias plantas presentes nos sistemas intensificados de plantio, como as braquiárias *Urochloa decumbens* e *U. ruziziensis* (Dias et al., 2016).

Nesse contexto as principais inovações tecnológicas para o manejo de lagartas em milho estão focadas nessa espécie, contudo ainda a lavoura do milho é danificada por outros importantes lepidópteros-pragas polípagos como a *Diatraea saccharalis* (Fabricius, 1794), (Lepidoptera: Crambidae), *Helicoverpa zea* (Boddie, 1850) (Lepidoptera: Noctuidae), *Elasmopalpus lignosellus* (Zeller, 1848) (Lepidoptera: Crambidae) dentre outras como a *Helicoverpa armigera* (Hubner, 1808) (Lepidoptera: Noctuidae), que, de acordo com Bentivenha et al. (2016), ocorrem em lavouras de milho, sobretudo nas regiões onde predomina o cultivo do algodão. Essas espécies também serão discutidas nesse capítulo.

Polifagia das espécies de lepidópteros-pragas e implicações no manejo de sistemas intensificados de produção

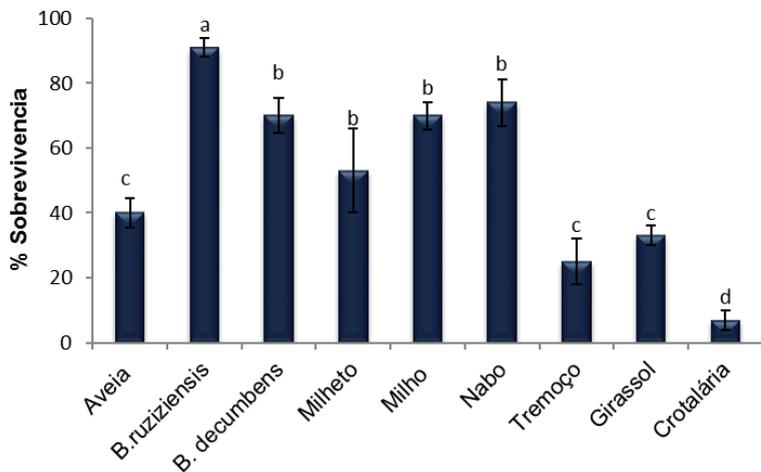
A polifagia é um recurso para a sobrevivência de insetos-fitófagos que tem papel estratégico no seu desempenho biológico e sua respectiva dinâmica populacional. Em uma mesma região, espécies polípagas podem ser pragas de uma ou mais culturas, ou apenas se mantêm em baixa densidade em diferentes plantas hospedeiras, até encontrarem um alimento adequado para expressarem todo seu potencial biótico (Moscardi et al., 2012; Suzana et al., 2015). *Spodoptera frugiperda* (**Figura 1**) é uma das espécies mais nocivas para as culturas anuais nas regiões tropicais das Américas. As lagartas podem causar perdas de 17% a 38,7% na produção de milho e de sorgo, dependendo do ambiente, da cultivar e do estágio de desenvolvimento das plantas atacadas (Cruz; Turpin, 1983; Boregas et al., 2013).

Pogue (2002) listam uma série de plantas consideradas hospedeiras de *Spodoptera* spp. Entre as espécies citadas como hospedeiras de *S. frugiperda*, a soja é uma das mais abundantes no agroecossistema do cerrado, durante o verão. Assim, esta espécie pode ter um papel importante na sobrevivência de populações no ambiente uma vez que no verão ela fica submetida a uma monofagia funcional pela falta de outro hospedeiro uma vez que somente na sucessão à soja são cultivados milho e sorgo (Boregas et al., 2013). Além disso, são citadas inúmeras outras plantas hospedeiras que ocorrem no agroecossistema, como plantas daninhas: Capim-pé-de-galinha e sorgo selvagem (Mendes et al. (dados não publicados) e Boregas et al., 2013). Nessas condições, esses insetos podem se estabelecer no campo em qualquer época.



Figura 1. Lagarta-do-cartucho do milho e planta de milho com injúrias causadas pela alimentação das lagartas.

Dias et al. (2106) ressaltam que, mesmo em práticas conservacionistas e desejáveis aos sistemas de produção, como plantio direto, devem ser considerados a questão da ponte verde. Esses autores mostram que a braquiária, por exemplo, é uma planta muito adequada por produzir grande quantidade de massa verde, contudo quando se observa o problema de pragas, é uma das plantas de cobertura que mais são adequadas ao desenvolvimento de *S. frugiperda* (**Figura 2**). Além disso, no sistema de plantio direto, como não há revolvimento do solo, permite uma maior sobrevivência das pupas que passam essa fase no solo.



*médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott- Knot a 5% de probabilidade.

Figura 2. Sobrevivência (%) *Spodoptera frugiperda* em diferentes plantas de cobertura utilizadas em sistemas de plantio direto, avaliadas em casa de vegetação. Adaptada de Dias et al. (2016)

A habilidade de *S. frugiperda* em se manter no ambiente utilizando várias plantas hospedeiras tem levado a ocorrência dessa espécie provocando injúrias em plantas jovens de hospedeiros mais preferidos, onde abre galeria na região do coleto provocando o sintoma conhecido como coração-morto (**Figura 3**). A redução do estande, ou seja, do número de plantas produtivas por área cultivada é uma preocupação emergente nas condições de intensificação de cultivo. Nesse caso, uma das estratégias principais para o manejo, é a realização da desseca antecipada antes do plantio, com intuito de reduzir o alimento disponível para o inseto. Como essa lagarta pode se desenvolver em várias plantas presentes no sistema de produção, é necessário eliminar a fonte de alimento e não é fácil, mas deve ser uma preocupação antes de se proceder o plantio, sobretudo da primeira safra.



Figura 3. Lagarta de *Spodoptera frugiperda* no solo ao lado da planta de milho.

Também com os dados levantados por Dias et al. (2016), mostram que a Crotalária é uma das plantas de cobertura utilizada em plantio direto que é menos adequada à sobrevivência da espécie (**Figura 3**). Assim é possível inferir que o plantio de crotalária em regiões onde a pressão *S. frugiperda* é muito alta, pode ser uma ferramenta adequada para ajudar a reduzir a população dessa praga na região.

Uso de plantas Bt para o manejo de lepidópteros-pragas

Dentre as ferramentas disponíveis para o manejo dessa praga no Brasil, o milho Bt tem grande adoção em todas as regiões agrícolas do país, atingindo mais de 80% da área cultivada com esse cereal. O milho Bt é um milho geneticamente modificado, que expressa proteínas inseticidas, cujos genes foram clonados da bactéria *Bacillus thuringiensis*. Essas proteínas inseticidas produzidas pela própria planta possuem ação no intestino da lagarta, onde se ligam formando poros que promovem a ruptura dele. Nesse processo de infecção ocorre a liberação do conteúdo da célula e o inseto paralisa sua alimentação, mesmo antes da sua morte.

As proteínas inseticidas ou proteínas Bt, são expressas em todos os tecidos da planta, assim, na lavoura, todas as lagartas estão expostas às proteínas tóxicas. Essa é uma das grandes vantagens dessa tecnologia, como a lagarta é difícil de ser atingida dentro do cartucho da planta via pulverização, com a utilização do milho Bt o alvo é facilmente alcançado. Por outro lado, a principal desvantagem é a velocidade com que esses insetos podem se tornar resistentes a essas proteínas.

Atualmente estão liberados pela CTNBio* (Comissão Técnica Nacional de Biossegurança) comercialmente no Brasil, eventos transgênicos com resistência a lagartas que expressam cinco proteínas Bt (**Tabela 1**).

Tabela 1. Resumo das principais tecnologias Bt em milho, soja, algodão e cana-de-açúcar, comercialmente utilizadas e cultivadas no Brasil.

Product	Technology	Lepidoptera							Coleoptera	Release
		Cry1Ab	Cry1F	Cry1a105	Cry2Ab2	VIP3Aa20	Cry1Ac	Cry2Ae		
Maize	Yieldgard®	Yellow								2008
	Agrisure TL®									2008
	Herculex®		Red							2009
	Viptera™						Blue			2009
	VT PRO™			Green						2010
	PowerCore™; VT PRO Max®		Red	Green						2010
	Viptera 3®	Yellow					Blue			2010
	Optimum™ Intrasect®	Yellow	Red							2011
	VT PRO® 3			Green					Cry3Bb1	2011
	Herculex® Xtra		Red						Cry35Ab1	2015
soybean	Leptra®	Yellow	Red			Blue				2015
	intacta® Monsanto						Grey			2010
	Down agrosience		Red							2016
	Monsanto®		Red			Black	Grey			2017
Cotton	Monsanto®			Green						2017
	Bollgard®						Grey			2005
	WideStrike®		Red							2009
	Bollgard II®				Green		Grey			2009
sugar cane	TwinLink®	Yellow						Pink		2011
	ctc0bt	Yellow								2017

Fonte: Comissão Técnica Nacional de Biossegurança (2018)

É importante considerar que dentre as tecnologias disponíveis para o cultivo e a comercialização em milho no Brasil, tem-se sete proteínas Bt, sendo cinco com ação para lepidópteros-praga, duas para coleóptero-praga, larvas de diabrótica. Dessas cinco proteínas duas (Cry1F e Cry1Ab), oficialmente, perderam a eficácia por causa da quebra da resistência pela lagarta-do-cartucho-do-milho, *Spodoptera frugiperda* (Farias et al., 2014; Omoto et al., 2016), principal praga alvo das tecnologias Bt no milho.

No caso da proteína Cry1F presente em algumas tecnologias Bt, apenas dois anos após a liberação do cultivo em milho, registrou-se casos de falha de controle no país. Essa proteína foi intensamente utilizada de norte a sul do país em evento

que expressava a proteína sozinha, ou seja, sem piramidação (combinação de eventos). Nesse sentido, vale ressaltar que dados de pesquisa mostram que a presença de mais de uma proteína com sítios de ação diferentes para a praga-alvo pode retardar a evolução da resistência. Além disso, as proteínas inseticidas expressas em alta dose, com 99% ou mais de eficiência de controle da população de insetos, são importantes para retardar a evolução dessa resistência.

A expressão da proteína pode variar em função do híbrido de milho em que as tecnologias foram introduzidas (Mendes et al., 2011); e também em condições de estresse da planta (seca, por exemplo) a expressão pode ser reduzida. Isso faz com que, mesmo sendo uma proteína constitutiva, expressa em todos os tecidos da planta existam variações quanto à sua eficácia que independem da resistência da população de pragas à proteína Bt.

Além disso, *S. frugiperda* é conhecida por possuir inúmeros biótipos, ou haplotipos (Pinto et al., 2015; Souza, 2015). As diferentes populações, ou haplotipos se comportam de maneira diferenciada frente às tecnologias de controle, dentre elas as proteínas do Bt expressas em milho (Souza et al., 2015; Waquil et al., 2016) (**Figura 4**). Assim, pode-se concluir que não é possível generalizar as observações pontuais e que as avaliações de “quebra” da resistência devem ser analisadas caso a caso.

Dessa forma, dependendo da região, da população da praga, do nível de estresse que as plantas foram expostas, do uso da proteína de forma piramidada, da expressão dos eventos em alta dose, dentre outros fatores têm afetado substancialmente o nível de controle obtido pelo produtor. O fato é que os produtores de milho têm obtidos resultados diferenciados com o uso das mesmas tecnologias Bt em regiões diferentes do país.

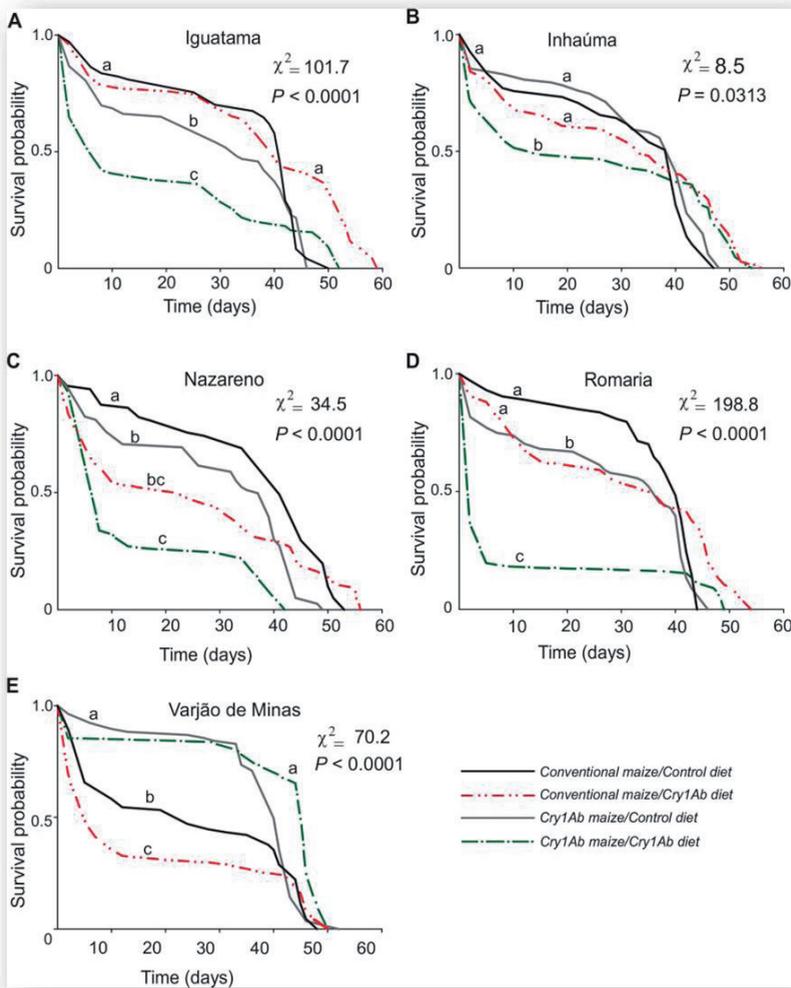


Figura 4. Sobrevivência de cinco populações de *Spodoptera frugiperda* expostas ao milho expressando Cry1Ab em condições de laboratório. Curva de sobrevivência que diferem entre si possuem letras diferentes ($p > 0.05$) Souza et al. (2015)

Papel do plantio da área de refúgio

Uma das poucas questões possíveis de generalização é o papel do plantio de áreas de refúgio, que combinado com o efeito da alta dose (mata os insetos heterozigotos) é essencial para aumentar a durabilidade da resistência das plantas, retardando a sua evolução a campo. Nesse sentido, as Instituições Públicas e as Empresas detentoras das tecnologias Bt têm feito um enorme esforço em todo o país no sentido de conscientizar os produtores na aplicação das “Boas Práticas Agronômicas em Culturas Bt” para o Manejo da Resistência. Assim, é possível esperar que a adoção dessas práticas seja incrementada ano a ano e a tecnologia Bt continue contribuindo para o manejo eficiente das principais pragas-alvo da tecnologia em cada cultura.

Para evitar que ocorra a seleção de resistência rapidamente é necessário o uso de estratégias de Manejo de Resistência de Insetos (MRI), que visa manter a população de insetos suscetíveis nas lavouras. A principal estratégia de MRI é o **plantio da área de refúgio**, essa é uma área de milho NÃO Bt, que deve ser plantado próximo às lavouras de milho Bt.

A finalidade do plantio da ÁREA DE REFÚGIO é produzir lagartas que sejam suscetíveis à tecnologia Bt, para que no campo, ocorra o acasalamento com aqueles insetos resistentes, oriundos das lavouras Bt. Dessa forma é possível manter a suscetibilidade das populações às proteínas do Bt. Uma das principais regras desse plantio é que, as lavouras de milho não Bt sejam plantadas a, no máximo 800 metros de distância das lavouras Bt. Isso porque a distância média do voo de *S. frugiperda* no campo é de 800 metros, dessa forma, com plantios próximos os insetos podem se encontrar para o acasalamento com maior probabilidade.

Para saber mais sobre esse assunto acesse: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/152172/1/Manejo-resistencia.pdf>

Outra estratégia importante é que se usem eventos transgênicos com mais de uma proteína do Bt com ação para lagartas. É o que chamamos de eventos piramidados. Assim torna-se a vida útil da tecnologia maior. Waquil et al. (2013) mostraram que eventos piramidados para o manejo de lagartas com a tecnologia Bt é mais efetivo quando comparado às tecnologias com um único evento.

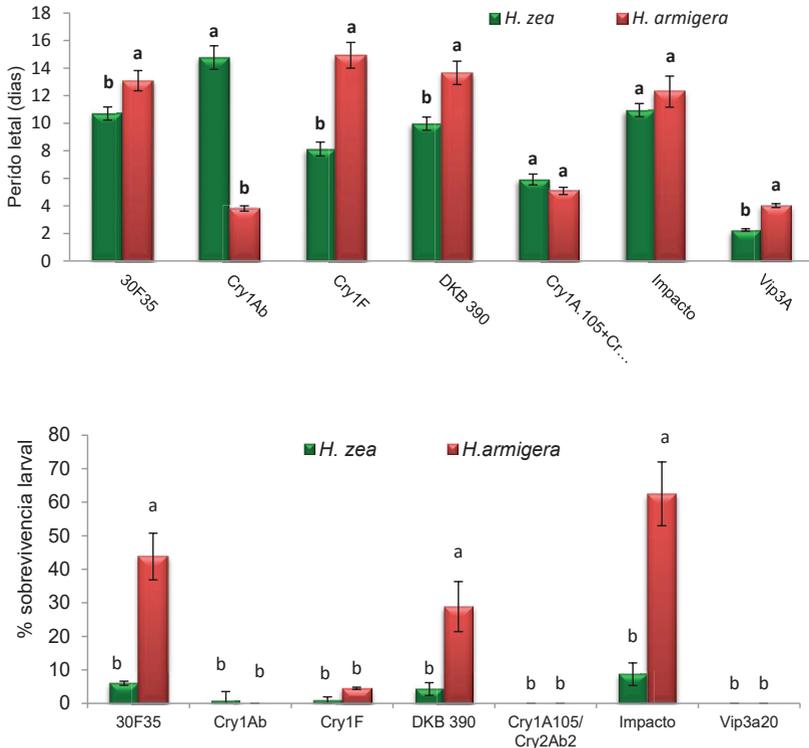
Uso da tecnologia Bt para lagartas da espiga

As lagartas que ocorrem danificando as espigas de milho no Brasil são suscetíveis às proteínas do Bt presentes nas tecnologias disponíveis no mercado. Santos et al. (2016) detectaram efeito das proteínas do Bt nas espigas de milho expressando as tecnologias Viptera[®], VTPRO[®], Yeldgard[®] e Herculex[®], nas variáveis biológicas de *H. zea* e *H. armigera*. Segundo esses autores existem diferenças para as tecnologias e as espécies, contudo não houve sobreviventes de ambas as espécies as tecnologias avaliadas. Contudo esses autores trabalharam com espigas de milho no estágio de desenvolvimento R1, onde ainda não houve acúmulo de amido nas espigas (**Figura 5**).



Figura 5. Lagartas da espiga (a) *Spodoptera frugiperda* e (B) *Helicoverpa zea*

A expressão das proteínas do Bt nas espigas é limitada, pois as espigas, por natureza, têm acúmulo de amido. Balieiro Neto et al. (2013) encontraram menores teores de proteína Cry1Ab nas espigas do que nas folhas. Dessa forma, mesmo que o milho Bt tenha boa ação para as lagartas desfolhadoras, não se pode esperar o mesmo desempenho para lagartas que são pragas nas espigas de milho (**Figura 6**).



Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Skott Knott ($p \leq 0,05$).

Figura 6. Sobrevivência (%) e período letal (dias) ($m \pm ep$) das larvas de *Helicoverpa* sp. nos diferentes genótipos de milho Bt e seus respectivos isogênicos convencionais. Dados adaptados de Santos et al. (2016).

Uso de inseticidas para o controle de lagartas na cultura do milho

Somente para o controle de *S. frugiperda* no milho estão registrados junto ao Mapa (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento) 187 produtos. Desses, temos: um feromônio, dois *B. thuringiensis*, um baculovirus e um parasitoide, além de

Levantamento registrado na região de Patos de Minas-MG em 2017 e no Mato Grosso em 2018, mostram que mesmo com essa diversidade de produtos, muitos inseticidas sem registro vêm sendo utilizados nessa cultura para o controle de Lagartas.

A principal dificuldade no controle *S. frugiperda* no milho com inseticidas (químicos ou biológicos) está na janela de aplicação. Como ocorre superposição de gerações, o fluxo de larvas pequenas, médias e grandes se superpõe e a efetividade desses produtos fica extremamente reduzida quando a lagarta penetra no cartucho da planta. A larva se alimenta no palmito do milho, parte da planta em franco crescimento e totalmente protegida de agentes externos. Ainda, as fezes eliminadas pela lagarta obstruí a entrada da galeria por onde o inseto penetrou dificultando ainda mais o acesso dos agentes de controle.

Em Mato Grosso, nas lavouras de milho safrinha em 2018, *S. frugiperda* foi relacionada pelos produtores como a principal praga da cultura nos levantamentos realizados durante o Circuito tecnológicos Aprosoja/Embrapa. É interessante destacar que nesse levantamento também se observou que os produtores têm feito, entre duas e três aplicações de inseticidas químicos para o controle dessa praga mesmo no milho com a tecnologia Bt e três e quatro aplicações em milho não Bt. A eficiência do produto é citada pelos produtores como o fator mais importante na escolha, contudo em muitos casos a venda dos insumos aos produtores é fechada antes mesmo do plantio da safra e os produtos a serem utilizados já acompanha o calendário de aplicações.

Nesse cenário, de várias populações da praga, várias estratégias disponíveis para o manejo e níveis de suscetibilidade diferenciados para as tecnologias, inseticidas por região, o

monitoramento deve ser visto como estratégia fundamental para aportar o MIP. O monitoramento para medir o tamanho da infestação de lagartas nas lavouras continua sendo importante para tomada de decisão. Esse monitoramento pode ser feito através de armadilhas de feromônio ou mesmo de vistoria nas lavouras, para contabilização das injúrias nas plantas. O uso adequado do inseticida contribui inclusive como estratégia de controle biológico, haja vista que o uso de inseticidas seletivos e a aplicação de produtos eficientes e somente no momento correto, indicado pelo monitoramento ajuda a manter os inimigos naturais nas lavouras, evitando novas aplicações de inseticidas.

Contudo ainda é necessário monitorar a frequência com que as populações dessas lagartas apresentam resistência às principais estratégias de manejo, sejam plantas Bt sejam inseticidas químicos. O monitoramento da resistência à inseticidas e proteínas do Bt devem ser atualizados com frequência, visto que vários fatores podem interferir, tanto para seleção de resistentes quanto para o desempenho não satisfatório de inseticidas como o mau uso desses produtos.

A logística para controle de pragas tem sido um dos principais gargalos no que tange a falta de observação dos preceitos do Manejo Integrado de Pragas. Nesse cenário vale voltar à uma premissa básica do MIP, que é o custo de controle e o nível de controle. Aplicações calendarizadas são antieconômicas, porque não considera o nível de infestação da praga. Além de expor a população aos inseticidas e a uma resistência precoce a esses produtos. O uso equilibrado das estratégias de manejo integrado potencializa sua eficácia e aumenta sua vida útil, evitando aplicações crescentes para o controle de lagartas nos sistemas intensivos de produção.

Referências

BALIEIRO NETO, G.; CIVIDANES, T.; BRANCO, R.; FÉLIX, M. R.; REI, F.; NOGUEIRA, J. Quantificação da proteína Cry1Ab em folhas, caules e grãos de dois híbridos de milho Bt e controle das pragas *Spodoptera frugiperda* e *Helicoverpa zea*, 2013. **Boletim de Indústria Animal**, Nova Odessa, v. 70, n. 1, p. 59-66, 2013.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **AGROFIT**: sistema de agrotóxicos fitossanitário. Brasília, DF, c2003. Disponível em: <http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons>. Acesso em: 10 jun. 2018.

BENTIVENHA, J. P. F.; PAULA-MORAES, S. V.; BALDIN, E. L. L.; SPECHT, A.; SILVA, I. F. da; HUNT, T. E. Battle in the new world: *Helicoverpa armigera* versus *Helicoverpa zea* (Lepidoptera: Noctuidae). **Plos One**, San Francisco, v. 11, n. 2, e0167182, Dec. 2016.

BOREGAS, K. G. B.; MENDES, S. M.; WAQUIL, J. M.; FERNANDES, G. W. Estádio de adaptação de *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) em hospedeiros alternativos. **Bragantia**, Campinas, v. 72, n. 1, p. 61-70, 2013.

COMISSÃO TÉCNICA NACIONAL DE BIOSSEGURANÇA. **Liberações comerciais**. Disponível em: <<http://ctnbio.mcti.gov.br/liberacao-comercial#/liberacao-comercial/consultar-processo>>. Acesso em: 18 jun. 2018.

CRUZ, I.; TURPIN, F.T. Yield impact of larval infestation of the fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) to Midwhorl growth stage

of corn. **Journal of Economic Entomology**, College Park, v. 76, n. 5, p. 1052-1054, 1983.

DIAS, A. S.; MARUCCI, R. C.; MENDES, S. M.; MOREIRA, S. G.; ARAÚJO, O. G.; SANTOS, C. A. dos; BARBOSA, T. A. Bioecology of *Spodoptera frugiperda* (JE Smith, 1757) in different cover crops. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 32, n. 2, p. 337-345, 2016.

FARIAS, J. R.; ANDOW, D. A.; HORIKOSHI, R. J.; SORGATTO, R. J.; FRESIA, P.; SANTOS, A. C. dos; OMOTO, C. Field-evolved resistance to Cry1F maize by *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in Brazil. **Crop Protection**, Guildford, v. 64, p. 150-158, 2014.

FATORETTO, J. C.; MICHEL, A. P.; SILVA FILHO, M. C.; SILVA, N. Adaptive potential of fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) limits Bt trait durability in Brazil. **Journal of Integrated Pest Management**, v. 8, n. 1, p. 11-10, 2017.

LIMA, L. H. C.; QUEIRÓZ, P. R.; OLIVEIRA, M. R. V. **Caracterização por meio de RAPD-PCR de *Helicoverpa armigera* (Hubner, 1808) (Lepidoptera, Noctuidae), proveniente de Burkina Faso**. Brasília, DF: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2006. 36 p.

MANEJO da resistência de insetos em lavouras de milho Bt: área de refúgio: você tem dúvidas? Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2015. 1 folder.

MENDES, S. M.; BOREGAS, K. G. B.; LOPES, M. E.; WAQUIL, M. S.; WAQUIL, J. M. Fall armyworm responses to genetically modified maize expressing the toxin Cry 1A (b). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 46, n. 3, p. 239-244, 2011.

MOSCARDI, F.; BUENO, A. F.; SOSA-GÓMEZ, D. R.; ROGGIA, S.; HOFFMANN-CAMPO, C. B.; POMARI, A. F.; YANO, S. A. C. Artrópodes que atacam as folhas da soja. In: HOFFMANN-CAMPO, C. B.; CORRÊA-FERREIRA, B. S.; MOSCARDI, F. (Ed.). **Soja: manejo integrado de insetos e outros Artrópodes-praga**. Brasília, DF: Embrapa, 2012. p. 213-234.

OMOTO, C.; BERNARDI, O.; SALMERON, E.; SORGATTO, R. J.; DOURADO, P. M.; CRIVELLARI, A.; HEAD, G. P. Field-evolved resistance to Cry1Ab maize by *Spodoptera frugiperda* in Brazil. **Pest Management Science**, Sussex, v. 72, n. 9, p. 1727-1736, 2016.

PINTO, C. C.; GRÜTZMACHER, A. D.; ROSA, A. P. S. A. D.; MANICA-BERTO, R.; MENDES, S. M.; ARGE, L. W. P.; BORGES, C. T. Molecular diversity among populations of *Spodoptera frugiperda* in Brazil evaluated by AFLP markers. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 50, n. 4, p. 343-346, 2015.

POGUE, M. **World revision of the genus *Spodoptera* Guenée**. Philadelphia: American Entomological Society, 2002.

SANTOS, C. A.; MARUCCI, R. C.; BARBOSA, T. A. N.; ARAUJO, O. G.; WAQUIL, J. M.; DIAS, A. S.; MENDES, S. M. Desenvolvimento de *Helicoverpa* spp. em milho Bt com expressão de diferentes proteínas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 51, n. 5, p. 537-544, 2016.

SANTOS, A. J. N. dos; MENDES, S. M.; GONTIJO NETO, M. M.; VIANA, P. A.; GONÇALVES, A. C. R.; SANTOS, A. E. dos; OLIVEIRA, L.; ROSA, A. P. S. A. da **Infestação e flutuação populacional de lepidópteros-pragas em sistemas de produção de milho e sorgo**.

Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2015. 38 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 122).

SOUSA, F. F.; MENDES, S. M.; SANTOS-AMAYA, O. F.; ARAÚJO, O. G.; OLIVEIRA, E. E.; PEREIRA, E. J. Life-history traits of *Spodoptera frugiperda* populations exposed to low-dose Bt maize. **PloS One**, San Francisco, v. 11, n. 5, p. e0156608, 2016.

SOUZA, I. R. P.; MENDES, S. M.; RAFAEL, H. A.; BARROS, B. D. A.; PINTO, M. D. O.; CARNEIRO, N. P.; PASTINA, M. M. Population structure of *Spodoptera frugiperda* collected in maize from different Brazilian geographic regions. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 14, n. 3, p. 300-315, 2015.

SUZANA, C. S.; DAMIANI, R.; FORTUNA, L. S.; SALVADORI, J. R. Desempenho de larvas de *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) em diferentes fontes alimentares. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 45, n. 4, p. 480-485, 2015.

WAQUIL, M. S.; PEREIRA, E. J. G.; CARVALHO, S. S. D. S.; PITTA, R. M.; WAQUIL, J. M.; MENDES, S. M. Fitness index and lethal time of fall armyworm on Bt corn. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 51, n. 5, p. 563-570, 2016.

WAQUIL, J. M.; DOURADO, P. M.; CARVALHO, R. A. D.; OLIVEIRA, W. S.; BERGER, G. U.; HEAD, G. P.; MARTINELLI, S. Management of Lepidopteran pests in maize crop using the Bt pyramided event Cry1A. 105 and Cry2Ab2. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 48, n. 12, p. 1529-1537, 2013.

Capítulo 10

Monitoramento e Estratégias de Manejo de Percevejos na Fase Inicial da Cultura do Milho

Lucia Madalena Vivan

Rodolfo Bianco

Introdução

As modificações advindas do processo de modernização da agricultura no Brasil ao longo das últimas décadas têm levado ao aumento da produção de alimentos, principalmente alguns tipos de grãos como o milho, o trigo, a soja e a cevada (Baroni et al., 2017).

O cultivo do milho na época tradicional (verão) ou na safrinha vem assumindo papel importante no planejamento da propriedade agrícola, seja como atividade econômica de exploração ou como alternativa para rotação de culturas no Sistema Plantio Direto (SPD). Essa nova realidade deve-se, em parte, à expansão do SPD na região dos cerrados, ao incentivo da criação intensiva de animais e à melhoria do preço do milho nas últimas safras. As pragas iniciais podem consumir ou sugar as raízes e plântulas do milho, bem como injetar toxinas ou patógenos durante o processo de alimentação. As injúrias praticadas pelos insetos-praga sugadores e mastigadores) podem também servir de porta de entrada para diversos patógenos oportunistas que atacam

o milho. Como consequência desses ataques, podem ocorrer reduções de stand e do vigor das plantas, distúrbios fisiológicos e acamamento que acarretam reflexos negativos na produtividade da cultura (Ávila; Gomez, 2002).

Manejo integrado de pragas

O MIP expandiu o conceito para o complexo de pragas de uma cultura e foi implementado, incluindo outras táticas, além do controle químico ou biológico, como o controle cultural e variedades resistentes. Em uma etapa seguinte, o conceito foi ampliado, envolvendo entomologistas, fitopatologistas, nematologistas e os cientistas de plantas daninhas, buscando uma abordagem holística dos problemas fitossanitários da cultura. Como uma derivada deste conceito, surgiu a proposta de “Area Wide Pest Management”, cujo foco consiste no controle de insetos em áreas geográficas que ultrapassam os limites da propriedade agrícola utilizada para determinado cultivo, incluindo a supressão de pragas de alta mobilidade, antes de sua migração dos hospedeiros nativos para as lavouras.

São recorrentes as queixas em relação aos métodos de amostragem, que incluem o número a realizar, o tamanho da área a ser coberta e a frequência, e que se constituem em motivos de desestímulo à realização do monitoramento.

O rápido crescimento populacional de pragas como lagartas ou percevejos exige levantamentos frequentes, pois, se espaçados de apenas uma semana, podem mostrar, inicialmente, uma situação tranquila e, posteriormente, populações ou danos que ultrapassaram os níveis de ação. Para contornar esse problema, a recomendação é aumentar a frequência das amostragens,

especialmente naqueles períodos em que se antecipa rápido crescimento da população. Este é outro ponto de conflito, pois já existe uma aversão natural a efetuar o monitoramento, que se potencializa se o agricultor deve realizá-lo com frequência ainda maior. Ao longo da última década, outro problema agravou ainda mais a situação, pois agricultores ou administradores de fazenda ponderam a respeito da dificuldade de contratação e do elevado custo de manter equipes de “pragueiros” (empregados treinados para efetuar levantamentos de pragas), assim como a dificuldade de obter as informações em tempo hábil para a tomada de decisão.

Na maioria dos casos, o dono, o administrador ou um empregado da propriedade agrícola é responsável pelo controle fitossanitário e, conseqüentemente, pela identificação das pragas. Mesmo quando um profissional de Agronomia é responsável pela supervisão do monitoramento, trata-se de um generalista, que cobre diversas culturas e diferentes disciplinas. Apesar dos esforços de oferecer treinamento adequado por parte das instituições de pesquisa, é possível perceber profundas lacunas de conhecimento, envolvendo a correta identificação das pragas e de seus danos. Um agravante, que aumentou de importância nos últimos anos, é o surgimento de novas espécies de pragas, que ingressaram recentemente no rol de pragas principais, sem que os responsáveis pela sua identificação no campo dispusessem da informação e o treinamento adequados. Esta constatação, embora não se inclua entre as principais restrições à adoção do MIP, deve ser entendida como uma necessidade de reforçar o fluxo de informações para o produtor ou responsáveis, a fim de que possam identificar adequadamente as pragas nos diferentes estádios e os danos por elas causados.

O excesso de aplicação de agrotóxicos tem como uma de suas consequências o desequilíbrio entre pragas e seus inimigos naturais, fazendo com que aquelas desenvolvam populações muito superiores às que seriam observadas, caso houvesse um controle biológico natural eficiente. Em especial ao longo da primeira década deste século, ocorreram mudanças sensíveis no status de pragas principais, na sua densidade populacional e seus danos, com o surgimento de novas pragas e a ocorrência de altas populações de pragas anteriormente consideradas secundárias. Em particular, o complexo de percevejos tem se constituído em uma ameaça crescente aos índices de produtividade pela sua ocorrência em altas populações e pela dificuldade de seu controle. Houve uma mudança muito rápida e profunda nos sistemas de produção, na principal região de expansão da soja brasileira, nas regiões Centro-Oeste, Norte e Nordeste. A ocupação do mesmo espaço geográfico, por diferentes culturas extensivas, levou a uma adaptação de algumas pragas, que se estabelecem nas diferentes culturas de forma praticamente contínua, ao longo de sete meses do ano. Como tal, é previsível que os ataques possam ser mais frequentes e intensos, bem como seja potencializado o risco de desenvolvimento de resistência das pragas aos inseticidas usados para seu controle, pela maior pressão de seleção.

Percevejos que atacam a cultura do milho na fase inicial

Percevejo-castanho-da-raiz (*Scaptocoris castanea* e *S. carvalhoi*) (Hemiptera: Cydinidae)

O percevejo-castanho-da-raiz é um inseto polífago que se alimenta de raízes de plantas de diversas famílias. No Brasil, esta praga

foi constatada, pela primeira vez, em São Paulo, em pastagem (capim gordura, capim marmelada, etc.) e, aparentemente, o inseto se adaptou à diversas plantas cultivadas como algodão, soja, sorgo e milho (Picanço et al., 1999). Atualmente, as culturas com danos mais severos do percevejo-castanho-da-raiz são algodão, soja e milho.

Nos períodos de estiagem prolongada, os insetos se aprofundam no solo em busca de umidade e nas épocas chuvosas retornam à superfície. Portanto, em anos mais chuvosos o percevejo castanho da raiz é mais problemático.

As ninfas são de coloração branca e os adultos têm coloração castanha e, aproximadamente, 8 mm de comprimento. Possuem pernas anteriores adaptadas para a escavação, podendo se enterrar no solo com facilidade. Os ovos são de coloração creme, de forma ovalada e com a superfície lisa e brilhante. As fêmeas são maiores do que os machos e ambos exalam cheiro desagradável quando molestados.

Os danos causados por estes percevejos são resultantes da sucção da seiva das raízes tanto pelas formas jovens (ninfas), quanto pelos adultos, o que faz as plantas definharem, secarem e morrerem. Geralmente, danos significativos já ocorreram na constatação da infestação dos insetos na área. Em níveis populacionais baixos, este inseto retarda o desenvolvimento da planta, o que, muitas vezes, passa despercebido. Entretanto, quando em altas populações, determinam a morte de plantas originando áreas de reboleiras de plantas mortas (Oliveira et al., 2000). O monitoramento da população deve ser feito em covas de 20x20x30 cm de profundidade e em períodos mais úmidos por causa do comportamento de aprofundar no perfil do solo em condições mais secas (**Figura 1**).



Figura 1. Cova para monitoramento de percevejo castanho da raiz.

Para a redução dos problemas, nas áreas infestadas, é recomendado uma série de medidas culturais que incluem: (1) mapeamento da infestação; (2) subsolagem das áreas infestadas após a colheita da cultura, ou uma aração seguida de três gradagens após a primeira chuva que ocorrer após a colheita; (3) manter o solo sem cobertura no outono como estratégia de eliminar o alimento disponível, evitando, principalmente, o cultivo de gramíneas; (4) antecipar a semeadura nas áreas infestadas para escape da praga do sistema radicular pouco desenvolvido; (5) realizar adubações de cobertura com sulfato de amônio (200 kg/ha) nos focos (adicionado ou não de enxofre), para acelerar o desenvolvimento da planta e aumentar a sua capacidade de suportar o ataque da praga (Degrande; Vivan, 2017).

O tratamento de sementes ou pulverização no sulco de semeadura deve ser realizado quando a presença do inseto for detectada em uma profundidade de 10 cm, pois assim a semente terá condições de entrar em contato com o produto químico e causar alguma mortalidade desses insetos. No entanto, os resultados de controle oscilam muito e há necessidade de mais estudos, a fim de identificar o melhor controle químico com os produtos atualmente disponíveis.

Percevejo-barriga-verde - *Dichelops* spp. (Hemiptera: Pentatomidae)

Identificação: as espécies *Dichelops melacanthus* e *D. furcatus* são relatadas como constituintes do complexo de pragas secundárias da soja em várias regiões do Brasil. Na espécie *D. furcatus* os espinhos são amarronzados e no *D. melacanthus* são negros. *D. furcatus* é a espécie cuja maior parte da população se concentra na região subtropical do Brasil, em áreas com temperaturas amenas. No Brasil, o percevejo *D. melacanthus* abrange uma extensão territorial maior do que *D. furcatus*, concentrando-se nas áreas agrícolas mais quentes das regiões subtropical e tropical (Chocorosqui, 2001). Todavia, em 1993 foi relatada pela primeira vez a ocorrência de *D. melacanthus* causando danos em plântulas de milho, no Município de Rio Brillhante, MS (Ávila; Panizzi, 1995). Desde então, as espécies *D. melacanthus* e *D. furcatus*, em ocorrência simultânea ou não, têm sido mencionadas em lavouras da Região Centro-Sul do Brasil. O inseto apresenta a parte dorsal marrom e a ventral verde, daí o nome barriga-verde. Os ovos, de coloração verde-azulada, são colocados sobre as folhas do milho ou até mesmo de plantas daninhas. Durante a alimentação, esses percevejos posicionam-se, normalmente, no sentido longitudinal da planta, com a cabeça orientada para a região do colo dela. Sintomas e danos: nos locais de alimentação

são observadas pontuações escuras nas folhas novas do interior do cartucho. Se, no processo de alimentação, o meristema apical for danificado, as folhas centrais da plântula murcham e secam, manifestando o sintoma denominado “coração morto”, podendo também ocorrer o perfilhamento da planta. Quando o meristema apical não é danificado, as primeiras folhas que se desenrolam do cartucho apresentam estrias esbranquiçadas transversais, muitas vezes com perfurações de halo amarelado, provenientes das punções que o inseto fez quando se alimentou na base da planta ainda jovem. O milho, nos estádios iniciais de crescimento (duas semanas após a emergência), é mais sensível ao ataque de percevejo. No período compreendido entre o surgimento do primeiro par de folhas até a sexta folha, a planta define seu potencial de produção (Fancelli; Dourado Neto, 2000), fato que eleva a importância do inseto, justamente por sugar o milho nesse período (Bianco, 2004). Os percevejos atacam a regiões do colo das plântulas de milho, causando pequenas perfurações. À medida que o milho cresce as folhas se desenvolvem, a lesão aumenta, formando áreas necrosadas no sentido transversal da folha, que pode dobrar-se na região danificada. Existem também evidências de que o inseto, ao se alimentar, injeta saliva para facilitar a penetração do estilete no tecido foliar e, conseqüentemente, extrair o alimento (seiva da planta). A saliva dos hemípteros contém uma série de enzimas e metabólitos que variam de acordo com a espécie, com o indivíduo, com o estágio de desenvolvimento, sexo e fonte nutricional utilizada. Essas secreções salivares, quando injetadas nos tecidos vegetais, causam deformidades semelhantes àquelas causadas por hormônios de crescimento em excesso. O ácido indolacético quer seja derivado da planta hospedeira, ou formado na glândula salivar, é considerado o composto mais fitotóxico da saliva dos hemípteros (Slansky; Panizzi, 1987; Hori,

2000). Como resultado do dano, por percevejo, as plantas de milho ficam com o desenvolvimento comprometido, e algumas folhas do cartucho não conseguem desenrolar, apresentando um aspecto popularmente chamado “encharutamento” ou “enrosetamento”, com amarelecimento das folhas. Ataques severos à região de crescimento da planta promovem emissão de perfilhos, diminuindo a produção.

Monitoramento do percevejo-barriga-verde

Segundo R. Bianco (dados não publicados) existem duas maneiras de avaliar o percevejo na palhada. Uma dessas é a contagem direta de insetos por unidade de área (m^2). Esta metodologia exige muito tempo para ser executada, e terá falha se a área não tiver palha suficiente para manter o inseto na área, geralmente é mais utilizado para fins de pesquisa. A outra forma de monitorar é com uso de iscas atrativas (soja umedecida). A isca é de fácil preparo e utilização, exige pouco tempo e fornece informações que podem subsidiar técnicos e os produtores no momento de quantificar a infestação da praga, podendo ser classificado como baixo, médio e alto o risco de danos a cultura (R. Bianco, dados não publicados). Na **Tabela 1** seguem recomendações para manejo de acordo com a população encontrada na área com a instalação das iscas.

Tabela 1. Ações de manejo de *Dichelops melacanthus* com base no monitoramento com iscas.

N. de iscas com insetos ¹	Nível de risco	Estratégia de manejo
0 a 1	Baixo	TS com carbamato ou diamidas
2 a 5	Moderado	TS com neonicotinóide ou pulverizações iniciais
Acima de 5	Alto	TS com neonicotinóide + pulverização aos 2-3 DAE. Continuar monitorando ²

Isclas com soja para monitoramento de *Dichelops melacanthus*

Preparo das isclas com soja para um talhão

O procedimento para o preparo das iscla deve ser:

1. Medir 500 mL (\pm 300 g) de grãos de soja;
2. Colocar num recipiente com água limpa e deixar por 10-15 minutos;
3. Escorrer a água;
4. Adicionar $\frac{1}{2}$ colher (café) de sal de cozinha e misturar;
5. Medir novamente o volume dos grãos já umedecidos e dividir esse volume em 10 partes (iscas) iguais. Se possível preparar um “copo” dosador com volume equivalente a uma iscla. Esse copo dosador será de grande utilidade quando for preparar mais isclas.

Colocação das isclas no campo: Dividir a área a ser cultivada com milho em diversos talhões e avaliar separadamente cada um deles (avaliação de uma única área não deve ser extrapolada

para toda a propriedade). Em cada talhão são colocadas 10 iscas, dispostas em linha e cobrindo a extensão da maior diagonal do talhão. As iscas preparadas num dia deverão ser colocadas no campo naquele mesmo dia, sendo a avaliação realizada dois dias após. É importante sinalizar com estacas ou varetas o local onde foi deixada a isca, facilitando sua localização. Essas iscas deverão ser cobertas com palha, para tornar o ambiente mais propício para a permanência dos percevejos atraídos. Durante a avaliação são contados os percevejos na amostra, ou simplesmente é verificada a presença ou não de percevejo em cada amostra (isca), anotando-se quantas continham percevejos.

Iscas a base de tufos de milho

Alternativamente às iscas de grãos de soja, é possível classificar a população de percevejos utilizando tufos (± 15 sementes) de milho previamente semeados, que também serão distribuídos em 10 pontos por talhão, seguindo-se a mesma regra de decisão da **Tabela 1**.

Chocorosqui (2001) realizou trabalhos com objetivo de acompanhar a população de ninfas de *D. melacanthus* observadas na implantação da cultura da soja, em dezembro de 1999 (**Figura 2**), mais especificamente no período em que a soja se encontrava nos estádios vegetativos de emergência (VE) e cotiledonar (VC). Entretanto, nenhuma ninfa foi observada durante os meses de janeiro e fevereiro (verão), que correspondem aos estádios vegetativos (VI a V6) e reprodutivos (R4 e R5) da soja; neste período, registrou-se temperaturas médias de 23 a 24 °C, e fotofase em tomo de 13 horas. Na segunda quinzena de março, quando a soja se encontrava em maturação fisiológica (R7), registrou-se novamente a ocorrência de ninfas. O pico populacional de ninfas se deu durante a safrinha de milho, nos meses de maio e junho

(outono). A temperatura média registrada neste período foi de aproximadamente 18 °C; a fotofase calculada para os meses de maio e junho foi de 10,87 e 10,58 horas, respectivamente. As ninfas foram observadas primeiramente na emergência das plântulas de milho, atingindo o pico populacional quando as plantas estavam no período vegetativo, com altura variando entre 70 e 110 cm. Quatro ninfas (duas no 32 e duas no 52 instar) foram observadas nesta amostragem. No início da safrinha de milho (maio/2000), com a redução de temperatura e do comprimento do dia, adultos do percevejo-barriga-verde foram encontrados na maioria das amostragens; o pico populacional se deu no início da safra de aveia (agosto), cerca de um mês após a ocorrência de geadas.

Manejo do percevejo-barriga-verde

O êxito de qualquer cultivo depende, fundamentalmente, da qualidade da implantação da cultura. Medidas de proteção das sementes e plântulas recém emergidas, atuam como uma prevenção contra o ataque de pragas iniciais, que geralmente são de difícil visualização no campo e comprometem a produtividade final.

A tomada de decisão de controlar ou não a praga deve se basear no histórico de ocorrência do inseto e no monitoramento pouco antes da semeadura do milho.

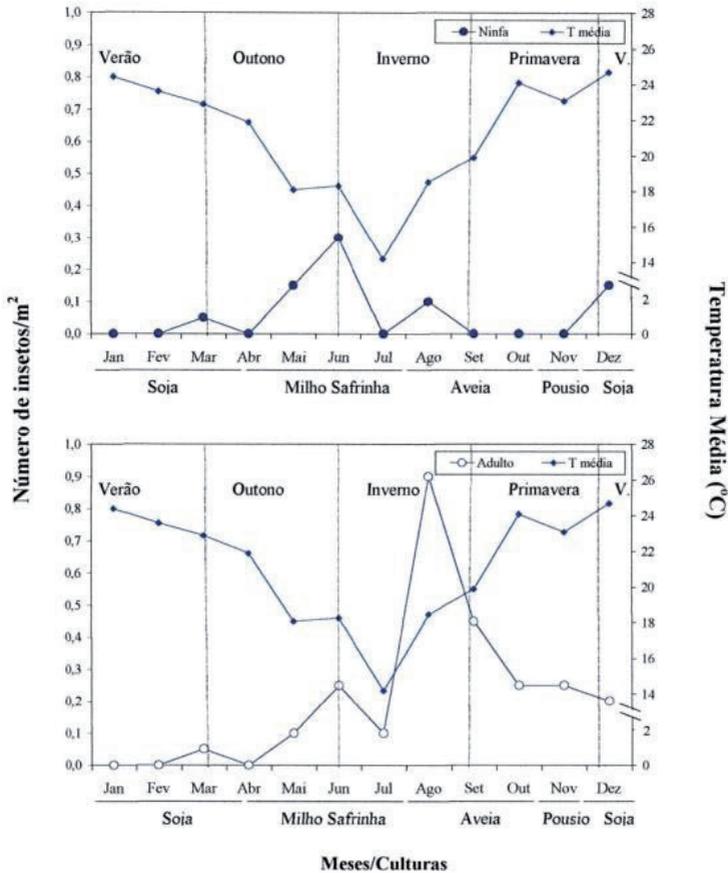


Figura 2. Flutuação populacional de ninfas e adultos de *Dichelops melacanthus*, em relação à temperatura média mensal. Londrina, PR, dezembro/1999 a novembro/2000.

Poucos são os trabalhos que relatam o nível de dano econômico do percevejo-barriga-verde nas culturas em que ocorre. Segundo Gassen (1996), Cruz et al. (1999) e Chocorosqui (2001) o nível de dano econômico (NDE) é de dois percevejos por metro quadrado para a cultura do milho. Bianco (2004) relatou um NDE de dois percevejos por metro quadrado para o milho safrinha e um

percevejo por metro quadrado para a safra de verão, sendo estes dados relacionados aos custos de controle nessas safras. Rodrigues (2011) encontrou um nível de apenas 0,5 percevejos por metro quadrado, onde os insetos ficaram em convivência com a planta num período de 14 dias após a emergência do milho.

Segundo Rodrigues (2011) os danos de percevejo na fase inicial forma refletidos no final do ciclo da cultura. Os prejuízos para a cultura do milho foram maiores quando o período de convivência ocorreu logo após a emergência da cultura, aumentando com o acréscimo no período de convivência e na densidade populacional dos percevejos. Também, observou que o ataque de percevejos tem reflexo em várias características da planta, tais como estatura, acúmulo de massa seca e, conseqüentemente, produtividade de grãos no cultivo. Avaliações de caracteres como redução de estatura no início do ciclo podem servir como indicativos da perda de produtividade potencial da cultura.

A utilização de híbridos de alto potencial produtivo juntamente com o plantio de sementes tratadas com inseticidas, tem se mostrado uma excelente opção adotada pelos produtores como solução para o controle de insetos, além de reduzir a necessidade de pulverizações nos estádios iniciais da cultura.

Especificamente para a cultura do milho, existem vários produtos utilizados para o tratamento de sementes contra as principais pragas que atacam a lavoura. Esses produtos possuem diferentes princípios ativos, têm diferentes indicações e podem auxiliar no controle das pragas iniciais.

O principal, ao se definir pelo tratamento de sementes, é a identificação das pragas alvo, principalmente a sua frequência e intensidade. É muito importante que o produtor conheça o inseto que deseja controlar. Além disso, deve-se levar em consideração o histórico da área, o tipo de manejo (plantio direto, cultivo mínimo, etc.), a pressão de insetos, o histórico da área e a cultura anterior utilizada na rotação. Algumas coberturas podem multiplicar e alojar determinados tipos de pragas, como por exemplo a lagarta da aveia, na aveia, e percevejos e cigarrinhas na ervilhaca e pastagens. Deve-se também, levar em consideração, o espectro de controle, o modo de ação e a margem de fitotoxicidade em relação à semente, pois alguns produtos utilizados no tratamento de sementes podem causar diminuição na germinação e vigor quando as sementes são submetidas a um longo espaço de tempo entre o tratamento e o plantio, como é o caso dos inseticidas do grupo dos carbamatos. Além disso, é preciso observar a compatibilidade com outros produtos utilizados no tratamento de sementes, a dose recomendada do inseticida, e se é registrado para a cultura em questão e para as pragas que se deseja controlar. Rodrigues (2011) observou que a estatura se manteve uniforme nas parcelas com tratamento de sementes independente da população de percevejos, nas parcelas sem tratamento de sementes a estatura apresentou 23,10% de redução quando submetida a convivência com quatro percevejos em comparação a testemunha sem percevejos. Roza-Gomez (2010) encontrou uma redução de 29,1% na estatura de plantas para a convivência com um percevejo por planta por dez dias, quando comprado com a testemunha sem ataque de percevejos.

O período de proteção do tratamento de sementes no campo após a semeadura, ou o período residual, de um modo geral, vai

até as primeiras fases da pós-emergência das plantas no campo (V2). Esse período residual irá depender das características do inseticida e das condições ambientais. Além disso, devem ser utilizadas práticas de manejo auxiliares que reduzam a pressão de insetos, como por exemplo a rotação de culturas e a dessecação antecipada da cobertura anterior.

Sob alta pressão de insetos, normalmente, apenas o tratamento de sementes não é suficiente para o controle, necessitando-se de pulverizações complementares com outros inseticidas de princípios ativos e mecanismos de ação diferentes para se evitar o aparecimento de resistência.

Quanto ao controle do percevejo via pulverização, é preciso estar atento ao momento mais adequado para realizá-lo. Pulverizações atrasadas, ou seja, depois dos 10-15 dias de idade da planta, pode tornar ineficaz o controle. Neste caso, mesmo havendo o controle do percevejo, não impede o aparecimento do dano, pois a toxina que o inseto injetou anteriormente já está na planta, por isso o dano aparece depois. O ideal é que o controle seja iniciado logo nos primeiros dias da emergência do milho e quando a infestação atingir o nível de ação. Não são recomendáveis pulverizações em milho depois dos 15-20 dias de idade e/ou quando a planta apresentar espessura de colmo acima dos 1,5 cm.

Comparando-se os dois métodos de aplicação dos produtos químicos, o tratamento das sementes, com os neonicotinoides, leva vantagem por ser mais eficiente e por ser seletivo aos inimigos naturais (Cruz; Bianco, 2001). Dado que os neonicotinoides são altamente solúveis, aumenta consideravelmente o risco de lixiviação dos produtos, principalmente em solos arenosos. Em tal condição, e particularmente quando a população da

praga é alta, torna-se necessária a aplicação complementar ao TS com pulverizações foliares. Na aplicação em pré-plantio dos inseticidas junto com dessecantes, na situação de área com presença notória de ervas infestantes, em particular a trapoeraba, fica afetada a eficiência dos inseticidas em pulverização, em razão do efeito “guarda-chuva”, pois os insetos geralmente se abrigam sob as plantas (Brustolin et al., 2011). Melhor seria complementar o TS com pulverizações depois de dessecada a área e logo nos primeiros dias da emergência do milho. Observações em campo sobre o comportamento dos percevejos indicaram que há maior atividade de movimentação na palhada e procura por alimento logo após o “nascer” do sol, prolongando-se até próximo das 10–11 horas da manhã. Com temperaturas muito elevadas, a tendência do percevejo é de retornar para a palhada, conforme observado por Bianco, R. em 2009 (dados não publicados).

Muitas vezes, por falta de informação, produtores decidem pelo replantio do milho com base na porcentagem de plantas com danos, sem considerar os diferentes graus de injúria que o inseto provoca. As informações apresentadas na **Figura 3** podem subsidiar técnicos e produtores na hora da tomada de decisão. Somente seria justificável o replantio nas situações de morte de plantas e pelo menos 60–70% das plantas com notas 3 ou 4, associado a clima desfavorável.

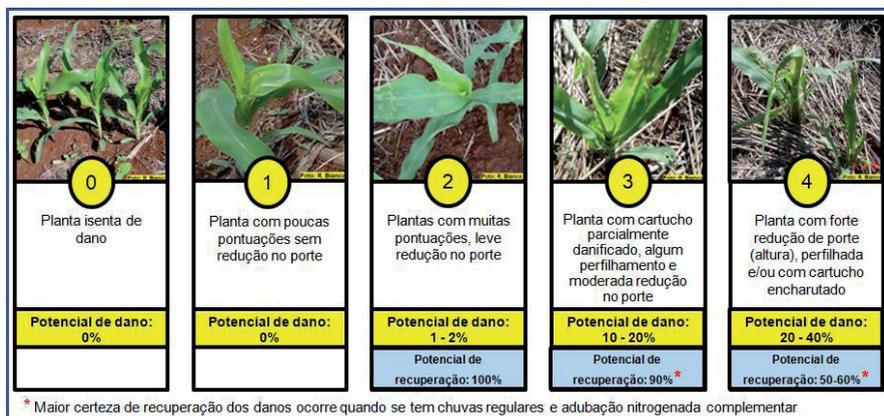


Figura 3. Escala de notas de injúrias do percevejo-barriga-verde (Fotos: R. Bianco/IAPAR).

Considerações finais

O manejo de percevejos na cultura do milho não depende exclusivamente da escolha de táticas diretas de controle da praga. É preciso também estar apoiado em boas práticas agrícolas, particularmente as que promovam rápido e vigoroso crescimento das plantas de milho. Neste sentido, a escolha de cultivares que alcancem mais rapidamente diâmetro de colmo maior que 1,5 cm deveria ser tão importante quanto é a escolha de cultivares por produtividade. A seguir são expostas diferentes ações que completam as estratégias de manejo de percevejos:

1. Em áreas com presença de ervas daninhas, deve-se aplicar um dessecante 7 a 10 dias antes da semeadura do milho;
2. Realizar o tratamento de sementes (TS), quando encontrar acima de 1 inseto por m² de palhada;
3. Os produtos para TS são altamente solúveis, portanto, em situações de alta precipitação, no período que vai da semeadura

até os 10 dias da emergência, a atenção quanto ao monitoramento e controle do percevejo deve ser redobrada;

4. Após a emergência do milho (2-3 dias), avaliar a lavoura e, se encontrar 1 percevejo vivo/10 plantas, realizar a pulverização complementar ao TS;

5. Reavaliar 5-7 dias após. Encontrando novamente 1 percevejo vivo/10 plantas, reaplicar;

6. Usar bico cone ou duplo leque espaçados de 50 cm, com vazão de 150 l/ha ou mais. A altura da barra não deve passar os 50 cm do solo;

7. Em função do período de maior exposição do percevejo, aplicar das 7h às 11h e das 16h às 19h, evitando os horários de alta temperatura;

8. Evitar aplicações em dias frios e/ou com baixa umidade relativa;

9. Áreas com histórico de altas infestações: realizar manejo de população no sistema produtivo, procurando melhorar o controle dos percevejos no cultivo anterior;

10. Nunca esperar o aparecimento dos sintomas de dano para controlar a praga, pois poderá já ser tarde;

11. Prover boa nutrição ao milho. O nitrogênio ajuda na recuperação das plantas com sintomas de dano, quando aplicado entre 10 e 15 dias da emergência das plantas;

Referências

ÁVILA, C. J.; GOMEZ, S. A. Pragas iniciais do milho. In: SEMINÁRIO DE MANEJO DE PRAGAS E DOENÇAS INICIAIS DAS CULTURAS DE SOJA E MILHO EM MATO GROSSO DO SUL, 1., 2002, Dourados. **Anais...** Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2002. p. 33-42. (Embrapa Agropecuária Oeste. Documentos, 48).

ÁVILA, C. J.; PANIZZI, A. R. Occurrence and damage by *Dichelops* (*Neodichelops*) *melacanthus* (Dallas) (Heteroptera: Pentatomidae) on corn. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, Jaboticabal, v. 24, p. 193-194, 1995.

BARONI, G. D.; BENEDETI, P. H.; SEIDEL, D. J. Cenários e perspectivas da produção e armazenagem de grãos no Brasil. **Revista Thema**, v. 14, n. 4, p. 55-64, 2017.

BIANCO, R. Manejo do percevejo-barriga-verde (*Dichelops melacanthus*) em condições de alta densidade populacional. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENTOMOLOGIA, 20., 2004, Gramado. **Programa e resumos...** Gramado: Sociedade Entomológica do Brasil, 2004. p. 335.

BRUSTOLIN, C.; BIANCO, R.; NEVES, P. M. O. J. Inseticidas em pré e pós-emergência do milho (*Zea mays* L.) associados ao tratamento de sementes, sobre *Dichelops melacanthus* (Dallas) (Hemiptera: Pentatomidae). **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 10, p. 215-223, 2011.

CHOCOROSQUI, V. R. **Bioecologia de *Dichelops* (*Diceraeus*) *melacanthus* (Dallas, 1851) (Homoptera: Pentatomidae), danos e controle em soja, milho e trigo no norte do Paraná.** 2001. 160 f.

Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.

CRUZ, I.; BIANCO, R. Manejo de pragas na cultura do milho safrinha. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE MILHO SAFRINHA, 6.; CONFERÊNCIA NACIONAL DE PÓS-COLHEITA, 2.; SIMPÓSIO EM ARMAZENAGEM DE GRÃOS DO MERCOSUL, 2., 2001, Londrina. **A cultura do milho safrinha: valorização da produção e conservação de grãos no Mercosul.** Londrina: IAPAR, 2001. p. 79-112.

CRUZ, I.; VIANA, P. A.; WAQUIL, J. M. **Manejo das pragas iniciais de milho mediante o tratamento de sementes com inseticidas sistêmicos.** Sete Lagoas: Embrapa-CNPMS, 1999. 39 p. (Embrapa-CNPMS. Circular Técnica, 31).

DEGRANDE, P. E.; VIVAN, L. M. Pragas comuns no sistema de produção soja/milho/algodão. In: BOLETIM de Pesquisa 2017/2018. Rondonópolis: Fundação, MT, 2017. p. 182-208.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. Ecofisiologia e fenologia. In: FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho.** Guaíba: Agropecuária, 2000. p. 21-54.

GASSEN, D. N. **Manejo de pragas associadas à cultura do milho.** Passo Fundo: Aldeia Norte, 1996. 127 p.

HORI, K. Possible causes of disease symptoms resulting from feeding of phytophagous Heteroptera. In: SCHAFFER, C. W.; PANIZZI, A. R. **Heteroptera of economics importance.** Boca Raton: CRC Press, 2000. p. 11-35.

PICANÇO, M.; LEITE, G. L. D.; MENDES, M. C.; BORGES, V. E. Ataque de *Atarsocoris brachiariae* Becker, uma nova praga das pastagens em Mato Grosso, Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 34, n. 5, p. 885-890, 1999.

OLIVEIRA, L. J.; MALAGUIDO, A. B.; NUNES JÚNIOR, J.; CORSO, L. C.; DE ANGELIS, S.; FARIAS, L. C.; HOFFMANN-CAMPO, C. B.; LANTMANN, A. F. **Percevejos castanho da raiz em sistemas de produção de soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2000. 44 p.

RODRIGUES, R. B. **Danos de percevejo-barriga-verde *Dichelops melacanthus* (Dallas, 1851) (Hemiptera: Pentatomidae) na cultura do milho**. 2011. 105 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

ROZA-GOMES, M. F. **Avaliação de danos de quatro espécies de percevejos (Heteroptera: Pentatomidae) em trigo, soja e milho**. 2010. 93 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2010.

SLANSKY JR., F.; PANIZZI, A. R. Nutritional ecology of seedsucking insects. In: SLANSKY JR., F.; RODRIGUES, J. G. (Ed.). **Nutritional ecology of insects, mites, spiders and related invertebrates**. New York: John Wiley, 1987.

Capítulo 11

Novas Alternativas para a Produção de Silagem de Milho e Sorgo para a Alimentação Animal

Dannylo Oliveira de Sousa

Gustavo Gonçalves de Souza Salvati

Willian Pereira dos Santos

Luiz Gustavo Nussio

Introdução

A ampla utilização dos grãos amiláceos, como o milho e o sorgo, na alimentação animal está relacionada com as características química-bromatológicas, eficiência de aproveitamento e estruturação comercial de mercado. O principal cereal utilizado na pecuária brasileira é o milho, distribuído em três principais setores: a avicultura (57,9%), a suinocultura (26,5%) e a alimentação de ruminantes (8,4%), sendo o restante destinado a outras espécies (Associação Brasileira do Milho, 2014). No entanto, o sorgo é utilizado, principalmente, como substituto do milho, por causa da elevada semelhança de composição. Porém, apesar de quimicamente semelhante, o sorgo possui menor disponibilidade de mercado e maiores limitações nutricionais, como menor digestibilidade do amido, tornando-o menos atraente que o milho para nutrição animal.

O amido representa $75 \pm 10\%$ da matéria seca (MS) da maioria dos grãos de cereais e em sua forma isolada pode ser 100% digestível (Firkins et al., 2001). Entretanto, a maioria dos híbridos

de milho e de sorgo cultivados no Brasil produzem grãos com alta vitreosidade, característica definida pela elevada quantidade de matriz proteica presente no endosperma e revestindo os grânulos de amido, reduzindo assim, a digestibilidade do amido (Pereira et al., 2004) e conseqüentemente a produção de leite (Taylor; Allen, 2005). Portanto, otimizar a digestibilidade do amido do milho e sorgo, em dietas de ruminantes, é fundamental para maximizar/otimizar a produção (Pires et al., 2008).

Além das características físicas dos grãos, o tipo de processamento pode influenciar fortemente a digestibilidade do amido (Owens; Goetsch, 1986). A maioria dos processamentos dos grãos aumenta a exposição dos grânulos de amido e facilita os processos enzimáticos de degradação e digestão do amido pela microbiota ruminal (Beauchemin et al., 1994). A formação de fissuras, a quebra em variados tamanhos de partícula ou a expansão do grânulo de amido, tornam mais fácil o acesso e ação das enzimas bacterianas e digestivas do animal ao grânulo de amido (Kotarski et al., 1992). Embora o processo de ensilagem seja considerado um método clássico de conservação, esta técnica tem o potencial de aumentar a digestibilidade do amido. O aumento da digestibilidade do amido de acordo com o tempo de ensilagem pode ser explicado pela ação das proteases bacterianas e do próprio grão sobre a matriz proteica do endosperma de silagem de grão úmido, durante a ensilagem (Hoffman et al., 2011; Junges et al., 2017). Esta técnica demonstrou ser capaz de aumentar a digestibilidade ruminal do amido do milho em comparação com o uso de grãos secos (Oba; Allen, 2003; Bradford; Allen, 2007).

Contudo, o objetivo deste capítulo é abordar o tema de processamento e conservação de forragens e grãos, trazendo

novos conceitos e alternativas para a produção e utilização de silagens de milho e sorgo na alimentação de ruminantes.

Alternativas para produção de silagem de milho

Silagem de milho de planta inteira

A silagem de milho é a principal fonte de forragem utilizada nos sistemas de produção de leite no Brasil (Bernardes; Rêgo, 2014) e nos Estados Unidos (Martin et al., 2017). A silagem de milho de planta inteira é uma forragem energética com alta produção de matéria seca por hectare oriunda da fração de grãos e de fibra, as quais ricas em teor de amido e de fibra em detergente neutro (FDN), respectivamente (Dias Junior et al., 2016). A fração grão é composta por aproximadamente 72% de amido (% da MS - Huntington, 1997) e ela compõe em torno de 45% da matéria seca da planta inteira (Philippeau; Michalet-Doreau, 1998) e mais de 50% da energia da silagem de milho (calculado usando o National Research Council, 2001).

A digestibilidade do trato total do amido proveniente da silagem de milho varia de 80 a 98% em vacas lactantes alimentadas com dietas a base dessa forragem (Ferraretto; Shaver, 2012a). A digestibilidade do componente amido é influenciada pelo processamento dos grãos e pelo tempo de armazenamento no silo (Ferraretto; Shaver, 2012a, 2012b; Ferraretto et al., 2015). O interesse em aumentar a digestibilidade do amido da silagem de milho planta inteira para vacas de leite tem sido estimulado pelo alto custo de cereais no mercado. No Brasil, segundo levantamento realizado por Bernardes e Rêgo (2014), 90,4% dos produtores de leite ainda colhem a planta de milho com colhedoras acopladas ao trator e apenas 9,4% com colhedoras autopropelidas. As

colhedoras acopladas ao trator comercializadas no Brasil não dispõem de nenhum rolo processador de grãos (cracker) e isso é crítico, pois os híbridos comercializados em nosso país possuem endosperma vítreo (Correa et al., 2002) o qual é mais difícil de ser quebrado apenas pelo corte das facas.

Em experimentação recente, realizada na Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ/USP), Salvati et al. (2017) avaliaram o efeito do processamento de grãos em híbrido de milho com endosperma vítreo e o incremento em tamanho de partículas na silagem de milho sobre o desempenho de vacas leiteiras. Os tratamentos foram impostos no momento da colheita, sendo:

1. Colhedora acoplada ao trator regulada para o tamanho de corte (TC) de 6-mm PT6;
2. Colhedora autopropelida regulada para TC de 6-mm SP6;
3. Colhedora autopropelida regulada para TC de 12-mm SP12;
4. Colhedora autopropelida regulada para TC de 18-mm SP18.

Vinte quatro vacas holandesas (139 ± 63 dias de lactação) foram blocadas e alocadas em um dos seis quadrados Latinos 4 X 4, com períodos de 24 dias (18 dias de adaptação e 6 dias de coleta). As dietas formuladas continham 48,5% de silagem de milho planta inteira, 9,5% de farelo de soja, 6,9% de farelo de soja protegido, 15,1% milho seco moído fino, 15,5% polpa cítrica, 1,7% minerais e vitaminas, 1,8% de gordura protegida de palma e 1% de ureia. A composição em nutrientes como % da MS foi: 16,5% proteína bruta, 31,7% fibra em detergente neutro (FDN) e 26,1% de amido. Foram usados três contrastes ortogonais para comparação dos tratamentos, sendo:

1. PT6 vs. SP6 (efeito do processamento de grãos);
2. SP6 vs. SP12 (efeito do tamanho de partículas);
3. SP12 vs. SP18 (efeito do tamanho de partículas).

As vacas alimentadas com SP6 apresentaram aumento na produção de leite na magnitude 1,2 kg, sem efeito no consumo de matéria seca (CMS) quando comparado a PT6 (**Tabela 1**), como consequência, a eficiência alimentar (produção de leite/CMS) melhorou. Não houve diferença entre SP6 e SP12, porém quando comparado o SP12 com SP18, uma redução numérica na produção de leite foi observada ($P = 0,11$), O aumento na produção de leite foi, provavelmente, promovido pelo aumento na digestibilidade do amido no trato total. Assim como indicado pela redução no teor de amido fecal para o tratamento SP6. Além do mais, a concentração de glicose plasmática foi aumentada em $4,1 \text{ mg dL}^{-1}$ no SP6. Cooke e Bernard (2005) reportaram aumento na glicose plasmática em vacas de leite alimentadas com silagem de milho processada.

O nitrogênio ureico no leite (NUL) foi menor para o SP6. O baixo valor para NUL pode estar relacionado ao aumento da digestibilidade ruminal do amido e, assim, melhoria na assimilação do nitrogênio pelos microrganismos (National Research Council, 2001). O SP12 apresentou menor teor de proteína no leite do que SP6. O maior TC, SP18 tendeu a aumentar o amido fecal e reduzir a glicose plasmática ($P = 0,08$). Tem sido reportado na literatura que TC mais longos podem reduzir o processamento de grãos pelos rolos (Cracker) da autopropelida (Ferraretto; Shaver, 2012a). Além disso, outros fatores podem influenciar nesse aspecto, tais como propriedades do endosperma (Correa et al., 2002), maturidade (Johnson et al., 2003) e grau de processamento (Bal et al., 2000) da silagem de milho de planta inteira pode alterar

a fragmentação dos grãos e assim a digestibilidade do amido (Cooke; Bernard, 2005).

Tabela 1. Desempenho, glicose plasmática e amido fecal de vacas de leite alimentadas com dietas contendo as silagens PT6, SP6, SP12 e SP18.

Item	Tratamento				SEM	P		
	PT6	SP6	SP12	SP18		C1	C2	C3
	----- kg/d -----							
CMS	19,9	19,3	19,4	19,5	0,67	0,16	0,78	0,81
Leite	28,2	29,4	29,4	28,6	0,33	0,02	0,93	0,11
	----- kg/kg -----							
Leite/CMS	1,42	1,52	1,49	1,47	0,061	<0,01	0,28	0,43
	%							
Gordura	3,54	3,40	3,42	3,38	0,103	0,19	0,85	0,77
Proteína	3,31	3,31	3,23	3,27	0,088	0,95	0,03	0,36
Lactose	4,62	4,65	4,63	4,61	0,038	0,17	0,33	0,60
Sólidos	11,47	11,35	11,27	11,22	0,125	0,31	0,48	0,60
	----- mg/dL -----							
NUL	11,3	10,2	10,7	10,2	0,90	<0,01	0,13	0,18
Glicose plasmática	61,6	64,7	64,3	61,9	2,62	0,03	0,80	0,08
	----- % MS -----							
Amido fecal	5,8	4,4	4,7	5,7	0,48	0,03	0,61	0,08

¹Contrastes: C₁ - PT6 vs, SP6 (Efeito do processamento de grãos), C₂ - SP6 vs, SP12 (efeito do tamanho de partículas) e C₃ - SP12 vs, SP18 (efeito do tamanho de partículas).

Silagem de grão reconstituído ou reidratado

A ensilagem do grão de milho colhido seco (maduro) e reidratado constitui-se em opção à ensilagem de grão úmido, pois possibilita a importação de grãos secos de outras localidades, pela compra estratégica em momentos de conveniência de preços, além de contornar o problema da estreita janela de colheita dos grãos. Um limitante desta técnica pode ser a reduzida capacidade de moagem dos moinhos disponíveis, oferecendo potencial lentidão no processo de ensilagem. No mercado internacional, são ofertados equipamentos de moagem de grande autonomia apropriados aos empreendimentos de maior escala. Atualmente, estão disponíveis no mercado nacional equipamentos acoplados a reservatórios de água ou dotados de dispositivos para conexão à fonte de água encanada. Isso permite a hidratação e/ou aplicação de aditivos por aspersão imediata sobre o material recém-moído.

A técnica de reconstituição ou reidratação dos grãos implica adição de água suficiente para elevar a umidade do grão seco, de aproximadamente 10 – 12%, para valores em torno de 28 a 35%. A fermentação de grãos úmidos resulta em alterações na matriz proteica que circunda os grânulos de amido, levando à progressiva redução no teor da prolamina zeína. As zeínas são proteínas hidrofóbicas que envolvem os grânulos de amido, limitando sua digestão pelos ruminantes. Desse modo, a ensilagem de grãos reidratados constitui uma ferramenta para aumento de digestibilidade do amido, em decorrência da proteólise desencadeada por diversas fontes no silo, sobretudo por proteases bacterianas.



Figura 1. Colheita (A) e processamento (B) dos grãos no silo para confecção da silagem de grão úmido. Fonte: Arquivo pessoal (Gustavo Salvati).

Silagem de grão úmido

Trata-se da colheita dos grãos por uma colhedora de grãos autopropelida (**Figura 1-A**), quando o teor de umidade se encontra entre 28% e 35%. O processamento dos grãos é realizado com auxílio de um moinho de martelo ou de rolos na estrutura de armazenamento (**Figura 1-B**). Em razão da semelhança, apresenta os mesmos benefícios da silagem de grão reconstituído, porém com a janela de corte mais estreita, cerca de uma semana. Na **Tabela 2**, está apresentada a composição nutricional da silagem de grão úmido.

Snaplage

É definida como a estratégia de colheita da espiga do milho realizada por colhedoras de forragem autopropelidas adaptadas com uma plataforma de colheita de grãos, que “destacam” a espiga da planta (em inglês “to snap”) dando origem o nome da técnica (**Figura 2**). Para realizar este procedimento a plataforma de colheita de grãos deve ser maior que 8 metros, a fim de manter o fluxo de material a ser processado para garantir o padrão de picagem. Além disso, é necessário a instalação de um kit de

adaptação, que inclui um adaptador que transfira o acionamento da tomada de força também ao lado direito, um quinto rolo de alimentação, manter os rolos de alimentação mais abertos e adicionar placas para repicar as brácteas. Sendo assim, as partes da planta colhidas por essa prática são: grãos, sabugo, brácteas e partes do pedúnculo da espiga,



Figura 2. Colhedora de forragem autopropelida adaptada para colheita de snaplage. Fonte: Arquivo pessoal (Gustavo Salvati).

As proporções de cada uma das partes com relação à matéria seca estão apresentadas na **Tabela 2**. Para obter maior produtividade de amido por área, a colheita deve ocorrer após a maturidade fisiológica dos grãos (ponto preto), quando a umidade do grão deverá alcançar valores entre 28 e 40%. Valores maiores que 35% de umidade tem revelado melhores resultados de fermentação da silagem e maior valor nutritivo, principalmente por evitar perda acentuada na digestibilidade de sabugos e brácteas (Mahanna, 2008). Em estudo Soderlund et al. (2006), reportaram que o atraso de 21 dias na confecção do snaplage acarretou na redução da digestibilidade in vitro da matéria seca do sabugo em 28%. Com relação ao tamanho de partícula, o processador de grãos da forrageira deve ser ajustado para a menor distância possível

(1 - 2 mm) com a diferença de velocidade entre os rolos de 30% a 40%, para maximizar o dano ao grão. Os valores nutricionais do snaplage estão apresentados na **Tabela 3**.

Tabela 2. Fracionamento da espiga com relação à participação dos componentes na matéria seca nas diferentes práticas de ensilagem de grãos.

Item	Tipo de Silagem		
	Grão úmido	Earlage	Snaplage
Grãos de milho, %	100	84 - 90	75 - 80
Sabugo, %	0	10 - 16	10 - 15
Palha espiga, %	0	0	05 - 10

Fonte: Swanson (2018).

Tabela 3. Composição nutricional e pH dos diferentes tipos de silagem feitas a partir da planta de milho.

Item	Tipo de Silagem				
	Grão úmido/ reidratado	Earlage	Snaplage	Toplage ¹	Sil. de planta inteira
Matéria seca, %	72 - 68	68 - 64	65 - 62	34 - 40	32 - 38
Proteína, % MS	7,2 - 9,3	7,2 - 8,7	7,4 - 9,0	8,9	7,1 - 9,2
FDN, % MS	8,4 - 12,0	16 - 26	18 - 29	32	42 - 52
Amido, % MS	67 - 74	54 - 66	50 - 62	43	28 - 35
pH	4 - 4,7	3,8 - 4,2	3,8 - 4	-	3,6 - 4,2

¹Existe apenas um trabalho científico publicado sobre toplage (Shinners et al., 2015). Fonte: Hall et al. (2016).

Earlage (high moisture ear corn)

É caracterizada como a colheita da espiga de milho realizada exclusivamente pela colhedora de grãos, com ajustes para reduzir a velocidade do rotor e para abrir mais as peneiras, para possibilitar a passagem do grão e do sabugo para a caixa de armazenamento. Após o transbordo, o processamento da massa colhida é realizado no silo com a quebra dos grãos de milho e do sabugo, utilizando outro equipamento contendo uma ou mais unidades de moinhos de martelo, o mesmo que é utilizado para o processamento de silagem de grãos úmidos. Desta forma, em geral, as porções da planta ensiladas serão somente representadas pelo grão e o sabugo processados e mínima contribuição de brácteas.

Na **Tabela 2** está apresentada a composição das frações contribuintes da earlage. De forma geral, o tamanho do sabugo picado deverá ser menor do que 1,2 cm (meia polegada) (Swanson, 2018). Como não são incluídas as partes da palha da espiga (brácteas) e do pedúnculo, a earlage apresentará o teor de umidade menor que da snaplage.

O teor de umidade recomendado para a colheita da earlage é de 28% a 40%. Assim como para o snaplage, os valores nutricionais para a earlage estão apresentados na **Tabela 3**.

Toplage

Essa estratégia já configura uma mistura de volumoso e concentrado, uma vez que a parte superior da planta é colhida por uma colhedora de forragem de 6 linhas, onde 2 linhas são adaptadas com a plataforma para colheita de grãos e as demais 4 linhas estão ajustadas para altura de corte planta a 82 cm

(**Figura 3**). Desta maneira, esta silagem é composta parcialmente por espigas (grãos, sabugo, brácteas e pedúnculo) e pela parte superior (acima de 82 cm) da planta de milho. Isto representa uma silagem com composição intermediária a snaplage e a silagem de planta inteira (**Tabela 3**) (Shinners et al., 2015). O teor de matéria seca no momento da colheita para esta opção é de 35% a 40%. Ainda não existem informações do uso dessa nova tecnologia no Brasil.



Figura 3. Colhedora de forragem adaptada para colheita de toplage. Fonte: Shinners et al. (2015).

Alternativas para produção de silagem de sorgo

Caracterização estrutural e bromatológica do sorgo

O sorgo é classificado quanto ao propósito de uso em diferentes categorias: forrageiro, granífero, duplo propósito, sacarino e biomassa. Apesar de todas as categorias possibilitarem a ensilagem, abordaremos com profundidade aspectos relacionados ao sorgo forrageiro e granífero por causa da maior utilização dessas fontes na alimentação animal.

A planta de sorgo no ponto de colheita para silagem é composta majoritariamente por carboidratos (70 a 80% da matéria seca) dos quais 75% são carboidratos fibrosos. A porção vegetativa

da planta (colmo, folhas e panícula) contribui quase na totalidade com a fração fibrosa do material. O termo nutricional utilizado para referir-se a fibra é a FDN (fibra em detergente neutro), técnica rotineiramente utilizada em laboratórios de análise bromatológica, que mensura o conteúdo de celulose, hemicelulose e lignina. Com exceção da lignina, que é um composto fenólico, os demais componentes da FDN compõem os carboidratos fibrosos e possuem potencial de digestão ruminal. Apesar de a lignina ser indigestível, somente o seu teor na forragem não explica na totalidade quedas na digestibilidade da fração FDN. A forma com que a lignina interage com os feixes de celulose e hemicelulose (ligações cruzadas) exerce papel importante no processo, impactando no potencial de digestão destes componentes (Hatfield et al., 1994). Portanto entender a origem dos carboidratos fibrosos e o seu potencial de digestão permite traçar estratégias para manipular estes componentes visando aumentar sua digestão e consequentemente o valor nutricional da forragem.

A fração não fibrosa dos carboidratos no sorgo é composta majoritariamente pelo amido oriundo do grão, que dependendo do propósito da planta (forrageiro ou granífero) oscila entre 15 a 40% da massa (Base na matéria seca). Chamado tecnicamente de cariopse, o grão de sorgo é composto por aproximadamente 70% de amido. A maior parte está localizada no endosperma, que compõe 84 a 90% do grão, entretanto, o sorgo pode conter traços de amido também no pericarpo (Rooney; Miller, 1982). No endosperma também está localizado a maior parte das prolaminas (82 a 86% do total), um grupo de proteínas, que no sorgo é conhecido com Kafarinas (Taylor et al., 1984). Estas proteínas circundam os grânulos de amido, dificultam o acesso microbiano, reduzindo a digestão ruminal (McAllister, 1994). O

endosperma do sorgo é dividido em periférico e córneo. Na região periférica, a concentração proteica é muito elevada, justificando a maior rigidez comparada à região córnea, dificultando injúrias mecânicas.

O gérmen contribui com aproximadamente 9% da massa do grão e é onde concentra os teores mais elevados de proteínas e lipídeos (18 e 28%, respectivamente) (Rooney; Miller, 1982). Apesar da elevada concentração de nutrientes, a sua contribuição na composição total é pouco expressiva por causa da baixa proporção no grão. Revolvendo todo o endosperma e o gérmen, o pericarpo compõe aproximadamente 6% da massa do grão. Apesar da pequena contribuição proporcional, o pericarpo é responsável por conferir proteção, resistência, e uma pequena reserva de nutrientes.

O processo de digestão ruminal é modulado pela ação dos microrganismos presentes no rúmen, que são limitados por barreiras físicas e químicas. O primeiro fator a considerar para que a digestão ocorra é o acesso microbiano ao substrato. No próximo tópico trataremos de estratégias envolvendo o processo de ensilagem de sorgo com o objetivo de atuar tanto nas barreiras físicas e químicas buscando aumentar o valor nutricional do alimento através da prática de ensilagem.

Processamento e tempo de armazenamento

As colhedoras de forragem atuais, sejam elas automotrizes ou acopladas a trator, trazem consigo dispositivos mecânicos que tem por finalidade causar injúria física nos grãos. Entretanto, o grande foco de desenvolvimento destes equipamentos é voltado para a cultura do milho, que possui grãos de tamanho superior

ao do sorgo facilitando o processamento. Abdelhadi e Di Lorenzo (2017) avaliaram o potencial de digestão de sorgo granífero em estágio avançado de maturação (~50% MS) colhido por colhedoras de forragem automotriz com diferentes processadores. O ajuste para tamanho teórico de corte foi de 15,0 mm e distância entre rolos de 1,0 mm. Foram avaliados dois diferentes processadores (Convencional vs. Shredlage®) e um tratamento controle sem presença de processador de grãos. A digestibilidade in situ (24h) do amido foi 10,2 unidades percentuais maior no material colhido com máquinas que possuíam processador comparado com máquinas sem processador (36,2 vs. 46.4%; $P < 0.01$). Não foram observadas diferenças entre os processadores convencionais e Shredlage® (45.3 vs. 47.5%; $P = 0.76$). Esse resultado indica potencial de utilização destes equipamentos para colheita de sorgo granífero em estágio avançado de maturação com posterior ensilagem sem processamento adicional ao da colheita.

Da mesma forma como proposto para silagem de milho através do KPS (Kernel Processing Score), foi desenvolvido por Johnson et al. (2016) um método para avaliar o grau de processamento em silagens de sorgo. O "Berry Processing Score" (BPS) utiliza um conjunto de peneiras com crivos de diferentes diâmetros na qual o BPS é calculado pela divisão entre o amido que passa pela peneira de 1,70 mm e o retido acima da peneira de 1,70 mm. Essa medida sugere que o amido que passa pelo crivo de 1,70 mm possui alto potencial de digestão ruminal.

Em experimentação recente, realizada na Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ/USP), Santos et al. (2017) desenvolveram um trabalho de pesquisa para avaliar in vitro a cinética de degradação das partículas retidas em cada peneira do conjunto (2,36; 1,70; 1,18; 0,6 mm e fundo). Foram utilizadas

silagens de sorgo reidratado armazenadas por 30 ou 90 dias com e sem adição de aditivo químico (Benzoato de sódio). A produção de gás acumulada (**Figura 4**) foi semelhante para partículas com tamanho inferior ou igual a 1,70 mm. A taxa de produção de gás das partículas retidas acima das peneiras de 1.70 mm não diferiu estatisticamente entre os tratamentos, entretanto, a produção de gás acumulada às 72 horas caiu pela metade quando a peneira de 2,36 mm foi comparada com as demais (**Figura 4**). Estes dados sugerem que partículas grosseiras (>1,70 mm) necessitam maior tempo de permanência no ambiente ruminal para que possam atingir patamares de degradação semelhante a partículas menos grosseiras (<1,70 mm).

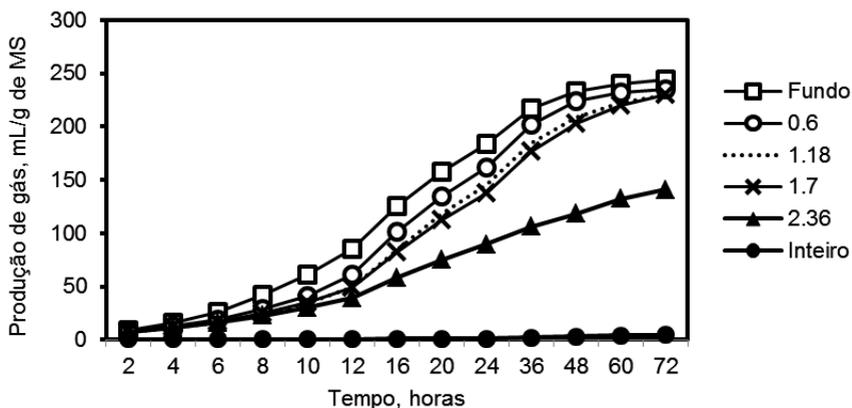


Figura 4. Produção acumulada de gás in vitro em silagem de sorgo grão inteiro em função das frações retidas nas peneiras de 2,36; 1,7; 1,18 e 0,6 mm de diâmetro de crivo e fundo (Santos et al., 2017 - dados não publicados).

Outro fator que aumenta a digestão do amido é o tempo que a silagem permanece estocada. Segundo Kung Jr. et al. (2018) tempos prolongados de armazenamento podem proporcionar ganhos na digestão do amido em até 10 unidades percentuais.

O aumento na digestão do amido, em função do tempo, ocorre em maior parte, em função da ação proteolítica de enzimas secretadas por bactérias durante a fermentação (Junges et al., 2017). Como consequência da quebra das proteínas, ocorre um aumento na concentração de nitrogênio amoniacal nas silagens, podendo está variável ser utilizada como parâmetro para inferir sobre a degradação das proteínas e do amido.

Tempo de estocagem e processamento devem ser ferramentas complementares. É necessário que certo grau de processamento físico ocorra no grão para que os ganhos inerentes ao tempo de estocagem sejam aditivos. Santos et al. (2017) observaram que silagens de grão reidratado de sorgo, armazenadas por noventa dias tiveram taxas de degradação maior comparado a silagens armazenadas por trinta dias (**Figura 5**).

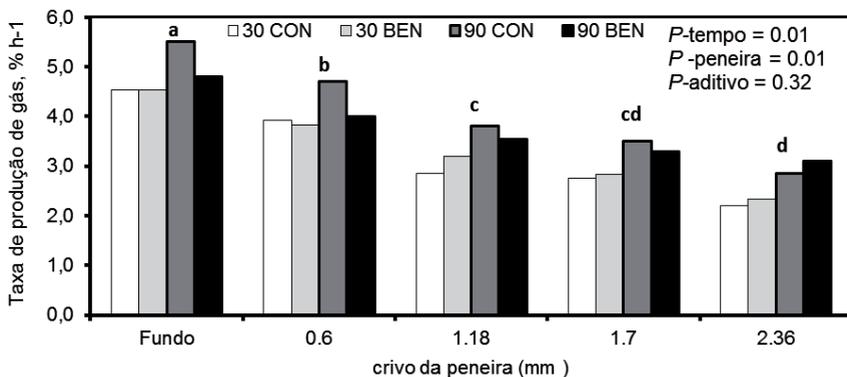


Figura 5. Cinética de produção de gás in vitro de silagens de sorgo grão reidratado, fracionada pelas peneiras de 2,36; 1,7; 1,18 e 0,6 mm de diâmetro de crivo e fundo (Santos et al., 2017 - dados não publicados).

Como não houve efeito de aditivo ($p > 0.10$; **Figura 5**) excluimos o fator do modelo e testamos os efeitos isolados de tempo de

armazenamento e distribuição de partículas (**Figura 6**). Ambos os fatores, tempo de estocagem e processamento, aumentam a taxa de degradação. O tempo prolongado de ensilagem tende a compensar a perda na taxa de produção de gás *in vitro* em função de acréscimos no tamanho de partículas. Em termos aplicáveis, podemos dizer que moagens grosseiras necessitam de maior tempo de armazenamento para que o potencial máximo de digestão seja alcançado.

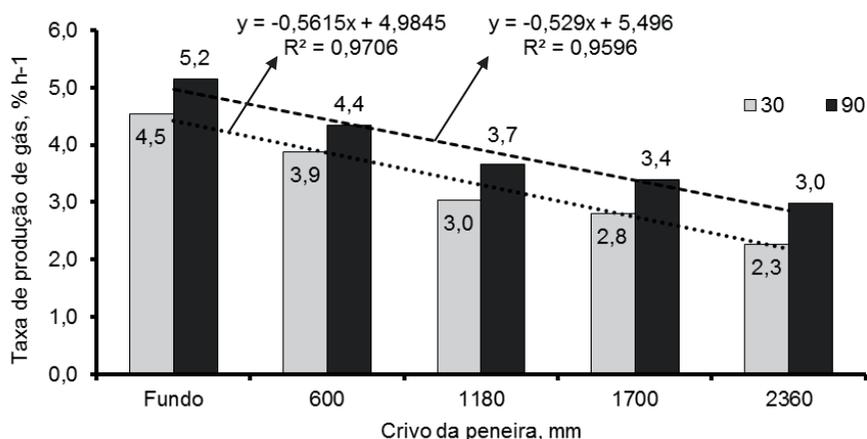


Figura 6. Cinética de produção de gás *in vitro* de silagens de sorgo grão reidratado armazenadas por 30 ou 90 d em função do fracionamento pelas peneiras de 2,36; 1,7; 1,18 e 0,6 mm de diâmetro de crivo e fundo (Santos et al., 2017 - dados não publicados).

Desempenho de vacas leiteiras alimentadas com silagens de sorgo grão reidratado

A resposta animal em função de aumentos na digestão do amido resulta em ganhos de eficiência energética do sistema, podendo ser através de ganhos em produção sem alteração de consumo ou redução no consumo sem alterar a produção. Santos et al.

(2017) realizaram dois ensaios com animais, avaliando diferentes estratégias de armazenamento de silagens de sorgo grão reidratado. Foram utilizadas vacas holandesas em lactação com produções médias de 30 kg/d. O fator principal dos estudos foi avaliar o impacto do tempo de armazenamento no desempenho animal. No primeiro experimento comparamos sorgo grão moído fino (peneira com crivo de 2 mm, moinho de martelo) com sorgo reidratado ensilado e estocado por noventa dias. Não houve diferença na produção de leite ($P = 0.57$), entretanto, o consumo de matéria seca reduziu 1.1 kg/d ($P < 0.01$) quando sorgo ensilado substituiu sorgo seco.

No segundo experimento, a resposta se comportou de forma oposta. Não houve diferença do consumo de matéria seca ($P = 0.84$) e a produção de leite tendeu ($P = 0.10$) a ser 1.2 kg/d, maior no tratamento ensilado por 90 d comparado ao ensilado por 30 d (Figura 7). Em ambos os experimentos a eficiência alimentar (Leite/CMS) foi maior nos tratamentos com silagens estocadas por 90 d na magnitude de 5%.

O aumento na eficiência energética é resultado da maior digestão do amido no trato total, proporcionando maior aporte de energia por unidade de matéria seca ingerida. A digestibilidade do amido no experimento 1 foi de 79,1 vs. 87,2% ($P < 0.01$) para sorgo seco comparado ao ensilado por 90 d, e de 86,9 vs. 89,3% ($P = 0.03$) no experimento 2, comparando sorgo ensilado por 30 ou 90 dias. Esses resultados evidenciam os ganhos nutricionais relacionados a práticas de manejo durante a ensilagem e armazenamento e aumenta a possibilidade de uso do sorgo em substituição ao milho.

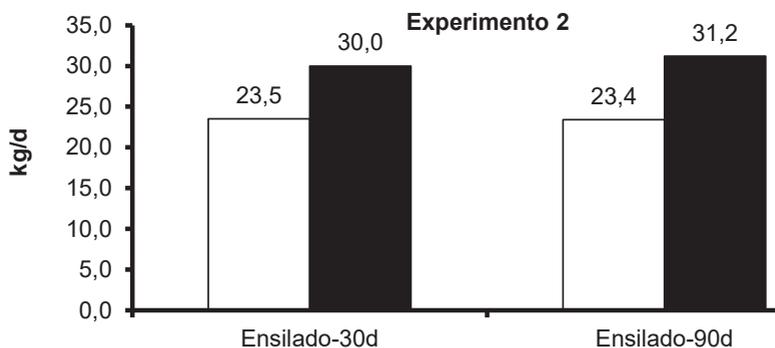
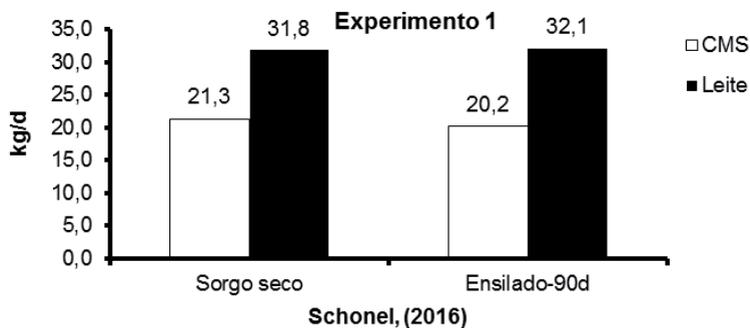


Figura 7. Desempenho de vacas leiteiras alimentadas com silagens de sorgo grão reidratado armazenadas por diferentes tempos de estocagem.

Considerações finais

A atividade pecuária deve ser encarada de forma profissional, em que cada etapa do sistema de produção deve ser cuidadosamente ajustada para reduzir os desperdícios e aumentar a eficiência das operações. Assim, a conservação de alimentos através da ensilagem é uma etapa importante do processo de modernização da propriedade rural e deve ser realizada de forma correta e com atenção em pontos essenciais para um bom produto final.

Como foi visto anteriormente, ficou claro o efeito positivo do processamento dos grãos no momento da produção de silagem de planta inteira de milho, pois além do aumento da produção de leite, houve aumento da eficiência alimentar dos animais, em razão do melhor aproveitamento do amido vindo dos grãos da silagem. Por outro lado, o elevado tamanho de partícula do corte da silagem pode limitar o desempenho dos animais, mesmo com o processamento dos grãos. Assim, é importante combinar a redução do tamanho de partícula do corte com o processamento dos grãos, pois a qualidade da silagem é um dos fatores que reflete no desempenho produtivo da fazenda ao longo do ano, logo, maior atenção deve ser dada a esta etapa tão importante.

Quanto à ensilagem de grãos, a silagem de grão de sorgo reidratado se mostrou como uma ótima alternativa ao uso do grão seco, pois além das vantagens operacionais de maior janela de colheita ou possibilidade de compra do insumo no momento de baixa nos preços, a utilização da silagem de grão de sorgo reidratado foi superior ao uso de sorgo moído seco, em razão da maior eficiência alimentar dos animais. E, ainda, o maior o tempo de estocagem da silagem de grão de sorgo reidratado está relacionado com o aumento da digestibilidade do amido do grão. Indicando, assim, que o planejamento alimentar da fazenda pode contribuir para o aumento da eficiência do uso nos ingredientes, uma vez que o maior tempo de estocagem também contribuiu para o aumento da eficiência alimentar dos animais.

Agradecimentos

Agradecemos ao apoio institucional da ESALQ/USP e ao apoio à pesquisa das agências de fomento FAPESP, CNPq e CAPES.

Referências

ABDELHADI, L. O.; DI LORENZO, N. Shredlage technology: a key to expanding grain sorghum silage. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON FORAGE QUALITY AND CONSERVATION, 5., 2017, Piracicaba. **Proceedings...** Piracicaba: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2017. p. 107-119.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO MILHO. **Estatísticas**. 2014. Disponível em: <<http://www.abimilho.com.br/estatisticas>>. Acesso em: 7 jun. 2018.

BAL, M. A.; SHAVER, R. D.; JIROVEC, A. G.; SHINNERS, K. J.; COORS, J. G. Crop processing and chop length of corn silage: effects on intake, digestion, and milk production by dairy cows. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 83, n. 6, p. 1264-1273, 2000.

BEAUCHEMIN, K. A.; McALLISTER, T. A.; DONG, Y.; FARR, B. I.; CHENG, K.-J. Effects of mastication on digestion of whole cereal grains by cattle. **Journal Animal Science**, Champaign, v. 72, n. 1, p. 236-246, 1994.

BERNARDES, T. F.; RÊGO, A. C. do. Study on the practices of silage production and utilization on Brazilian dairy farms. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 97, n. 3, p. 1852-1861, 2014.

BRADFORD, B. J.; ALLEN, M. S. Philorizin administration does not attenuate hypophagia induced by intraruminal propionate infusion in lactating dairy cattle. **The Journal of Nutrition**, Rockville, v. 137, n. 2, p. 326-330, 2007.

COOKE, K. M.; BERNARD, J. K. Effect of kernel processing and theoretical length of cut of corn silage on performance of lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 88, n. 1, p. 310-316, 2005.

CORREA, C. E. S.; SHAVER, R. D.; PEREIRA, M. N.; LAUER, J. G.; KOHN, K. Relationship between corn vitreousness and ruminal in situ starch degradability. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 85, n. 11, p. 3008-3012, 2002.

DIAS JUNIOR, G. S.; FERRARETTO, L. F.; SALVATI, G. G. S.; RESENDE, L. C. de; HOFFMAN, P. C.; PEREIRA, M. N.; SHAVER, R. D. Relationship between processing score and kernel-fraction particle size in whole-plant corn silage. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 99, n. 4, p. 2719-2729, 2016.

FERRARETTO, L. F.; SHAVER, R. D. Meta-analysis: effect of corn silage harvest practices on intake, digestion and milk production by dairy cows. **The Professional Animal Scientist**, v. 28, n. 2, p. 141-149, 2012a.

FERRARETTO, L. F.; SHAVER, R. D. Effect of Corn Shredlage on lactation performance and total tract starch digestibility by dairy cows. **The Professional Animal Scientist**, v. 28, n. 6, p. 639-647, 2012b.

FERRARETTO, L. F.; DIAS JUNIOR, G. S.; RESENDE, L. C. de; SHAVER, R. D. Effect of ensiling on kernel processing score in whole-plant corn silage harvested with varied processors and settings. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 98, p. 689, 2015. Supplement.

FIRKINS, J. L.; EASTRIDGE, M. L.; ST-PIERRE, N. R.; NOFTSGER, S. M. Effects of grain variability and processing on starch utilization by lactating dairy cattle. **Journal Animal Science**, Champaign, v. 79, p. E218-E238, 2001. Supplement.

HALL, T.; SCHMIDT, R.; CHARLEY, B. **Maximize value of on-farm high-moisture corn grain products**. 2016. Disponível em: <<https://www.progressivedairy.com/topics/feed-nutrition/maximize-value-of-on-farm-high-moisture-corn-grain-products>>. Acesso em: 13 fev. 2018.

HATFIELD, R. D.; JUNG, H. G.; RALPH, J.; BUXTON, D. R.; WEIMER, P. J. A comparison of the insoluble residues produced by the Klason lignin and acid detergent lignin procedures. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 65, n. 1, p. 51-58, 1994.

HOFFMAN, P. C.; ESSER, N. M.; SHAVER, R. D.; COBLENTZ, W. K.; SCOTT, M. P.; BODNAR, A. L.; SCHMIDT, R. J.; CHARLEY, R. C. Influence of ensiling time and inoculation on alteration of the starch protein matrix in high-moisture corn. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 94, n. 5, p. 2465-2474, 2011.

HUDSON, D. **Is snaplage a 'Good Fit' for dairy farmers in the Northeast?** Disponível em: <https://pss.uvm.edu/vtcrops/articles/Snaplage_FS.pdf>. Acesso em: 13 fev. 2016.

HUNTINGTON, G. B. Starch utilization by ruminants: from basics to the bunk. **Journal Animal Science**, Champaign, v. 75, n. 3, p. 852-867, 1997.

JOHNSON, J. R.; GOESER, J. P.; BROUK, M. Development of a berry processing score for sorghum silage. **Kansas Agricultural Experimental Station Research Report**, v. 2, n. 9, p. 1-6, 2016.

JOHNSON, L. M.; HARRISON, J. H.; DAVIDSON, D.; MAHANNA, W. C.; SHINNERS, K. Corn silage management: effects of hybrid, chop length, and mechanical processing on digestion and energy content. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 86, n. 1, p. 208-231, 2003.

JUNGES, D.; MORAES, G.; SPOTO, M. H. F.; ADESOGAN, A. T.; NUSSIO, L. G.; DANIEL, J. L. P. Short communication: Influence of various proteolytic sources during fermentation of reconstituted corn grain silages. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 100, n. 11, p. 9048-9051, 2017.

KOTARSKI, S. F.; WANISKA, R. D.; THURN, K. K. Starch hydrolysis by the ruminal microflora. **Journal of Nutrition**, Rockville, v. 122, n. 1, p. 178-190, 1992.

KUNG JR., L.; SHAVER, R. D.; GRANT, R. J.; SCHMIDT, R. J. Silage review: interpretation of chemical microbial and organoleptic components of silages. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 101, n. 5, p. 4020-4033, 2018.

MAHANNA, B. Renewed interest in snaplage displayed. **Feedstuffs**, v. 80, n. 50, p. 1-3, 2008.

MARTIN, N. P.; RUSSELLE, M. P.; POWELL, J. M.; SNIFFEN, C. J.; SMITH, S. I.; TRICARICO, J. M.; GRANT, R. J. Invited review: sustainable forage and grain crop production for the US dairy

industry. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 100, n. 12, p. 9479-9494, 2017.

McALLISTER, T. A.; BAE, H. D.; JONES, G. A.; CHENG, K. J. Microbial attachment and feed digestion in the rumen. **Journal Animal Science**, Champaign, v. 72, n. 11, p. 3004-3018, 1994.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient requirements of dairy cattle**. 7th rev. ed. Washington: National Academy of Sciences, 2001.

OBA, M.; ALLEN, M. S. Effect of corn grain conservation method on ruminal digestion kinetics for lactating dairy starch concentration. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 86, n. 1, p. 184-194, 2003.

OWENS, F. N.; GOETSCH, A. L. Digest passage and microbial protein synthesis. In: MILLIGAN, L. P. (Ed.). **Control on digestion and metabolism in ruminants**. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1986. v. 8, p. 196-223.

PEREIRA, M. N.; VON PINHO, R. G.; BRUNO, R. G. da S.; CALESTINE, G. A. Ruminal degradability of hard or soft texture corn grain at three maturity stage. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 61, n. 4, p. 358-363, 2004.

PHILIPPEAU, C.; MICHALET-DOREAU, B. Influence of genotype and ensiling of corn grain on in situ degradation of starch in the rumen. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 81, n. 8, p. 2178-2184, 1998.

PIRES, A. V.; SUSIN, I.; SIMAS, J. M. C.; SANTOS, F. A. P.; MENDES, C. Q.; OLIVEIRA JÚNIOR, R. C.; FERNANDES, J. J. R.; ARAUJO,

R. C. Substituição de silagem de milho por cana-de-açúcar e caroço de algodão nos parâmetros ruminais, síntese de proteína microbiana e utilização dos nutrientes em vacas lactantes. **Ciência Animal Brasileira**, Goiânia, v. 9, n. 1, p. 50-58, 2008.

ROONEY, L. W.; MILLER, F. R. Variation on the structure of the kernel characteristics of sorghum. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SORGHUM GRAIN QUALITY, 1982, Patancheru, India. **Proceedings**.... Patancheru: ICRISAT, 1982. p. 28-31.

SALVATI, G. G. S.; SANTOS, W. P.; SILVEIRA, J. M.; GRITTI, V. C.; ARTHUR, B. A. V.; SALVO, P. A. R.; RIBEIRO, A. P.; LIMA, T. A. D.; MORAIS JÚNIOR, N. N.; NUSSIO, L. G. Impact of kernel processing and particle size in whole plant corn silage on the performance of dairy cows. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON FORAGE QUALITY AND CONSERVATION, 5., 2017, Piracicaba. **Proceedings**... Piracicaba: Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2017.

SANTOS, W. P.; SALVATI, G. G. S.; FACHIN, L.; SALVO, P. A. R.; SILVEIRA, J. M.; FRANCIETTO, G. H.; OLIVEIRA, K. S.; DANIEL, J. L.; NUSSIO, L. G. Effect of sodium benzoate and length of storage in rehydrated sorghum grain silage on dairy cows performance. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON FORAGE QUALITY AND CONSERVATION, 5., 2017, Piracicaba. **Abstracts**... Piracicaba: Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2017.

SCHÖNELL, E. P. **Silagem de grão de sorgo reconstituído para vacas leiteiras**. 2016. 106 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2016.

SHINNERS, K.; NIGON, B.; COOK, D. Toplage: a corn silage between high-cut & snaplage. **Forage Focus**, 2015. Disponível em: <<http://www.midwestforage.org/pdf/944.pdf>>. Acesso em: 13 fev. 2018.

SODERLUND, S. D.; UHRIG, J.; CURRAN, B.; NUZBACK, L. **Influence of maturity on the yield and nutritional quality of four Pioneer hybrids harvested as high-moisture ear corn**. Johnston: Pioneer, 2006. (Pioneer Nutritional Insights).

SWANSON, K. **Harvesting and feeding high moisture corn, ear corn and snaplage**. Disponível em: <<https://www.hubbardfeeds.com/tipsandtools/beef/beef-tech-line-archive/harvesting-and-feeding-high-moisture-corn-ear-corn-and-snaplage>>. Acesso em: 18 fev. 2018.

TAYLOR, C. C.; ALLEN, M. S. Corn grain endosperm type and brown midrib 3 corn silage: feeding behavior and milk yield of lactating cows. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 88, n. 4, p. 1425-1433, 2005.

TAYLOR, J. R. N.; NOVELLIE, L.; LIEBENBERG, N. V. D. W. Sorghum protein body composition and ultrastructure. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 61, p. 69-73, 1984.

Capítulo 12

Impacto na Qualidade da Silagem nos Sistemas de Produção de Leite e Carne

Dimas Antonio Del Bosco Cardoso

Introdução

A silagem de milho ocupa importante área de cultivo no Brasil, porém, não possuímos levantamentos oficiais neste importante segmento. A estimativa atual de área de silagem no Brasil, segundo a Associação Paulista dos Produtores de Sementes (APPS), totaliza cerca de 1,65 milhão de hectares, sendo sua maior parte na safra verão (1,20 milhão de ha), o que corresponde atualmente a 10% da área plantada total com milho no Brasil e cerca de 24% do milho plantado na safra verão ou 1ª safra, segundo os últimos dados de área plantada de milho no Brasil.

Segundo a APPS, a área de sorgo silageiro em 2016, situou-se em torno de 260.000 ha plantados, de acordo com o volume de sementes comercializados. Somando-se o milho e o sorgo para silagem, temos algo próximo a 1,91 milhão de hectares, o que é muito significativo no mercado, pois em muitas regiões e municípios no Sudeste, Sul e parte do Centro-Oeste, se tem mais de 70% da área de milho verão em silagem, já que a maior parte da área de milho grãos está na 2ª safra ou safrinha em sucessão à soja.

As áreas de atividade de pecuária leiteira (**Figura 1**) concentram-se na safra verão do Centro Oeste/Leste/Sul do Brasil, em grande parte distante das regiões produtoras de grãos, o que encarece os concentrados energéticos, tornando-se um gargalo no custo de produção de carne e de leite.

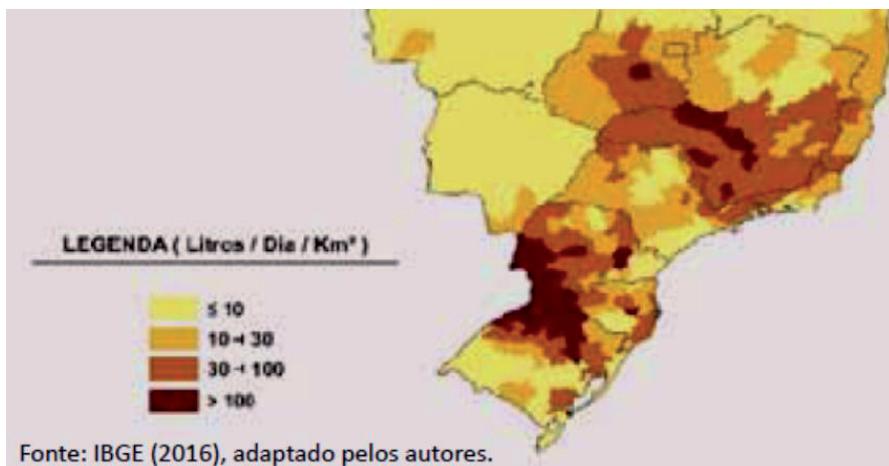


Figura 1. Concentração da produção de leite em litros/dia/Km² no Centro Sul do Brasil.

Silagem de milho

O uso de silagem sempre foi um item muito importante para uma atividade pecuária mais eficiente no Brasil. A silagem deixa de ser no passado, uma simples alternativa de conservação de forragem a ser fornecida na época da seca, para ser uma opção viável de qualidade, o suficiente para baixar o custo de produção animal com a redução do uso dos concentrados energéticos, cuja matéria-prima é à base de commodities que atualmente são muito valorizadas no mercado, com o aumento no volume das exportações.

A silagem também serve para suportar o avanço de uso principalmente nos sistemas de confinamento, semiconfinamento e atender à exigência alimentar de animais de alta performance e genética, melhorando a produtividade, o score corporal e o rendimento de carcaça em bovinos de corte.

Para se ter uma silagem de alta qualidade, dividimos em 3 fases distintas:

Parte agrônômica: É de fundamental importância que tenhamos excelência na condução e manejo das lavouras de milho e sorgo, sob condições sustentáveis, as chamadas “boas práticas culturais” para se ter uma silagem de altos índices energéticos e de baixo custo, que segundo trabalhos do Prof. Thiago Bernardes da UFLA, pode chegar a mais de R\$ 0,20 por cabeça/dia;

Ensilagem: Um excelente processo de ensilagem, que vise reduzir ao máximo as perdas, conservar o alimento por longo período, manter a qualidade do alimento ensilado, e finalmente, atender às exigências dos animais de alto padrão produtivo e genético.

Amostragem: Para realizar análises bromatológicas para fazer um bom arraçamento econômico com estes benefícios, de modo tornar a atividade de leite e de carne mais rentáveis. As regras de uma boa eficiência na pecuária, é que o produtor de leite não gaste mais do que 50% do custo do leite com a alimentação¹, e no caso do gado de corte, limitada a 25 a 29% do custo da arroba, visto que a reposição de animais ainda é o custo mais importante nesta atividade².

¹Dados obtidos em palestra técnica de Jackson Oliveira, Embrapa Gado de Leite.

²Dados obtidos em relatório mensal da Scot Consultoria divulgado na mídia e em eventos técnicos.

Do ponto de vista de manejo agrônômico sustentável da lavoura para silagem, destacamos os seguintes gargalos técnicos e soluções para uma silagem de alta qualidade:

Necessidade de melhoria da estrutura dos solos de silagem, recuperando a matéria orgânica e o percentual de carbono (palha) através de rotação de culturas de inverno (aveia, trigo forrageiro, azevém, cevada, milho e braquiária).

Também destacamos a necessidade de descompactação através de implementos, para se ter maior porosidade e capacidade de infiltração de água.

O sistema ILP é de fundamental importância para as áreas de silagem, pois além de melhoria na estrutura e fertilidade das áreas, reúne todas as vantagens acima para permitir cobertura do solo e o plantio direto em silagem, além da recuperação de áreas de pastagens degradadas.

Há a necessidade de uma adubação mais intensa e equilibrada para silagem, considerando altos níveis de nitrogênio e potássio extraídos, por estarmos levando toda a parte aérea da cultura (em média 80% do K absorvido que deveria retornar na palhada do milho). Em silagem, trabalha-se extração de nutrientes e não exportação de nutrientes como fazemos para grãos. O nível de extração em silagem é em torno de 3,0 a 3,5 Kg N, 0,5 Kg/ha P₂O₅ e de 2,5 a 3,0 Kg de K₂O por tonelada de massa verde produzida com 33% de MS. (Média de 6 autores de fertilidade dos solos).

Muitos produtores pecuaristas não são profissionais na agricultura, então há grande necessidade de acompanhamento

técnico nas lavouras para silagem, de modo a atingir a excelência nos resultados.

A regulagem precisa da semeadora e a velocidade de plantio de 5 a 6 km/h visam um bom estande final e uma boa distribuição entre as plantas, e representam mais de 50% do sucesso de uma lavoura. É considerada uma tecnologia de custo "zero", representando muitos ganhos em produção e qualidade da silagem.

O monitoramento de pragas é muito importante, pois não só a lagarta-rosca (*Agrotis ipsilon*) e lagarta-do-cartucho (*Spodoptera frugiperda*), mas diversos percevejos, cigarrinha (*Dalbulus maydis*), pulgão e ácaros têm atacado as lavouras, causando danos irreversíveis e transmitindo doenças, até causando a morte ou esterilidade de plantas.

A escolha do híbrido é de fundamental importância para silagem, principalmente no aspecto de alta produtividade de grãos (65% da energia da silagem advém do amido dos grãos) e na maior digestibilidade da fibra (%DFDN ou %TTNDFD), bem como outros atributos importantes como a tolerância ao acamamento, quebraimento verde e doenças. Híbridos para silagem devem ter de preferência, grãos mais profundos, independente da textura, que facilitem o processamento deles pelas máquinas ensiladeiras e exponha a maior parte do amido para digestão no rúmen do animal.

O uso de fungicidas tem se intensificado, mas muitos produtores não possuem equipamentos para pulverização após a fase V7/V8 no milho. Para esses produtores, híbridos sensíveis a doenças como a ferrugem-polissora em áreas baixas e *Phaesphaeria* (mancha-branca) em áreas de transição e altitude, devem ser

evitados, pois podem ocorrer mais tardiamente na lavoura e levar a perdas consideráveis de massa e qualidade.

Trabalhos sobre a influência do uso de fungicidas na qualidade de silagem, foi realizado pelo Departamento de Desenvolvimento de Produtos da Riber-KWS Sementes Ltda em Patos de Minas e Tupaciguara-MG na safra verão 2014/15 e 2015/16, evidenciando ganhos em produtividade e na qualidade da silagem. Houve sensível melhoria nos níveis de energia e de amido, com redução nos valores das fibras, acarretando melhoria significativa na qualidade da silagem, e na performance animal. Foi realizada uma aplicação de triazol + estrobilurina (Approach prima) + surfactante (Aúreo) em estágio V8 em 5 híbridos de milho (**Figuras 2 e 3**).

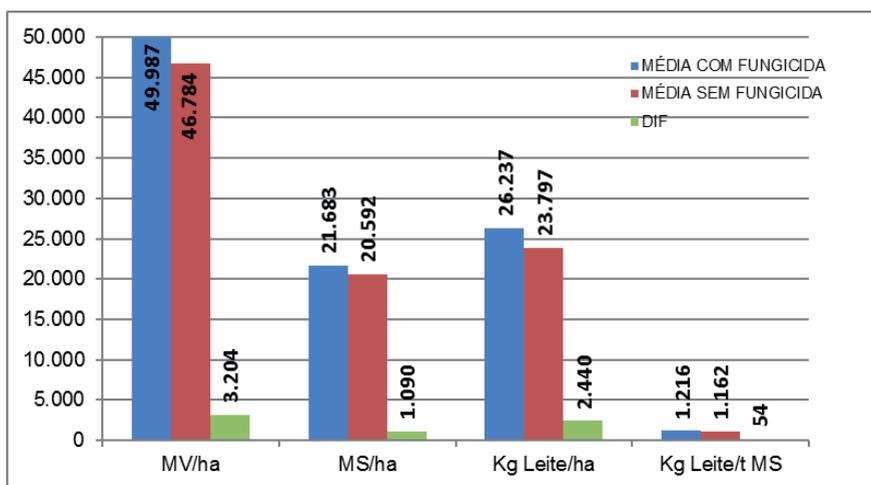


Figura 2. Rendimentos de massa verde, matéria seca, kg de leite por ha e kg de leite por t de MS consumida, comparando-se as silagens com uso de fungicida versus sem fungicida.

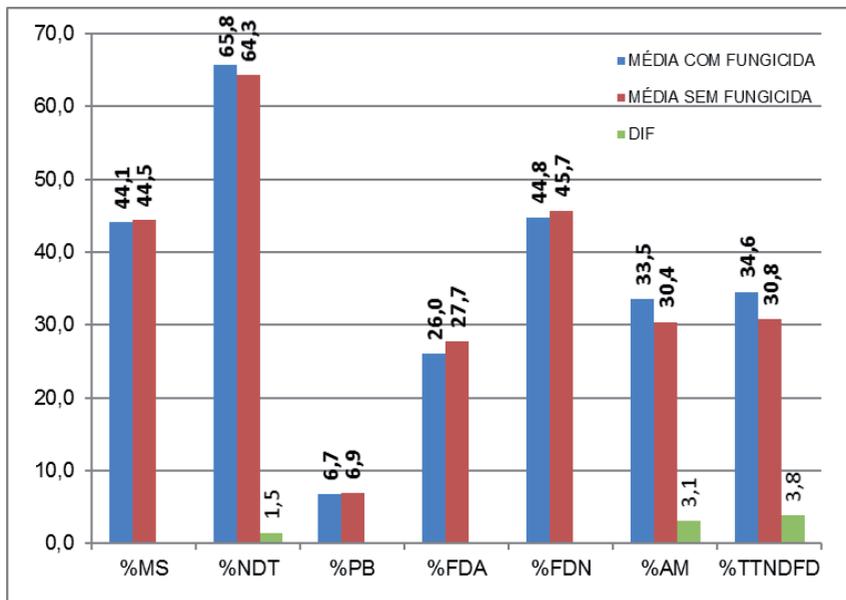


Figura 3. Parâmetros bromatológicos obtidos comparando-se as silagens com uso de fungicida versus sem fungicida.

Nos 2 anos estudados, houve um ganho médio de 3.204 kg ha⁻¹ de Massa verde, 1.090 kg ha⁻¹ de MS e 2.440 kg leite ha⁻¹. Os ganhos em bromatologia revelam aumento significativo na digestibilidade da planta, %NDT e % de Amido, e na simulação de dieta com fungicida vs sem fungicida houve ganhos de 1,5 kg leite/cab/dia ou 140 g carne/cab/dia, em função da melhoria na qualidade da silagem.

Do ponto de vista de melhorias no processo de ensilagem, destacamos os seguintes gargalos e soluções para uma alta qualidade de silagem:

O ponto de colheita: Deve-se respeitar um intervalo limite de teor de matéria seca entre 30 a 37% (ideal entre 32 a 35%MS), onde a

planta atinge sua maturidade, acúmulo de amido e concentração de carboidratos, e ainda possui uma umidade adequada para um bom processo de ensilagem e fermentação. O teste de matéria seca poderá ser em metodologia para micro-ondas ou equipamento Koster, retirando-se cerca de 10 a 20 plantas no meio da gleba, proceder a picagem, uniformizar e retirar uma amostra para proceder a secagem e as sucessivas pesagens.

Se cortar antes de 30% de matéria seca, vamos ter muita água na silagem, baixo teor de carboidratos (energia), presença de efluentes, difícil queda do pH, e com isto, desenvolvimento de bactérias indesejáveis como clostridium, coliformes e leveduras, que vão produzir ácido butírico, acético, proteínas convertidas em amônia e alto consumo de carboidratos, reduzindo ainda mais a qualidade e a energia da silagem. Segundos dados da Fundação ABC, para cada 1% a menos de MS abaixo de 30%, se perdem 3 sacas de grãos por ha em média.

Se cortar acima de 37% de matéria seca, podemos perder por não conseguir uma uniformidade de partículas, processamento de grãos e compactação adequada (efeito colchão), com a presença de muita água, oxigênio, bactérias indesejáveis como as coliformes e enterobactérias que dificultam a queda do pH, produzindo muito ácido acético, consumindo carboidratos e reduzindo os níveis de energia da silagem. Também costuma ocorrer maior presença de fungos e micotoxinas na silagem, que são deletérias aos animais (Santúrio, 2003). Neste caso, deve-se optar por partículas menores (5 a 7 mm) e distribuir camadas mais finas (12 a 15 cm) para melhorar o nível da compactação.

A linha de leite entre 1/3 a 3/4 já foi uma boa referência para colheita no ponto de ensilagem, porém em situações de stress

hídrico, geada ou híbridos de “stay green” pronunciados, muitas vezes não batem com o teor de matéria seca adequado à linha de leite. A preferência deve ser sempre pelo teor de matéria seca e iniciar a colheita acima de 30% de matéria seca.

A altura de corte ideal fica acima de 25 cm de altura, de preferência 30 a 40 cm nos híbridos de porte mais elevado, para evitar problemas de contaminação por detritos e microrganismos indesejáveis na silagem (bactérias e fungos deletérios). Além do mais, cortar rente ao solo pode favorecer a quebra de máquinas por algum material na linha.

O tamanho de partículas é outro importante gargalo no processo de ensilagem, em que segundo levantamentos da fundação ABC no Paraná, mais de 80% das silagens picadas não se encontram com níveis de tamanho ideal e uniformidade de partículas. Normalmente é causa da falta de regulagem de distância entre facas e contrafacas, ou da falta de amolar as facas com frequência e contrafacas com desgastes na máquina ensiladora.

Se predominantemente grandes as partículas, isto pode causar seleção no cocho pelos animais, gerando grande descarte ao final do dia. Haverá sobras de cocho.

Se predominantemente pequenas e muito processadas, ocorrerão problemas metabólicos de falta de fibra efetiva, tais como a acidose, laminite, ou até levar a torção de abomaso, passível de cirurgia aos animais.

O ideal é estar entre 7 a 12 mm para máquinas menores, e de 18 a 22 mm nas colhedoras automotrizes, sempre visando à uniformidade e o processamento dos grãos. Amolar as facas

no mínimo duas vezes ao dia. A distância ideal entre as facas e contrafacas, na prática, é semelhante à largura de uma folha de papel sulfite A4.

Os grãos devem estar processados e não pode haver mais que 2 a 3 grãos inteiros na amostragem de 1 litro (copo), podendo ocorrer muitas perdas de amido fecal neste caso. A cada 1% de amido fecal, perdem-se 350 ml leite nas fezes (Ferguson, 2005, citado por Huibregtse et al., 2012). A meta é ficar na dieta total com no máximo 5% de perdas de amido fecal.

Para checar às partículas, utiliza-se o equipamento desenvolvido na Universidade de Pensilvânia, nos Estados Unidos, as chamadas peneiras Penn State, para controle de tamanho e frequência das partículas de diferentes tamanhos, simulando a separação ideal no aparelho digestivo do animal.

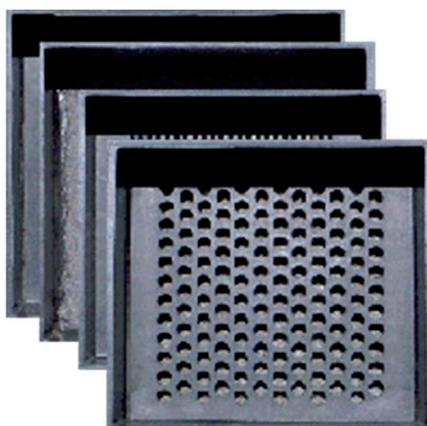
Após colocar amostra de cerca de 500 g a 1 kg, deve-se fazer 20 movimentos de vai e vem com as peneiras sobrepostas na sequência, sendo 5 movimentos de cada lado e repetir por 2 vezes.

O ideal é ter partículas entre 3 e 8% na peneira 1, com tolerância de 10%, chamadas de fibra efetiva, para favorecer a ruminação do animal e produção de saliva com carbonato de cálcio que mantém pH elevado no rúmen evitando a acidose.

Entre a segunda e terceira peneira, ficar em torno de 70 a 80% das partículas.

E na última peneira do fundo, no máximo 5%. Quando se têm altos valores nas peneiras 3 e 4 (fundo), teremos problemas metabólicos (acidose, laminite e até torção de abomaso), por falta de fibras longas ou efetivas.

Na **Figura 4** abaixo, os níveis ideais de tamanho de partículas por peneira da silagem de milho, cujo objetivo é reduzir perdas de silagem e problemas metabólicos nos animais:



Peneiras	Malha(mm)	Silagem de milho %	Silagem pré secada %	Dieta total misturada % (TMR)
Peneira 1	19 mm	3 a 8	10 a 20	2 a 8
Peneira 2	8 mm	45 a 65	45 a 75	30 a 50
Peneira 3	4 mm	20 a 30	10 a 20	10 a 20
Fundo	-	< 10	<10	30 a 40

Figura 4. Peneiras Penn State.

As camadas de compactação devem ser em torno de 15 a 25 cm de espessura no máximo, porém se a silagem estiver com matéria seca mais elevada (>37%MS), fazer camadas menores de

12 a 15 cm, de modo a facilitar a compactação para ficar na meta de 650 a 700 kg. m³ de silo.

A compactação deve ser de 1,2 o turno de colheita ou 3 a 4 minutos por tonelada, ou ainda, o peso dos tratores deve corresponder a 40% da quantidade de silagem que chega por hora no silo. Se estiver trabalhando com as ensiladeiras automotrizes de alto rendimento, deve-se distribuir a silagem em dois ou mais silos para não impactar a colheita e dar tempo suficiente para o descarregamento e a compactação sem atrasos.

Lonas ideais para silagem devem ser de dupla face (preta e branca), acima de 100 micras e de alta elasticidade, evitando plástico de materiais recicláveis. Existem mantas de silo que duram muitos anos e necessitam de filme plástico de alta vedação por baixo de modo a vedar a silagem. Custam bem mais caro, porém são seguras quanto a buracos, danos por animais e intempéries. As mantas duram até mais 10 anos.

O ideal é fechar um silo em até três dias, com tolerância de até cinco dias, para não perder e prejudicar a fermentação da silagem, através do prolongamento do período aeróbico.

Cuidados no selamento da parte de cima do silo, pois existem perdas qualitativas da silagem por causa da má compactação causada pelo superabastecimento do silo ou pressa para fechamento com compactação deficiente. Também a má colocação das lonas com bolsas de ar prejudicam a silagem na parte superior do silo.

A retirada deve ser diária de modo a cortar todo o painel do silo, com fatia mínima de 20 cm no inverno e 50 cm no verão,

dependendo da densidade do silo. Deve-se evitar uso de retirada frontal com conchas que abalam o silo e pode-se perder até 13% da silagem (Carvalho, 2013). No caso do uso de conchas, a retirada deve ser na lateral ou raspagem frontal do painel do silo para evitar abalos e fendas no silo.

As desensiladoras em vagão misturador ou não, bem como o garfo mecânico, são os mais eficientes para evitar aquecimento da massa no silo e perdas na retirada da fatia diária.

A temperatura da silagem deve permanecer no máximo entre 2 e 3 °C a mais que a temperatura ambiente, senão há risco de aquecimento e refermentação da massa.

Do ponto de vista de melhorias no processo de arraçoamento, destacamos os seguintes pontos aproveitando-se de uma silagem de alta qualidade:

Fazer análises bromatológicas para compor uma dieta econômica de acordo com o nível de raça, idade e produtividade do animal (meta).

Amostrar 8 a 13 pontos no silo, retirando-se a amostra por trás do buraco feito para não correr o risco de segregar grãos, ou retirar na retirada do desensilador pouco antes de fornecer aos animais. Fazer a partição em cruz da amostra, pegar duas partes das quatro, uniformizar e compor uma amostra. Após essa prática, colocar em saco plástico a vácuo ou em garrafa pet, devidamente identificada para envio ao laboratório.

O que se busca em uma boa bromatologia de silagem de milho:

- Matéria seca entre 30 a 37% (ideal de 32 a 35%)
- Nutrientes digestíveis totais (%NDT) maior que 65%
- % Amido acima de 30% (65% da energia da silagem)
- Digestibilidade da fibra = %DFDN ou %TTNDFD acima de 40%
- Conversão da silagem (Milk2006) acima de 1.500 Kg Leite/t MS consumida
- % Lignina abaixo de 5%
- % Fibra detergente neutro (FDN) menor que 50%
- % Fibra detergente ácido (FDA) menor que 30%
- % Proteína bruta de 6 a 8%
- % Extrato etéreo (gordura) de 2 a 3%
- % Cinzas ou resíduo mineral ou matéria mineral ou minerais de 2 a 4%
- pH menor que 4,0 (tolerância <4,5)
- % Ácido láctico acima de 5,5%
- % Ácido acético abaixo de 2,0%
- % Digestibilidade da matéria seca total (%DIVMS) maior que 68%

Exemplos de vantagens de cálculo de dietas em silagens com dois diferentes níveis de energia (NDT) no arraaçoamento (**Figuras 5 e 6**).

	Baixa	Alta
% NDT	62,00	70,00
Exigência vaca Kg NDT	11,40	11,40
Consumo de MS total kg	18,00	18,00
Consumo MS silagem kg	10,80	12,00
Consumo NDT silagem kg	6,70	8,40
Déficit NDT kg	4,70	3,00
Concentrado complementar necessário kg	6,52	4,17

* Vacas 600kg PV e 20 Kg leite/dia. Fonte: NRC, 2001

Figura 5. Comparativo de silagens de baixa e alta qualidade em detrimento das exigências nutricionais para vacas em lactação.

Como se verifica na **Figura 5**, fornecendo uma silagem de alta qualidade, há uma economia de 2,35 kg de concentrado por vaca/dia, o que é muito significativo quando se multiplica este número pelo número de cabeças e dias do ano.

	Baixa	Alta
% NDT	62,00	70,00
Exigência do boi Kg NDT	6,60	6,60
Consumo de MS total kg	10,00	10,00
Consumo MS silagem kg	5,20	6,40
Consumo NDT silagem kg	3,22	4,48
Déficit NDT kg	3,40	2,12
Concentrado complementar necessário kg	4,85	3,02

* Boi 400kg PV/ ± Ganhos de 1,2 kg/dia; silagem 35% MS;

Ingestões de silagem 1,3 e 1,6% do PV. Fonte: NRC, 2000/2001

Figura 6. Comparativo de silagens de baixa e alta qualidade em detrimento das exigências nutricionais para bovinos de corte.

Da mesma maneira, como se verifica na **Figura 6**, fornecendo uma silagem de alta qualidade, há uma economia de 1,83 kg de concentrado por boi/dia, o que é muito significativo quando se multiplica este número pelo número de cabeças e dias de confinamento.

Referências

CARVALHO, I. Q. de. **Tecnologia da produção de silagem de milho em sistemas de produção de leite**. 2013. 82 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2013.

HUIBREGTSE, A.; SHAVER, R.; HOFFMAN, P. **Opportunities to improve starch digestibility on dairy farms**. Madison: University of Wisconsin, 2012.

NUTRIENT requirements of dairy cattle. 7th rev. Washington: National Academy Press, 2001.

NUTRIENT requirements of beef cattle. 7th rev. Washington: National Academy Press, 2000.

SANTÚRIO, J. M. Minimizando perdas e/ou uso de ingredientes não contaminados por micotoxinas. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE AVICULTURA, 18., 2003, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2003.

Capítulo 13

Construção da Fertilidade do Solo para o Sistema de Produção de Culturas Anuais

Silvino Guimarães Moreira

Flávio Araújo de Moraes

Introdução

Para se iniciar a construção da fertilidade, a primeira prática é a correta amostragem do solo, pois todo o sistema nacional de recomendação de corretivos e fertilizantes foi desenvolvido com base na avaliação da fertilidade do solo, por meio de estudos de correlação e calibração, bem como nas curvas de resposta. Após a amostragem do solo e o recebimento dos resultados de um laboratório confiável, o próximo passo é a correção da acidez, pois esta é inicialmente o principal fator que limita o desenvolvimento vegetal. Além de alterar a disponibilidade de nutrientes às plantas, interfere diretamente no crescimento radicular.

A acidez do solo influencia as características físicas, químicas e biológicas dos solos, tornando-se uma das principais barreiras para aumento das produtividades da maioria das culturas (Foloniet al., 2001). Esse fato é de grande importância, principalmente no caso dos solos sob cerrado, que além de serem naturalmente

ácidos, apresentam baixos teores de cátions básicos (Fageria, 2001a; Fageria, 2001b).

A calagem é uma das práticas mais comuns e efetivas para aumentar a produção agrícola em solos ácidos. Isso porque além de elevar o pH e neutralizar o alumínio (Al^{3+}) e manganês (Mn^{2+}), quando em níveis tóxicos, eleva os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} e os valores de saturação por base do solo (V%) (Fageria, 2001a).

Ressalta-se que para a calagem ter os seus efeitos desejáveis é necessário que a dose utilizada seja suficiente para corrigir a acidez, mantendo-se os valores de $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ entre 6 a 6,5; além de neutralizar o Al^{3+} tóxico, bem como elevar os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} a valores adequados, que de acordo com Fageria e Stone (2004), seriam de 4 e 1,2 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, respectivamente.

Doses baixas e/ou elevadas de calcário podem causar grandes problemas na disponibilidade de todos os nutrientes, reduzindo as produtividades das culturas. Doses excessivas de calcário podem elevar o pH a valores iguais ou acima de 7, podendo provocar deficiências de nutrientes como P, Zn, B e Mn (Foloni et al., 2001). Baixas doses não irão corrigir totalmente a acidez, não neutralizando o Al^{3+} , nem tão pouco fornecendo adequadamente Ca^{2+} e Mg^{2+} às culturas, além de provocar perdas de P por precipitação com Fe e Al e/ou adsorção aos colóides dos solos tropicais.

No texto são discutidos os principais métodos utilizados para cálculo da necessidade de calcário no Brasil Central: “Método da neutralização do alumínio tóxico e elevação dos teores de cálcio e magnésio” (Método de Minas) (Martinez et al., 1999) e o “Método da saturação por bases” (Método de São Paulo) (Raij et al., 1997).

Também são apresentados os problemas relativos aos cálculos das doses de calcário para os Latossolos argilosos encontrados no Cerrado, com elevado poder tampão, quanto à correção da acidez. Como na prática, as metodologias adotadas em Minas Gerais e São Paulo não têm sido eficientes na recomendação de doses adequadas de corretivo para essas áreas, é proposto um ajuste para o método de Minas Gerais, pensando-se no sistema de produção com culturas anuais (soja, feijão, milho e trigo).

Como os solos brasileiros apresentam severas limitações ao desenvolvimento do sistema radicular em profundidade, em razão dos teores elevados de Al trocável, aliada à ocorrência de veranicos, não poderia de deixar de discutir a gessagem. Esta é a principal forma de amenizar os problemas da falta de água e promover o crescimento do sistema radicular para as camadas mais profundas do solo. Antes de se iniciar a produção agrícola, torna-se necessário eliminar as barreiras químicas à penetração das raízes (alta saturação por Al e/ou baixos teores de Ca), por meio da gessagem (Lopes; Guilherme, 1994; Sousa; Lobato, 2004).

Na sequência é discutida a prática da fosfatagem corretiva (total ou gradual), bem como da potassagem. É dado ênfase sobre como fazer as práticas, como se calcular as doses e, principalmente, quando se devem recomendar a fosfatagem corretiva e a potassagem. Desta forma, objetiva-se com esse capítulo discutir de forma prática, os problemas para construção da fertilidade do solo, principalmente das áreas de abertura ou de pastagens degradadas do Brasil Central.

Amostragem do solo

Solos com fertilidade construída são fundamentais para que ocorra o aprofundamento radicular. Entretanto, para alcançar esse objetivo, a primeira prática a ser feita é a correta amostragem do solo, pois todos os métodos oficiais de recomendação de corretivos e fertilizantes foram desenvolvidos com base na avaliação da fertilidade do solo, através de trabalhos de correlação e calibração, bem como nas curvas de resposta.

Em áreas de abertura devem ser consideradas as recomendações para solos sob cultivo convencional, uma vez que serão manejadas para incorporação dos corretivos da acidez. De forma geral, todas as comissões de fertilidade do solo recomendam a amostragem do solo nas camadas de 0 a 20 e 20 a 40 cm. Atualmente, muitos técnicos têm amostrado o solo em profundidades superiores a 60 cm, visando conhecer melhor a subsuperfície do solo.

Após a construção da fertilidade do solo e adoção do sistema de semeadura direta (SSD), há recomendações de amostragem de solos, apenas na camada superficial (até 10 cm). Um dos problemas decorrentes é que os procedimentos de amostragem de solo e calibração dos resultados foram desenvolvidos para a camada de 0 a 20 cm, no sistema convencional de cultivo.

Como exemplo, para a elaboração das recomendações de adubação e calagem para o SSD, a Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais (CFSEMG) seguiu basicamente as orientações em uso da Comissão de Química e Fertilidade do Solo do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (CQFSRS/SC), pois não havia estudos para as condições de Minas Gerais. Dessa forma, como o boletim de Minas Gerais não apresentou atualização nos

últimos anos, a CFSEMG de 1999, ainda recomenda a retirada das amostras com pá de corte (Ribeiro et al., 1999). Desta forma, recomenda-se o corte de uma fatia de solo, com 3 a 5 cm de espessura, perpendicularmente à linha de semeadura, entre as duas metades das entrelinhas adjacentes, respeitando-se o mínimo de 10-15 de amostras simples. As profundidades seriam de 0-5, 6-10 e 11-20 cm.

Por causa das dificuldades práticas de se coletar grande volume de solo, de forma muito estratificada, essas primeiras recomendações para o SSD foram em grande parte ignoradas pelos técnicos de campo e produtores. A partir de 2004, a CQFS RS/SC (2004) passou a recomendar a amostragem de solo, em SSD, na camada de 0 a 10 cm.

De acordo com Pauletti et al. (2009), em solos sob SSD as amostragens podem ser efetuadas nas camadas 0 a 10 ou 0 a 20 cm. Recentemente, a Comissão de Fertilidade do Solo do Estado do Paraná definiu a camada de 0 a 20 cm como a mais adequada a ser amostrada nos solos sob SSD cuja fertilidade já se encontra construída, e essa recomendação deverá ser incluída no próximo boletim do estado. De acordo com as novas orientações, a cada três anos é recomendada a retirada das amostras de forma estratificada nas camadas de 0 a 10, 10 a 20, 20 a 40 e 40 a 60 cm, buscando-se acompanhar a mobilidade dos nutrientes no perfil. Trados que coletam pequenas quantidades de terra (calador e rosca), não deveriam ser recomendados para amostragem em solos, em razão do pequeno volume de terra coletado e à possível perda da camada mais superficial, rica em nutrientes (Guarçoni et al., 2007).

Correção da acidez do solo: primeiro passo para a construção da fertilidade do solo

O primeiro passo para iniciar a construção da fertilidade do solo é a correção da acidez dos solos ácidos, pois este é inicialmente o principal fator que limita o desenvolvimento vegetal. Pois, além de alterar a disponibilidade de nutrientes para as plantas, interfere diretamente no crescimento radicular.

É possível representar a acidez do solo de duas formas, acidez ativa e acidez potencial, na qual, a potencial pode ser subdividida em acidez trocável e acidez não trocável (Quaggio; Raij, 2001). A acidez ativa é representada pelos íons de hidrogênio (H^+) que estão presentes na solução do solo, sendo representada pelo pH (Sousa et al., 2007). A acidez potencial é dividida em acidez trocável e acidez não trocável, sendo representada por $H+Al$, de acordo com Sousa et al. (2007). A acidez trocável é representada basicamente por Al^{3+} , podendo haver pequenas quantidades de H trocáveis em alguns solos. Por sua vez, a acidez não trocável tem como principal componente o H com ligação covalente. Diante disso, a acidez potencial pode assumir diversos valores, sendo eles dependentes principalmente do material de origem e matéria orgânica (MO).

Normalmente, solos com altos teores de MO apresentam alta acidez potencial, por causa do H associado aos componentes das substâncias húmicas (grupos carboxílicos, fenólicos e outros), os quais podem desprotonar e gerar H^+ na solução do solo. Por sua vez, os solos argilosos e ácidos apresentam maior acidez potencial do que os arenosos, em razão do H^+ ligado aos coloides, como também pelo Al^{3+} trocável. Assim, solos com alta acidez potencial apresentam alto poder tampão.

O poder tampão é a dificuldade do solo em variar seu pH, quando ocorre a adição de bases, através da aplicação de compostos alcalizantes, como os calcários e/ou acidificantes, gerados pelos fertilizantes nitrogenados. E como já mencionado, solos ácidos argilosos e ricos em MO apresentam poder tampão elevado e, desta forma, necessitam de maior quantidade de calcário para serem corrigidos, comparados aos solos arenosos e com menores teores de MO.

O poder tampão de um solo possui grande relevância no momento do cálculo da necessidade de calagem. Para determinação da necessidade de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, o poder tampão dos solos é considerado diretamente nos cálculos, representado pelo $H+Al$ (Manual..., 2004). Por sua vez, as metodologias mais utilizadas no Brasil Central o consideram de forma indireta.

O Método de Minas, considera o "Y", que segundo Martinez et al. (1999) é o fator do solo, ou seja, o poder tampão do solo, que varia de 1 a 4 em função do teor de argila. Por outro lado, no cálculo da calagem pelo Método de São Paulo, considera-se indiretamente o poder tampão, por incluir o valor de "T" na fórmula de cálculo, que é a CTC potencial, obtida através da soma de bases com $H+Al$. No entanto, mesmo considerando direta ou indiretamente o poder tampão, na prática, as doses calculadas por estes métodos não estão sendo suficientes para corrigir a acidez dos solos das áreas de abertura. Tal fato, pode ser atribuído às dificuldades de se determinar o poder tampão dos solos ou mesmo da baixa qualidade de aplicação de corretivos e fertilizantes no Brasil.

Alguns autores relatam a dificuldade de se estimar a acidez potencial dos solos, principalmente para aqueles que apresentam

maior poder tampão (Kaminski et al., 2002; Kostenko, 2015; Leblanc et al., 2016). Essa dificuldade está relacionada a compreensão da capacidade do solo de resistir à variação do pH, que está relacionada com a textura, mineralogia e o teor de MO do solo.

Métodos de cálculo da calagem

A calagem é uma prática que tem como principal objetivo corrigir a acidez do solo neutralizar Al^{3+} e Mn^{2+} quando em níveis tóxicos e fornecer Ca^{2+} e Mg^{2+} às plantas. Além disso, com neutralização principalmente de H^+ e Al , ocorre a liberação dos “sítios” ocupados por estes elementos tóxicos, aumentando-se a CTC efetiva do solo.

A calagem também aumenta a eficiência de utilização dos fertilizantes, principalmente dos fosfatados e potássicos. No primeiro caso, o principal efeito é a eliminação do Al^{3+} e, conseqüentemente, redução da precipitação do P, na forma de fosfato de Al. O maior aproveitamento do K ocorre por causa da elevação da CTC, a qual reduz as perdas de K por lixiviação. O aumento dos teores de Ca pela calagem melhora o desenvolvimento radicular e, dessa forma, a capacidade das raízes em explorar maior volume de solo, tornando as plantas mais tolerantes aos veranicos (Lopes; Guilherme, 1994).

Em qualquer sistema de cultivo, a adequada correção da acidez do solo permitirá melhor aproveitamento da maioria dos nutrientes. Em valores de pH (H_2O) entre 6,0 e 6,5, há maior disponibilidade de todos os macronutrientes e de alguns micronutrientes (Mo, Cl e B). Nesse intervalo de pH, a disponibilidade dos micronutrientes catiônicos (Cu, Fe, Mn, Zn) também não estará comprometida e

haverá maior atividade dos microrganismos que promovem a mineralização da MO, disponibilizando os nutrientes presentes na palhada e na MO do solo (Foloni et al., 2001).

Em valores de pH (H_2O) abaixo de 5,5, normalmente, há maior atividade em solução de Al^{3+} e Fe^{2+} , promovendo a formação de fosfato de ferro e de alumínio. Nessa condição, a adsorção específica do P também seria aumentada, com redução da eficiência de uso do P oriundo de fertilizantes solúveis, os quais possuem preço elevado no mercado.

Para estimar a necessidade de calagem (NC) serão discutidos os dois principais métodos oficiais de recomendação de calagem utilizados no país, sendo eles, o Método de Minas e o Método de São Paulo.

Método da neutralização da acidez e da elevação dos teores de Ca e Mg trocáveis

Esta metodologia considera as características do solo e as exigências das culturas. Basicamente, nos cálculos é considerada uma quantidade de calcário para neutralizar o Al trocável, somada uma quantidade de corretivo para fornecer Ca e Mg às culturas (valor X) (**Tabela 1**).

Tabela 1. Valores de saturação por Al máximo tolerado (mt), valores de X para as principais culturais anuais para o método do Al e Ca + Mg trocáveis e saturação por bases estimado (Ve) que se procura atingir pela calagem.

Cultura	m %	X cmolc dm ⁻³	Ve %	Observações
Arroz	25	2,0	50	Dose de calcário máxima de 3 t ha ⁻¹
Milho e sorgo	15	2,0	50	Dose de calcário máxima de 6 t ha ⁻¹
Leguminosas (Feijão, soja)	20	2,0	50	-
Amendoim	5	3,0	70	-
Algodão	10	2,5	60	Utilizar calcário com magnésio

Fonte: Adaptado Martinez et al. (1999).

A "tolerância" das culturas à acidez trocável é apresentada pela saturação por Al (mt%) tolerada pela cultura. No caso do solo, é avaliada indiretamente sua capacidade tampão, através do teor de argila (valor Y) (**Tabela 2**).

Tabela 2. Valores de "Y", em função da percentagem de argila do solo.

Solo	Argila %	Y
Arenoso	0 a 15	0 a 1
Textura média	15 a 35	1 a 2
Argiloso	35 a 60	2 a 3
Muito argiloso	60 a 100	3 a 4

Fonte: Adaptado Martinez et al. (1999).

A fórmula de cálculo de calagem para solos de Minas Gerais, considerando-se os valores de Al^{3+} , CTC efetiva (t), Ca^{2+} e Mg^{2+} em $cmol_c dm^{-3}$ é a seguinte:

$$NC (t ha^{-1}) = Y [Al^{3+} - (m_t \cdot t / 100) + [X - (Ca^{2+} + Mg^{2+})].$$

As principais críticas que podem ser feitas em relação a essa metodologia são relacionadas aos valores empíricos de Y (solo) e exigência de apenas 2 $cmol_c dm^{-3}$ de Ca + Mg pela cultura (X). Isso porque o próprio boletim da CFSEMG de 1999 apresenta como faixa de valores adequados para Ca^{2+} e Mg^{2+} , os valores de 2,5 a 4,0 e 0,9 a 1,5 $cmol_c dm^{-3}$ respectivamente (Ribeiro et al., 1999). Outro ponto importante, é que a metodologia não considera a MO nos cálculos, uma vez que essa é a principal responsável pela CTC e capacidade de tamponamento desses solos. Além disso, atualmente as lavouras com altas produtividades de milho tem apresentado valores de Ca^{2+} de 3 a 4,0 e Mg^{2+} , acima de 1,0 $cmol_c dm^{-3}$.

A fim de evitar as recomendações de doses empíricas de calcário, que estão sendo feitas na prática, simplesmente com a premissa de se dobrar as doses calculadas pelo método da saturação por bases, propõe-se a seguinte mudança para o Método de Minas, até que novos métodos de cálculos sejam descritos com base científica:

1- Desconsiderar que as culturas anuais toleram saturação por alumínio ($m_t\%$) de 20% na camada de 0 a 20 cm, uma vez que Al^{3+} compromete o desenvolvimento do sistema radicular e aprofundamento das raízes. Atualmente há recomendações de que o teor de Al^{3+} trocável deverá ser zero até mesmo nas camadas mais profundas do solo. Assim, a fórmula de cálculo da

necessidade de calagem do Método de Minas seria simplificada para:

$$\text{NC (t ha}^{-1}\text{)} = Y ([\text{Al}^{3+}] + [\text{X} - (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})]).$$

2- Alterar o valor de X, pois valores de $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} = 2 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ são insuficientes para suprir a demanda das plantas cultivadas no sistema de produção de grãos. De acordo com Fageria e Stone (2004), os valores adequados Ca^{2+} e Mg^{2+} para a cultura do feijão são de 4,0 e 1,2 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, respectivamente. Para que o fornecimento de cálcio seja adequado em solos argilosos e a fim de evitar a super calagem em solos com CTC abaixo de 7 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, sugere-se calcular o X, como sendo correspondente a 70% da CTC potencial do solo. Em solos arenosos (argila <15%), deve-se fornecer um mínimo de 1,5 e 0,5 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de Ca e Mg, respectivamente (Zancanaro et al., 2018).

Método da saturação por bases

O método baseia-se na relação existente entre pH e saturação por bases (V%) (Tabela 4), os quais são bem correlacionados com as produtividades das culturas. Quando se pretende atingir determinado valor de V% com a calagem, está corrigindo a acidez até o ponto adequado à cultura em questão. Além de observar a exigência da cultura, essa metodologia considera os teores de argila e MO, uma vez que o valor da CTC (utilizada nos cálculos) depende desses parâmetros.

Tabela 4. Limites de interpretação de determinações relacionadas com acidez da camada arável de solo do Estado de São Paulo.

Acidez	pH (CaCl ₂)	Saturação por bases	V (%)
Muito alta	< 4,3	Muito baixa	0-25
Alta	4,4-5,0	Baixa	26-50
Média	5,1-5,5	Média	51-70
Baixa	5,6-6,0	Alta	71-90
Muito baixa	> 6,0	Muito alta	> 90

Fonte: Rajj et al. (1997).

A quantidade de calcário a ser aplicada é dada pela seguinte fórmula: $NC = CTC[(V2 - V1) / PRNT]$, sendo que NC é a necessidade de calagem em t ha⁻¹; CTC dada em cmol_cdm⁻³; V2 e V1 são respectivamente valores de saturação por bases desejada e a existente no solo.

Calagem para implantação dos sistemas de produção com culturas anuais

Como o calcário é um produto de baixa solubilidade (CaCO₃: 0,014 g L⁻¹ e MgCO₃: 0,106 g L⁻¹ a 25 °C) e de mobilidade reduzida no perfil dos solos, as correções devem ser realizadas com a maior antecedência possível da semeadura das culturas. O prazo para completa correção da acidez é relativo, pois é dependente da dose, das naturezas química (poder de neutralização: PN) e física (reatividade: RE) do calcário e das condições de umidade do solo, que dependem da precipitação pluvial, dentre outros fatores. Dessa forma, o prazo de três meses relatado na literatura pode ser pequeno, principalmente pela frequente falta de umidade nos solos do Cerrado brasileiro.

Como não é desejável a movimentação do solo para incorporação do calcário após adoção do SSD, há necessidade de uma incorporação profunda do corretivo, antes da implantação do sistema. Tem-se buscado calcular a dose e incorporar o calcário a uma profundidade mínima de 30 a 40 cm, visando a construção do perfil, juntamente com a adoção de outras medidas, como a aplicação de gesso agrícola. Antes da implantação do SSD também é recomendada a utilização de calcário de granulometria mais grosseira, para que ocorra maior efeito residual.

É sabido que os latossolos argilosos encontrados no Brasil Central apresentam elevado poder tampão quanto à correção da acidez. Por esse motivo, observa-se na prática grande dificuldade na recomendação de doses adequadas de calcário para muitas áreas do Brasil Central. Na prática, as metodologias adotadas em Minas Gerais e São Paulo não têm sido eficientes na recomendação de uma dose adequada para correção dessas áreas. Tem-se verificado que as doses necessárias para se atingir valores de V% recomendados para as culturas anuais, dentre elas o milho, tem sido maior do que as recomendadas pelos métodos oficiais.

Fageria (2001b) observou que, para atingir os valores de V% de 56 e 66 %, foram necessárias 16 e 20 t ha⁻¹, respectivamente, em um Latossolo Vermelho, com 33% de argila e V% inicial de 31%. Esses valores foram obtidos após quatro anos de cultivo, utilizando-se um calcário com PRNT de 69,2% e teores de 31,5% de CaO e 11,6% de MgO. Com a dose de 12 t ha⁻¹ de calcário obteve-se V%= 53, a qual foi considerada a mais adequada para o feijoeiro.

Em outro estudo realizado em condições de Cerrado, Fageria e Stone (2004) também observaram que foram necessárias 12 t ha⁻¹ de calcário para atingir a máxima produtividade do feijoeiro (**Tabela 5**). Com a dose de 12 t ha⁻¹ do corretivo (PRNT = 88,3%; CaO = 32% e Mg= 13,3%) atingiram-se valores de V% de 71,8 e 40,6, respectivamente nas camadas de 0 a 10 e 10 a 20 cm. Os resultados foram obtidos após três anos de cultivo, em um Latossolo Vermelho com 37% de argila, V% inicial de 36,4% e CTC potencial de 8,12 cmol_c dm⁻³. Ressalta-se que a dose calculada pelo método da saturação por bases, para se elevar V% a 70 era de apenas 3,1 t ha⁻¹ (PRNT = 100%).

Tabela 5. Produtividade de feijão e valores de saturação por bases atingidas, nas camadas de 0 a 10 e 10 a 20 cm, após três anos da incorporação de calcário (0 a 20 cm) em um Latossolo Vermelho.

Dose de calcário*	Produtividade Feijão	Saturações por bases atingidas	
		0 a 10 cm	10 a 20 cm
t ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	----- % -----	
0	2.260 b	27,5	23,5
12	3.060 a	71,8	40,6
24	2.979 a	78,1	44,7

Fonte: Fageria e Stone (2004).

Estudos anteriores, desenvolvidos por Barbosa Filho e Silva (2000), num Latossolo Vermelho, com 38% de argila, CTC potencial de 7,9 cmol_c dm⁻³ e V% inicial de 29,1%, também mostraram resultados semelhantes aos de Fageria (2001a) e Fageria e Stone (2004) (**Tabela 6**). Com a dose de 15 t ha⁻¹ do corretivo, atingiu-se V% de 66%, na camada de 0 a 20 cm. Ressalta-se que a dose

calculada pelo método da saturação por bases, para se elevar V% a 70 foi de apenas 3,2 t ha⁻¹ (PRNT = 100%).

Tabela 6. Produtividades do feijoeiro e valores de saturação por bases (V) e de pH atingidos, na camada de 0 a 20 cm, após 362 dias da aplicação de doses de calcário(t/ha).

Dose de calcário		Produtividade	pH	V
t ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	Aumento (%)		%
0	2031	-	4,8	40
3	2423	19,3	5,4	44
6	2414	18,8	5,9	51
9	2616	28,8	5,8	53
12	2616	28,8	6,1	56
15	2767	36,6	6,5	66

Fonte: Barbosa Filho e Silva (2000).

Resultados de pesquisa realizada no estado de São Paulo (**Tabela 7**) corroboram com as constatações já citadas. Raij (2011) calculou as doses de calcário visando elevar V% a 60 e 70, respectivamente, para as culturas da soja e milho. Em todos os casos, as doses recomendadas pelo método oficial de São Paulo ficaram abaixo daquelas correspondentes às máximas produtividades das culturas.

Tabela 7. Doses de calcário recomendadas pelo método oficial de São Paulo e quantidades associadas com produtividade máximas (Prod. Max.). O teor de argila, saturação por alumínio (m%) e o teor de cálcio referem-se ao subsolo e saturação por bases (V%) refere-se à camada de 0 a 20 cm.

Cultura	Argila	Ca	m	V	Calcário	
					Recomendado	Prod. Max.
	g kg ⁻¹	cmol _c dm ⁻³	—%—			—— t ha ⁻¹ ——
Soja	500	0,11	25	33	1,6	9,0
Soja	700	0,2	55	11	4,6	8,1
Milho	500	0,07	62	36	3,8	12,0

Fonte: Adaptado de Raij (2011).

Essa diferença entre as doses recomendadas pelas metodologias oficiais e as reais necessidades de calcário para correções dos solos também são conhecidas por alguns consultores e produtores rurais. Para ilustrar a situação, um histórico de uso de calcário para correção da acidez de uma área irrigada (80 hectares), sob um Latossolo Vermelho Amarelo argiloso, é apresentado na Tabela 8.

Nota-se que nos primeiros quatro anos foram utilizadas 17 t ha⁻¹ (Tabela 8), o que demonstra a necessidade de estudos visando desenvolver novas metodologias para a recomendação das doses de calcário. O fato é que, em razão da grande capacidade de tamponamento destes solos, a aplicação de corretivo pelos métodos oficiais em um único ano agrícola não tem sido suficiente para correção da acidez, visando a implantação do SSD. Com a aplicação das doses recomendadas pelos métodos

oficiais, produtores tem utilizado, em muitos casos, quantidades menores do que as necessárias para completa correção da acidez. Com isso, tem sido gasto de dois a três anos para que os solos argilosos sob Cerrado sejam efetivamente corrigidos e atinjam os valores de V% e teores de Ca e Mg adequados. No entanto, vale ressaltar que parte da dificuldade de corrigir a acidez também está relacionada à baixa eficiência no momento da aplicação de calcário no Brasil. Isso porque em muitas das vezes a dose calculada é muito menor do que a dose aplicada ao solo, por causa das grandes perdas envolvidas no processo de distribuição do calcário, em função da utilização de equipamentos inapropriados, durante condições climáticas indesejáveis (alta velocidade do vento).

Se fosse considerada a dose calculada com o método simplificado, proposto no item 2.1, no primeiro ano seria recomendados 14,7 t ha⁻¹ de corretivo. De qualquer forma, com os equipamentos atuais e por causa do alto custo, na prática as doses para áreas de abertura têm sido limitadas a 10 t ha⁻¹, na maioria dos casos.

Calagem para manutenção dos atuais sistemas de produção

Desde os anos de 1980 havia dúvidas com relação à eficiência da calagem superficial. As razões dessas preocupações eram notoriamente porque o calcário é um produto de baixa solubilidade e as recomendações para cultivos convencionais sempre preconizaram a necessidade de incorporação dos corretivos da acidez. Sabe-se que quanto maior o contato do corretivo com as partículas do solo, mais rápidas são as reações entre elas.

Tabela 8. Histórico de correção da acidez de área de pivô central, sob um Latossolo Vermelho Amarelo argiloso com 72% de argila, na Fazenda São João, no município de Inhaúma-MG.

Ano	pH	Ca	Mg	Al	T	t	V	NC1	NC2	Dose	NC3	
H2O		Cmolcdm-3					%		t ha-1			
2002	4,6	0,4	0,1	1,9	9,1	2,4	7	6,7	6,7	8,0	14,7	
2003	5,4	1,8	0,4	0,3	6,3	2,5	40	-0,9	2,2	2,0	-	
2004	5,4	1,9	0,4	0,3	8,5	2,6	29	-1,1	4,1	4,0	-	
2005	5,2	2,5	0,9	0,4	8,8	3,8	41	-2,9	3,0	3,0	-	
2006	5,4	4,2	0,8	0	9	5	58	-7,0	1,3	0,0	-	
Soma	-	-	-	-	-	-	-	6,7	17,3	17,0	14,7	

NC1= cálculo de necessidade de calagem considerando-se o método da neutralização da acidez e da elevação dos teores de Ca e Mg trocáveis (Ribeiro et al., 1999). NC2= cálculo de necessidade de calagem pelo método da saturação por bases (V%), visando elevar a V% a 70. Nos cálculos foi considerado um calcário com PRNT de 85%, o qual foi aplicado na área. Dose: dose real utilizada. NC3. Dose que seria aplicada, utilizando-se fórmula simplificada descrita no item 2.1: $NC (t ha^{-1}) = Y ([Al^{3+}] + [X^{-} (Ca^{2+} + Mg^{2+})])$, considerando-se X=5.

Fonte: Silvano Moreira, dados não publicados.

Com o tempo, diversos trabalhos de pesquisa, principalmente no Sul do Brasil, demonstraram a viabilidade da calagem superficial (Sá, 1995; Oliveira; Pavan, 1996; Caires et al., 1999, 2000; Moreira et al., 2001; Caires, 2013). Vale destacar que atualmente mais de 32 milhões de hectares são cultivados sob SSD no Brasil e que nessas áreas são obtidas altas produtividades por diversas culturas, realizando-se a correção da acidez somente com aplicação superficial do calcário, sem incorporação. Tem sido demonstrado, inclusive, que depois de longo tempo de cultivo sob SSD, há diminuição da acidez e aumento dos teores de nutrientes nas camadas subsuperficiais dos solos (Caires, 2013). No entanto, para que haja movimentação do calcário aplicado na superfície dos solos para as camadas subsuperficiais, é necessário longo tempo, deixando-se evidente a necessidade de uma adequada correção dos solos, antes da adoção do SSD.

A movimentação física do calcário aplicado na superfície para camadas inferiores pode ocorrer através de canais formados por raízes mortas, fendas naturais e galerias formadas por organismos do solo. As partículas finas se movimentam por esses espaços, junto com o movimento descendente da água. Há também a movimentação química do calcário por meio de complexos orgânicos. Durante a decomposição dos resíduos vegetais ocorre a liberação de ânions orgânicos (ligantes orgânicos), os quais formam complexos com H^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} na superfície do solo. Deste modo, ocorre a elevação do pH na superfície e formação de pares iônicos com Ca e Mg, sem carga e com maior facilidade para lixiviar para a subsuperfície. Após a lixiviação, ocorre reação dos pares iônicos com H^+ e Al^{3+} nas camadas inferiores do solo, liberando Ca e Mg e, desta forma, aumentando o pH e os teores de Ca e Mg e diminuindo o Al trocável (Oliveira; Pavan, 1996; Caires et al., 2000; Moreira et al., 2001; Caires, 2013).

Sobre a recomendação de doses de calcário para solos sob SSD, Caires (2013) demonstrou, a partir de inúmeros estudos, que pode ser utilizada a metodologia de cálculo para se elevar a V% da camada de 0 a 20 cm a 70%, de forma semelhante ao sistema convencional. A dose poderá ser aplicada de uma única vez ou parcelada em até três vezes. No entanto, foi recomendado que não se deve aplicar calcário em solos com V% da camada de 0 a 10 cm maior que 65 e/ou nos locais com pHCaCl_2 acima de 5,6.

Em valores de $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ acima de 6,5, há uma menor disponibilidade dos micronutrientes catiônicos (Cu^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} e Zn^{2+}), por causa da maior intensidade das reações desses micronutrientes com as oxidrilas (OH). O pH alcalino existente na superfície do solo aumenta as perdas de nitrogênio por volatilização de amônia, principalmente quando a fonte utilizada é a ureia. Em valores de pH elevado ocorrerá também precipitação de P, em função da formação de fosfatos de cálcio, menos solúveis. Desta forma, em áreas sob SSD, deve-se fazer um monitoramento anual da fertilidade dos solos, a fim de evitar tais problemas.

Utilização do gesso nos atuais sistemas de produção

Uma das mais severas limitações à obtenção de altas produtividades nas condições do Brasil Central é a ocorrência de veranicos. A principal forma de amenizar os problemas da falta de água é a promoção do crescimento do sistema radicular em profundidade, objetivando-se aumentar a absorção de água e nutrientes das camadas mais profundas do solo. Para isso, torna-se necessário eliminar as barreiras químicas à penetração das raízes (alta saturação por Al e/ou baixos teores de Ca), antes

de se iniciar a produção agrícola, por meio da gessagem (Lopes; Guilherme, 1994).

A toxidez de Al provoca o engrossamento e encurtamento das raízes, as quais se tornam quebradiças e adquirem coloração escura, pois o Al^{3+} atua no meristema apical da raiz, cessando a divisão celular, paralisando o crescimento das raízes. Com a diminuição do crescimento, as raízes reduzem a capacidade de exploração de água e nutrientes e, conseqüentemente, a capacidade de suportar estresses hídricos.

A utilização do gesso é recomendada em locais com subsolos ácidos, ou seja, com as camadas subsuperficiais (20 a 40 e/ou 40 a 60 cm) apresentando teores de Ca menores que $0,4 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e/ou teores de Al maiores que $0,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e/ou saturação por Al^{3+} maior do que 30% (Martinez et al., 1999), condições geralmente coincidentes nos solos.

As doses recomendadas para uma camada de 20 cm de espessura (20 a 40 ou 40 a 60 cm) dos solos sob Cerrado variam com a textura do solo e com a cultura. Para cultivos anuais, o cálculo da necessidade de gesso (NG) é feito multiplicando-se a percentagem de argila por 50, ou seja, a $NG (\text{kg ha}^{-1}) = 50$ versus a percentagem de argila (Sousa; Lobato, 2004).

Práticas corretivas visando aumentar os teores de fósforo e potássio nos solos

Fosfatagem

O fósforo é o nutriente mais limitante nos solos brasileiros, sendo o mais crítico fator nutricional para o crescimento das plantas

cultivadas em solos sob cerrados. Em levantamento realizado por Lopes (1984), cerca de 92% das amostras superficiais desses solos apresentaram menos do que 2 mg dm⁻¹ (Mehlich 1), que é considerado nível muito baixo de acordo com a CFSEMG (Ribeiro et al., 1999) (**Tabela 9**).

Tabela 9. Limites de interpretação para teores de fósforo, extraído com Mehlich 1, de acordo com o teor de argila, para solos do Estado de Minas Gerais.

Argila	Classificação				
	Muito baixo	Baixo	Médio	Bom	Muito bom
%			mg dm ⁻³		
> 60	≤ 2,7	2,8 - 5,4	5,5 - 8,0	8,1 - 12,0	> 12,0
35-60	≤ 4,0	4,1 - 8,0	8,1 - 12,0	12,1 - 18,0	> 18,0
15-35	≤ 6,6	6,7 - 12,0	12,1 - 20,0	20,1 - 30	> 30,0
< 15	≤ 10	10,1 - 20,0	20,1 - 30,0	30,1 - 45,0	> 45,0

Fonte: Martinez et al. (1999).

Os limites para P resina, para os solos do Estado de São Paulo são mostrados na **Tabela 10**.

Tabela 10. Limites de interpretação de teores de potássio e fósforo em solos do Estado de São Paulo.

Teor	Prod. Relativa %	K+ trocável mmol-cdm-3	P resina			
			Flores-tas	Perenes	Anuais	Hortaliças
			mg dm-3			
Muito baixo	0-70	0,0-0,7	0-2	0-5	0-6	0-10
Baixo	71-90	0,8-1,5	3-5	6-12	7-15	11-25

Médio	91-100	1,6-3,0	6-8	13-30	16-40	26-60
Alto	>100	3,1-6,0	9-16	31-60	41-80	61-120
Muito alto	>100	>6,0	>16	>60	>80	>120

Fonte: Raij et al. (1997).

Em razão da mineralogia oxídica da maior parte dos solos brasileiros, grande quantidade do fosfato aplicado via fertilizante é adsorvido de forma covalente a esses coloides. De acordo com Novais et al. (2007), esses solos podem adsorver até 5000 kg ha⁻¹ de P (11500 kg ha⁻¹ de P₂O₅), sendo a metade na forma não lábil. Segundo Sousa e Lobato (2004), em solos argilosos (35<teor de argila< 60%) a muito argilosos (teor de argila> 60%), o poder tampão em P é muito elevado, podendo variar de 30 a 70 kg de P₂O₅ para cada 1 mg dm⁻³ de P. Ou seja, podem ser necessários de 30 a 70 kg de P₂O₅ para aumentar 1 mg dm⁻³ de P na análise de solo (extrator Mehlich 1).

A forma que sempre se preconizou para aumentar a disponibilidade de P nesses solos foi a fosfatagem corretiva, ou seja, aplicações de doses elevadas de fertilizantes fosfatados a lanço. Para cada 1% de argila, vem sendo sugeridas aplicações de 3 a 5 kg ha⁻¹ de P₂O₅, com fontes solúveis (superfosfato simples, superfosfato triplo e termofosfatos), aliadas a aplicações no sulco de semeadura (Lopes; Guilherme, 1994).

Ressalta-se que a fosfatagem corretiva somente deve ser recomendada para solos com teores baixos e/ou muito baixos de P, que já tiveram a acidez corrigida, a fim de evitar a perda do P, por precipitação com íons Al³⁺ e Fe²⁺, presentes em solos ácidos. Deve ser mencionado que em alguns casos, o custo elevado dessa operação tem desestimulado sua prática. No

entanto, a adubação corretiva gradual tem mostrado resultados promissores. Nesse caso, os fertilizantes são aplicados no sulco de semeadura em quantidades superiores às exportadas pela cultura (**Tabela 11**).

Tabela 11. Recomendação de adubação fosfatada corretiva para a cultura da soja nos solos sob cerrados.

Argila	Adubação corretiva total		Adubação corretiva gradual	
	Muito baixo	Baixo	Muito baixo	Baixo
%	kg ha ⁻¹			
61-80	240	120	100	90
41-60	180	90	90	80
21-40	120	60	80	70
<20	100	50	70	60

Fonte: Adaptado de Lopes e Guilherme (1994).

Após a construção da fertilidade e adoção do SSD, ocorre melhor aproveitamento de todos nutrientes, principalmente do P. Com a ausência do revolvimento do solo, reduzem-se as reações de adsorção do P à superfície dos óxidos e hidróxidos de Fe e Al, em razão do menor contato do fertilizante aplicado com os coloides.

Com o aumento dos teores de MO do solo, promovido pelo SSD, há incremento das formas orgânicas de P, que são mais lábeis, ou seja, mais eficientes no processo de nutrição das plantas. Com a elevação da MO, incrementa-se as formas da MO mais estabilizada (substâncias húmicas), composta de ácidos fúlvicos (AF), ácidos húmicos (AH) e humina (HU) (Silva; Mendonça, 2007). Atualmente, sabe-se que os grupos carboxílicos (R-COOH) e fenólicos (R- <O> -OH), presentes principalmente nos AF e AH,

se ligam de forma covalente às superfícies dos óxidos de Fe e Al. Desse modo, principalmente os grupos R-COOH competem com o H_2PO_4^- das adubações pelos mesmos sítios de adsorção dos óxidos, reduzindo-se as perdas do P por adsorção. Os grupos R-COOH também são capazes de complexar o Al^{3+} da solução, podendo reduzir a precipitação de P com o Al^{3+} (Silva; Mendonça, 2007).

Atualmente os solos de muitas regiões brasileiras se apresentam com fertilidade construída, ou seja, além de baixos teores de Al^{3+} , se encontram com elevados teores de P, K, Ca, Mg e MO, diferentemente da época em que as metodologias de recomendação de corretivos e fertilizantes foram desenvolvidas (Resende et al., 2016a). No caso do P, isso ocorreu porque os baixos teores iniciais do nutriente, aliados à alta capacidade de sua fixação nos solos, fizeram do nutriente o mais "privilegiado" nas adubações. Sempre se trabalhou com altas doses de P na forma de adubações corretivas (fosfatagem corretiva) e/ou na semeadura das culturas anuais. Na semeadura sempre se preconizou formulações com altas percentagens de P_2O_5 , trabalhando-se com doses de 30 a 40% acima da recomendada para as culturas (fosfatagem corretiva gradual).

As pesquisas atuais mostram que em solos de fertilidade construída, as doses de P podem ser reduzidas para algumas culturas. Entretanto, há necessidade de mais estudos para o sistema de produção de culturas anuais, pois mesmo em solos com altos teores de P, muitos produtores continuam empregando altas doses de P na semeadura, uma vez que há receio de se reduzir as produtividades. No entanto, isso pode causar desequilíbrios, visto que muitas vezes principalmente as

quantidades de N e K aplicadas não são suficientes para atender a exportação dos nutrientes pela cultura.

Fontes de fertilizantes fosfatados

Para os solos com baixa disponibilidade de fósforo, como os solos sob cerrado, os fosfatos solúveis (superfosfatos e fosfatos de amônio) tem sido as fontes mais eficientes para a maioria das culturas. Os fosfatos com alta solubilidade em ácido cítrico (termofosfatos e fosfatos de origem sedimentar: gafsa, arad, etc.) podem ter eficiência similar aos solúveis em água, quando somados o efeito residual há longo prazo, em solos com $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ inferior a 5,5. Por sua vez, os fosfatos naturais brasileiros (Araxá, Catalão, Patos e outros) têm mostrado baixa eficiência inicial (3 a 20%), com relação aos solúveis em água (Lopes; Guilherme, 1994).

Visando o aumento da eficiência dos fertilizantes, recomenda-se a aplicação das fontes solúveis (superfosfatos e fosfatos de amônio) de maneira localizada (sulco de semeadura), após a calagem, utilizando-se as fontes na forma granulada. A finalidade dessas recomendações é diminuir a taxa de fixação do P aplicado. No entanto, quando se pretende "matar a fome" dos solos em P, através da fosfatagem corretiva, os fertilizantes (termofosfatos, superfosfatos ou fosfatos de amônio) devem ser aplicados a lanço em área total e incorporados de 0 a 10 cm.

As rochas fosfáticas brasileiras apresentam cerca de 4 a 5% de P_2O_5 solúvel em ácido cítrico e com teores de P_2O_5 total entre 28 a 30% (Dias; Fernandes, 2006). Esses produtos apresentam baixa eficiência agrônômica para culturas anuais, mesmo quando finamente moídos e aplicados a lanço em solos com pH em água inferior a 5,5. Esses fertilizantes são constituídos principalmente

de apatitas (fosfato tricálcico), de origem magmática ("fosfatos duros"), representando 17 e 50% das reservas mundiais e brasileiras de P, respectivamente.

Além da acidez, a maior eficiência dos fosfatos naturais ocorre quando esses produtos são finamente moídos e aplicados a lanço, na forma incorporada. Sendo necessário a calagem, a aplicação do calcário deve ser realizada visando apenas corrigir as deficiências de Ca e Mg, devendo ser realizada depois da aplicação do fosfato. Deve ser ressaltado que essas fontes são recomendadas apenas para pastagens tolerantes à acidez e certas perenes, devendo ser aplicadas em combinação com fontes solúveis, na proporção de 2/3 e 1/3, respectivamente.

Em solos com acidez corrigida ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ 6,0), mesmos os fosfatos naturais de origem sedimentar (fosfato de Arad) não têm se mostrado eficientes, comparado às fontes mais solúveis (superfosfatos). Para culturas anuais, nos solos com baixa disponibilidade de P, mesmo em condições de acidez moderada não tem sido verificada respostas à aplicação dos fosfatos naturais de origem sedimentar (Peruzzo et al., 1998).

Os fosfatos naturais de origem sedimentar (Gafsa, Arad, Carolina do Norte, etc.) são recomendados somente para solos com teores médios a altos de P. Deve ser lembrado que nessa situação nem sempre as culturas respondem à fertilização, pois trata-se de uma adubação de reposição ou manutenção. Considerando-se os teores totais de P_2O_5 dos fertilizantes, os fosfatos naturais somente serão viáveis economicamente se os preços por tonelada do produto forem menores do que 2/3 dos superfosfatos (Peruzzo et al., 1998). Independentemente do valor econômico, os fosfatos

naturais não são recomendados para culturas anuais, cultivadas em solos com baixos teores de P.

Potassagem

Em razão da baixa disponibilidade de potássio da grande maioria dos solos brasileiros, em algumas situações tem sido recomendada a adubação potássica corretiva a lanço. A prática visa à correção total e imediata da deficiência de potássio. No entanto, não é recomendada para solos com menos de 20% de argila, por causa das possibilidades de perdas do nutriente por lixiviação (Lopes; Guilherme, 1994).

Uma forma segura de se definir a dose de K_2O para potassagem corretiva total a lanço é o cálculo da dose visando atingir 3 a 5% da CTC a pH 7,0 saturada por K. Deve ser ressaltado que para atingir $0,1\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$ na CTC devem ser aplicados 94 kg ha^{-1} de K_2O , a lanço para a camada de 0 a 20 cm. Como a maior parte do potássio vem sendo aplicado a lanço nas lavouras de produção de grãos, para o fornecimento do potássio, pode-se calcular a dose necessária para atingir 3% da CTC, somada à dose necessária para fornecer o potássio exportado pelas culturas. Em solos arenosos, a dose deverá ser parcelada em pelo menos duas vezes. Nos solos argilosos, a dose calculada pode ser aplicada de uma única vez, próxima da época de semeadura da cultura. Para produção de silagem, são exportados $7,5\text{ kg}$ de K_2O por tonelada de massa seca produzida (Resende et al., 2016b). Por sua vez, para a produção de grãos são exportados $3,7\text{ kg}$ de K_2O por tonelada de grãos (Resende et al., 2016c). Deve ser ressaltado, que na definição da quantidade a ser aplicada deve-se considerar também a eficiência de uso do nutriente, que para o potássio está entre 60 a 70%.

Considerações finais

A calagem é a primeira prática para construção da fertilidade do solo. Para entrada no SSD, torna-se necessária a completa correção da acidez do solo até as camadas mais profundas, uma vez que o calcário apresenta baixa solubilidade e mobilidade no solo. Como em todos os cálculos da necessidade de calagem são feitos para a camada de 0 a 20 cm, quando se pretende incorporar o calcário em até 30 ou 40 cm, os resultados obtidos nos cálculos devem ser multiplicados pelos fatores 1,5 e 2,0, respectivamente;

O gesso é recomendado em locais com subsolos ácidos, ou seja, com as camadas subsuperficiais (20 a 40 e/ou 40 a 60 cm) apresentando teores de Ca menores que $0,4 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e/ou teores de Al maiores que $0,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e/ou saturação por Al^{3+} maior do que 30%.

Por sua vez, a fosfatagem corretiva somente deve ser recomendada para solos com teores baixos e/ou muito baixos de P, que já tiveram a acidez corrigida, a fim de evitar a perda do P, por precipitação com íons Al^{3+} e Fe^{2+} , presentes em solos ácidos.

No caso do potássio, deve-se buscar atingir cerca de 3 a 5% deste nutriente na CTC.

Referências

BARBOSA FILHO, M. P.; SILVA, O. D. Adubação e calagem para feijoeiro irrigado em solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 35, p. 1317-1324, 2000.

CAIRES, E. F. Correção da acidez do solo em sistema de plantio direto. **Informações Agrônomicas**, Piracicaba, v. 141, p. 13, 2013.

CAIRES, E. F.; BANZATTO, D. A.; FONSECA, A. F. Calagem na superfície em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 24, p. 161-170, 2000.

CAIRES, E. F.; FONSECA, A. F.; MENDES, J.; CHUEIRI, W. A.; MADRUGA, E. F. Produção de milho, trigo e soja em função das alterações das características químicas do solo pela aplicação de calcário e gesso na superfície, em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 23, p. 315-327, 1999.

DIAS, V. P.; FERNANDES, E. Fertilizantes: uma visão global sintética. **BNDES Setorial**, n. 24, p. 97-138, 2006.

FAGERIA, N. K. Efeito da calagem na produção de arroz, feijão, milho e soja em solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 36, p. 1419-1424, 2001a.

FAGERIA, N. K. Resposta de arroz de terras altas, feijão, milho e soja à saturação por base em solo de Cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 3, p. 416-424, 2001b.

FAGERIA, N. K.; STONE, L. F. Produtividade de feijão no sistema plantio direto com aplicação de calcário e zinco. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 39, p. 73-78, 2004

FOLONI, J. S. S.; OLIVEIRA, R. O.; GONÇALVES, R. P.; AMARAL, J. G. C.; ROSOLEM, C. A. Calagem e adubação com nitrogênio no

algodão: crescimento vegetal, lixiviação de bases e dinâmica do N no solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIENCIA DO SOLO, 28., 2001, Londrina. **Ciência do solo**: fator de produtividade competitiva com sustentabilidade. Londrina: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2001. v. 1, p. 162-162.

GUARÇONI, M. A.; ALVAREZ V., V. H.; NOVAIS, R. F.; CANTARUTTI, R. B.; LEITE, H. G.; FREIRE, F. M. Diâmetro de trado necessário à coleta de amostras num cambissolo sob plantio direto ou sob plantio convencional antes ou depois da aração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, p. 947-959, 2007.

KAMINSKI, J.; GATIBONI, L. C.; RHEINHEIMER, D. S.; MARTINS, J. R.; SANTOS, E. J. S.; TISSOT, C. A. Estimativa da acidez potencial em solos e sua implicação no cálculo da necessidade de calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 26, n. 4, p. 1107-1113, 2002.

KOSTENKO, I. V. Composition of exchangeable bases and acidity in soils of the Crimean Mountains. **Eurasian Soil Science**, v. 48, n. 8, p. 812-822, 2015.

LEBLANC, M. A.; PARENT, É.; PARENT, L. E. Lime requirement using Mehlich-III extraction and infrared-inferred cation exchange capacity. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 80, n. 2, p. 490-501, 2016.

LOPES, A. S. **Solos sob "cerrado"**: características, propriedades e manejo. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1984. 162 p.

LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G. **Solos sob cerrado**: manejo da fertilidade para a produção agropecuária. São Paulo: ANDA, 1994. 60 p. (ANDA. Boletim Técnico, 5).

MANUAL de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 10. ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Núcleo Regional Sul, Comissão de Química e Fertilidade do Solo, 2004. 400 p.

MARTINEZ, H. E. P.; CARVALHO, J. G.; SOUZA, R. B. Diagnose foliar. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARAES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Ed.). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**: 5ª aproximação. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999.

MOREIRA, S. G.; KIEHL, J. C.; PROCHNOW, L. I.; PAULETTI, V. Calagem em sistema de semeadura direta e efeitos sobre a acidez do solo, disponibilidade de nutrientes e produtividade de milho e soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 25, p. 71-81, 2001.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J.; NUNES, F. N. Fósforo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 471-537.

OLIVEIRA, E. L. de; PAVAN, M. A. Control of soil acidity in no-tillage system for soybean production. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 38, n. 1/2, p. 47-57, 1996.

PAULETTI, V.; MOTTA, A. C. V.; SERRAT, B. M.; FAVARETTO, N.; ANJOS, A. dos. Atributos químicos de um Latossolo bruno sob

sistema plantio direto em função da estratégia de adubação e do método de amostragem de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 33, n. 3, p. 581-590, 2009.

PERUZZO, G.; PÖTTKER, D.; WIETHOLTER, S. Fosfato natural x superfosfato triplo. **A Granja**, Porto Alegre, v. 70, p. 71-71, 1998.

QUAGGIO, J. A.; RAIJ, B. V. Equipamentos para o manuseio simultâneo de amostras. In: RAIJ, B. van; ANDRADE, J. C. de; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. (Org.). **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 2001. v. 1, p. 67-77.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. 2. ed. Piracicaba: IPNI, 2011. v. 1. 420 p.

RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1997. 285 p. (Boletim técnico, 100).

RESENDE, A. V. de; FONTOURA, S. M. V.; BORGHI, E.; SANTOS, F. C. dos; KAPPES, C.; MOREIRA, S. G.; OLIVEIRA JÚNIOR, A. de; BORIN, A. L. D. C. Solos de fertilidade construída: características, funcionamento e manejo. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 156, p. 1-19, dez. 2016a.

RESENDE, A. V. de; GUTIÉRREZ, A. M.; SILVA, C. G. M.; ALMEIDA, G. O.; GUIMARAES, P. E. de O.; MOREIRA, S. G.; GONTIJO NETO, M. M. **Requerimentos nutricionais do milho para a produção de silagem**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2016b. 12 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 221).

RIBEIRO, A. C.; GUIMARAES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Ed.). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação.** Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999.

RESENDE, A. V. de; SILVA, C. G. M.; GUTIÉRREZ, A. M.; SIMÃO, E. de P.; GUIMARAES, L. J. M.; MOREIRA, S. G.; BORGHI, E. **Indicadores de demanda de macro e micronutrientes por híbridos modernos de milho.** Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2016c. 9 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 220).

SÁ, J. C. M. Calagem em solos sob plantio direto da região dos Campos Gerais, centro sul do Paraná. In: SA, J. C. M. **Curso sobre o manejo do solo no sistema de plantio direto.** Castro: Fundação ABC, 1995. p. 73-107.

SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). **Fertilidade do solo.** Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 275-374.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. (Ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação.** 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2004. 416 p.

SOUSA, D. M. G.; MIRANDA, L. N.; OLIVEIRA, S. A. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). **Fertilidade do solo.** Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 205-274.

ZANCANARO, L.; KAPPES, C.; VALENDORFF, J. D. P.; CORADINI, D.; DAVID, M. A.; ONO, F. B.; SEMLER, T. D.; VIDOTTI, M. V. Manejo do solo, adubação e nutrição na cultura da soja. In: BOLETIM de pesquisa 2017/2018. Rondonópolis: Fundação MT, 2018.

Capítulo 14

Novos Enfoques para Adubações de Manutenção em Solos de Fertilidade Construída

Sandra Mara Vieira Fontoura

Cimélio Bayer

Renan Costa Beber Vieira

Renato Paulo de Moraes

Introdução

Apesar da importância na economia do País, a produtividade média de milho no Brasil tem se situado ao redor de 5.560 kg ha⁻¹, e no Estado do Paraná, segundo maior produtor nacional de milho, a produtividade obtida na safra 2016/2017 foi de 6.115 kg ha⁻¹ (Conab, 2018).

A Cooperativa Agrária Agroindustrial está situada na região Centro-Sul do Paraná, em uma altitude média de 800 a 1.200 m e abrange uma área de aproximadamente 110 mil hectares (Agrária, 2017). No verão a cultura do milho ocupa 25% da área cultivada em rotação com a soja (75%), enquanto no inverno, a cevada e o trigo se destacam como as principais espécies. Nessa região, características de solo, clima e, principalmente, práticas de manejo, têm sido apontadas como responsáveis pela obtenção de elevadas produtividades das culturas, em especial o milho, cuja média na safra 2016/2017 alcançou 13.704 kg ha⁻¹ (28.554 ha) (Agrária, 2017).

Apesar das altas produtividades de grãos obtidas na região Centro-Sul não existia, no Estado do Paraná, um sistema de indicação de fertilizantes englobando as espécies envolvidas na rotação, cujo manejo de adubação era baseado em publicações e indicações técnicas isoladas para cada cultura (Tecnologias..., 2013; Reunião Nacional de Pesquisa de Cevada, 2015; Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale, 2016; Oliveira, 2003), ou ainda eram utilizadas as indicações de outros estados como do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (Manual..., 2016) e de São Paulo (Raij et al., 1997), que foram desenvolvidas em solos e climas distintos.

Nesse sentido a FAPA (Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária), em cooperação com o Departamento de Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, conduziu um programa de pesquisa a partir de 2004 visando o desenvolvimento de um sistema de indicação de corretivos e fertilizantes para obtenção de altos rendimentos das culturas de soja, milho e cereais de inverno cultivados em sistema de rotação em plantio direto. Mais de 200 experimentos foram conduzidos em diversos municípios da região Centro-Sul do Paraná e por vários anos, gerando resultados consolidados e representativos da região de abrangência da Cooperativa Agrária, destacando-se:

Calagem

A indicação de calagem adotada pelo Paraná é calculada em função da porcentagem de saturação por bases (Embrapa, 2013, 2015, 2016). O cálculo da necessidade de calcário (NC) é feito utilizando a seguinte fórmula:

$$NC \text{ (t ha}^{-1}\text{)} = [CTC \times (V2 - V1) \times f] / 100$$

Onde,

CTC é a capacidade de troca de cátions em pH 7,0 ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), obtida pela soma dos teores de Ca, Mg, K, Na e H+Al;

V2 é a porcentagem desejada de saturação por bases;

V1 é a porcentagem de saturação de bases fornecida pela análise do solo;

f é o ajuste do poder relativo de neutralização total (PRNT) do calcário, obtido pela fórmula $100 / \text{PRNT}$.

O valor da porcentagem de saturação por bases indicada, bem como o valor considerado limite para a aplicação de calcário, varia entre as culturas. Para o trigo, a indicação é de aplicar calcário quando a porcentagem de saturação por bases for inferior a 50%, visando atingir 60% (Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale, 2016). Para a cultura da soja, a meta é a saturação por bases de 70%, sendo citado o valor de 60% como critério de decisão pela calagem (Tecnologias..., 2013).

O manejo da acidez do solo tem sido objeto de estudo na região Centro-Sul do Paraná para definir critérios de indicação da necessidade de calagem. Uma análise conjunta de cinco experimentos com calagem em solos em plantio direto de longa duração permitiu estabelecer a relação entre o rendimento de grãos das culturas e os atributos químicos do solo (**Figura 1**). Os dois indicadores da acidez utilizados neste estudo para a definição dos critérios de calagem foram o pH em CaCl_2 e a saturação por bases (V%).

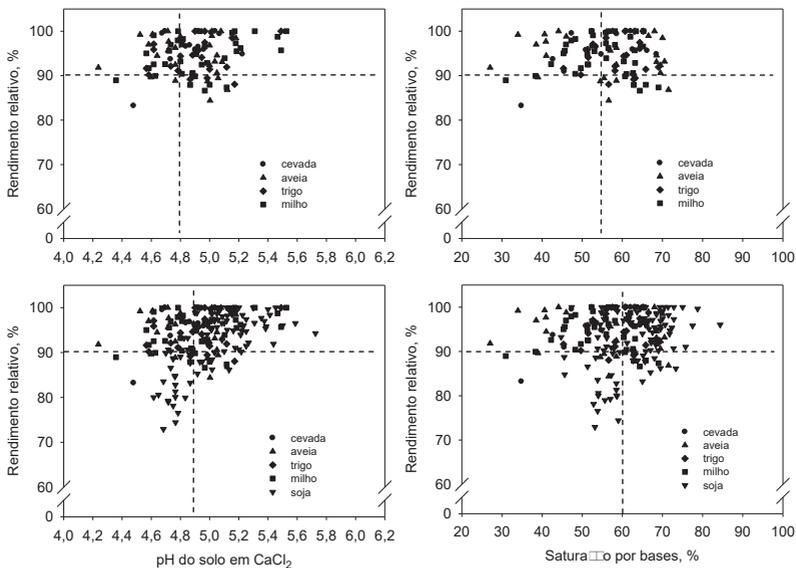


Figura 1. Relação entre o rendimento relativo de grãos e os indicadores de acidez do solo na camada de 0-20 cm de profundidade em sistema plantio direto.

Dentre os principais resultados, as gramíneas cultivadas (milho, cevada, trigo e aveia branca) apresentaram menor resposta à calagem, o que pode estar relacionado ao alto teor de matéria orgânica nestes solos ($> 50 \text{ g dm}^{-3}$), que reduz a toxicidade do alumínio, proporcionando alto rendimento das culturas mesmo em condição de baixa fertilidade (Miyazawa et al., 1993; Franchini et al., 1999; Vieira et al., 2009). A cultura da soja demonstrou-se mais sensível à acidez do solo, apresentando incremento no rendimento relativo de grãos com o aumento do pH do solo resultante da calagem.

Na análise conjunta de todas as culturas, os critérios de calagem obtidos foram pH do solo em CaCl_2 de 4,9 e saturação por bases de 60%, considerando-se a camada de 0-20 cm.

Adubação nitrogenada

Resultados obtidos no programa de pesquisa conduzido por mais de 10 anos foram analisados e interpretados visando o desenvolvimento de tecnologia de manejo do nitrogênio (N) para obtenção de alto rendimento de milho e adaptada ao uso de plantas de cobertura em plantio direto. O sistema de indicação de N para o milho foi baseado em três critérios principais: expectativa de rendimento da cultura, teor de matéria orgânica do solo e planta de cobertura utilizada. A expectativa de rendimento determina a demanda de N pela cultura, enquanto a matéria orgânica e a planta de cobertura (pré-cultura) afetam a disponibilidade de N do solo para o milho. A partir da diferença entre demanda e disponibilidade de N, pode-se estimar a quantidade de N a ser aplicada, levando-se em consideração a eficiência do adubo nitrogenado. Além da dose de N, o seu manejo envolveu a definição da época adequada e a necessidade de parcelamento da aplicação, a eficiência de diferentes fontes de N e a avaliação de critérios adicionais para ajuste da dose a ser utilizada. Das doses de N indicadas na **Tabela 1**, sugere-se que 40 kg ha⁻¹ devam ser aplicados na semeadura e o restante em cobertura na forma de ureia, em uma ou duas aplicações.

Tabela 1. Indicação de N para a cultura do milho no sistema plantio direto na região Centro-Sul do Paraná.

Cultura antecedente e teor de MO (g kg ⁻¹)	Expectativa de Rendimento de Grãos, t ha ⁻¹				
	6–8	8,1–10	10,1–12	12,1–14	14,1–16
----- kg ha ⁻¹ -----					
Gramíneas					
< 40	100	150	220	300	380
41-60	60	110	180	260	340
> 60	≤ 40	70	140	220	300
Consórcio Gramínea–Leguminosa e Nabo Forrageiro					
< 40	60	110	180	260	340
41-60	≤ 40	60	130	210	300
> 60	≤ 40	≤ 40	90	180	260
Leguminosas					
< 40	≤ 40	60	130	210	290
41-60	≤ 40	≤ 40	80	160	250
> 60	≤ 40	≤ 40	40	130	210

^{/1} Fonte: Adaptado de Fontoura et al. (2015)² Teor de MO do solo referente à camada de 0-20 cm. ^{/3} ≤40 kg ha⁻¹ corresponde à indicação de N a ser realizada na semeadura do milho. ^{/4} Aplicar 20 kg ha⁻¹ de N menos em situações onde a pré-cultura gramínea apresentar baixa produção de biomassa (< 2 t ha⁻¹). Em situações onde a pré-cultura consórcio gramínea-leguminosa / nabo ou leguminosa solteira apresentar baixa produção de biomassa, aplicar doses de N 20 e 40 kg ha⁻¹ maiores às indicadas na tabela, respectivamente.

Adubação fosfatada e potássica

Estudos do manejo da adubação fosfatada e potássica com fins de indicação de fertilizantes para as culturas em solos em plantio direto de longa duração foram intensificados na região a

partir do ano de 2008, quando três experimentos de calibração de fósforo (P) e três experimentos de calibração de potássio (K) foram instalados a campo. Posteriormente, buscando ampliar a qualidade da informação e a indicação de doses de adubação, 44 experimentos com doses de P e 44 experimentos com doses de K foram conduzidos durante dois anos agrícolas (2011, 2011/12, 2012 e 2012/13), visando avaliar a resposta à adubação das diferentes culturas utilizadas na rotação (milho, soja, trigo e cevada).

A análise conjunta dos experimentos demonstrou maior exigência em P e K pelas culturas de inverno (trigo e cevada), as quais determinaram o teor crítico de $8,0 \text{ mg dm}^{-3}$ de P (Mehlich-1) e $0,23 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de K na camada de 0-20 cm, enquanto que para as culturas de verão (milho e soja), os teores críticos para esta camada foram de 6 mg dm^{-3} (Mehlich-1) e $0,15 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, respectivamente.

A partir da definição dos teores críticos, obteve-se a divisão da curva de calibração em classes de disponibilidade de P e K, bem como na estimativa de adubação para as culturas em cada classe.

A determinação das doses de correção do solo pela necessidade de nutriente a ser adicionado para elevar os teores de P ou K ao teor crítico é a metodologia adotada em grande parte dos estudos de recomendação de adubação desenvolvidos no Brasil nos últimos anos (Schlindwein; Gianello, 2008; Schlindwein et al., 2011; Reunião Nacional de Pesquisa de Cevada, 2015; Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale, 2016). Essa metodologia é eficiente na estimativa de doses matemáticas de nutriente, como no caso do potássio, sendo assim, é utilizada para a indicação de doses de correção de K no estado do Paraná, bem como nesse estudo, para as classes de disponibilidade baixa (0 a $0,12 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e média ($0,12$ a $0,23 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$).

No caso da adubação fosfatada, doses de correção de P são ineficientes em solos como os Latossolos Brunos da região Centro-Sul do Paraná, visto que para elevar 1 mg dm⁻³ de P na camada de 0-20 cm é necessário adicionar mais de 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (Vieira, 2010), o que inviabiliza economicamente esta prática. Dessa forma, para a indicação de adubação de P para as culturas nas classes de disponibilidade baixa (0 a 4 mg dm⁻³) e média (4 a 8 mg dm⁻³), utilizaram-se doses de P que visam a máxima eficiência econômica, através da análise da resposta das culturas às doses nos 44 experimentos com P.

A resposta das culturas ao P e K adicionado nas suas distintas classes de disponibilidade no solo foi avaliada pelo retorno econômico (R\$ ha⁻¹) a partir da aplicação de 50 kg ha⁻¹ de P₂O₅ nos experimentos de resposta à adubação de P e de K₂O nos experimentos de resposta à adubação de K, considerando a situação de preço de grãos médio de 5 anos (**Figura 2**). Nessa avaliação, os maiores retornos econômicos foram observados nas classes de disponibilidade de P baixa e média, como de K na classe média, enquanto que a aplicação de 50 kg ha⁻¹ de P₂O₅ ou K₂O nas classes alta e muito alta tendem a ser positivas em menos de 50% dos casos, com retorno econômico (R\$ ha⁻¹) médio negativo.

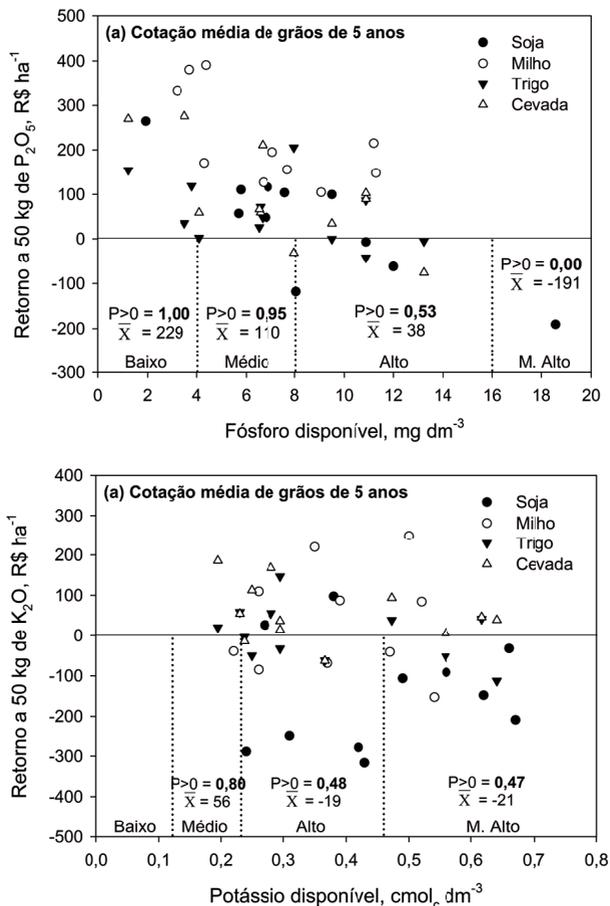


Figura 2. Retorno líquido da adubação fosfatada e potássica em diferentes teores de P e K disponíveis e preços de grãos. Cotação de soja, milho, trigo e cevada de R\$ 789, R\$ 355, R\$ 522 e R\$ 496 t⁻¹. Cotação dos fertilizantes de R\$ 1.654 t⁻¹ de P_2O_5 e R\$ 1.258 t⁻¹ de K_2O .

As doses de P e K indicadas para solos abaixo do teor crítico dos nutrientes foram maiores que as atuais utilizadas no Estado do Paraná (Vieira, 2014), tanto para a cultura da soja (Tecnologias...

2013), quanto para milho (Oliveira, 2003), trigo e cevada (Reunião Nacional de Pesquisa de Cevada, 2015; Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale, 2016). A diferenciação entre as indicações decorre principalmente das maiores expectativas de rendimento das culturas e produtividades obtidas na região Centro-Sul do Paraná.

O manejo da adubação de P e K nas classes acima do teor crítico tem sido realizado com base na adubação de reposição do nutriente. Especificadamente na adubação de K para a cultura da soja, resultados negativos de rendimento foram observados com a aplicação de K em solos com teores do nutriente acima de $0,23 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (classes de disponibilidade alta e muito alta) (**Figura 1**). Neste caso de disponibilidade de K alta ou muito alta, a adubação de reposição para a cultura da soja pode ser antecipada e adicionada conjuntamente na adubação das culturas de inverno.

Considerações finais

Os critérios de manejo da fertilidade do solo indicados para a região Centro-Sul do Estado do Paraná representam a compilação de diversos experimentos conduzidos ao longo dos anos, no entanto, qualquer sistema de indicação de fertilizantes necessita ser continuamente avaliado. Além disso, há necessidade de identificar as lacunas responsáveis pelas diferenças de produtividade observadas dentro de uma mesma região, de forma a maximizar a produtividade da cultura do milho. Isso possivelmente passa pelo manejo da fertilidade do solo, mas também pela integração das diversas práticas de manejo e pela melhoria em todo o processo produtivo, desde o plantio até a colheita.

Agradecimentos

Os autores agradecem aos agrônomos da assistência técnica e aos cooperados da Cooperativa Agrária Agroindustrial que auxiliaram na condução dos experimentos ao longo dos anos.

Referências

AGRÁRIA. Cooperativa Agrária Agroindustrial. **Relatório anual 2017**. Disponível em: <http://www.agraria.com.br/arquivos/relatorio_anual_2017.pdf>. Acesso em: 18 maio 2018.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Série histórica das safras**: milho: safra 2016/2017. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras?start=20>>. Acesso em: 18 maio 2018.

FONTOURA, S. M. V.; VIEIRA, R. C. B.; BAYER, C.; VIERO, F.; ANGHINONI, I.; MORAES, R. P. de. **Fertilidade do solo e seu manejo em sistema plantio direto no Centro-Sul do Paraná**. Guarapuava : Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária, 2015. 146 p.

FRANCHINI, J. C.; MALAVOLTA, E.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A. Alterações químicas em solos ácidos após a aplicação de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 23, n. 3, p. 533-542, 1999.

MANUAL de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. 11. ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Núcleo Regional Sul, 2016.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; CALEGARI, A. Efeito de material vegetal na acidez do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 17, p. 411-416, 1993.

OLIVEIRA, E. L. **Sugestão de adubação e calagem para culturas de interesse econômico no Estado do Paraná**. Londrina: IAPAR, 2003. 30 p. (IAPAR. Circular, 128).

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. rev. atual. Campinas: Instituto Agrônomo: FUNDAG, 1997. 285 p. (IAC. Boletim Técnico, 100).

REUNIÃO DA COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO E TRITICALE, 9., 2015, Passo Fundo. **Informações técnicas para trigo e triticale - safra 2016**. Passo Fundo: Biotrigo Genética, 2016. 228 p.

REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE CEVADA, 30., 2015, Passo Fundo. **Indicações técnicas para a produção de cevada cervejeira nas safras 2015 e 2016**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2015. 106 p. (Embrapa Trigo. Sistemas de produção, 8).

SCHLINDWEIN, J. A.; BORTOLON, L.; GIANELLO, C. Calibração de métodos de extração de potássio em solos cultivados sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 35, p. 1669-1678, 2011.

SCHLINDWEIN, J. A.; GIANELLO, C. Calibração de métodos de determinação de fósforo em solos cultivados sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, p. 2037-2049, 2008.

TECNOLOGIAS de produção de soja - Região Central do Brasil 2014. Londrina: Embrapa Soja, 2013. 265 p. (Embrapa Soja. Sistemas de Produção, 16).

VIEIRA, F. C. B.; BAYER, C.; ZANATTA, J.; ERNANI, P. R. Organic matter kept Al toxicity low in a subtropical no-tillage soil under long-term (21-year) legume based crop systems and N fertilization. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v. 47, p. 707-714, 2009.

VIEIRA, R. C. B. **Camada diagnóstica, critérios de calagem e teores críticos de fósforo e potássio em solos sob plantio direto no Centro-Sul do Paraná**. 2010. 83 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

VIEIRA, R. C. B. **Recomendação de adubação fosfatada e potássica para rotação de culturas em Latossolos em plantio direto de longa duração no Centro-Sul do Paraná**. 2014. 81 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

Capítulo 15

Milho e Sorgo: Culturas Estratégicas para Arranjos Produtivos em Integração Lavoura-Pecuária-Floresta

Miguel Marques Gontijo Neto

Emerson Borghi

Ramon Costa Alvarenga

Álvaro Vilela de Resende

Maria Celuta Machado Viana

Introdução

Com base na análise apresentada pela Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), a demanda global de alimentos está aumentando como resultado do crescimento populacional e das mudanças nas dietas. De acordo com Alexandratos e Bruinsma (2012) e Tilman et al. (2011), as previsões são de que a taxa de acréscimo na demanda global de produtos agrícolas (incluindo alimentos, rações, fibras e biocombustíveis) seja de 1,1% ao ano no período entre 2005/07 a 2050.

Neste cenário, espera-se que o Brasil dobre sua produção agrícola, o que, mais do que uma responsabilidade, pode ser uma grande oportunidade para o agronegócio brasileiro, uma vez que o país detém recursos naturais e potencial de desenvolvimento tecnológico para a implementação de sistemas sustentáveis de produção agropecuária suficientes para o atendimento desta demanda, destacando-se que, nos últimos 20 anos, a produção e a produtividade agrícola cresceram mais do que a média mundial.

Frente a grande oportunidade/demanda por ampliação na produção agropecuária nacional, os produtores rurais e técnicos enfrentam diariamente os desafios por maiores produtividades por unidade de área, principalmente em condições de exploração já antropizadas tanto pela atividade agrícola quanto também pela exploração pecuária, esta última em grande parte efetuada em grandes áreas de forma quase que extrativista.

Para atender ao desafio de ampliação da produção de alimentos e fibra via aumentos na produtividade, a estratégia ILPF tem se mostrado extremamente viável, do ponto de vista agrônômico, econômico e ambiental, neste processo de intensificação sustentável em sistemas de produção convencionais.

Neste processo de intensificação sustentável no âmbito da ILPF, as culturas do milho e do sorgo se destacam como estratégicas por causa das inúmeras aplicações que esse cereal tem dentro da propriedade agrícola, quer seja na alimentação animal na forma de grãos ou de forragem verde ou conservada (rolão, silagem, feno), na alimentação humana ou na geração de receita mediante a comercialização da produção excedente.

Apesar de toda a heterogeneidade dos empreendimentos agropecuários no Brasil, podemos perceber que sistemas integrados de produção embasados a utilização das culturas do milho e sorgo são estratégicos em, principalmente, dois tipos de propriedades rurais:

Propriedades rurais especializadas em pecuária embasada em pastagens, normalmente com bovinocultura (leite e/ou corte) e em menor frequência, exploradas com ovinocultura. Nestas propriedades a introdução de lavouras anuais têm por objetivo

principal a recuperação e/ou manutenção da produtividade das pastagens, entretanto, estas lavouras podem também aumentar a oferta de alimentos na propriedade, seja pela produção de silagem ou de grãos produzidos;

Propriedades rurais onde coexistam, de forma bem estruturada, a produção de grãos/fibras, produtos florestais e a pecuária. Estas propriedades adotam de forma sistemática a rotação de pasto e lavoura, com ou sem a presença do componente arbóreo, intensificando o uso da terra, a ciclagem de nutrientes e potencializando e explorando a sinergia entre estas pecuárias e agrícolas.

Milho e sorgo em sistemas ILPF

A Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) mais do que uma tecnologia ou “pacote tecnológico” deve ser considerada como uma “estratégia que visa a produção sustentável por meio da integração de atividades agrícolas, pecuárias e florestais, realizadas na mesma área, em cultivo consorciado, em sucessão ou rotacionado, buscando efeitos sinérgicos entre os componentes do agroecossistema, contemplando a adequação ambiental, a valorização do homem e a viabilidade econômica” (Barcellos et al., 2011). Dentro do atual conceito de ILPF estão contempladas as quatro combinações de componentes possíveis, quais sejam: Integração Lavoura-Pecuária (agropastoril); Integração Pecuária-Floresta (silvipastoril); Integração Lavoura-Floresta (agroflorestal); e Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (agrosilvipastoril).

Mesmo podendo estar presentes em sistemas agroflorestais, os cultivos de milho e sorgo são extremamente sinérgicos e

racionais em sistemas integrados ao componente pecuário, quais sejam, na Integração Lavoura-Pecuária (ILP) e na Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), onde, na maioria dos casos, em função do sombreamento oriundo do componente arbóreo aumentar no decorrer do ciclo de crescimento das árvores, as culturas anuais são viáveis apenas nas primeiras safras após a implantação do sistema.

Na maior parte do Brasil, onde a pecuária está embasada em áreas de pastagens, existe a necessidade de conservação de forragens/alimentos, principalmente para as épocas secas do ano, onde por falta de água ou baixas temperaturas, as espécies de capins presentes não produzem forragem suficiente para alimentação do rebanho. Nestes sistemas de produção, a utilização de milho e/ou sorgo pode-se obter grande produção de alimentos na propriedade rural.

Assim, além da produção de grãos de alto valor energético, pode incrementar a produção de forragem na propriedade, seja com a produção de silagem, feno, corte verde ou pastejo por meio do semeio consorciado destas culturas com forrageiras tropicais perenes e, posteriormente, elevando-se a capacidade de suporte das áreas de pastagens recuperadas (após a cultura), disponibilizando estas áreas, com uma pastagem de ótima qualidade nutricional, para pastejo no período crítico do ano (seca).

As possibilidades de combinações entre as diversas culturas e a atividade pecuária, seja carne, leite, bovina, caprina ou ovina, são enormes. Assim, a combinação de atividades e espécies vegetais nos sistemas de produção integrados serão definidos em função das características edafoclimáticas da propriedade,

aspectos de mercado e logística para aquisição de insumos e venda da produção e do interesse e capacidade de investimento do produtor. Cabe ressaltar que a complexidade do sistema aumenta com o número de atividades ou culturas envolvidas, assim, o auxílio de técnicos capacitados pode ser muito útil para o produtor, da mesma forma, a profissionalização gerencial do produtor torna-se um fator decisivo no sucesso da ILP/ILPF na propriedade.

Consortiação de milho e sorgo com forrageiras tropicais perenes

Na região do Cerrado é comum a realização das semeaduras de culturas anuais em safra e safrinha durante o período chuvoso com pastagem em consórcio, melhorando o fornecimento de alimento para os animais na estação seca. Este modelo de exploração apresenta diversas vantagens, tais como: melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo; quebra de ciclos de doenças; redução da infestação de insetos-praga e de plantas daninhas; redução no custo de recuperação e renovação de pastagens (Vilela et al., 2011).

De uma maneira geral, as culturas do milho e do sorgo (granífero, forrageiro para silagem ou pastejo/corte/fenação) têm se destacado em consorciações com capins em virtude do rápido crescimento inicial e porte alto, o que facilita a competição com os outros componentes e, no caso da colheita de grãos, a colheita mecanizada. Soma-se a isto a existência de um grande número de cultivares comerciais adaptadas às diferentes regiões do Brasil, possibilitando o cultivo deste cereal de norte a sul do país. Em locais onde o clima favorece o plantio do milho e/ou sorgo, estes cereais têm sido recomendados para compor o sistema,

pois consorciavam-se bem tanto com o as gramíneas forrageiras e também quando ocorre a presença do componente arbóreo (Viana et al., 2011; Moreira et al., 2018).

Neste sentido, estas culturas são particularmente interessantes para a formação de sistemas consorciados forrageiras tropicais perenes (capins) por causa da simplicidade de condução e amplitude de utilização diante de diversidades climáticas, sendo o seu sistema de produção bem difundido entre os produtores.

Nestes consórcios, uma das principais culturas utilizadas na ILP é o milho (*Zea mays* L.), seja em função de sua versatilidade (produção de grãos ou forragem) seja pela sua competitividade no consórcio, visto que o porte alto das plantas de milho exerce, depois de estabelecidas, grande pressão de supressão sobre as demais espécies que crescem no mesmo local. Da mesma forma, a altura de inserção da espiga permite que a colheita mecanizada seja realizada sem grandes problemas, pois a regulagem mais alta da plataforma diminui os riscos de embuchamento. Somando-se a isso, com a disponibilidade de herbicidas gramínicidas pós-emergentes, seletivos ao milho, é possível obter-se resultados excelentes com o consórcio milho + capim. A cultura do milho possibilita também trabalhar com diferentes espaçamentos, sendo que, atualmente, a tendência é reduzir o espaçamento entre as fileiras do milho. Isso vai melhorar a utilização de luz, água e nutrientes e aumentar a capacidade de competição das plantas de milho. No consórcio com forrageiras a redução de espaçamento tem, ainda, a vantagem de formar um pasto mais bem estabelecido (fechado), quando as sementes da forrageira são depositadas somente na linha de plantio do milho. A decisão pelo espaçamento do consórcio a ser estabelecido deve levar

em conta a disponibilidade das máquinas, tanto para o plantio quanto para a colheita.

No consórcio, é importante salientar que, dentro do conceito dos sistemas integrados, mais importante que observar as produtividades da cultura granífera (milho ou sorgo, por exemplo) é verificar os efeitos positivos que a forrageira terá após a colheita dos grãos ou de silagem. Borghi e Crusciol (2007), ao avaliarem quatro modalidades de cultivo sendo 3 em consórcio com *U. brizantha* cv. Marandu, obtiveram menores produtividades de milho quando o consórcio foi realizado simultaneamente na linha e na entrelinha do milho, porém, a produtividade de forragem foi maior nesta modalidade. Borghi et al. (2012) avaliando o consórcio de milho com *U. brizantha* cv. Marandu nos espaçamentos de 0,45 e 0,90 cm entrelinhas observaram que a produtividade de milho não sofreu influência da forrageira (9.745 kg ha⁻¹ no cultivo solteiro e 10.301 kg ha⁻¹ no cultivo consorciado), mesmo sem a necessidade de controle do crescimento da braquiária. A diferença significativa ocorreu no espaçamento entrelinhas, em que o espaçamento de 0,90 cm reduziu a produtividade de milho em 10%. Porém, neste espaçamento, a produtividade de matéria seca da forrageira foi superior tanto na época de colheita quanto nas duas simulações de corte demonstrando que, se a necessidade de pastagem no período de outono/primavera for a prioridade na utilização do consórcio, esta redução da produtividade de milho pode ser compensada com o ganho de peso dos animais pela maior oferta de forragem.

Da mesma forma, Santos et al. (2011) avaliando sistemas de cultivos de milho solteiro e consorciado com *U. ruziziensis* semeadas na linha e na linha + entrelinhas observaram que

a produtividade de grãos de milho não foram afetadas pela consorciação, com produtividades médias de 7.050, 6.386 e 7.276 kg ha⁻¹ para o milho solteiro, com o capim semeado na linha e na linha + entrelinha, respectivamente.

Na grande maioria das regiões que cultivam o milho consorciado com forrageiras há predominância pelo uso de gramíneas do gênero *Urochloa* (*Syn. Brachiaria*). Porém, há trabalhos que demonstram a viabilidade do consórcio do milho com outras espécies, em especial do gênero *Metathyrus* (*Syn. Panicum*). Borghi et al. (2013) ao avaliar, por 3 anos agrícolas sucessivos, os consórcios de milho com capins marandu e mombaça verificaram que a maior produtividade de grãos ocorreu no consórcio de milho com mombaça, com esta consorciação efetivada com as sementes da forrageira sendo semeada juntamente com a adubação de cobertura para o milho (**Tabela 1**). A menor produtividade de grãos ocorreu quando o consórcio de milho com mombaça foi realizado simultaneamente à semeadura, porém, neste sistema de cultivo, houve maior produtividade de matéria seca de forragem indicando que, em situações onde se deseja uma oferta de forragem assim que o milho for retirado do campo, este consórcio de milho com mombaça é uma alternativa interessante. Porém, os autores chamam atenção de que o consórcio na adubação de cobertura do milho prejudica o estabelecimento da forrageira e, por conseguinte, a formação da pastagem.

No tocante à produção de forragem, as culturas do milho e do sorgo forrageiro, solteiras ou em consórcio com capins, se destacam em relação a outras culturas para a produção de silagem pelo seu potencial de produzir uma grande quantidade de forragem com alto valor nutritivo, composição que resulta em ótima

fermentação no silo, sem maiores necessidade de inoculantes ou aditivos e produz uma silagem de boa palatabilidade, sendo culturas que produzem uma grande quantidade de energia digestível por unidade de área.

Tabela 1. Produtividade de grãos milho e forragens de cultivares de capins em diferentes períodos após a colheita.

Sistemas de cultivo	Produ- vidade de grãos	Produtividade de MS de forragem	
		60 DAC	150 DAC
-----kg ha-1-----			
Milho Solteiro	10.048 bc		
Milho + Marandu na semeadura	10.924 b	7.923 b	10.299 b
Milho + Marandu na cobertura	10.212 bc	5.369 c	6.980 c
Milho + Mombaça na semeadura	9.801 c	9.045 a	11.759 a
Milho + Mombaça na cobertura	12.077 a	5.988 c	7.785 c

Pariz et al. (2016), avaliando o efeito do consórcio de milho com *Urochloa* na produção de silagem em duas alturas de corte (20 cm e 45 cm de altura em relação à superfície do solo), observaram que, na época da produção de silagem de milho, a presença da braquiária não proporciona diferenças mesmo quando o corte ocorre a 45 cm de altura (**Tabela 2**). Pelos resultados encontrados, os autores concluem que, no caso do consórcio, é justamente este corte mais alto que acaba viabilizando o sistema. Nesta altura, pelo fato da maior quantidade de perfilhos e folhas que sobram após a operação de ensilagem, a quantidade de forragem no período de outono/inverno oferecida aos animais (ovinos) é maior e, conseqüentemente, o resíduo pós-pastejo que permanece como cobertura vegetal para palha no sistema plantio direto é superior.

Tabela 2. Produtividade de forragem de milho e braquiária em cultivos solteiro e consorciado, palhada, nutrientes na palhada e produtividade de grãos de soja na safra subsequente.

Sistemas de cultivo	Altura de corte	Produtividade silagem milho	Matéria seca de forragem (out/inv)	Palha residual	N	P	K	Produtividade de silagem soja
	---cm---	-kg MS ha ⁻¹	-----kg ha ⁻¹ -----	-----kg ha ⁻¹ -----	-----	-----	-----	-kg MS ha ⁻¹ -
Milho Solteiro	20	14,1 a		1,2 c	13,3 c	2,3 b	17,0 c	4,9 b
	40	12,0 b		1,3 c	14,7 c	2,4 b	18,5 c	5,1 b
Milho + <i>Urochloa</i>	20	14,5 a	6,2 b	2,6 b	21,9 b	3,4 a	23,3 b	5,0 b
	40	14,0 a	11,0 a	4,5 a	28,7 a	4,9 a	45,0 a	6,0 a

T – colheita da soja para silagem do estádio de desenvolvimento R7, conforme Fehr e Caviness (1977).

Avaliando a degradação da palha, os autores ainda concluíram que, após a dessecação, houve maior quantidade de N, P e K que retornou ao solo.

No cultivo da soja seguinte, esta diferença significativa ainda permanece, pois a produção de silagem de soja ainda apresenta produtividade superior quando semeada sobre a palha de braquiária cortada a 45 cm de altura no ano anterior. Através deste resultado, os autores demonstram que, para o caso da ILP onde a forrageira será pastejada na sequência, os manejos efetuados durante o período de consorciação permanecem durante todo o período de exploração do sistema.

Rezende et al. (2016) avaliando o consórcio de sorgo forrageiro para ensilagem com diferentes cultivares de capim não observaram diferenças entre as produtividades de massa seca de planta inteira de sorgo entre os tratamentos consorciados e solteiro (**Tabela 3**). Apesar das menores produções de massa seca de forragem dos capins consorciados em relação aos tratamentos com capins solteiros, os autores relatam que o índice de equivalência de área (IEA) foram próximos a 1 e similares para todos os consórcios, indicando que a consorciação entre o sorgo forrageiro e os capins é uma estratégia vantajosa pela pastagem formada após a ensilagem e pela manutenção da estabilidade produtiva alcançada pelo sorgo, independentemente da forrageira associada (**Tabela 3**). Cabe ressaltar que, 117 dias após o corte para ensilagem, os capins foram novamente amostrados e apresentaram produtividades médias de massa seca de forragem de 1.507,3; 1.789,1; 2.500,2 e 1.788,0 kg ha⁻¹ para os capins marandú, xaraés, mombaça e massai, respectivamente, aumentando a oferta de forragem por área nos sistemas consorciados em relação ao cultivo isolado do sorgo.

Tabela 3. Produtividades de massa seca de forragem de sorgo (MSS), do capim (MSCp) e total (MSS+MSCp) para os cultivos consorciados e solteiros e o índice de equivalência de área (IEA) para os consórcios avaliados.

	MSS	MSCp	MSS+MSCp	IEA
	----- kg ha ⁻¹ -----			
Sorgo + UB cv Marandú*	21.124,6a	1.172,9 b	22.297,5 a	1,16 a
Sorgo + UB cv Xaraés	20.465,3 a	1.467,4 b	21.932,7 a	1,13 a
Sorgo + MM cv Mombaça	20.536,4 a	1.852,3 b	22.388,7 a	1,19 a
Sorgo + MM cv Massai	18.019,9 a	1.781,7 b	19.801,7 a	0,97 a
Sorgo	22.976,1 a	-	-	-
UB cv Marandú	-	5.724,8 a	-	-
UB cv Xaraés	-	7.111,4 a	-	-
MM cv Mombaça	-	8.118,9 a	-	-
MM cv Massai	-	6.472,5 a	-	-

* UB = *Urochloa brizantha*; MM = *Megathyrsus maximum*; Médias seguidas pelas mesmas letras são estatisticamente iguais pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

No cultivo do sorgo granífero, as respostas ao cultivo consorciado também são significativas. Mateus et al. (2016) ao avaliarem a resposta de doses de N em cobertura no cultivo do sorgo granífero com *U. brizantha* cv. Marandu e *M. maximum* cv. Mombaça por 3 anos agrícolas sucessivos verificaram que a produtividade de grãos foi afetada pelo consórcio de sorgo com mombaça (**Tabela 4**) e que, em todas as modalidades de cultivo, houve resposta crescente à adubação nitrogenada. Este efeito permaneceu inclusive na produtividade das forrageiras nos 2 cortes realizados durante o período de outono/primavera demonstrando que, muito embora possa se imaginar que as forrageiras demandem uma quantidade excessiva de N para seu estabelecimento neste sistema de cultivo, a eficiência de utilização de N foi relevante tanto para aumentar a produtividade de grãos de sorgo e servindo, ainda, como fonte importante no incremento de produtividade das forrageiras. No balanço econômico do sistema, o cultivo de sorgo solteiro e consorciado com marandu resultaram em lucros semelhantes aproximadamente US \$ 85 e US \$ 60 ha⁻¹, respectivamente). Como no consórcio de sorgo com mombaça houve competição que afetou significativamente a produtividade de grãos, o retorno econômico do sistema tornou-se negativo, mesmo com o benefício do incremento da produtividade de forragem em resposta às doses de N.

Tabela 4. Avaliação econômica do sorgo monocultivo e do sorgo consorciado com gramíneas perenes tropicais em função de as taxas de cobertura N para sorgo (média de três anos agrícolas).

Sistemas de cultivo e doses de N em cobertura	Custo	Produtividade de grãos	Receita Totais	Receita Líquidat
	US\$ ha-1	Mg ha-1	US\$ ha-1	US\$ ha-1
Sorgo solteiro				
0	258.71	3.12	343.10	84.39
50	282.27	3.35	368.40	86.14
100	300.78	3.54	389.30	88.52
200	337.82	3.80	417.90	80.08
Sorgo + Marandu				
0	277.26	3.07	337.70	60.44
50	300.82	3.28	360.80	59.98
100	319.33	3.44	378.40	59.07
200	356.37	3.81	419.10	62.73
Sorgo + Mombaça				
0	286.54	1.71	187.61	-98.93
50	310.09	2.29	251.41	-58.69
100	328.61	2.72	298.71	-29.90
200	365.64	3.13	343.81	-21.84

Para estimativa do custo de produção de sorgo com as forrageiras foi adicionado ao custo de produção do sorgo solteiro o preço das sementes de marandu e mombaça além da variação das doses de N (ureia) utilizadas na adubação de cobertura do sorgo.

§ - produtividade de sorgo x US\$ 0.11

† - receita total - custo

Outra alternativa cultural utilizando a estratégia de consorciação para a produção de forragem é a utilização do sorgo para corte e pastejo consorciado com capins no início ou no final do período chuvoso. Na primeira situação, o objetivo é produzir um grande volume de forragem de boa qualidade em curto período de tempo, elevando a disponibilidade de forragem na propriedade num período em que as pastagens perenes ainda se encontram em um período de baixo acúmulo de forragem. No caso do semeio no terço final do período das chuvas, visando a produção de forragem de boa qualidade no início do período seco e a formação da pastagem para a safra seguinte.

Quintino et al. (2013), avaliando o potencial de produção de forragem do sorgo pastejo BRS801 solteiro e consorciado com a *U. brizantha* cv Piatã mais o capim piatã solteiro, implantada ao final do período chuvoso e colhido aos 70, 90 e 110 dias após a semeadura concluíram que a consorciação de sorgo pastejo e piatã foi vantajosa para a produção de forragem (**Tabela 5**).

Tabela 5. Produção de massa seca de forragem (PMSF) e de nutrientes digestíveis total da forragem (PNDT) de sorgo BRS801 e *U. brizantha* cv Piatã, semeados solteiros e em consórcio, em três épocas de corte.

	Dias Após a Semeadura		
	70	90	110
	Produção de MS de Forragem (kg ha ⁻¹)		
Sorgo *	2.155 a	3.946 a	4.307 a
Sorgo + Piatã	2.445 a	5.001 a	4.940 a
Piatã	1.016 b	1.820 b	2.972 b
	Produção de NDT (kg ha ⁻¹)		
Sorgo	1.172 ab	2.632 a	2.632 a
Sorgo + Piatã	1.331 a	2.811 a	2.811 a
Piatã	583 b	973 b	1.515 b

* Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

Milho e sorgo em reforma de pastagens degradadas

As culturas de milho, feijão, arroz, sorgo, soja, girassol e milheto têm sido empregadas com sucesso em rotação, consorciação e/ou sucessão com forrageiras tropicais perenes em áreas visando a recuperação ou renovação das pastagens (Salton et al., 2013; Gontijo Neto et al., 2018). Conforme apresentado no tópico anterior, os sistemas de consorciações de culturas anuais, especialmente milho e sorgo, com forrageiras tropicais perenes tem se apresentado bastante viáveis do ponto de vista agrônomo e, principalmente, econômico.

Sistemas indiretos de recuperação/renovação de pastagens com base na consorciação de espécies vegetais são utilizados por

produtores rurais da região do cerrado desde o início da década de 1980, com destaque para o Sistema Barreirão (Oliveira et al., 1996). Com ele foi possível recuperar ou reformar imensas áreas com pastagens degradadas, especialmente no Brasil Central. Ainda hoje ele é usado com essa finalidade servindo como preparação inicial para implantação de sistemas integrados de produção.

Posteriormente, para áreas onde se poderia utilizar o Sistema Plantio Direto, foi desenvolvido o Sistema Santa Fé (Kluthcouski et al., 2000), que fundamenta-se na semeadura consorciada de culturas de grãos, especialmente o milho, sorgo e milheto com as principais espécies de forrageiras tropicais, principalmente as dos gêneros *Urochloa* (*Syn. Brachiaria*) e *Megathirus* (*Syn. Panicum*), no Sistema de Plantio Direto (SPD), em áreas de lavoura ou pastagens, com solo parcial ou devidamente corrigido em termos de fertilidade. Neste sistema a cultura anual apresenta grande performance de desenvolvimento inicial e exerce com isso alta competição sobre as forrageiras, evitando, assim, redução significativa na produtividade de grãos.

Com o intuito de validação e divulgação da estratégia ILP e de alternativas culturais viáveis, do ponto de vista técnico e econômico, para a recuperação/renovação de pastagens e a produção de forragem para entressafra, em uma pequena propriedade rural especializada na produção de leite (Fazenda São Pedro) no município de Unai-MG, Gontijo Neto et al. (2018) avaliaram os consórcios de milho com *U. brizantha* cv. Marandú em preparo convencional do solo e o consórcio de sorgo forrageiro com *U. brizantha* cv. Marandú em Sistema Plantio Direto, na safra 2016/17 (**Tabela 6**).

Tabela 6. Aspectos agrônômicos e análise econômica de alternativas de recuperação/renovação de pastagens e produção de silagem para entressafra na safra 2016/17. Fazenda São Pedro, Unaí-MG. Adaptado de Gontijo Neto et al. (2018).

INSUMOS E SERVIÇOS	MILHO +			SORGO +	
		BRAQUIARÃO		BRAQUIARÃO	
A) CORRETIVOS	UD	QTD	TOTAL(R\$)	QTD	TOTAL(R\$)
Calcáreo dolomítico (preço na propriedade)	ton	1,5	112,50	1,5	112,50
Distribuição do calcáreo	htr	1,8	180,00	1,8	180,00
Gesso agrícola (preço na propriedade)	ton	1,5	330,00	1,5	330,00
Distribuição do gesso	htr	1,8	180,00	1,8	180,00
Mão-de-obra auxiliar	d/h	1	60,00	1	60,00
SUB-TOTAL (1)	-	-	862,50	-	862,50
B) INSUMOS	UD	QTD	TOTAL(R\$)	QTD	TOTAL(R\$)
Milho 2B339PW/Sorgo SS318/Milheto ADR500	sc	1,2	456,00	0,4	65,40
B. brizantha cv Marandú, VC78% 15KG	kg/sc	8	144,00	9,8	176,40
Enraizador Rootmax	l	0,1	7,40	0,5	3,90
Inseticida trat. de sementes: CRUISER	l	0,1	41,10	0,4	164,40
Fertilizantes Plantio: 06-40-10 FTE	kg	222	395,16	260	462,80
Fertilizante de cobertura 1: URÉIA	kg	194	312,34	190	305,90
Herbicida Dessecação 1:	kg			2,3	51,98
Herbicida: Primatop(milho); Atrazina (Sorgo/milheto)	l	3,7	49,03	4	59,20
Inseticida: Sorgo(Lannate), milheto (Shelter)	l			1	24,00
Grafite	kg	0,1	2,40	0,1	0,24
SUB-TOTAL (2)	-	-	1.407,43	-	1.314,22
C) SERVIÇOS	UD	QTD	TOTAL(R\$)	QTD	TOTAL(R\$)
Gradagem pesada	htr	1,33	159,60		
Gradagem niveladora	htr	0,64	76,80		
Aplicação de herbicida - Dessecação	htr			0,63	75,60
Tratamento de sementes	d/h	0,3	18,00	0,5	30,00
Adubação e plantio	htr	1,5	180,00	1,34	160,80
Adubação de cobertura 1	htr	0,5	60,00	0,5	60,00
Aplicação de herbicida - Pré ou Pós emergente	htr	0,6	72,00	0,6	72,00
Aplicação de inseticida 1	htr		0,00	0,6	72,00
SUB-TOTAL (3)	-	-	566,40		470,40
D) COLHEITA E ENSILAGEM	UD	QTD	TOTAL(R\$)	QTD	TOTAL(R\$)
Corte e picagem (JF-90 e NF 25 A)	htr	4,0	480,00	4,0	480,00
Transporte para o silo	htr	4,0	360,00	3,0	270,00
Compactação com trator	htr	2,0	120,00	2,0	120,00

Tabela 6 cont. Aspectos agrônômicos e análise econômica de alternativas de recuperação/renovação de pastagens e produção de silagem para entressafra na safra 2016/17. Fazenda São Pedro, Unaí-MG. Adaptado de Gontijo Neto et al. (2018).

INSUMOS E SERVIÇOS	UD	MILHO + BRAQUIARÃO		SORGO + BRAQUIARÃO	
		QTD	TOTAL(R\$)	QTD	TOTAL(R\$)
A) CORRETIVOS					
Descarga + distribuição no silo	d/h	0,5	40,00	0,5	40,00
Lona plástica	m ²	20	380,00	20	380,00
SUB-TOTAL (4)	R\$	-	1.360,00	-	1.290,00
TOTAL (1+2+3+4)	R\$		4.216,33		3.937,12
PRODUTIVIDADE	t/ha		40,1		35,5
CUSTO / TONELADA	R\$/t		105,15		110,90
ÁREA SEMEADA	ha		5,4		6,3
PRODUÇÃO SILAGEM Total	t		216,54		223,65
RECEITA - Venda de Silagem	R\$/t	150,00/t	6.015,00	120,00/t	4.260,00
RECEITA - CUSTO	R\$/ha		1.798,67		322,88

Os resultados verificados nas duas áreas onde foram implantados os consórcios indicam que, para os consórcios com milho e sorgo, os custos decorrentes do preparo do solo, aquisição e distribuição de corretivos e fertilizantes e sementes do capim, necessários para a recuperação da pastagem não apenas foram totalmente cobertos pela receita auferida com a possível venda da silagem produzida na safra (**Tabela 6**), como verificou-se um lucro de R\$ 1.798,67 e R\$ 322,88 por hectare para as áreas com milho e sorgo, respectivamente. Cabe ressaltar que, além da correção e adubação de 11,7 ha de pastagens, foram produzidas 440 t de silagem para a entressafra.

Assim, a lavoura anual, além da produção de grãos ou forragem (por exemplo, silagem para o período de seca), gera renda no curto prazo que contribui para a amortização dos custos de

formação e/ou recuperação de pastagens degradadas. Com o uso desta estratégia, os custos necessários para a correção da fertilidade do solo aos níveis exigidos pelas culturas anuais podem ser totais ou parcialmente recuperados em uma única safra e, uma vez corrigido o solo, as pastagens em sucessão irão se beneficiar dos nutrientes residuais na área.

Consociação com presença do componente arbóreo

Os sistemas ILPF envolvendo os três componentes, permitem o uso intensivo e sustentável do solo, com rentabilidade, desde o ano de sua implantação. Segundo Nair e Nair (2014), os principais benefícios do sistema ILPF são o potencial de rendimento sustentado, conservação do solo, diversificação da atividade rural e bem-estar animal. As produções intermediárias de grãos, fibras, carne, leite etc. possibilitam renda e o custeio do povoamento florestal que, normalmente apresenta prazo de maturação mais longo.

Pressupondo um sistema ILPF constituído contemplando os componentes lavoura anual, pecuária (pastagem) e florestal, podemos destacar diversos pontos de complementação entre estas atividades. No entanto, vale ressaltar que a utilização do componente lavoura no sistema pode ser transitória, uma vez que, dependendo da densidade e arranjo espacial das árvores, a partir do segundo ano o sombreamento do componente florestal interfere nas produtividades da lavoura.

Em área experimental da Embrapa Milho e Sorgo no município de Sete Lagoas-MG, em fevereiro de 2009, foram implantados 6 renques com 100 metros de comprimento de eucalipto

no espaçamento 15x2m. Nas faixas entre os renques foram cultivadas as culturas do sorgo forrageiro consorciado com capins braquiárias (safra 2010/11) e milho para silagem e grãos consorciado com capins braquiárias (safra 2011/2012). Na implantação da safra 2010/11, quando os eucaliptos apresentavam idade de 22 meses, verificou-se uma redução na produtividade de silagem total em torno de 35% da produtividade a pleno sol (**Tabela 7**), enquanto na safra seguinte observou-se uma redução na produtividade média de silagem em torno de 48% e de grãos em torno de 63%, em relação ao pleno sol.

Tabela 7. Produtividade de silagem de sorgo e milho consorciados com braquiárias e grãos de milho em sistemas ILPF com o eucalipto implantado em fevereiro de 2009. Sete Lagoas-MG. Safras 2010/11 e 2011/12. (Gontijo Neto et al., 2014).

	Produtividades	
	Área total	Pleno sol
Safra 2010/11		
Produção de Sorgo (t ha ⁻¹ MS)	5,58 (85%)	6,56
Produção de capim (t ha ⁻¹ MS)	1,57 (35%)	4,5
Produção de Silagem (t ha ⁻¹ MS)	7,15 (65%)	11,06
Safra 2011/12		
Produção Milho silagem (t ha ⁻¹ MS)	7,2 (52%)	13,82
Produção de capim (t ha ⁻¹ MS)	0,68 (57%)	1,2
Produção de Silagem (t ha ⁻¹ MS)	7,88 (52%)	15,02
Produção de Grão (kg ha ⁻¹)	3.750 (38%)	9.983

Em área contígua, em outubro de 2011, foram implantados mais 6 renques de 100 m de comprimento de eucalipto e, simultaneamente, foi implantado o consórcio do milho mais

capins braquiárias entre os renques. As produções de forragem e grãos foram semelhantes ao pleno sol no ano de implantação do sistema ILPF (safra 2011/12) e apresentaram reduções médias de 25% e 47% nas safras subsequentes (**Tabela 8**), indicando que, nas condições do ensaio, seria interessante para o produtor o cultivo do milho entre os renques apenas até a segunda safra.

Tabela 8. Produtividade de silagem e grãos de milho em sistemas ILPF com o eucalipto implantado em outubro de 2011. Sete Lagoas-MG. Safras 2011/12, 2012/13 e 2013/14. (Moreira et al., 2018).

	Produtividade (kg ha-1)		Eficiência Produtiva (%)	
	Pleno Sol	ILPF	Pleno sol	ILPF
Safra 2011/12				
Produção de Silagem Milho	15.436a	15.413a	100aA	99,8aA
Produção de Silagem Total	16.272a	16.536a	100aA	101,6aA
Produção de Grão Milho	6.529a	6.297a	100aA	99,8aA
Safra 2012/13				
Produção de Silagem Milho	17.439a	12.969b	100aA	74,3bB
Produção de Silagem Total	17.581a	13.167b	100aA	74,8bB
Produção de Grão Milho	9.262a	7.024b	100aA	75,8bB
Safra 2013/14				
Produção de Silagem Milho	15.436a	8.034b	100aA	52,1bC
Produção de Silagem Total	15.685a	8.117b	100aA	51,7bC
Produção de Grão Milho	6.851a	2.978b	100aA	43,4bC

Médias seguidas por letras iguais, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, para cada variável nas diferentes safras, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Nesta área de ILPF com o eucalipto e o milho consorciado com os capins *Braquiárias decumbens* e *ruzizensis* implantados

simultaneamente em outubro de 2011, Gontijo Neto et al. (2012) e Simão et al. (2012) não observaram efeito sobre a produtividade de silagem e de grãos avaliados em diferentes distâncias entre as fileiras de milho e os renques de eucalipto (**Tabela 9**). Os tratamentos consistiram das distâncias das linhas de milho/capim em relação aos renques de eucalipto, sendo avaliadas as linhas 1 (1 m), 3 (2,4 m), 5 (3,8 m), 7 (5,2 m) e 9 (6,6 m).

Tabela 9. Produtividade de matéria seca de forragem de capim (PCapim-Sil), milho (PMilho-Sil) e total (PTotal) no ponto de ensilagem, altura, rendimento de grãos (RGrão) e produtividades de matéria seca de forragem de capim no momento da colheita de grãos (PCapim-G) em função das distâncias entre as linhas de milho/capim dos renques de eucalipto. Sete Lagoas-MG – 2011/12.

Parâmetro	Modelos ajustados	
	Milho + Decumbens	Milho + Ruziziensis
PCapim-Sil (kg ha ⁻¹)	$\hat{y} = 1.138$	$\hat{y} = 1.751$
PMilho-Sil (kg ha ⁻¹)	$\hat{y} = 13.802$	$\hat{y} = 14.690$
PTotal (kg ha ⁻¹)	$\hat{y} = 14.940$	$\hat{y} = 16.441$
Altura (m)	$\hat{y} = 2,3$	$\hat{y} = 2,36$
RGrão (kg ha ⁻¹)	$\hat{y} = 7.512$	$\hat{y} = 8.284$
PCapim-G (kg ha ⁻¹)	$\hat{y} = 1.367$	$\hat{y} = 3.602$

Em área contígua à do ensaio anterior, Simão et al. (2018), avaliando aspectos agrônômicos do milho consorciado com *U. brizantha* cv Marandu semeados entre renques de eucalipto implantados no espaçamento 15 x 2 m em outubro de 2013, verificaram que, na terceira safra após a implantação das árvores (safra 2015/16) resposta lineares para altura de plantas, produtividades de forragem de milho, total e de grãos de milho em função da

distância dos renques (**Figura 1**). Os autores também relatam correlações lineares entre a radiação fotossinteticamente ativa (RFA) incidente nas diferentes distâncias entre os renques e a altura de plantas de milho (0,98*), produtividade de forragem de milho (0,96*), forragem total (0,96*) e de grãos (0,98**), sendo as RFA médias em relação à RFA a pleno sol observadas no período são apresentadas na **Figura 2**.

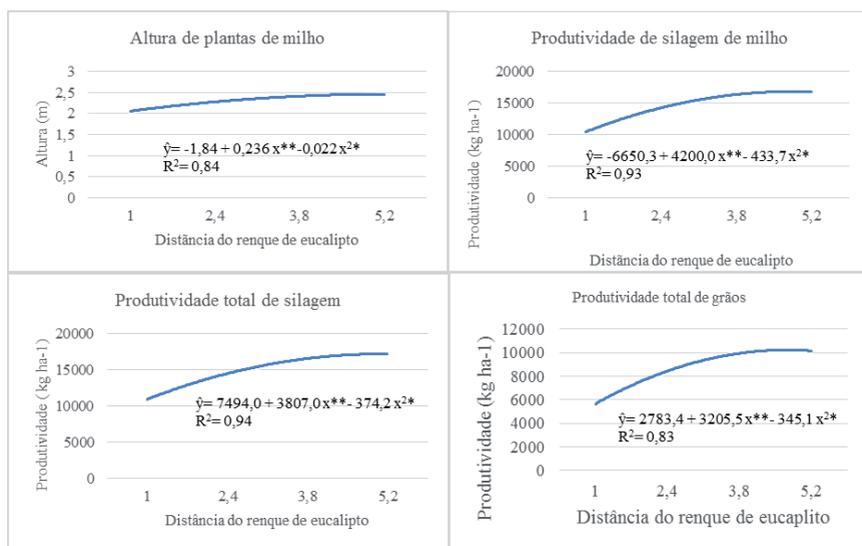


Figura 1. Altura de planta de milho, produtividade de forragem de milho, produtividade total de forragem e produtividade de grãos de milho em função da distância do renque de eucalipto em sistema ILPF, em Sete Lagoas – MG, 2015/16.

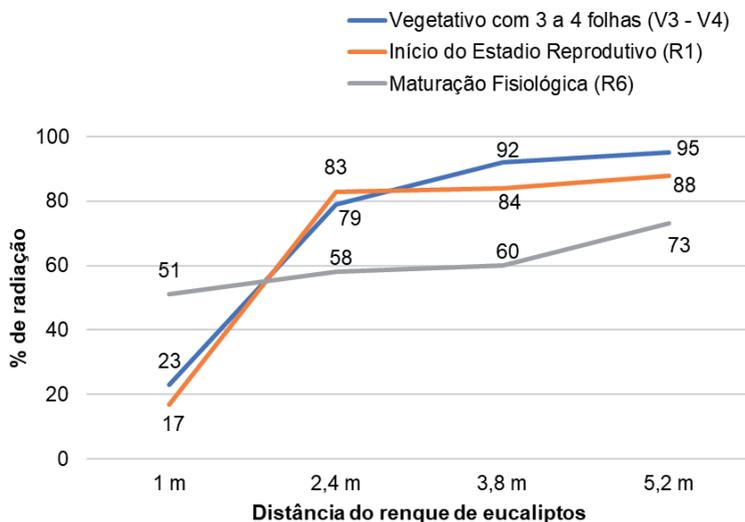


Figura 2. Porcentagem de radiação fotossinteticamente ativa incidente (RFAi) sobre as diferentes distâncias do renque de eucalipto, em três diferentes datas de avaliação (16/12/2015, 01/02/2016 e 06/04/2016) que corresponde aos estádios vegetativos V3 – V4, R1 e R6, respectivamente, em Sete Lagoas – MG, 2015/16

Com base nos dados apresentados, Simão et al. (2018) concluem que a produtividade de grãos e de forragens foi diretamente influenciada pela redução da distância entre as linhas de semeadura e os renques, e que as produtividades de grãos (milho) e forragem (milho mais capim) entre os renques de eucalipto foram semelhantes às produtividades a pleno sol a partir de 3,8 m de distância entre as linhas de milho e os renques de eucalipto, indicando que o componente arbóreo no sistema de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta altera o ambiente no sub-bosque, reduzindo a incidência de radiação fotossinteticamente ativa entre os renques, diminuindo diretamente as produtividades

de forragem e grãos de milho em cultivo consorciado com *U. brizantha*.

Cabe ressaltar que a área útil para a produção de milho nestes sistemas com espaçamento entre renques de 15 m corresponde a 8.700 m² por hectare implantado com o sistema ILPF, assim, os valores médios das produtividades de grãos e forragens nos sistemas ILPF apresentados devem ser multiplicados por este fator para estimativa de produção de forragem e grãos no sistema.

Com base nos resultados acima apresentados, seria recomendado o plantio de milho ou sorgo entre os renques de eucalipto no espaçamento 15 x 2m apenas até a segunda safra, entretanto, a utilização de arranjos mais amplos, o uso de espécies florestais com copas que permitam a transmissão de luz para o sub-bosque e o uso de técnica desrama e desbaste do componente arbóreo, ao longo do seu ciclo, poderia viabilizar a utilização da lavoura anual por mais tempo no sistema.

Sistemas ILP/ILPF estruturados e a ciclagem de nutrientes

São inquestionáveis os benefícios da utilização das culturas do milho ou sorgo para a recuperação de pastagens, produção de forragem e/ou grãos para entressafra, suplementação concentrada dos animais etc., realizada de forma consorciada ou não com capins em propriedades que possuam atividade pecuária. Entretanto, o grande desafio consiste na utilização das lavouras não apenas em áreas específicas para produção de forragem na propriedade ou esporadicamente em áreas de pastagens e sim, utiliza-las de forma planejada nas propriedades,

adotando de forma sistemática a rotação de pastagem e lavoura, com a presença ou não de renques do componente arbóreo.

Assim, além de considerar todas as interações e benefícios desta integração de atividades discutidas anteriormente nesse texto, a maximização do potencial sinérgico entre os componentes do sistema passa impreterivelmente pela rotação de culturas, ou seja, deve acontecer, em todas as glebas da propriedade apta para cultivos anuais, a rotação entre lavoura e pastagens durante um período de pelo menos uma safra.

Andrade (2017) avaliou o desempenho animal em confinamento do lote de novilhos que entraram no sistema ILP na safra 2014/15. O período experimental foi de junho a novembro de 2015 com duração de 150 dias. Foram utilizados 47 novilhos contemporâneos, não castrados, com idade média inicial de 16 meses e peso inicial médio de 332,86 kg, de cinco grupos genéticos (**Tabela 6**). Os animais receberam diariamente uma dieta composta, com base na matéria seca, por 35% de silagem de milho, 54% de grãos de milho, 5,2% de grãos de soja e 5,8% de núcleo proteico para confinamento, correspondendo a uma dieta com 13,75% de proteína bruta e 70,91% de NDT. Os animais apresentaram ganhos médios diários de 1,67 kg ha⁻¹ e um consumo de matéria seca de 9,84 kg dia⁻¹ (**Tabela 10**), indicando elevado potencial produtivo dos animais especializadas e a qualidade da dieta formulada com ingredientes produzidos no sistema ILP (exceto o núcleo proteico).

Tabela 10. Características de desempenho, de carcaça e econômicas de novilhos de diferentes grupos genéticos terminados em confinamento.

Variável	Grupo genético					Média	CV
	NEL	TN	AN	CAN	TAN		
PVI (kg)	294,13cd	290,40d	363,71a	356,00ab	325,64bc	332,86	10,87
PVF (kg)	502,44b	484,30b	576,17a	569,65a	520,05ab	538,52	10,11
GMD (kg)	1,39bc	1,29c	1,85a	1,86a	1,69ab	1,67	13,30
RC (%)	55,63	55,53	55,80	55,38	54,99	55,46	2,33
CMS(kg/dia)	9,12	9,96	10,31	9,96	9,85	9,84	9,58
CMS(% PV)	2,43ab	2,71a	2,21ab	2,15b	2,44ab	2,39	13,79

Médias seguidas por letras distintas nas linhas indicam $P < 0,05$ pelo teste de Tukey; NEL - Nelore; TN - $\frac{1}{2}$ Tabapuã x $\frac{1}{2}$ Nelore; AN - $\frac{1}{2}$ Angus x $\frac{1}{2}$ Nelore; CAN - $\frac{1}{2}$ Charolês x $\frac{1}{4}$ Angus x $\frac{1}{4}$ Nelore; TAN - $\frac{1}{2}$ Tabapuã x $\frac{1}{4}$ Angus x $\frac{1}{4}$ Nelore; PVI - peso vivo inicial; PVF - peso vivo final; GMD - ganho médio diário de peso vivo; RC - rendimento de carcaça; CMS – consumo de matéria seca em kg/dia e em % do peso vivo. CV - Coeficiente de variação (%).

Com base nos dados de confinamento apresentados por Andrade (2017) pode-se realizar o balanço de nutrientes (N, P e K) consumido e exportado pelos animais durante o período de confinamento e estimar o potencial de ciclagem de nutrientes que um sistema ILP equilibrado pode auferir. Assim, considerando os teores médios destes nutrientes nos componentes da dieta, o consumo da dieta pelos animais no período e as concentrações destes nutrientes no corpo dos animais abatidos podemos calcular o potencial de ciclagem dos nutrientes (**Tabela 11**)

Tabela 11. Estimativas de nutrientes consumidos, fixado ao corpo animal e o potencial de reciclagem dos nutrientes de bovinos confinados. Sete Lagoas-MG.

Composição da Dieta	N P K		
	Teores médios (g kg ⁻¹) ^a		
Silagem de milho	11,5	1,15	6,23
Grãos de Milho	15,8	3,8	4,80
Grãos de Soja	59,2	5,5	18,80
		Nutrientes consumidos (kg)	
Consumo total da dieta ^b – (kg)	69.372		
Consumo silagem de milho (35%)	24.280,2	27,9	152,0
Consumo grãos de milho (54%)	37.460,9	142,4	179,8
Consumo grãos de soja (5,2%)	3.607,3	19,8	67,8
Total (a)	1.084,7	190,1	399,6
		Teores médios (kg)	
Composição corporal 500 kg PV ^c	12	4	1
Composição corporal PI =332,86 kg	7,99	4,31	1,08
Composição corporal PF = 538,52kg	12,92	2,66	0,67
Δ PF – PI ^d	4,93	1,65	0,41
Exportação por 47 animais^e	231,7	77,6	19,30
		Nutrientes reciclado (kg)	
Potencial de ciclagem (a)-(b)	853,0 (78,6%)	112,5 (59,2%)	380,3 (95,2%)

^a Silagem de milho – Resende et al. (2016); Grãos de milho e soja – compilado por Cunha et al. (2014); ^b Consumo total = 9,84 kg animal⁻¹ dia⁻¹ x 47 animais x 150 dias; ^c Humphreys (1991); ^d Cálculo do fixado pelo animal no período do confinamento baseado no peso inicial (PI) e peso final (PF); ^e Calculado com base no que foi fixado por animal durante o confinamento x 47 animais.

Verifica-se que a verticalização da produção ocasionada pela integração da produção animal à produção vegetal, além da diversificação da produção, agregação de valor e dos benefícios edáficos, possibilita o aumento na eficiência de uso de nutrientes e na ciclagem de nutrientes na propriedade, conforme exemplificado.

Com base na simulação acima, pode-se inferir que o confinamento de 47 animais por um período de 150 dias, utilizando 94,2% da matéria seca da dieta com ingredientes produzidos na propriedade permitiu uma redução potencial de exportação de 853 (78,6%), 112,5 (59,2%) e 380,3 (95,2%) de N, P e K, respectivamente, caso estes ingredientes fossem comercializados. Se considerarmos apenas o consumo da silagem e grãos de milho, o potencial de redução de exportação de nutrientes corresponderia a 639,4 (58,9%), 72,7 (38,2%) e 312,5 (78,2%) de N, P e K, respectivamente.

Nesta mesma linha de raciocínio, com base nos dados de Igarasi et al. (2008), que avaliando desempenho de bovinos machos em confinamento, confrontando dietas a base silagem de grãos úmidos de milho ou de sorgo, por um período de 172 dias, observaram ganhos médios diários de peso vivo de 1,41 e 1,43 kg an.⁻¹ dia⁻¹ e consumo médio de matéria seca da dieta no período avaliado de 9,42 e 9,82 kg an.⁻¹ dia⁻¹, respectivamente. Assim, considerando apenas o potencial de ciclagem de nutrientes proporcionado pelas silagens de milho e sorgo utilizadas nas dietas, que corresponderam a 51% da dieta a base se silagem de grãos de milho e 53% da dieta com grãos de sorgo, consumidas pelos 90 animais no período de 172 dias de confinamento estimou-se a ciclagens de nitrogênio variando entre 81,1 e 80,7%, de fósforo variando entre 71,8 e 85,8% e de potássio entre 95,2 e 94,6% para as dietas com milho e sorgo, respectivamente (**Tabela 12**).

Tabela 12. Estimativas de nutrientes oriundos de forragem e grãos de milho e sorgo consumidos, fixado ao corpo animal e o potencial de reciclagem dos nutrientes de bovinos confinados. Botucatu-SP.

Composição da Dieta	Milho				Sorgo				
	% Dieta	N	P	K	% Dieta	N	P	K	
	Teores médios (g kg ⁻¹) ^a				Teores médios (g kg ⁻¹) ^a				
Silagem de milho	7	11,5	1,15	6,23	8	11,5	1,15	6,23	
Grãos de Milho	44	15,8	3,8	4,80	-	-	-	-	
Grãos de Sorgo	-	-	-	-	45	15,0	7,5	3,93	
	Cons. (kg)	Nutrientes consumidos (kg)				Nutrientes consumidos (kg)			
Consumo total da dieta ^b - (kg)	72.911	76.007				76.007			
Consumo silagem de milho (77,8%)	5.104	6.080				6.080			
Consumo grãos de milho (44%)	32.081	34.203				34.203			
Consumo grãos de sorgo(45%)	-	-				-			
Total (a)	5.655,9	1.277,7	1.860,2	-		699,2	69,9	378,8	
	Peso(kg)	Teores médios (kg)				Teores médios (kg)			
Composição corporal 500 kg PV ^c		12	4	1		12	4	1	
Comp. corporal PI (kg)	316,2	37,94	12,65	3,16	315,7	37,88	12,63	3,16	
Comp. corporal PF (kg)	514,2	61,70	20,57	5,14	524,3	62,92	20,97	5,24	
Δ PF - PI ^d		23,76	8,01	1,98		25,04	8,34	2,08	
Exportação por 45 animais ^e	Total (b)	1.069,2	360,5	89,1		1.126,8	375,3	93,6	
		Nutrientes reciclado (kg)				Nutrientes reciclado (kg)			
Potencial de ciclagem (a)-(b)		4.586,7	917,2	1.771,1		4.702,4	2.259,6	1.629,2	
		(81,1%)	(71,8%)	(95,2%)		(80,7%)	(85,8%)	(94,6%)	

^a Silagem de milho - Resende et al. (2016); Grãos de milho e soja - compilado por Cunha et al. (2014); ^b Consumo total dieta milho = 9,42 kg animal⁻¹ dia⁻¹ x 45 animais x 172 dias, Consumo total dieta sorgo = 9,82 kg animal⁻¹ dia⁻¹ x 45 animais x 172 dias ; ^c Humphreys (1991); ^d Cálculo do fixado pelo animal no período do confinamento baseado no peso inicial (PI) e peso final (PF); ^eCalculado com base no que foi fixado por animal durante o confinamento x 45 animais.

Cabe ressaltar que estes cálculos não consideram perdas por volatilização e lixiviação, bem como os custos de distribuição dos dejetos nas áreas de produção, entretanto, permite vislumbrar o elevado potencial de ciclagem de nutrientes que podem ser obtidos em empreendimentos com sistemas integrados de produção vegetal e animal, por meio da utilização de grãos e forragens na formulação de suas dietas.

Buscar o equilíbrio entre áreas destinadas à produção de lavouras e de pastagens, propiciando a rotação de culturas nestas áreas, que otimizem a produção (animal e vegetal) e a lucratividade, resultando em sistemas de produção ILP ou ILPF estruturado e sustentáveis, passa a ser o grande desafio para produtores rurais e técnicos.

Considerações finais

Frente ao desafio de ampliação da produção de alimentos e fibra via aumentos na produtividade, a utilização das culturas de milho e sorgo em sistemas ILP e ILPF têm se mostrado extremamente viável, do ponto de vista agrônômico, econômico e ambiental no processo de construção da fertilidade dos solos e na intensificação sustentável de sistemas de produção convencionais.

Além do mais as questões relacionadas aos serviços ambientais tais como mitigação da emissão de gases de efeito estufa, a conservação de água e solo e ampliação da biodiversidade são vantagens que agregam valor à adoção dos sistemas integrados na propriedade rural. Cabe destacar que existem linhas de crédito, para custeio e investimento, disponíveis em instituições financeiras para a evolução de sistemas convencionais e sistemas integrados de produção.

A agregação de valor, via produção animal, e redução dos custos de produção obtidos pelo fornecimento da forragem e grãos produzidos no próprio empreendimento agrícola possibilitados, principalmente, pela Integração Lavoura-Pecuária, serão fundamentais para obtenção de incrementos nas produtividades e lucratividade destes empreendimentos. Neste cenário, as culturas do milho e do sorgo se apresentam com culturas estratégicas na estruturação de sistemas de produção embasados em consorciações e rotações de cultivos.

Em sistemas de produção sustentáveis, o manejo adequado de dejetos animais, resíduos e subprodutos agrícolas deve ser considerado como oportunidade de ganhos econômicos (geração de receitas e ou redução de custos) e de eficiência produtiva em sistemas de produção modernos.

Agradecimentos

À Associação Rede ILPF, FAPEMIG e AGRISUS.

Referências

ALEXANDRATOS, N.; BRUINSMA, J. **World agriculture towards 2030/2050: the 2012 revision**. Rome: FAO, 2012. (ESA Working Paper N° 12-03).

ANDRADE, J. M. **Desempenho, características de carcaça e qualidade da carne de novilhos de diferentes grupos genéticos terminados em confinamento**. 2017. 60 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2017.

BARCELLOS, A. O.; MEDRADO, M. J. S.; GRISE, M. M.; SKORUPA, L. A.; ROCHA, W. S. D. da. Base conceitual, sistemas e benefícios da ILPF. In. BALBINO, L. C.; BARCELLOS, A. O.; STONE, L. F. (Ed). **Marco referencial Integração Lavoura-Pecuária-Floresta**. Brasília, DF: Embrapa, 2011. p. 23-40.

BORGHI, E.; CRUSCIOL, C. A. C. Produtividade de milho, espaçamento e modalidade de consorciação com *Brachiaria brizantha* no sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 42, n. 2, 163-171, 2007.

BORGHI, E.; CRUSCIOL, C. A. C.; MATEUS, G. P.; NASCENTE, A. S.; MARTINS, P. O. Intercropping time of corn and palisade grass or guinea grass affecting grain yield and forage production. **Crop Science**, Madison, v. 53, p. 629-636, 2013.

BORGHI, E.; CRUSCIOL, C. A. C.; NASCENTE, A. S.; MATEUS, G. P.; MARTINS, P. O.; COSTA, C. Effects of row spacing and intercrop on maize grain yield and forage production of palisade grass. **Crop and Pasture Science**, v. 63, n.12, p. 1106-1113, 2012.

CUNHA, J. F. da; FRANCISCO, E. A. B.; CASARIN, V.; PROCHNOW, L. I. Balanço de nutrientes na agricultura brasileira: 2009 a 2012. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 145, p. 1-13, 2014.

FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. **Stages of soybean development**. Ames: Iowa State University of Science and Technology, 1977. 12 p. (Special Report, 80).

HUMPHREYS, L. R. **Tropical pastures utilization**. Cambridge: Cambridge University Press, 1991. 206 p.

GONTIJO NETO, M. M.; SIMÃO, E. de P.; QUEIROZ, L. R.; ALVARENGA, R. C.; VIANA, M. C. M. Produtividade de grãos e forragem de milho consorciado com braquiária decumbens em diferentes distâncias em relação a renques de eucalipto. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 29., 2012, Águas de Lindóia. **Diversidade e inovações na era dos transgênicos: resumos expandidos**. Campinas: Instituto Agrônômico; Sete Lagoas: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2012. p. 2231-2235.

GONTIJO NETO, M. M.; VIANA, M. C. M.; ALVARENGA, R. C.; SANTOS, E. A. dos; SIMÃO, E. de P.; CAMPANHA, M. M. Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta em Minas Gerais. **Boletim de Indústria Animal**, Nova Odessa, v. 71, n. 2, p. 183-191, 2014.

GONTIJO NETO, M. M.; BORGHI, E.; RESENDE, A. V. de; ALVARENGA, R. C. Benefícios e desafios da integração lavoura-pecuária na melhoria da qualidade dos solos do cerrado. **Informações Agrônomicas**, Piracicaba, n. 161, p. 9-21, mar. 2018.

IGARASI, M. S.; ARRIGONI, M. B.; HADLICH, J. C.; SILVEIRA, A. C.; MARTINS, C. L.; OLIVEIRA, H. N. Características de carcaça e parâmetros de qualidade de carne de bovinos jovens alimentados com grãos úmidos de milho ou sorgo. **Revista Brasileira Zootecnia**, Viçosa, v. 37, n. 3, p. 520-528, 2008.

KLUTHCOUSKI, J.; COBUCCI, T.; AIDAR, H.; YOKOYAMA, L. P.; OLIVEIRA, I. P. de; COSTA, J. L. da S.; SILVA, J. G. da; VILELA, L.; BARCELLOS, A. de O.; MAGNABOSCO, C. de U. **Sistema Santa Fé - Tecnologia Embrapa: integração lavoura-pecuária pelo consórcio de culturas anuais com forrageiras, em áreas de lavoura, nos sistemas direto e convencional**. Santo Antônio

de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2000. 28 p. (Embrapa Arroz e Feijão. Circular Técnica, 38).

MATEUS, G. P.; CRUSCIOL, C. A. C.; PARIZ, C. M.; BORGHI, E.; COSTA, C.; MARTELLO, J. M.; FRANZLUEBBERS, A. J.; CASTILHOS, A. M. Sidedress nitrogen application rates to sorghum intercropped with tropical perennial grasses. **Agronomy Journal**, Madison, v. 108, n. 1, p. 433-447, 2016.

MOREIRA, E. D. S.; GONTIJO NETO, M. M.; LANA, A. M. Q.; BORGHI, E.; SANTOS, C. A.; ALVARENGA, R. C.; VIANA, M. C. M. Production efficiency and agronomic attributes of corn in an integrated crop-livestock-forestry system. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 53, n. 4, p. 419-426, abr. 2018.

OLIVEIRA, I. P. de; KLUTHCOUSKI, J.; YOKOYAMA, L. P.; DUTRA, L. G.; PORTES, T. de A.; SILVA, A. E. da; PINHEIRO, B. da S.; FERREIRA, E.; CASTRO, E. da M. de; GUIMARÃES, C. M.; GOMIDE, J. de C.; BALBINO, L. C. **Sistema Barreirão**: recuperação/renovação de pastagens degradadas em consórcio com culturas anuais. Goiânia: Embrapa-CNPAP, 1996. 87 p. (Embrapa-CNPAP. Documentos, 64).

PARIZ, C. M.; COSTA, C.; CRUSCIOL, C. A. C.; MEIRELLES, P. R. L.; CASTILHOS, A. M.; ANDREOTTI, M.; COSTA, N. R.; MARTELLO, J. M.; SOUZA, D. M.; SARTO, J. R. W.; FRANZLUBBERS, A. J. Production and soil responses to intercropping of forage grasses with corn and soybean silage. **Agronomy Journal**, Madison, v. 108, n. 1, p. 2541-2553, 2016.

QUINTINO, A. C.; ABREU, J. G.; ALMEIDA, R. G.; MACEDO, M. C. M.; CABRAL, L. S.; GALATI, R. L. Production and nutritive value

of piatã grass and hybrid sorghum at different cutting ages. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, Maringá, v. 35, p. 243-249, 2013.

RESENDE, A. V. de; GUTIÉRREZ, A. M.; SILVA, C. G. M.; ALMEIDA, G. O.; GUIMARÃES, P. E. de O.; MOREIRA, S. G.; GONTIJO NETO, M. M. **Requerimentos nutricionais do milho para a produção de silagem**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2016. 12 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 221).

REZENDE, B. P. M.; JAKELAITIS, A.; TAVARES, C. J.; MARANGONI, E.; CUNHA, P. C. R. Consórcio de sorgo com espécies forrageiras. **Revista Agro@ambiente On-line**, v. 10, n. 1, p. 57-64, jan./mar. 2016.

SALTON, J. C.; KICHEL, A. N.; ARANTES, M.; KRUKER, J. M.; ZIMMER, A. H.; MERCANTE, F. M.; ALMEIDA, R. G. de. **Sistema São Mateus**: sistema de integração lavoura-pecuária para a região do Bolsão Sul-Mato-Grossense. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2013. 6 p. (Embrapa Agropecuária Oeste. Comunicado Técnico, 186).

SANTOS, F. C. dos; KURIHARA, C. H.; ALBUQUERQUE FILHO, M. R. de; RESENDE, A. V. de; CARVALHO, M. da C. S.; ALVARENGA, R. C. Adubação nitrogenada e consorciação do milho com brachiaria ruziziensis em sistema plantio direto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 33., 2011, Uberlândia. **Solos nos biomas brasileiros**: sustentabilidade e mudanças climáticas: anais. [Uberlândia]: SBSC: UFU, ICIAG, 2011. 1 CD-ROM.

SIMÃO, E. de P.; GONTIJO NETO, M. M.; QUEIROZ, L. R.; ALVARENGA, R. C.; VIANA, M. C. M.; SILVA, I. H. S. da. Efeito da distância entre as linhas da cultura e o renque de eucalipto sobre o rendimento de grãos e forragem do consórcio milho mais

braquiária ruziziensis. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 29., 2012, Águas de Lindóia. **Diversidade e inovações na era dos transgênicos: resumos expandidos**. Campinas: Instituto Agrônômico; Sete Lagoas: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2012. p. 2262-2267.

SIMÃO, E. de P.; GONTIJO NETO, M. M.; OLIVEIRA NETO, S. N. de; GALVAO, J. C. C.; BORGHI, E.; MARTINS, D. C. Produção de grãos e forragem em função da disponibilidade luminosa em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 17, n. 1, p. 111-121, 2018.

TILMAN, D.; BALZER, C.; HILL, J.; BEFORT, B. L. Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, v. 108, p. 20260-20264, 2011.

VILELA, L.; MARTHA JÚNIOR, G. B.; MACEDO, M. C. M.; MARCHÃO, R. L.; GUIMARÃES JÚNIOR, R.; PULROLNIK, K.; MACIEL, G. A. Sistemas de integração lavoura-pecuária na região do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 46, n. 10, p. 1127-1138, out. 2011.

VIANA, M. C. M.; BOTELHO, W.; VIANA, P. A.; QUEIROZ, D. S.; SILVA, E. A.; VIANA, M. M. S.; GUIMARÃES, C. G. Production and quality of corn silage cultivated on integrated crop-livestock-forest system in a Cerrado region of Minas Gerais, Brazil. **Journal of Animal Science**, v. 89, p. 551-551, 2011. Supplement.

Capítulo 16

Importância das Micotoxinas em Sistemas Produtivos de Grãos

Dagma Dionísia da Silva

Luciano Viana Cota

Rodrigo Vêras da Costa

Introdução

O sistema de produção agropecuário do Brasil é um dos mais dinâmicos do mundo. Isto porque nossas condições climáticas permitem o semeio de até três culturas em sucessão, num mesmo ano agrícola. Dentro desse contexto, a cadeia produtiva de grãos se destaca, sendo possível o cultivo em sucessão, de soja, milho, sorgo, algodão, girassol, feijão, trigo e outras culturas em diversas regiões do país. Os grãos dessas culturas são utilizados na alimentação humana e animal e, portanto, sua importância econômica e social é ampla.

A qualidade dos alimentos, seja pela alimentação direta dos grãos ou após o seu processamento, está relacionada ao fornecimento de produtos seguros e pode afetar toda a cadeia produtiva de grãos, abrangendo a produção de carnes, leite, ovos e outras, como o “setor pet” (produtos para animais domésticos).

Entre os fatores que afetam essas cadeias, está a ocorrência de fungos nos grãos, que infectam e levam ao apodrecimento e

mofamento, principalmente aos gêneros *Fusarium*, *Aspergillus* e *Penicillium*. A contaminação por fungos resulta em perdas econômicas em razão da menor qualidade e produtividade de grãos, gera descontos para os produtores, que, na entrega da produção, têm seus rendimentos abatidos de acordo com a porcentagem de contaminação. Além desses prejuízos, várias dessas espécies são produtoras de micotoxinas, metabólitos tóxicos que causam reações adversas em humanos e animais (Berthiller et al., 2007; Hermanns et al., 2006), dentre os quais, danos na reprodução e alguns tipos de câncer.

Se as condições forem favoráveis, a contaminação por fungos e micotoxinas pode ocorrer durante a fase de desenvolvimento das culturas, no campo, e continuar após a colheita, no armazenamento e após o processamento, sendo um risco em todos os setores envolvidos na produção de alimentos (Oldenburg et al., 2017). As micotoxinas são estáveis ao calor e resistentes à maioria das condições de processamento, persistindo e sendo repassadas pela cadeia alimentar, no produto final (como rações, carne, leite e derivados, ovos, etc.), podendo resultar em problemas crônicos de saúde (Alim et al., 2018; Martins et al., 2018; Oueslati et al., 2018; Ferreira et al.; 2013; Maziero; Bersot, 2010; Amaral et al., 2006; Kawashima; Valente Soares, 2006; Bittencourt et al., 2005; Machinski; Valente Soares, 2000).

As principais micotoxinas relatadas em grãos são as aflatoxinas, as fumonisinas, a zearalenona, a esterigmatocistina, o deoxinivalenol (DON), o nivalenol, as ocratoxinas e a toxina T-2 (Scussel, 1998, 2002). As micotoxinas apresentam efeitos variados na saúde humana e animal, podem ocorrer simultaneamente em um mesmo alimento, ocorrem em diversos tipos de cereais e nos seus derivados. Uma única espécie de fungo pode produzir

mais de uma micotoxina, bem como diferentes espécies podem produzir a mesma micotoxina (Hussein; Brassel, 2001).

Perdas por causa da ingestão de alimentos contaminados ocorrem em nível de propriedade pela recusa de alimentos pelos animais, baixa conversão alimentar, redução de peso corporal, imunossupressão e interferência com a fertilidade (Jobim et al., 2001). Na fase de comercialização, ocorre devolução de cargas pela agroindústria e haver imposição de barreiras não tarifárias nos mercados importadores. A ocorrência de micotoxinas em grãos é uma das principais causas de não conformidade em relação a alimentos seguros e as impurezas e/ou matérias estranhas presentes podem estar associadas à sua maior incidência (Oliveira et al., 2010).

O impacto de micotoxinas em culturas mundialmente importantes, como trigo, milho, amendoim, café, algodão, castanhas e uva, tem acarretado prejuízos difíceis de calcular. A FAO, estima que 25% das culturas no mundo são contaminadas por micotoxinas anualmente, resultando em perdas de 1 bilhão de toneladas de alimentos e derivados. Estimativas de custo em razão de micotoxinas nos Estados Unidos variam entre 0,5 a 1,5 bilhão de dólares/ano em um trabalho. Enquanto em outro, o valor chega a 5 bilhões/ano para Canadá e Estados Unidos, sem incluir nesses valores, os impactos nas culturas e saúde humana e animal (Schmale III; Munkvold, 2009).

O clima e o manejo das lavouras podem favorecer a contaminação com micotoxinas. Assim, a mitigação do problema deve ser iniciada no campo, sendo importante considerar a prevalência de fungos, as culturas em sucessão, a época de plantio, a época de colheita, a fertilidade de solos, a resistência genética e o controle

biológico como fatores que devem compor a recomendação visando reduzir a contaminação.

Considerando que a legislação mundial regula os limites máximos tolerados – LMT, nos diversos tipos de alimentos e para cada micotoxinas e os prejuízos causados em toda a cadeia envolvida na produção de alimentos e os riscos à saúde dos consumidores, melhorar a qualidade dos alimentos é essencial para garantir a segurança alimentar no Brasil e a competitividade no mercado nacional e internacional. Para isso, tentar compreender como as micotoxinas podem ser favorecidas pelas culturas usadas em sistemas de sucessão é importante para que pesquisadores, produtores e demais envolvidos nesta cadeia, busquem alternativas para reduzir ao máximo a contaminação.

Sistemas produtivos de grãos no Brasil e micotoxinas

Danos à saúde de consumidores

Diversos problemas ocorrem pelo consumo de alimentos contaminados por micotoxinas. A gravidade depende de doses consumidas, frequência de ingestão, idade, sexo e estado nutricional dos indivíduos (Coulombe Jr., 1993). A forma de ingestão pode ser direta ou via consumo de subprodutos contaminados (grãos, frutas, alimentos processados, rações, carne, ovos e leite). O consumo pode ter efeito agudo, com reação rápida ou problemas crônicos, de desenvolvimento lento, que duram períodos extensos e apresentam efeitos de longo prazo de difícil previsão, como imunossupressão e câncer (Scussel, 1998, 2002).

Entre os problemas mais preocupantes, está a associação entre o consumo de micotoxinas, neste caso as fumonisinas, e a incidência de câncer do esôfago e fígado em diferentes partes do mundo (Westhuizen et al., 2003; Peraica et al., 2014; Munkvold; Desjardins, 1997; Piñeiro et al., 1997; Solfrizzo et al., 1997). Em alguns casos, a ingestão por micotoxinas não afeta diretamente o indivíduo que consumiu, mas a terceiros. São exemplos a zearalenona e as aflatoxinas M1. A zearalenona, nem sempre produz efeitos em aves, mas sua presença na carne pode exercer efeito anabolizante em mamíferos (Santurio, 2000). Em relação as aflatoxinas M1, animais que consomem alimentos contaminados com aflatoxinas B1 e B2, excretam no leite, na urina e carnes, as aflatoxinas M1 e M2 (resultantes da hidroxilação das aflatoxinas B1 e B2) (Sakata et al., 2011; Chiavaro et al., 2001). Na **Tabela 1**, estão descritos os efeitos de algumas micotoxinas para a saúde humana e animal.

Tabela 1. Possibilidade de danos à saúde humana e animal por causa da ingestão de micotoxinas.

Micotoxinas					
Animais	Fumonisinias	Aflatoxinas	Zearalenona	DON	Ocratoxina
	Redução no desenvolvimento, problemas cardíacos, úlcera bucal, imunossupressão, degeneração, síndrome de mortalidade aguda, hepatotoxicidade, aumento do peso dos rins, diarreia.	Hemorragias, anorexia, fraqueza, fibrose, redução na produção e tamanho de ovos, reduz ganho de peso, descoloração e aumento de fígado e rins, esteatorreia, bursa e timo diminuídos, má absorção de alimentos.	Não têm apresentado efeitos mais graves em concentrações normais nos alimentos. Perus podem ser mais sensíveis.	Redução na produção de ovos. Aparentemente não afeta tanto quanto as demais micotoxinas.	Atraso na maturação sexual em galinhas, redução da produção de ovos.
Aves					
Bovinos	Para fumonisinina B1 existe relato de sinais de lesões no fígado e rins. Bezerros parecem mais suscetíveis.	Necrose centrilobular fibrose, infecção no miocárdio, síndrome nervosa, infertilidade, redução da gordura do leite, menor consumo de ração, ataxia.	Problemas reprodutivos como infertilidade, queda na produção de leite, hiperestrogenismo	Altos níveis predispõem a mastite e laminites (aguamento).	Pouca toxicidade em doses naturais.
Equinos	Distúrbios nervosos em razão da leucoencefalomalácia, anomalias histopatológicas no fígado e rins.	Dano ao fígado, anorexia, hemorragia, câncer no fígado, convulsões, manqueira, Depressão e morte.	Aumento uterino, atrofia ovariana, aborto, infertilidade, hemorragias internas e pode causar recusa do alimento.	Perda de apetite, lesões no sistema digestório, letargia, imunossupressão.	Lesões nos rins e no fígado.

Tabela 1 cont. Possibilidade de danos à saúde humana e animal por causa da ingestão de micotoxinas.

Micotoxinas					
Animais	Fumonisinás	Aflatoxinás	Zearaleona	DON	Ocratoxina
Suínos	Edema pulmonar, hidrotorax, disfunção no coração.	Problemas renais, hemorragias, ataxia, redução de peso e taxa de sobrevivência, morte, necrose centrilobular, fibrose.	Distúrbios na concepção, aborto, leitões natimortos, síndrome de feminização e masculinização.	Distúrbios gástricos, recusa de alimentos.	Acúmulo de gordura no fígado, danos renais, anorexia, fraqueza, movimentos descoordenados, aumento da ingestão de água e micção.
Humanos	Câncer de esôfago, dor abdominal.	Suscetibilidade à hepatite B, imunossupressão, cânceres no fígado, síndrome de Reye, hemorragias e morte.	Efeito anabólico-zante.	Vômitos, náuseas, dermatites, diarreia.	Cancerígeno.
Pets	Citotoxicidade, hepato e nefrotóxica (animais em geral)	^a Morte, fígado aumentado, ^b hemorragia interna, anorexia, letargia, icterícia, coagulação intravascular, efeitos, diarreia, hepatotóxicos.	Afeta o sistema reprodutivo, hiperestrogenismo, cistos ovarianos, interrupção espermato gênese	Vômito, recusa alimentar	lesão renal, anorexia, vômito, perda de peso, tenesmo, hemorragia intestinal, amigdalite, desidratação, pro- tação.

^aaflatoxíose aguda em cães, ^baflatoxíose subaguda (Bohn; Razzai-Fazeji, 2005), ^cespasmo doloroso do esfíncter anal ou vesical com desejo urgente de defecar ou urinar, e eliminação de fezes ou urina mínima. Fontes: Silvae et al. (2015), As micotoxinas (2009), Diaze Boermans (1994), FAO (2018), Ciacci-Zanella e Jones (1999), Fink-Gremmels (2008), Freire et al. (2007), He et al. (2001), Hussein e Brassel (2001), Mathure et al. (2001).

Legislação

A legislação vem sendo readequada em nível mundial e tende a reduzir cada vez mais o LMT. Isso acarreta necessidade de redução dos teores em todas as fases do processo de produção de alimentos. A legislação brasileira foi atualizada pelo RDC nº 07, de 18 de fevereiro de 2011 e entrou em vigor total em 1º de janeiro de 2017 (Agência Nacional de Vigilância Sanitária, 2011). Para grãos, os valores aceitos estão descritos na **Tabela 2**. De acordo com o artigo 4º do RDC, os níveis de micotoxinas devem ser o mais baixo possível, devendo ser aplicadas as melhores práticas e tecnologias na produção, manipulação, armazenamento, processamento e embalagem, de forma a evitar que um alimento contaminado seja comercializado ou consumido. Para atender a legislação é necessário gerar e difundir conhecimento sobre as causas, os danos econômicos e sociais, quais são os fatores associados à ocorrência de micotoxinas e quais estratégias podem ajudar a reduzir os teores, considerando que a infecção se inicia com a contaminação das culturas em campo e pode se estender até a prateleira dos comércios.

Tabela 2. Limites máximos tolerados para micotoxinas em grãos e derivados.

Micotoxina	Tipo de alimento	LMT $\mu\text{g kg}^{-1}$
Aflatoxinas B1, B2, G1, G2	Milho, milho em grão (inteiro, partido, amassado, moído), farinhas ou sêmolas de milho	20
	Alimentos à base de cereais para alimentação infantil (lactentes e crianças de primeira infância)	1
	Amendoim (com casca), (descascado, cru ou tostado), pasta de amendoim ou manteiga de amendoim	20
Aflatoxina M1	Cereais e produtos de cereais, exceto milho e derivados, incluindo cevada malteada	5
DON	Trigo e milho em grãos para posterior processamento	3000
	Arroz beneficiado e derivados	750
	Alimentos a base de cereais para alimentação infantil (lactentes e crianças de primeira infância)	200
	Trigo integral, trigo para quibe, farinha de trigo integral, farelo de trigo, farelo de arroz, grão de cevada	1000
	Farinha de trigo, massas, crackers, biscoitos de água e sal, e produtos de panificação, cereais e produtos de cereais exceto trigo e incluindo cevada malteada	750

Tabela 2 cont. Limites máximos tolerados para micotoxinas em grãos e derivados.

Micotoxina	Tipo de alimento	LMT $\mu\text{g kg}^{-1}$
Fumonisinias (B1 + B2)	Milho em grão para posterior processamento	5000
	Farinha de milho, creme de milho, fubá, flocos, canjica, canjiquinha	1500
	Amido de milho e outros produtos à base de milho	1000
	Alimentos à base de milho para alimentação infantil (lactentes e crianças de primeira infância)	200
	Milho de pipoca	2000
Zearalenona	Milho em grão e trigo para posterior processamento	400
	Milho de pipoca, canjiquinha, canjica, produtos e subprodutos à base de milho	150
	Alimentos à base de cereais para alimentação infantil (lactentes e crianças de primeira infância)	20
	Farinha de trigo, massas, crackers e produtos de panificação, cereais e produtos de cereais exceto trigo e incluindo cevada malteada.	100
	Arroz beneficiado e derivados	100
	Arroz integral	400
	Farelo de arroz	600
	Trigo integral, farinha de trigo integral, farelo de trigo	200

Tabela 2 cont. Limites máximos tolerados para micotoxinas em grãos e derivados.

Micotoxina	Tipo de alimento	LMT µg kg ⁻¹
Ocratoxina A	Cereais para posterior processamento, incluindo grão de cevada	20
	Cereais e produtos de cereais, incluindo cevada malteada	10
	Alimentos a base de cereais para alimentação infantil (lactentes e crianças de primeira infância)	2

LMT = limite máximo tolerado.

Fonte: Agência Nacional de Vigilância Sanitária (2011).

Vale ressaltar que o LMT em cada país pode variar e, para fins de exportação deve-se atentar às exigências legais do país importador. Para se ter uma ideia do impacto econômico por causa da regulação do LMT, nos Estados Unidos, quando os teores de aflatoxinas excedem o LMT de 20 µg/kg, os produtores são obrigados a comercializar seus produtos por um valor abaixo no mercado de rações ou descartar a colheita. Estima-se que, com a adoção pela União Europeia, de 4 µg/kg como LMT para aflatoxinas em amendoim, as perdas com exportação poderiam custar em torno de U\$ 450 milhões (Schmale III; Munkvold, 2009). Segundo os autores, em países mais pobres, essa situação se agrava, ficando a população exposta a aflatoxinas, pois os grãos com melhor qualidade são exportados, ficando os grãos de menor qualidade destinado ao uso doméstico.

Sistemas produtivos de grãos e micotoxinas

O Brasil, por sua amplitude geográfica, possui diferentes condições climáticas que permitem uma ampla diversificação de

suas atividades agrícolas e de criação animal, tendo possibilidade de até três safras por ano agrícola. Para este ano, a previsão de safra de grãos, semeados em 61 milhões de hectares, está acima de 228 milhões de toneladas (Acompanhamento da safra brasileira [de] grãos, 2018).

Nas regiões produtoras de grãos, as culturas semeadas são selecionadas, pelo valor comercial, em função de clima, tipo de solo e adaptabilidade à região (Molin, 2009). Por exemplo, no cerrado, a sucessão é composta principalmente por milho, sorgo, milheto (usado principalmente para cobertura do solo), girassol, trigo e feijão, tendo como cultura principal a soja (Chaves; Calegari, 2001). No Sul do Brasil, região de clima mais frio, além do trigo, outras culturas de inverno, como cevada e aveia, são comuns em sucessão. No Matopiba, o sistema produtivo segue os padrões dos cerrados, e em parte do Nordeste nem sempre é possível o cultivo de safra e safrinha, ficando a produção limitada ao cultivo na safra.

Na **Tabela 3**, está descrita a estimativa de área plantada de grãos no Brasil para o ano agrícola de 2017/2018. As culturas com maior estimativa de área plantada são a soja, o milho, o feijão, o trigo, o arroz, o algodão e o sorgo, com 35,0; 16,0; 3,0; 2,0; 2,0; 1,2 e 0,7 milhões de hectares, respectivamente (Acompanhamento da safra brasileira [de] grãos, 2018). Estas culturas, em sua maior parte, são semeadas na mesma área, nas diferentes safras do país, principalmente nos sistemas safra/safrinha/safra de inverno. Nesse sistema, os restos culturais de uma cultura (colmos, raízes e folhas) servem como cobertura de solo para a cultura em sucessão. O solo, na maioria das aéreas, não recebe revolvimento, caracterizando o plantio direto (Pereira Filho, 2015).

Tabela 3. Estimativa de área planta de grãos no Brasil (1.000 ha).

Culturas de verão	Safras	
	2016/17	2017/18
Algodão	939,1	1.176,0
Amendoim 1ª safra	118,3	132,0
Amendoim 2ª safra	11,0	6,6
Arroz total (sequeiro + irrigado)	1.980,9	1.961,8
Feijão 1ª safra	1.111,0	1.053,8
Feijão 2ª safra	1.426,9	1.535,2
Feijão 3ª safra	642,4	600,5
Girassol	62,7	97,0
Mamona	28,0	31,6
Milho 1ª safra	5.482,5	5.082,2
Milho 2ª safra	12.109,2	11.613,8
Soja	33.909,4	35.151,4
Sorgo	628,5	656,7
Culturas de inverno	2016/17	2017/18
Aveia	340,3	352,6
Canola	48,1	43,9
Centeio	3,6	3,7
Cevada	108,4	119,7
Trigo	1.916,0	2.009,6
Triticale	23,0	21,8
Total Brasil	60.889,3	61.649,9

Fonte: Conab (Acompanhamento da safra brasileira [de] grãos, 2018).

Várias vantagens podem ser enumeradas para sistemas de plantio direto, com destaque para a qualidade física, química e biológica do solo, sendo o aumento da atividade biológica resultante da matéria orgânica gerada pela palhada. A sucessão entre culturas

geralmente favorece a produtividade (Almeida et al., 2016; Pereira Filho, 2015; Pereira; Velini, 2003). Em outros casos, pode haver aumento de problemas fitossanitários quando patógenos são hospedeiros das culturas usadas na sucessão, sendo os restos culturais mantidos no solo, fonte de inóculo. Entre os patógenos favorecidos estão os fungos e entre eles, os toxigênicos. Dos gêneros produtores de micotoxinas, os mais importantes para culturas de grãos no Brasil pertencem à *Fusarium*, *Aspergillus* e *Penicillium* (Pinto et al., 2007; Jobim et al., 2001). As culturas de grãos mais importantes no país, além do café, estão sujeitas a infecção por estes fungos e a contaminação por micotoxinas. As principais espécies de fungos, as micotoxinas que produzem e as culturas hospedeiras estão descritas na **Tabela 4**.

O milho, principal cultura usada em sucessão no Brasil, será utilizado como modelo para se mostrar a possível dinâmica de fungos produtores de micotoxinas. Para fins comparativos, a distribuição de área plantada de mais três culturas, também hospedeiras de fungos toxigênicos, soja, trigo e sorgo, na primeira e segunda safra no Brasil, são representadas em mapas da Conab (Acompanhamento da safra brasileira [de] grãos, 2018). (**Figura 1**). Pelos mapas, verifica-se que praticamente em todas as regiões brasileiras há possibilidade de semeadura em sucessão, de pelo menos duas dessas culturas. Normalmente, a soja entra como cultura principal e as demais são semeadas após a colheita da soja. Quando se analisam estes mapas, pode-se deduzir que os fungos produtores de micotoxinas serão mantidos nas áreas de produção (em restos culturais, grãos que são perdidos durante a colheita e transporte). Mantidas as fontes de inóculo, tais fungos irão infectar as culturas posteriores, pois a maior parte de área de produção se sobrepõe (**Figura 1**).

Tabela 4. Principais micotoxinas, fungos produtores e culturas afetadas.

Micotoxinas	Patógenos	Culturas afetadas
Aflatoxinas	<i>Aspergillus flavus</i> <i>A. parasiticus</i>	Trigo
		Cevada
DON	<i>Fusarium culmorum</i> <i>F. graminearum</i> <i>F. crookwellense</i>	Milho
		Amendoim
		Algodão
		Feijão
		Trigo
Zearalenona	<i>F. graminearum</i>	Cevada
		Sorgo
		Centeio
		Arroz
		Milho
Fumonisinás	<i>F. verticillioides</i> <i>F. proliferatum</i> <i>F. nygamai</i> <i>Alternaria alternata f. sp.</i> <i>lycopersici</i>	Milho
		Sorgo
		Arroz
		Milho
		Uva
Ocratoxina A	<i>A. ochraceus</i> , <i>Penicillium viricatum</i> , <i>P. cyclopium</i>	Cevada
		Soja
		Café
T-2/HT-2	<i>F. sporotrichioides</i> <i>F. poae</i>	Feijão
		Milho
		Trigo
		Cevada
		Aveia
Nivalenol	<i>F. graminearum</i>	Arroz
		Trigo
		Milho

Fonte: Peng et al. (2018), Hussein e Brasel (2001), Silva et al. (2015).



Figura 1. Área total de produção de milho, soja, trigo e sorgo no Brasil, somando-se a primeira e segunda safra, segundo a Conab (Acompanhamento da safra brasileira [de] grãos, 2018).

Nesse contexto, em que o milho é cultivado em praticamente todas as regiões produtoras de grãos, a ampla distribuição de *Fusarium verticillioides* e fumonisinas no Brasil, pode ser compreendida. Vários trabalhos confirmam a presença de espécies de *Fusarium* e ocorrência de fumonisinas pelo país (Lanza et al., 2014; Pietri et al., 2004; Embrapa, 2018, dados não publicados). Por outro lado, quando se pensa em zearalenona e nivalenol, a ocorrência mais ao Sul do país, também pode ser explicada com base nas culturas semeadas na região. Essas micotoxinas são sintetizadas principalmente por *F. graminearum*, fungo bem adaptado a condições de clima ameno, sendo comum em trigo e outras culturas de inverno (Nelson et al., 1993; Nedelnik, 2002; Schollenberger et al., 2005 citados por Oldenburg et al., 2017), condições que prevalecem no Sul do país. Vale ressaltar que, com o avanço do trigo para região de cerrados, a presença de *F. graminearum* e estas micotoxinas deverão ser monitorados. Na **Figura 2**, algumas micotoxinas com possibilidade de ocorrência em diferentes culturas.

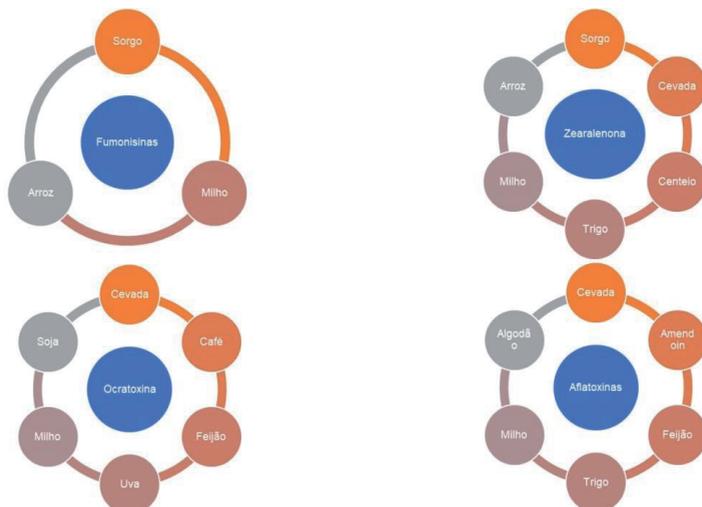


Figura 2. Possibilidade de ocorrência de micotoxinas em diferentes culturas.

Estima-se que 42% do milho esteja contaminado por micotoxinas no Brasil (Santurio, 2000). Em pesquisa recente, realizada em parceria entre a Embrapa e Mars Brasil, em que quase 1.000 amostras de grãos de milho foram analisadas, apesar de ocorrência ampla de fumonisinás, em aproximadamente 90% das amostras, os valores se encontraram abaixo do LMT de $5000 \mu\text{g ha}^{-1}$. Porém, vale lembrar que a alimentação humana e animal é composta por várias outras fontes nutricionais e muitas delas também podem conter uma ou mais micotoxinas, com efeitos crônicos, a questão se torna mais delicada quando se atenta a apenas uma cultura (Oldenburg et al., 2017; Del Ponte et al., 2012). Existe grande dificuldade para se desenvolver pesquisas que buscam compreender o efeito do consumo de alimentos com micotoxinas, principalmente em humanos e animais "pet", o acompanhamento durante a vida, a idade do indivíduo, o alto custo das análises, entre outros fatores, são entraves difíceis de se eliminar no processo de pesquisa.

Além das culturas para produção de grãos, outras plantas com finalidade diferente, como as plantas usadas para cobertura de solo, têm sido cada vez mais usadas. Como estas plantas podem ajudar a reduzir ou favorecer a incidência de fungos toxigênicos deve ser pesquisado. Em feijão, Toledo-Souza et al. (2008), observaram diferença na murcha de *Fusarium oxysporum* f.sp. phaseoli em função da planta utilizada como cobertura em plantio direto. Nesse caso, a braquiária, o milheto, o capim Mombaça e o consórcio braquiária + milho favoreceram um melhor controle que as outras plantas (crotalária, guandu, estilosantes e sorgo). Segundo os autores, além da suscetibilidade dessas culturas, a menor massa de matéria seca produzida pode ter favorecido o fungo. Este trabalho mostra que as plantas, tanto em cobertura como em sucessão, afetam as culturas que as sucedem reduzindo ou aumentando a incidência de fungos, entre eles, o mesmo raciocínio se estende para fungos produtores de micotoxinas.

Vale ressaltar que a produção de micotoxinas depende do crescimento fúngico, que pode ocorrer em qualquer época do crescimento, colheita, ou estocagem do alimento (Iamanaka et al., 2010). Assim, as estratégias para mitigação do problema devem se iniciar ainda na fase de escolha da semente a ser cultivada e seguir ao longo do desenvolvimento da cultura por meio de boas práticas agrícolas (Jouany et al., 2009; Costa et al., 2011). Para se obter um manejo eficiente da ocorrência das podridões de espiga, grãos ardidos e, conseqüentemente, reduzir a incidência de micotoxinas, várias medidas devem ser adotadas de forma integrada, como utilização de cultivares com maior nível de resistência aos principais patógenos; realização, sempre que possível, da rotação de culturas para reduzir o potencial de inóculo dos patógenos; prevenção de plantios sucessivos; utilização de sementes sadias e densidade de plantio adequada

do cultivar plantado; não atraso na colheita; manutenção da integridade física dos grãos e das condições adequadas de armazenamento (Pereira Filho, 2015; Jouany et al., 2009).

Considerações finais

A dinâmica dos sistemas produtivos de grãos no Brasil torna favorável a ocorrência de múltiplas micotoxinas nas culturas semeadas em sucessão, assim é importante conhecer quais são suscetíveis a fungos produtores de micotoxinas. Considerando que a síntese de micotoxinas é resultado de uma associação de variáveis, como clima, umidade dos grãos, temperatura, presença de oxigênio, constituição do substrato, resistência genética dos cultivares, ocorrência de danos nos grãos, inóculo dos fungos toxigênicos, competitividade desses fungos com outros microrganismos e condições de secagem e armazenamento (Scussel, 1998; Bhat; Vasanthi, 2003), há necessidade de conhecer como cada um desses fatores afetam a contaminação com micotoxinas. Ressalta-se que avaliar as culturas e as micotoxinas separadamente pode subestimar a real situação e riscos em razão do consumo de alimentos contaminados. Assim, é recomendado que o sistema de produção para produção de grãos seja considerado como um todo para que o fornecimento de alimentos seguros e a competitividade comercial do Brasil sejam garantidos.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Embrapa, Fapemig e Mars Brasil pelo financiamento de projetos relacionados a micotoxinas.

Referências

ACOMPANHAMENTO DA SAFRA BRASILEIRA [DE] GRÃOS: safra 2017/18: décimo levantamento. Brasília, DF: Conab, v. 5, n. 10, jul. 2018. 141 p. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos/item/download/21088_8ca248b277426bb3974f74efa00abab6>. Acesso em: 10 jul. 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Resolução RDC nº 7, de 18 de fevereiro de 2011. Dispõe sobre limites máximos tolerados (LMT) para micotoxinas em alimentos. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 9 mar. 2011. Seção 1, p. 66-67.

ALIM, M.; IQBAL, S. Z.; MEHMOOD, Z.; ASI, M. R.; ZIKAR, H.; CHANDA, H.; MALIK, N. Survey of mycotoxins in retail market cereals, derived products and evaluation of their dietary intake. **Food Control**, Oxford, v. 84, p. 471-477, 2018.

ALMEIDA, J. L. de; SPADER, V.; DE MORI, C.; PIRES, J. L. F.; STRIEDER, M. L.; FOSTIM, M. L.; STOETZER, A.; CAIERAO, E.; FOLONI, J. S. S.; PEREIRA, P. R. V. da S.; MARSARO JÚNIOR, A. L.; FAE, G. S.; VIEIRA, V. M. **Estratégias de sucessão trigo/cevada/aveia preta/soja para sistemas de produção de grãos no Centro-Sul do Paraná**. Passo Fundo: EmbrapaTrigo, 2016. 18 p. (Embrapa Trigo. Circular Técnica, 31).

AMARAL, K. A. S.; NASCIMENTO, G. B.; SEKIYAMA, L.; JANEIRO, V.; MACHINSKI JÚNIOR, M. Aflatoxinas em produtos à base de milho comercializados no Brasil e riscos para a saúde humana. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 26, p. 336-342, 2006.

BERTHILLER, F.; SULYOK, M.; KRŠKA, R.; SCHUHMACHER, R. Chromatographic methods for the simultaneous determination of mycotoxins and their conjugates in cereals. **International Journal of Food Microbiology**, Amsterdam, v. 119, p. 33-37, 2007.

BHAT, R.V.; VASANTHI, S. **Mycotoxin food safety risk in developing countries**. Washington: International Food Policy Research Institute, 2003. Disponível em: <<https://ageconsearch.umn.edu/bitstream/16571/1/fo030010.pdf>>. Acesso em: 20 jun. 2018.

BITTENCOURT, A. B. F.; OLIVEIRA, C. A. F.; DILKIN, P.; CORRÊA, B. Mycotoxin occurrence in corn meal and flour traded in São Paulo, Brazil. **Food Control**, Oxford, v. 16, n. 2, p. 117-120, 2005.

BOHN, J.; RAZZAI-FAZELI, E. Effects of mycotoxins on domestic pet species. In: DIAZ, D. (Ed.). **The mycotoxin blue book**. Nottingham: Nottingham University Press, 2005. p. 77-92.

CHAVES, J. C. D.; CALEGARI, A. Adubação verde e rotação de culturas. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 22, p. 53-60, 2001.

CHIAVARO, E.; DALL'ASTA, C.; GALAVERNA, G.; BIANCARDI, A.; GAMBARELLI, E.; DOSSENA, A.; MARCHELLI, R. New reversedphase liquid chromatography method to detect aflatoxins in food and feed with cyclodextrins as fluorescence enhancers added to the eluent. **Journal of Chromatography A**, Amsterdam, v. 937, p. 31-40, 2001.

CIACCI-ZANELLA, J. R.; JONES, C. Fumonisin B1, a mycotoxin contaminant of cereal grains, and inducer of apoptosis via the

tumour necrosis factor pathway and caspase activation. **Food and Chemical Toxicology**, Oxford, v. 37, p. 703-712, 1999.

COSTA, R. V. da; COTA, L. V.; CRUZ, J. C.; SILVA, D. D. da; QUEIROZ, V. A. V.; GUIMARAES, L. J. M.; MENDES, S. M. **Recomendações para a redução da incidência de grãos ardidos em milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2011. 22 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 38).

COULOMBE JR., R. A. Biological action of mycotoxins. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 76, p. 880-891, 1993.

DEL PONTE, E. M.; GARDA-BUFFON, J.; BADIALE-FURLONG, E. Deoxynivalenol and nivalenol in commercial wheat grain related to Fusarium head blight epidemics in southern Brazil. **Food Chemistry**, Essex, v. 132, 1087-1091, 2012.

DIAZ, G. J.; BOERMANS, H. J. Fumonisin toxicosis in domestic animals: a review. **Veterinary and Human Toxicology**, v. 36, p. 548-555, 1994.

FAO. **Micotoxinas em grãos**. Disponível em: <<http://www.fao.org/wairdocs/x5012o/x5012o01.htm>>. Acesso em: 19 jun. 2018.

FERREIRA, P.; QUEIROZ, V. A. V.; CONCEIÇÃO, R. R. P.; MIGUEL, R. A. Incidência de aflatoxinas e fumonisinas em produtos de milho consumidos no Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 12, n. 1, p. 54-60, 2013.

FINK-GREMMELS, J. The role of mycotoxins in the health and performance of dairy cows. **Veterinary Journal**, London, v. 176, p. 84-92, 2008.

FREIRE, F. C. O.; VIEIRA, I. G. P.; GUEDES, M. I. F.; MENDES, F. N. P. **Micotoxinas**: importância na alimentação e na saúde humana e animal. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2007. 48 p. (Embrapa Agroindústria Tropical. Documentos, 110).

HE, Q.; RILEY, R. T.; SHARMA, R. P. Fumonisin-induced tumor necrosis factor- α expression in a porcine kidney cell line is independent of sphingoid base accumulation induced by ceramide synthase inhibition. **Toxicology and Applied Pharmacology**, San Diego, v. 174, p. 69-77, 2001.

HERMANN, G.; PINTO, F. T.; KITAZAWA, S. E. Fungos e fumonisinas no período pré-colheita do milho. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 26, p. 7-10, 2006.

HUSSEIN, H. S.; BRASSEL, J. M. Toxicity, metabolism, and impact of mycotoxins on humans and animals. **Toxicology**, Limerick, v. 167, p. 101-134, 2001.

IAMANAKA, B. T.; OLIVEIRA, I. S.; TANIWAKI, M. T. Micotoxinas em alimentos. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônômica**, Recife, v. 7, p. 138-161, 2010.

KAWASHIMA, L. M.; VALENTE SOARES, L. M. Incidência de fumonisina B1, aflatoxinas B1, B2, G1 e G2, ocratoxina A e zearalenona em produtos de milho. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 26, p. 516-521, 2006.

JOBIM, C. C.; GONÇALVES, G. D.; SANTOS, G. T. Qualidade sanitária de grãos e de forragens conservadas "versus" desempenho animal e qualidade de seus produtos. In: SIMPÓSIO SOBRE PRODUÇÃO E UTILIZAÇÃO DE FORRAGENS CONSERVADAS,

1., 2001, Maringá. **Anais...** Maringá: Universidade Estadual de Maringá, 2001. p. 242-261.

JOUANY, J. P.; YIANNIKOURIS, A.; BERTIN, G. Risk assessment of mycotoxins in ruminants and ruminant products. In: PAPACHRISTOU, T. G.; PARISSI, Z. M.; MORAND-FEHR, P. (Ed.). **Nutritional and foraging ecology of sheep and goats**. Zaragoza: CIHEAM, 2009. p. 205-224. (Options Mediterraneennes: Série A. Séminaires Méditerranéen's, n° 85).

LANZA, F. B.; ZAMBOLIM, L.; COSTA, R. V.; QUEIROZ, V. A. V.; COTA, L. V.; SILVA, D. D.; SOUZA, A. G. C.; FIGUEIREDO, J. E. F. Prevalence of fumonisin-producing *Fusarium* species in Brazilian corn grains. **Crop Protection**, Surrey, v. 65, p. 232-237, 2014.

MACHINSKI JR, M.; VALENTE SOARES, L. M. Fumonisin B1 and B2 in Brazilian corn-based food products. **Food Additives and Contaminants**, London, v. 17, p. 875-879, 2000.

MATHUR, S.; CONSTABLE, P. D.; EPPLEY, R. M.; WAGGONER, A. L.; TUMBLESÓN, M. E.; HASCHECK, W. M. Fumonisin B1 is hepatotoxic and nephrotoxic in milk-fed calves. **Toxicological Sciences**, v. 60, n. 2, p. 385-396, 2001.

MARTINS, C.; ASSUNÇÃO, R.; CUNHA, S. C.; FERNANDES, J. F.; JAGER, A.; PETTA, T.; OLIVEIRA, C. A.; ALVITO, P. Assessment of multiple mycotoxins in breakfast cereals available in the Portuguese Market. **Food Chemistry**, Essex, v. 239, p. 132-140, 2018.

MAZIERO, M. T.; BERSOT, L. S. Micotoxinas em alimentos produzidos no Brasil. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 12, n. 1, p. 89-99, 2010.

MOLIN, R. Culturas de inverno rentáveis aumentam lucratividade. **Visão Agrícola**, Piracicaba, n. 9, p. 160-169, 2009.

AS MICOTOXINAS. **Food Ingredients Brasil**, v. 7, p. 32-40, 2009. Disponível em: <http://www.revista-fi.com/edicoes_materias.php?id_edicao=17>. Acesso em: 20 jun. 2018.

MUNKVOLD, G. P.; DESJARDINS, A. E. Fumonisin in maize: can we reduce their occurrence? **Plant Disease**, Saint Paul, v. 81, n. 6, p. 556-565, jun.1997.

NEDELNIK, J. Damage to corn by fungi of the genus *Fusarium* and the presence of fusariotoxins. **Plant Protection Science**, v. 38, p. 46-54, 2002.

NELSON, P. E.; DESJARDINS, A. E.; PLATTNER, R. D. Fumonisin, mycotoxins produced by *Fusarium* species: biology, chemistry, and significance. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v. 31, p. 233-252, 1993.

OLDENBURG, E.; HÖPPNER, F.; ELLNER, F.; WEINERT, J. *Fusarium* diseases of maize associated with mycotoxin contamination of agricultural products intended to be used for food and feed. **Mycotoxin Research**, v. 33, p. 167-182, 2017.

OLIVEIRA, M. A.; LORINI, I.; MALLMANN, C. A. As micotoxinas e a segurança alimentar na soja armazenada. **Brazilian Journal of Food Technology**, p. 87-91, nov. 2010.

QUESLATI, S.; BERRADA, H.; MANES, J.; JUAN, C. Presence of mycotoxins in Tunisian infant foods samples and subsequent risk assessment. **Food Control**, Oxford, v. 84, p. 362-369, 2018.

PENG, W. X.; MARCHAL, J. L. M.; VAN DER POEL, A. F. B. Strategies to prevent and reduce mycotoxins for compound feed manufacturing. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 237, p. 129-153, 2018.

PERAICA, M.; RICHTER, D.; RAŠIĆ, D. Mycotoxicoses in children. **Arhiv Za Higijenu Rada i Toksikologiju**, v. 65, n. 4, p. 347-363, 2014.

PEREIRA, F. A. R.; VELINI, E. D. Sistemas de cultivo no cerrado e dinâmica de populações de plantas daninhas. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 21, n. 3, p. 355-363, set./dez. 2003.

PEREIRA FILHO, I. A. (Ed.). **Cultivo do milho**. 9. ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2015. (Embrapa Milho e Sorgo. Sistema de Produção, 1). Disponível em: <https://www.spo.cnpia.embrapa.br/conteudo?p_p_id=conteudoportlet_WAR_sistemasdeproducaolf6_1ga1ceportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-2&p_p_col_count=1&p_r_p_-76293187_sistemaProducaold=7905&p_r_p_-996514994_topicold=8658>. Acesso em: 16 jun. 2018.

PIETRI, A.; BERTUZZI, T.; PALLARONI, L.; PIVA, G. Occurrence of mycotoxins and ergosterol in maize harvested over 5 years in Northern Italy. **Food Additives and Contaminants**, v. 21, n. 5, p. 479-487, 2004.

PIÑEIRO, M. S.; SILVA, G. E.; SCOTT, P. M.; LAWRENCE, G. A.; STACK, M. E. Fumonisin levels in Uruguayan corn products. **Journal of AOAC International**, Arlington, v. 80, n. 4, p. 825-828, 1997.

PINTO, N. F. J. A.; VARGAS, E. A.; PREIS, R. A. Sanitary quality and fumonisin B1 production in corn grains at pre-harvest. **Summa Phytopathologica**, Piracicaba, v. 33, n. 3, p. 304-306, 2007.

SAKATA, R. A. P.; SABBAG, P. S.; MAIA, J. T. L. S. Ocorrência de aflatoxinas em produtos alimentícios e o desenvolvimento de enfermidades enciclopédia biosfera. **Centro Científico Conhecer**, Goiânia, v. 7, n. 13, p. 1477-1498, 2011.

SANTURIO, J. M. Micotoxinas e micotoxicoses na avicultura. **Revista Brasileira de Ciências Avícolas**, Campinas, v. 2, n. 1, p. 1-12, 2000.

SCHMALE III, D. G.; MUNKVOLD, G. P. **Mycotoxins in crops: a threat to human and domestic animal health: economic impact of mycotoxins**. Saint Paul: The American Phytopathological Society, 2009. Disponível em: <<https://www.apsnet.org/edcenter/intropp/topics/Mycotoxins/Pages/EconomicImpact.aspx>>. Acesso em: 12 jul. 2018.

SCHOLLENBERGER, M.; MÜLLER, H.-M.; DROCHNER, W. Fusarium toxin contents of maize and maize products purchased in the years 2000 and 2001 in Germany. **Mycotoxin Research**, v. 21, p. 26-28, 2005.

SCUSSEL, V. M. **Micotoxinas em alimentos**. Florianópolis: Insular, 1998.

SCUSSEL, V. M. Fungos em grãos armazenados. In: LORINI, I.; MIIKE, L. H.; SCUSSEL, V. M. **Armazenagem de grãos**. Campinas: IBG, 2002. p. 675-804.

SILVA, D. D. da; COSTA, R. V. da; COTA, L. V.; LANZA, F. E.; GUIMARÃES, E. A. **Micotoxinas em cadeias produtivas do milho**: riscos à saúde animal e humana. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2015. 27 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos, 193).

SOLFRIZZO, M.; AVANTAGGIATO, G.; VISCONTI, A. Rapid method to determine sphinganine/ sphingosine in human and animal urine as a biomarker for fumonisin exposure. **Journal of Chromatography B**, Amsterdam, v. 692, p. 87-93, 1997.

TOLEDO-SOUZA, E. E.; CAFÉ FILHO, A. C.; LOBO JÚNIOR, M. **Plantas de cobertura para controle da murcha de Fusarium em feijoeiro comum no sistema plantio direto**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2008. 4 p. (Embrapa Arroz e Feijão, Circular Técnica, 83).

WESTHUIZEN, L.; SHEPARD, G. S.; SCUSSEL, V. M.; COSTA, L. L. F.; VISMER, H. F.; RHEEDER, J. P.; MARASAS, W. F. O. Fumonisin contamination and Fusarium incidence in corn from Santa Catarina, Brazil. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 51, p. 5574-5578, 2003.

Capítulo 17

The Route of Dissemination of Maize Around the World & Heterotic Patterns Utilized in Maize Breeding Around the World

Walter Luiz Trevisan

Dissemination of maize in Latin America

Genetic data indicate that maize was initially domesticated from the annual grass teosinte (*Zea mays* ssp. *parviglumis*) that grows between 400 and 1,800 meters above sea level (masl) in the Balsas region of southwestern Mexico. Phytolith and starch evidence from archaeological sites in the Balsas region indicate the early use of maize by at least 8,700 calendar years B.P. (Kennett et al., 2017). According to Van Heerwaarden et al. (2011), this first ancestral maize was introduced into the highlands of Mexico, and crossed to the highland teosinte *Zea mays* ssp. *Mexicana*, which was more adapted to the highlands than the original *parviglumis*. In addition, this mix has originated most of the maize known today. In summary, although the center of origin was indeed the Balsas region in the Southwestern Mexico, the ancestral maize that was dispersed into the Americas was a highland adapted mix between two Mesoamerican teosintes (*Zea mays* ssp. *parviglumis* and *Zea mays* ssp. *mexicana*).

Maize diversity developed as grain was spread through the Americas, reaching Ecuador (6400–5000 BP), Peru (4800–4600 BP), Colombia (4745–4380 BP), the Caribbean (1140–1350 BP) and Puerto Rico (3295–2890 BP), as evidenced by archaeological remains of maize cobs, pollen, starch grains, kernels, phytoliths and ceramics (Smith et al., 2017). The pattern of spread into South America has been inferred from detailed examination of maize chromosomes morphologies (Freitas et al., 2003). These cytogenetic studies suggest that maize was initially introduced into the central Andes and then spread extensively throughout the highland and low land regions of the South America continent not being supplemented by other types of maize. Much later (around 2,000 BP) low land Centro America germplasm, probably from Panama, spread southwards along the coast of Venezuela, Guyanas and Brazil.

A total of 285 maize races have been described (Wellhausen et al., 1952), although Hallauer and Miranda (1988) considered that perhaps only 130 were distinct entities. From these, 71% originated in South America, 24% in Central America and Mexico, 2% in the Caribbean, and 3% in the USA (Hernández, 2009). Adaptation of these can be considered 50% lowland tropical (<1200 masl), 10% mid-altitude (1200–1800 masl), and 40% highland (1800–2900 masl). In terms of grain type, around 40% are floury, 30% flints, 20% dent, 10% popcorns, and 3% sweet corn, and most are white grained (Pandey; Gardner, 1992).

Although not complete, Goodman and Brown (1988) give a very detailed description of the most important races in Latin America and North America. Some of the races are more important locally but have not been spread over large geographies. Other races have been playing a very important role in maize production around the world. There are many other races, not mentioned by

Goodman and Brown (1988) that could be found in the series of "Races of Maize" books published in the 1950's by the National Research Council of the United States of America National Academy of Sciences. Based on Goodman and Brown (1988), the races and relationships among them are described in the following items, divided by regions of the Americas. Even if it is not mentioned in every item, the base for these writings is the chapter of Races of Maize written in Goodman and Brown (1988).

Mexican races

It is the center of origin consequently it has the most genetic diversity in Latin America. The most important races, according to ear shape/sizes are:

1- Narrow/Long ear from Northwestern Mexico (similar to the Southwestern USA maize): Chapalote, Reventador, Harinoso de Ocho and Tabloncillo

2- Conically eared maize with pointed kernels; floury dented to popcorn; pubescent leaves: Conico, Conico Northeno; Chalqueno; Arrocillo Amarillo; Palomero Toluqueno; and probably Pepitilla

3- Gradients between large eared races (Jala, Oloton) to small eared races (Chapalote Chico, Bolita, Nal-Tel: Tuxpeno, Vandeno and Celaya; Comiteco, Tehua, Tepecintle and Zapalote Grande

In the **Figure 1**, from Goodman and Brown (1988), it was described the probable interrelationship of these Mexican races as well as other important races not mentioned in this paper.

RACES OF CORN

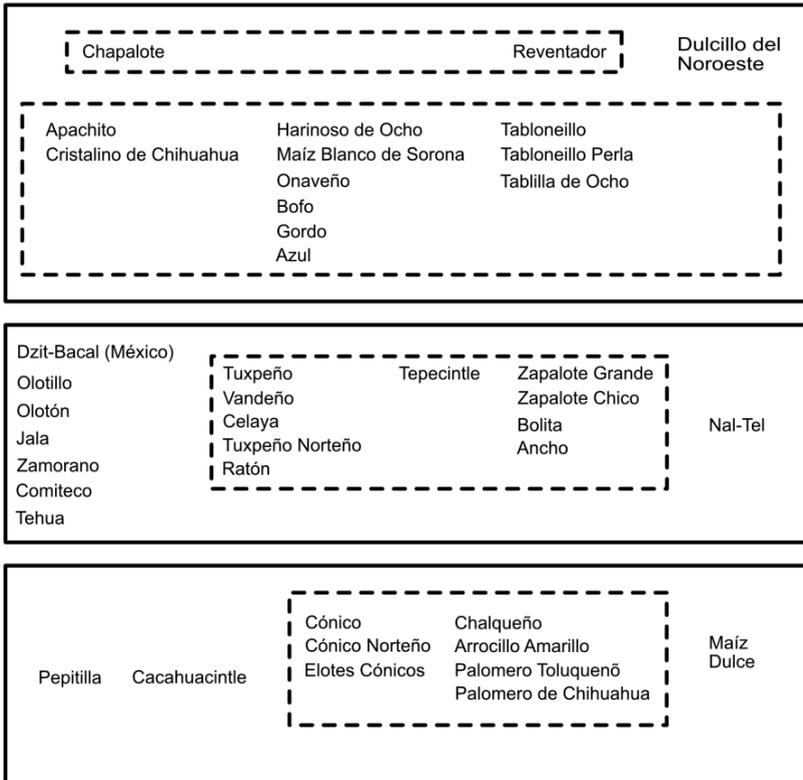


Figure 1. The probable interrelationship of these Mexican races (Goodman; Brown, 1988).

Central american races

Some races resemble South American as close they resemble to Mexican races. Others resemble Nal-Tel from the Yucatan peninsula but different phenotypically and genetically. These are the most important:

- 1- Guatemalan Imbricado (similar to Palo Tolu but large kernels similar to Colombian Imbricado)

2- Guatemalan Salpor related to Cacahuacintle

3- Guatemala: **Comiteco; Tuxpeno; Tepecintle; Dzit-Bacal; Olotillo (similar to the Mexican races)**

4- Guatemala: Oloton- similar to Montana from Colombia and Ecuador; Chococeno

5- Other countries: Salvadoreno; Clavillo (Costa Rica and Panama); Heusillo (Costa Rica); Chococeno and Cariaco (Panama)

In the **Figure 2** from Goodman and Brown (1988), it was described the probable interrelationship of the Guatemalan races as well as other important races not mentioned in the summary above.

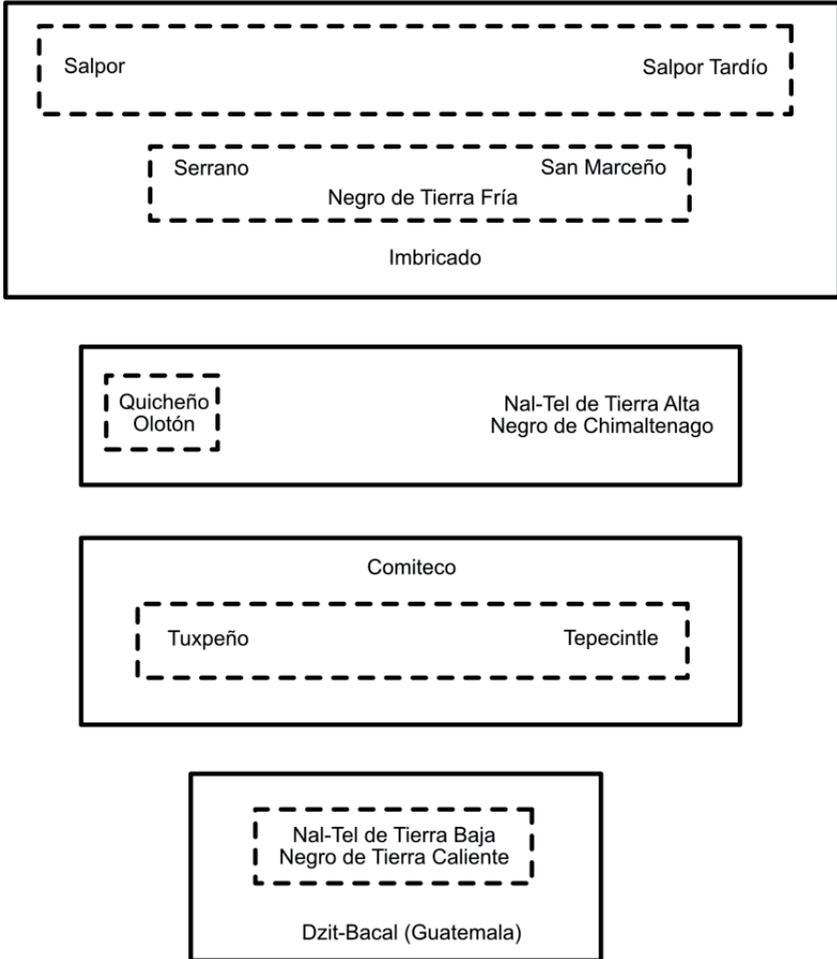


Figure 2. The probable interrelationship of the Guatemalan races (Goodman; Brown, 1988).

West Indies (Caribbean Islands) Races

The move from Centro America and north of South America through the islands of the Caribbean was done mostly by the

Arawak native Americans. After several attempts to classify the Caribbean races, Brown, cited by Goodman and Brown (1988), separated the many accessions in 7 basic races:

1- Coastal Tropical Flints: one of the two most important races

2- Tuson: the second most important race; probably resultant of the cross between Coastal tropical Flints and some non-identified Dent (possibly Tuxpeno?)

3- Cuban Flint: the most Flint of the Caribbean; probably an accidental cross of a flint maize introduced from Argentina in the early 1900.

4- Haitian Yellow: the most related to Coastal Tropical Flints

5- Chandelle: Flint and Dent, long ear race from Cuba, Haiti, Dominican Republic, Trinidad, Caicos,

6- Early Caribbean- early, short with some relationship to the New England Flints and European Flints

7- St Croix: outcross of local maize (probably Coastal Tropical Flints with Southern Dents from USA (similar to Hickory King)

Four of these Caribbean Races are common to South America: Cuban Flints; Coastal Tropical Flints; Chandelle and Tuson.

In the **Figures 3 and 4** from Goodman and Brown (1988), it was described the probable interrelationship of the West Indies races and their Central and South American counterparts as well as other important races not mentioned in the summary above.

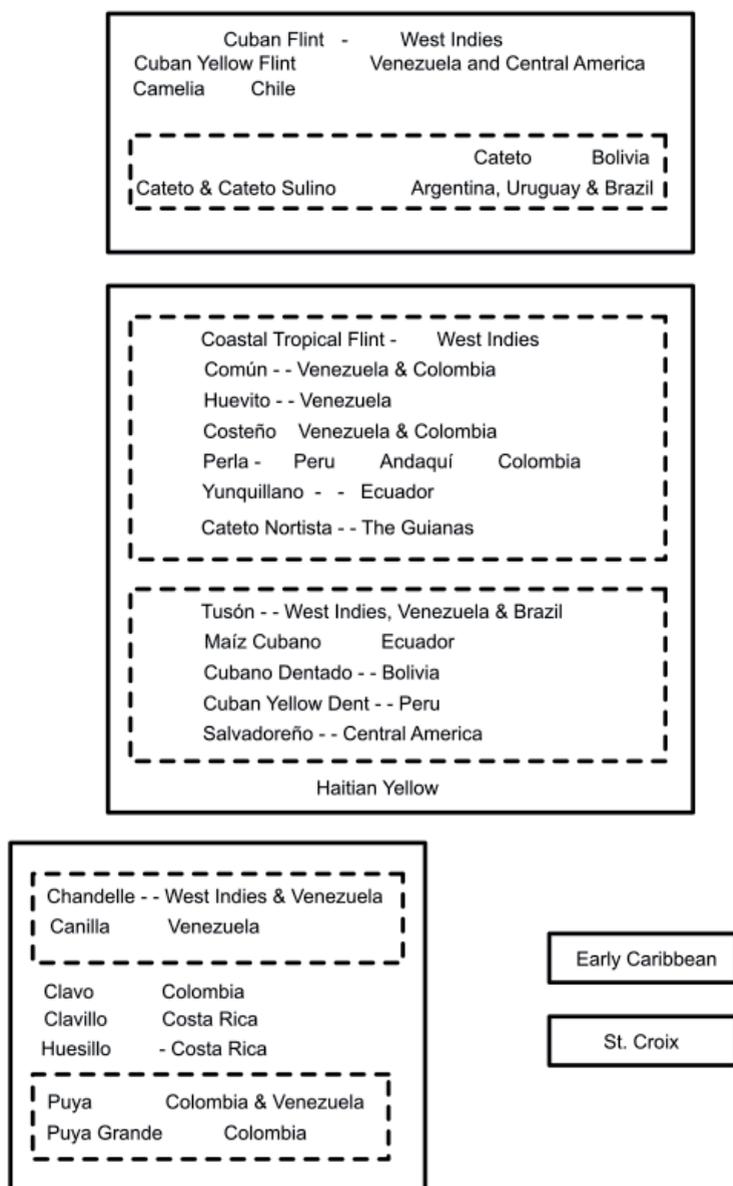


Figure 3. The probable interrelationship of the West Indies races and their Central and South American (Goodman; Brown, 1988).

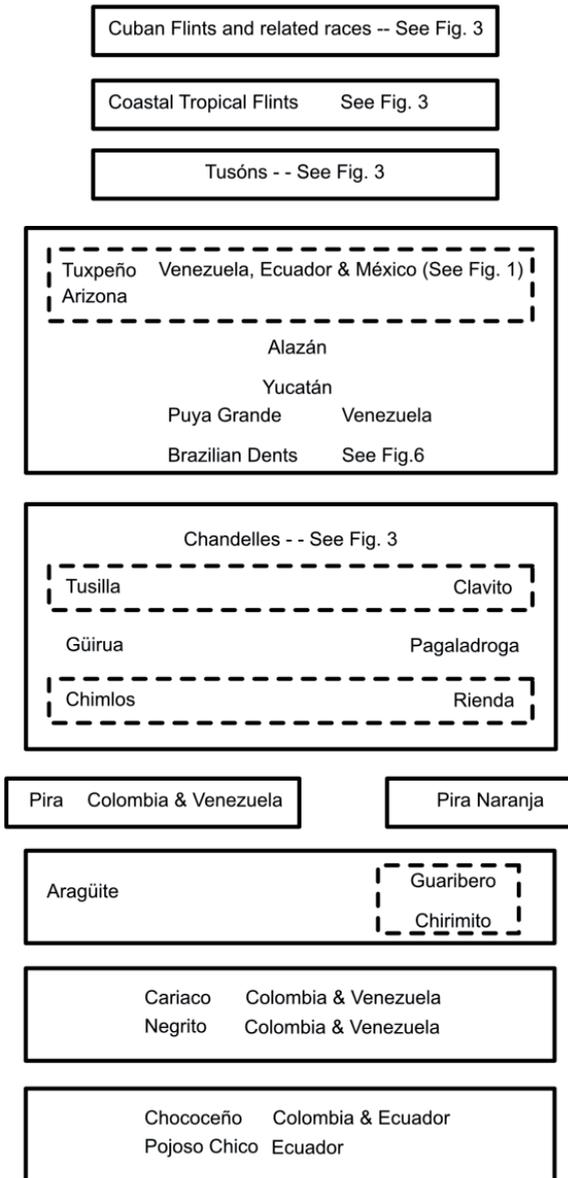


Figure 4. The probable interrelationship of the West Indies races and their Central and South American (Goodman; Brown, 1988).

South America - Andean region races -

The geographic diversity found in the region and isolation imposed by the terrain, has in conjunction with trading and migration, resulted in a diverse set of mostly interrelated maize races. Sabanero from Venezuela, Colombia, Ecuador and Peru and to a lesser extent Morocho from Peru are races that are central to a number of other races in the Andean Region. These are the main races in the Andean Region:

1. Sabanero (Venezuela, Colombia, Ecuador and Peru);
2. Morocho (Peru and Argentina)
3. Morocho Cajabambino, Perlila
4. Pollo (Venezuela, Colombia); Patillo and Kcello (Ecuador)- smaller ear than Sabanero
5. Cacao (Colombia and Venezuela)- brown or bronze Sabaneros; Cabuya (Colombia) and Huandango (Ecuador)- smaller ear than Sabanero; similar alleurone from Cacao
6. Capio, Montana (Colombia and Ecuador), Morochon, Amagaceno (Ecuador)
7. Cuzco, Cuzco Cristalino Amarillo, Cuzco Gigante (Peru, Ecuador, and Bolivia); Huancaveliano and Araquipeano (Peru), Sarco, Mischa, San Geronimo, Blanco Blandito; Blanco Harinoso Dentado (Ecuador)-
8. Central Andes races: grenade shaped with distinction done by grain color/shape of the ear

- 8.1. Black:** Kulli (Bolíbia); Racimo de Uva (Ecuador); Morado Canteno and Kculli (Peru)
- 8.2. Speckled:** Piscorrunto (Peru); Checchi (Ecuador)
- 8.3. Higher row number:** Chulpi, Capia (Argentina); Pao (Peru)

In the **Figures 5 and 6** from Goodman and Brown (1988), it was described the probable interrelationship of the Andean races as well of other important races not mentioned in the summary above.

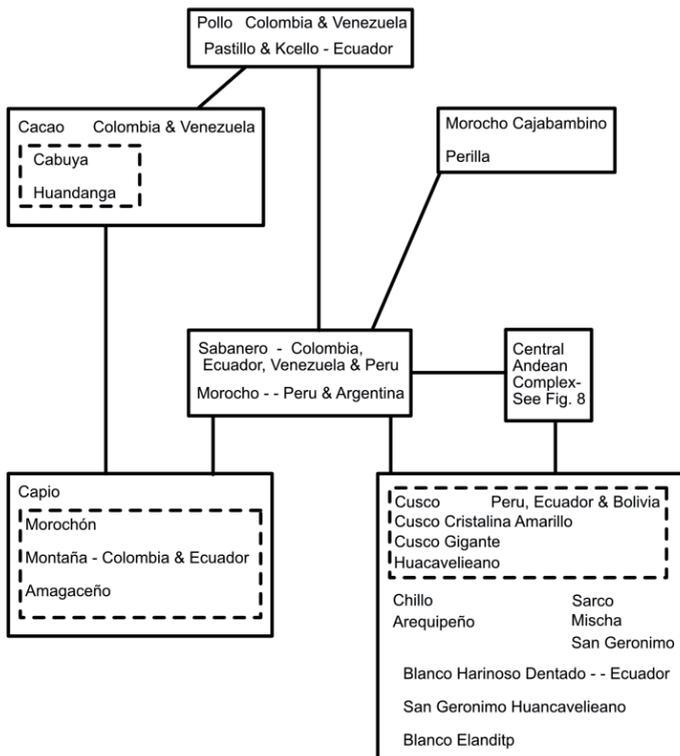


Figure 5. The probable interrelationship of the Andean races (Goodman; Brown, 1988).

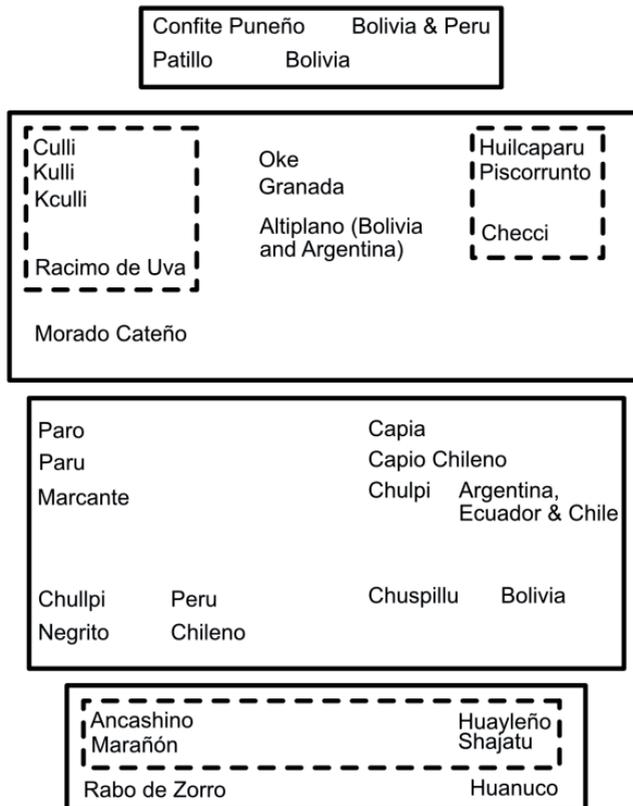


Figure 6. The probable interrelationship of the Andean races (Goodman; Brown, 1988).

Lowland northern South America races

Several Flint and semi-flint races are the same as the West Indies races and, their relationship are presented diagrammatically in the **Figure 3** from Goodman and Brown (1988), already reproduced in this presentation. On the **Figure 4**, it is described the relationship among the races of the Northern South America. Following it there is a summary of these races/relationships:

1. Cuban Yellow Flint of Venezuela, the Catetos and Cateto Sulinoos of Eastern South America and Camelia from Chile appear to be mainland counterparts of Cuban Flint
2. Perla from Peru, Cateto Nortista in Guianas and Costeno and Comun from Venezuela and Colombia are mostly Coastal Tropical Flints. Costeno and Comun from Colombia seems to have some percentage of high altitude germplasm. Andaqui from low land Colombia and Yunquilano from Ecuador also seem to belong to the Coastal Tropical Flints and Huevito from Venezuela also belongs to the Coastal Tropical Flints group.
3. Tuson is widespread in South America: Maiz Cubano in Ecuador, Tuson in Ecuador and Brazil, Cubano Dentado in Bolivia and Cuban Yellow Dent in Peru. Salvadoreno from Centro America, and many collections of Tuxpeno and Puya Grande from Venezuela could be also classified as Tuson. It seems Tuson probably migrated from North of South America to the West Indies and not the reverse.
4. Chandelle- Canilla, Puya, and Chandelle in Venezuela, Clavo and Puya in Colombia, Clavillo in Costa Rica all seems to be related to Chandelle. Pyua Grande in Colombia seems to be also related to Chandelle whereas the Puya Grande from Venezuela seems to be more a Tuson type,
5. Dents and Semi-Dents- mostly related to Tuxpeno-Vandeno:- Tuxpeno from Ecuador and Venezuela, Yucatan from Colombia, Alazan and Arizona from Peru. Several Peruvian (Aleman, Chuncho and Jora) and Ecuadorian (Uchima and Gallina) races have apparently arisen as a result of mixes between Caribbean flint or dent races and lower altitude Andean races.

6. Narrowed ear flints and floury: Pira from Venezuela and Colombia, Pira Naranja from (Colombia).
7. Small flints and Popcorn: Chirimito, Araguito and Guaribero from Venezuela. Araguito seems to be similar to Enano from Bolivia and Peru.
8. Chococenos from Western Colombia and Ecuador are somewhat similar to Enano, Chimirito, Guaribero and Araguito. They are mostly popcorn although some are floury

South America - The Amazon basin and surrounding lowland

There is basically a single most important race complex in the Amazon Region, the Coroico, with some mixes in the periphery of the region-

1. Coroico- throughout of the interior lowland area east of the Andes the race Coroico predominates:- also called Piricinco and Pojoso in Peru and Entrelacado in Brazil.
2. Around the periphery of the Amazon region some races appear to share the unique kernel coloring and texture with Coroicos, indicating some relationship:- Cacao and Cariaco from Colombia and Venezuela, Candela from Ecuador, Cabuya from Colombia, Moroti and Pojoso Chico from Brazil, Bolivia and Paraguay, Enano from Bolivia and Peru and perhaps Maranon from Peru.

The **Figure 7** from Goodman and Brown (1988) indicates the relationship among these races.

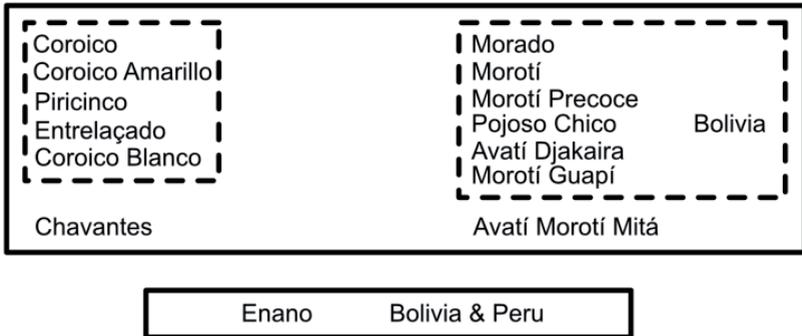


Figure 7. The relationship among races (Goodman; Brown, 1988).

Lowland southern South America races

The most important races in the Lowland South America are the White and Yellow or Orange Flints. Below a list of the different types, according to Goodman and Brwon (1988):

1. White Flints: Cristal, Cristal Sulino from Brazil, Paraguay, Uruguay and Argentina; Perola from Bolívia; Curagua Grande from Chile)
2. Yellow or Orange Flints: Cateto, Cateto Sulino (Brazil, Blivia, Uruguay, and Argentina); Cristalino and Camelia (Chile).
3. Floury variants of the Coroico Complex:- Moroti (Brazil and Paraguay); Pojoso Chico (Bolívia);
4. Dents and semi-dents- resultant from the introduction of USA, Mexican and Caribbean Dents: Dents from Southern Brazil (ex: Dente Riograndense and Dente Paulista); Cubano Dentado and Argentino from Bolívia; Dentado Comercial from Chile

5. USA Northern Flints seems to be present in several races in Chile and Argentina:- Cristalino Norteno and Araucano in Chile; Canario de Ocho (Argentina)
6. Floury races: Camga and Cholito (Bolivia); Caingang and Lenha (Brazil; Cateto Sulino Grosso from Uruguay (tick ears resembling Lenha and Cravo) and Cateto Nortista (a variant of the Coastal Tropical Flints from the Guyanas)
7. Cigar shaped popcorns- Avati Pichinga Inhu from Brazil and Paraguay; Pororo from Bolivia. The races Avati Pichinga from Brazil and Paraguay and Caragua from Chile seems related to the higher altitude Andean pointed popcorns.

The **Figure 8** from Goodman and Brown (1988) indicates the relationship among these races.

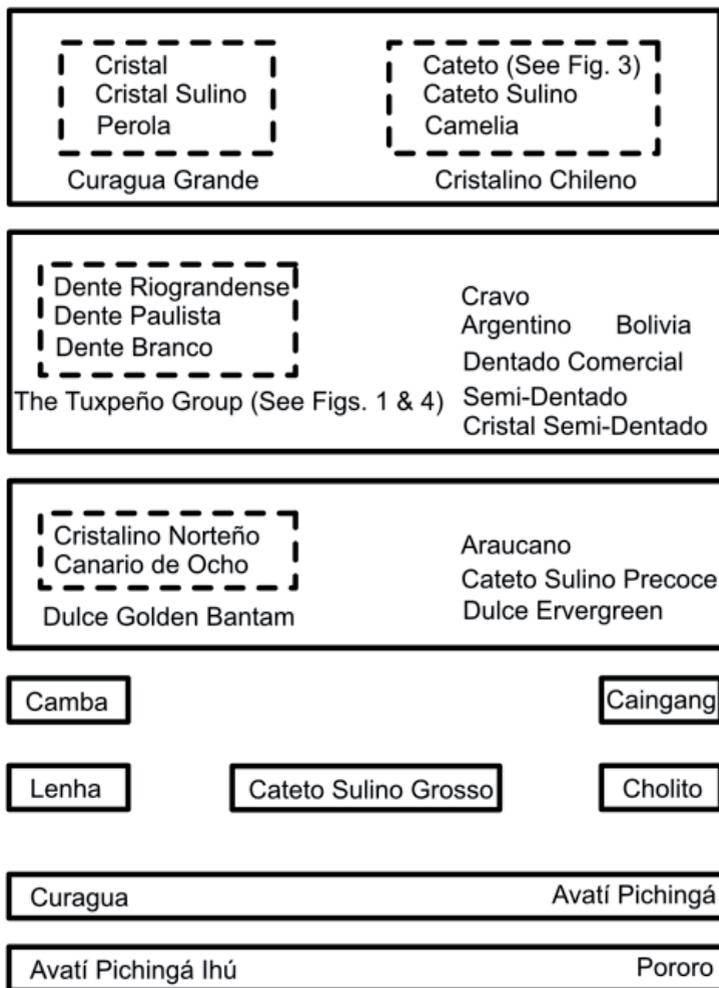


Figure 8. The relationship among races (Goodman; Brown, 1988).

Dissemination of maize in North America

Troyer (2004) describes how maize was disseminated to and within North America, given great details about the movement of native Americans and maize germplasm. Maiz de Ocho, a Mexican

Northwest race with an eight row, long ear flint maize, probably the result of crosses among Harinoso de Ocho, Chapalote and teosinte, was the first maize that was introduced to what is today Southern Arizona and Southern New Mexico (probably around 2,500 BP). This maize started to be moved slowly north since daylength sensitiveness and longer maturity period did not allow perfect adaptation. Through incessant planting and selection of survivals, maize would eventually adapt to these new northern areas and would then become the product that was taken slightly north by the same Natives. Maize staying for longer periods in these mandatory steps to accumulate adaptation to the new environments, allowed some interesting adaptations to the harsh environment of these arid areas. A great example is the Hopi Corn, from the Hopi Native Americans of the Arizona. This maize adapted to the deep planting used by the Hopis to allow maize to germinate under the desert conditions. Overtime It developed a unique/peculiar long mesocotyl that it can reach 25 cm long. The Hopi could plant their maize at 20-25cm deep in the soil so it would not be too sensitive to the normal day heat of these areas and would only germinate if a considerable amount of rain happened. Besides, the intense selection for earliness, also allowed this race of maize to avoid the late drought. This selection for early flowering most of the times also was indirectly caused by early frost that would kill late flowering/late maturity maize.

Through these continuous planting, selection for adaptation and then moving to new northern areas, maize reached the Dakotas in the Midwest Plains. Then it spread all over the Northern areas east of the Mississippi where temperature and soil conditions allowed. Also spread West particularly in areas where the soils are moist by rivers, springs and subsurface drainage, in

parts of Nevada, Wyoming, Colorado, Utah, New Mexico and Northwestern Mexico. The earliest evidence (Smith et al., 2017) for the introduction of maize into the temperate Northeast of the continent is 275 AD (Ohio) and 460 AD (Southern Ontario). Little (2002), cited by Smith et al. (2017), through the use of tree ring calibrated radio carbon dating, found that maize was introduced into the lower Hudson River area around 1,000 AD. When Columbus reached America, maize was already present in what we call today the New England area in the United States and Southeast Canada. It took approximately 2,500 years for maize to cover the route from the Northwest Mexico to Southern Canada!

The second more recent route of maize into North America was through the Southeast United States, in a process that it is estimated that took around 800 years. Some large ear dent races (probably Tuxpeno, Vandeno and Tabloncillo) were disseminated by Native Americans through what is today Texas, Louisiana, Mississippi and Florida. By then it became what we know today as Southern US Dents. These large ears, high row maize started to be moved north by the time the first English/Spanish settlers arrived in America. By the same process described in the Southwest North America route of planting and selection for adaptation, and then moving slightly North to new environments, these Southern races maize started to be more adapted to higher latitudes.

Since Southern settlers were moving the Southern Dents northward, it eventually reached the Carolinas in the mid 1800's, where the 8-10 row Northern Flints (probably New England Flint) were the main maize being planted. Then a great breakthrough happened, by accident:- poor stand fields of Southern Dents (most likely Gourdseed, with 20-24 rows) were replanted with the earlier Northern Flint seeds allowing the Southern Dents to

be crossed with the Northern Flints. From these crosses emerged a new modern race, the Corn Belt Dents, and an “explosion” of variability happened. This enormous variability allowed farmers to select their own maize varieties that became the base of the maize dissemination through the Midwest of the United States till early 1900’s, when the hybrid maize started to become important. These varieties were the base materials used by breeders from universities and emerging private seed companies to develop inbreds to make up hybrids.

North America maize races

Unlike in most of other countries in the Americas, much of the indigenous corn of the USA was replaced by hybrids prior to the implementation of an organized program of germplasm preservation. Unfortunately, after usable inbreds were developed from the existent Corn Belt Dent varieties, they were largely ignored. Even less attention was given to Indian varieties and minor land races found outside of the Corn Belt (Goodman; Brown, 1988). The bulk of the US maize can be assigned to 10 racial complex according to Goodman and Brown (1988):-

1-Northern Flints and Flours:- Longfellow, Dutton, Smut Nose, Canada Flint, Manmouth Yellow, Wilbur’s Flint, Parker’s Flint, Thompson Flint, New England Flint and New York Council Flour Corn. Longfellow and New England were the most important of them.

2-Great Plains Flints and Flours:-thought to be obviously related to the Northern Flints but with some introgression of varieties of the American Southwest, before the discovery of America. Varieties of this complex:- Pawnee White, Manda Yellow Flour,

Arikara Flints, Rhee Flint, Omaha Flour, Otoe White Flour, Ponca Red Flour, Winnebago White, Winnebago Blue, Gehu, Assiniboine, Dakota Squaw and Santee.

3-Pima-Papago- reached the Southwest of the US probably from Western Mexico where similar types (Chapalote, Reventador) were collected. A form of Pima-Papago spread towards Oklahoma and Arkansas and up the Mississippi river reaching Northern Illinois by 100A.D.

4- Southwest Semi-dents- product of the introgression of Tuxpenos from Mexico. Although some authors consider it a racial complex, such materials were not recognizable as distinct by the tribes that grew it.

5- Southwestern 12 rows- mostly grown in the Rio Grande Valley of New Mexico is very similar to Northern Flints and lends the notion that this maize came from the East of the United States (although they present many knobs in the chromosome, while the Northern Flints have none or very few).

6- Southern Dents- This racial complex seems to be just the Northern counterparts of some of the Mexican Dents. Most of the Southwest Dents are close related to the Tuxpenos; Schoepeg is quite similar to Pepitilla; and Hickory King is much like Tabloncillo and Olotillo. The most important varieties of the Southern Dents are:- Gourdseed, Schoepeg, Tuxpan, Hickory King, Jellicorse and Mexican June.

7- Southeastern Flints and Flours- this complex consists of two sub-races:-

7.1- Caribbean Flints:- Creole Flint, Cuban Flint, Spanish, StAntoine and Jarvis Golden Prolific. The later seems to be a modified form of Creole introgressed to some unknown dent maize.

7.2- Cherokee Flours- it has been selected over a period of several centuries by the Cherokee Native Americans. It is still the main maize utilized by the Cherokees in their reservation.

8- Derived Southern Dents- they are close related to the Southern Dents and it was the result of the crosses with at least two other races:- Southeastern Flints and Corn Belt Dents. The most important varieties are:- Caraway's Prolific, Giant Yellow Dent, Horsetooth, Latham's Double, Mosby's Prolific, Neal's Paymaster, Southern Snowflake and Whatley's Prolific.

9- Corn Belt Races- this modern race, emerged in the 19th century in the eastern of the US, dominated the major maize production areas of the United States for more than half a century. It resulted from the accidental crosses of Southern Dents with Northern Flints, undoubtedly happened when poor stands of Southern Dent fields were partially replanted with the earlier Northern Flints. Even though Corn Belt Dents did not exist prior to the 19th century, they have provided the basic germplasm for virtually all the maize now produced in the USA as well as in most other temperate and sub-tropical regions of the world. Hundreds of varieties of Corn Belt Dent have been described, most of which, unfortunately have disappeared. The most prominent ones were: Reid's Yellow Dent, Lancaster Surecrop, Krug Yellow Dent, Leaming, Osterland Yellow Dent, and Midland Yellow Dent.

10- Excluded Races in this classification: Sweet corn and popcorns; and the Seminole of Florida and tamale corns which are very difficult to classify.

The **Figure 9** from Goodman and Brown (1988) indicates the relationship among these North American races.

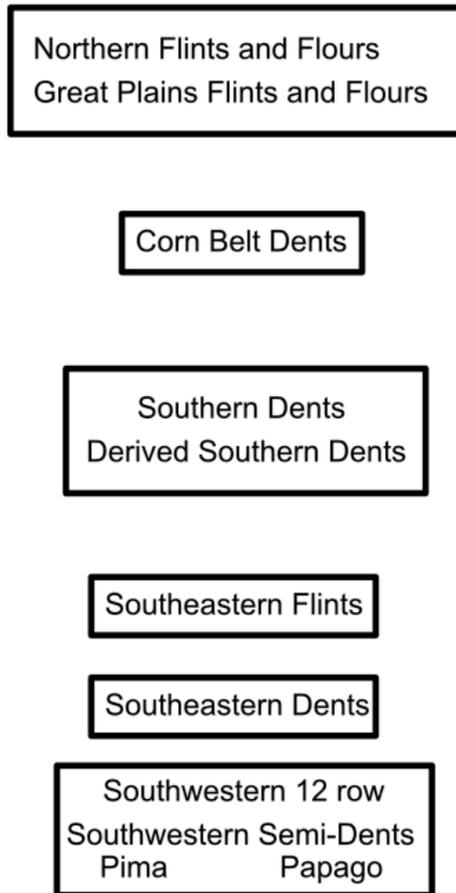


Figura 9. The relationship among these North American races (Goodman; Brown, 1988).

Dissemination of maize out of America

There were several main routes of dissemination out of the Americas, described by different historians. Most of them were through the first settlers of the Americas:- the Spanish, the Portuguese and the British routes (in the 16th through 18th century). After maize was introduced into Europe, the Turkish played an important role in the dissemination throughout Europe, Asia and even North Africa. In the last century, more introductions of more modern American continent races/varieties done mostly by maize breeders became important to allow maize to be adapted to the different ecosystems in the world. Mir et al. (2013) mostly confirmed most of the information given by the historians by fingerprinting some key races of maize from non-American geographies compared to the original races of maize found in the Americas.

Introduction into Europe

During Columbus first trips to the Americas, maize was probably collected in the Caribbean islands (first and second trips) although there is no written record of these introductions since the logbooks of these voyages have been lost. There is though a book (*De Orbe Nouo Decades* by Pedro Martir de Angleria from 1511, cited by Desjardins and McCarthy (2012) that indicates the introduction of maize after Columbus second trip to the Caribbean (Martinique, Jamaica and Hispaniola, which is Haiti and Dominican Republic today. In the third trip (1498-1500) to the Orinoco Mouth (what is today Colombia) there is a mention (by Diego, Columbus brother) of maize being collected then brought back to Spain (Desjardins; McCarthy, 2012). After Cortez fights against the Aztecs in Mexico (1521) and the Mayas in Guatemala (1526) other maize important

racas (probably the Mexican Dents) were collected and brought to Spain. And, finally, after the conquest of Peru from the Incas by Pizarro in 1533, the Peruvian and Colombian races also became available to be introduced in Europe. The import of Peruvian maize into Spain is supported by the use of the word *zara* as an early name for maize in Spain (Desjardins; McCarthy, 2012). There are some indications also, that some Pyrenean, Italian, Southern Spain and Galician landraces have some contribution of Tropical lowland clusters. Initially these introductions of maize were treated as curiosity and not valued as a potential food crop. Maize was planted and distributed mostly by botanical gardens or even in people's gardens in several countries in Europe. It was reported being planted in Africa as early as 1517, in an area that is today Egypt/Ethiopia (Edmeades et al., 2017). After this period of curiosity, the Turkish were the ones that realized the potential of maize as a crop, started to use it as food and were responsible for the spread of it throughout Europe as a crop. That is why maize was known during these early days of spread in Europe as *Turkische Korn* (Turkish Maize) according to Desjardins and McCarthy (2012). The Spanish were also, probably, responsible for the introduction of some Argentinean or Uruguayan Flint into Europe. There is evidence that some of the Italian and Spanish Flints have strong relationship with the Southern South American Orange Flint. This is probably true because of the daylength sensitive Caribbean and Coastal Tropical Flints would not adapt easily to the longer days of Northern Spain, Italy and Southern France. When maize started to move North into Europe, it started to intercross with Northern Flints introduced by Spanish, Portuguese or French (Mir et al., 2013). These Northern Flints were from the New England area in the Northern USA and were introduced initially in Europe early in the 16th century. Some maize was reported being grown in Germany as early as 1539. The German Botanist Jerome Bock

illustrated in his book (cited by Desjardins; McCarthy, 2012), a maize plant with 8 to 10 rows. The only maize that could adapt to those conditions and have ears of 8 to 10 rows is the Northern Flints from USA. The wide diversity of the maize introduced into Europe during these early days of dissemination is summarized by John Finan (Maize in the Great Herbals), cited by Desjardins and McCarthy (2012):- "European botanists of the 16th century, observed, described and illustrated a great diversity of types of maize: grains of different shapes as flat, round, long or pointed kernels; grains of different colors as black, purple, red, blue, gold, yellow and white; plants with and without prop roots; plants with single or multiple stalks, single or multiple ears; tall and dwarfs; and other unusual types".

Mir et al. (2013) using SRR markers to compare European races with races from different areas of the Americas, confirmed that the European Races had strong contribution from the Northern Flints (from North America), Caribbean Group (from the West Indies) and CoastalTropical Flints (from Colombia and Venezuela). It does not confirm in this study the supposed contribution of Southern South America Flints from Southern Brazil, Argentina and Uruguay in the Italian/Southern Spain flint landraces. It could have been an issue of how the sampling of the South American races used in this study was done. Another interesting finding from Myr at al. (2013), was the indication that the North American Northern Flints had some contribution in some Portuguese landraces, which supports a second, independent, introduction of this race in Europe, possibly through Portuguese expeditions in North America.

Introduction into Africa

Maize was introduced in Africa right after the discovery of the Americas. Edmeades et al. (2017) indicates that maize was reported in 1517 in what is today Egypt. Other reports (Desjardins; McCarthy, 2012) indicate that maize was already in Ethiopia by 1526. This maize was probably the Caribbean or Coastal Tropical Flint groups introduced in Europe by Columbus (confirmed by McCann, 2005). The Portuguese though were the most important spreaders of maize from their South American trips first to the Western Africa island of Azores and Cape Verde first, and then the Africa mainland. There are some reports of *zaburro* (a Portuguese early word for maize) being planted as early as 1526 between Gambia and Senegal. Some other reports indicate maize being used extensively in Angola, Congo, Senegal and Gabon by 1678-79. The Portuguese though not only introduced Maize in the West Coast of Africa. Also there are reports from 1601 of maize being planted in Mozambique and Madagascar; mid 1600's in Mombasa (Kenya); 1691 in the island of Mauritius. The Portuguese most probably brought to Africa maize races from the coast of Brazil (the Coastal Tropical Flints, probably Cateto from Brazil and Argentina, according to McCann (2005). This maize introduced in the coastal areas of the West and East Africa disseminate quickly into the interior of the continent. When the Dutch started to colonize the Cape area in what is today South Africa (circa 1652), they found no maize being cultivated (McCann, 2005). Later when they started to move North they found a crop that the locals called *milho* the Portuguese word for maize. Still today, the word for maize in South Africa, *millie*, indicates that they tried to adopt the word *milho* for the new crop. It is just how the word *milho* sounded for them (Saunders, 1930). There are reports of flourey maize also introduced in East and West Africa much later

than these earlier introductions, but it seems it did not become widely distributed (McCann, 2005).

All these Yellow/orange flints introductions were dispersed in Africa and became the main maize planted in most of the countries but was never the main staple food. It was just a complementation of the main staple food, which was sorghum and millet. The introduction of the dent maize from North America, mostly Southern Dents and Derived Southern Dents, into Southern Africa by the end of the 1800's and then Kenya (around 1920) made the big difference (McCann, 2005). It made the yellow and orange flints almost obsolete. USA varieties/races like Horsetooth, Hickory King, Iowa Silver Mine, Boone County White and many others were introduced. Hickory King was the main variety planted in South Africa in the 1920-1930 till Potchefstroom Pearl replaced. Potchefstroom Pearl was an improved variety more adapted to dryland planting developed by the Potchefstroom Research Station in South Africa by breeding the USA introductions. Inbreds derived directly from these USA introductions and from improved varieties developed out of these introductions, and a later introduction of the inbred K64 (a Pride of Saline inbred from Kansas, USA) constitute the base of most of the hybrids sold in South Africa. These USA varieties/races were also introduced in Rhodesia (today Zimbabwe) and originated some important new adapted varieties. The varieties Salisbury White and Southern Cross were very important but, more important yet:- it allowed the development of inbred lines that made the most famous African single cross of all time:- SR52- the first single cross sold commercially in the world. This hybrid was planted in almost every country in the East Sub-Saharan and still today is sold in some minor markets because of its large ear. The same Zimbabwean team that developed

SR 52 also developed the early maturity hybrid R201, using an improved rust resistant version of K64, the K64R. This hybrid was also spread over the drought prone areas of East Africa and still today is considered the standard for earliness/drought tolerance in Africa (McCann, 2005).

Before the Independence of Kenya (1950), some White US Southern Dents, probably from South Africa, were introduced in Kenya and virtually displaced the flint maize been planted there. A local variety called Kenya Flat White was selected from a mix of these introductions (and perhaps some local flint maize) and was the main maize planted in Kenya till hybrids started to be introduced in early 1960's. Maize became the main staple food for the Kenyans. In 1956, the first Kenya maize breeding program started at the Kitale Station in Kitale in the Kenya Highlands and soon developed a Synthetic based on local germplasm collected in Kenya (mostly Southern Dents by this time), named Kitale Synthetic. In 1959, the Rockefeller Foundation financed a trip for M.N. Harrison (the Kitale maize breeder) to collect high altitude land races in Mexico and Colombia. These introductions were evaluated and crossed to Kitale Synthetic. The Ecuador 573 (known as Montana in Colombia and Ecuador) was identified as the most heterotic combination with Kitale. These crosses (Kitale x Ecuador 573) and new releases using this same structure are still the predominant maize being planted in the highlands of Kenya, Ethiopia, Tanzania, Uganda and Mozambique, in altitudes ranging from 1,700 to 2,300 m above the sea level.

The most recent introduction of maize in the West Africa region (after the 16th century) is not covered in this paper. It is something this author plans to do in near future.

Most of these historical routes and introductions are confirmed by Mir et al (2013) using SRR and STRUCTURE clustering, with the exception of the introductions of germplasm from Colombia/Venezuela into West Africa, done probably by the Portuguese. According to these authors, the Portuguese route from Southern South America only impacted the Northern part of the West Coast of Africa (through Cape Verde). The mid and South of the African West Coast maize were from introductions (by the Portuguese) from Colombia/Venezuela (through Sao Tome), which seems counter-intuitive:-The Northern South America maize would have made more sense to be introduced in Northern Africa and the Southern South American maize would have made more sense to be introduced in Southern Africa. The historical evidence seems to agree with the later (McCann, 2005).

The **Figure 10** shows Mir et al. (2013) routes of Maize to Europe and Africa, combining historical and STRUCTURE clustering analysis markers.

Introduction into Asia

There were two main routes of dissemination into Middle East and Asia :- The maritime route mostly represented by the introduction of maize done by the Portuguese navigators/traders and the continental route through the travels of the Turkish/Muslim groups going to Mecca for pilgrimage and trading with the far east.

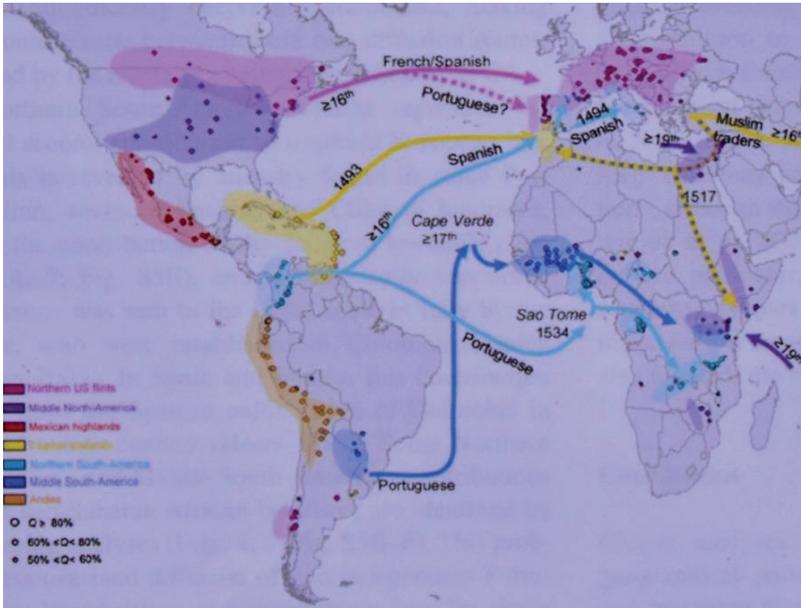


Figure 10. Hypothetical reconstruction of major routes of maize diffusion out of Americas into Europe and Africa, combining STRUCTURE clustering results and historical data (Mir et al., 2013).

The Portuguese probably introduced maize in India sometime after the first expeditions of Vasco da Gama and Pedro Alvarez Cabral (1498, 1500 and 1502) to Malabar (Southwest India). They captured the island of Goa (India) from the Sultan of Bijapur in 1510 (Desjardins; McCarthy, 2012) and established a colony in this island. Maize might have been introduced soon after as they started to have more frequent trips to Goa. Later, from 1536 to 1580 the Portuguese established several trading posts in the bay of Bengal (India, Bangladesh and Myanmar) and probably introduced maize in these areas too. During the 16th century, maize was also introduced in Indonesia and Malaysia. The Portuguese probably also introduced maize in Southern China when they

established the settlement at Macau in Southern China, although there are no reports indicating how important that was for the China agriculture. The Spanish took over the Philippines islands circa 1600, and might have been instrumental in introducing maize into the Southeast Asia. Similar to what happened in Africa, the maize germplasm introduced by the Portuguese was, most likely, the Coastal Tropical Flints from South America. In addition, the Spanish might have introduced the Mexican Dents, Caribbean Flints and Coastal Tropical Flints.

The continental route established by the Turkish and the Muslim traders probably brought the Caribbean Flints to the Middle East and Asia. The word for maize in the Middle East is *surrutul-makkah*, which means the “grain of Mecca” in English, indicating the strong association of the maize with trips to the Muslim Holy City of Mecca. The Turkish/Muslim route seemed to have played stronger role on the spread of maize in the South Asia region indicated by the predominance of the variations of the name *makka* through out of South Asia, instead of the words *mahiz* or *milho* from the Spanish and Portuguese languages. There are reports that maize was in Iraq in 1574. Maize was introduced in Nepal during the reign of Jagatjyotir Malla, from 1615 to 1627. There are also reports from 1677 indicating that Thailand (Siam) and Myanmar (Burma) were growing maize mostly as a garden vegetable. Finally, a report from a British visitor to Tibet in 1774 indicates that maize was already a crop in this country (Desjardins; McCarthy, 2012).

These two routes, the maritime and the continental merged somewhere in India and then it was probably the mix of these two routes that entered China, probably using the silk road normally utilized by the Medieval traders. The main source of information

about maize in the 16th and 17th centuries is from botanical and medical text and agricultural records of the Ming Dynasty (1368 to 1644). There are reports mentioning maize as early as 1555 and then again 1563 and 1574 (Desjardins; McCarthy, 2012). A Portuguese priest Alvarez Semedo arrived in China in 1613 and reported that maize was grown in six provinces near Beijing for the use of the emperor's court and army. In addition, it played an important role in the agricultural settlement of the Sichuan province in the 17th and 18th centuries (Desjardins; McCarthy, 2012). In 1865 travellers from the British Empire gave the first report of maize been planted in the Khotan area (today's Xianjiang, China) and three years later, maize crops were reported in the oasis town of Charchand (now Qiemo, Mongolia), 300Km Northeast of Khotan.

Mir et al. (2013), using SRR and STRUCTURE clustering, indicated that the races of maize in the Middle East are closer to the Middle North American races (Southern Dents and Corn Belt Dents) rather than the Caribbean Flints, establishing a more recent introduction. The same ancestral cluster was evidently introduced into Northeast of China as well. The Mexican Highland cluster was found through out of Eastern Asia along the coast suggesting maritime introductions. Phylogenetic clustering suggests and initial introduction in Indonesia, dispersing Northward towards Southern China and Japan. The strong Mexican germplasm contribution identified by Mir et al. (2013) seems to indicate that the Spanish introduction of maize into Eastern Asia, possibly replaced earlier Portuguese introductions. The Andean ancestral cluster showed no clear evidence of direct diffusion out of Americas. This may be due to its geographic isolation of the major routes of the sixteenth century and the adaptation to extreme

environmental conditions, making its landraces less productive outside of their ecological niches.

The **Figure 11** shows Mir et al. (2013) routes of Maize to Asia, combining historical and STRUCTURE clustering analysis markers.

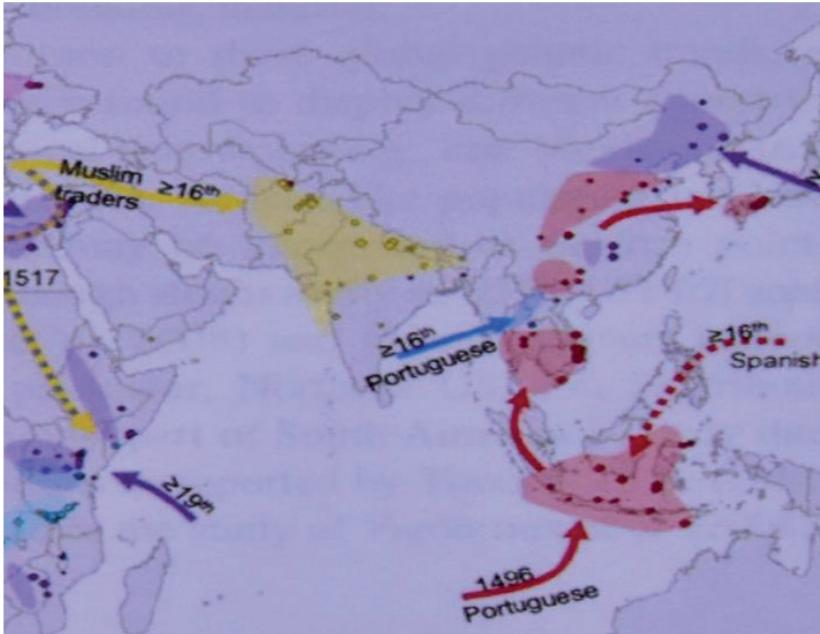


Figure 11. Hypothetical reconstruction of major routes of maize diffusion out of Americas into Asia, combining STRUCTURE clustering results and historical data (Mir et al., 2013).

Heterotic patterns utilized in the maize breeding around the world

Differences in heterosis among germplasm groups have led to the identification of general heterotic patterns and heterotic pools (Edmeades et al., 2017). Duvick (2005) maintained that heterotic

patterns are consolidated or even generated by selection, and Tracy and Chandler (2006) agreed with this assertion.

Reciprocal recurrent selection has increased heterosis in some studies (Eberhart et al., 1995; Hallauer and Carena (2012). Molecular data shows genetic distance between stiff stalk and non-stiff stalk lines that has increased steadily since the 1960s in Pioneer germplasm as each group was evaluated and improved by testers from the opposing group (Cooper et al., 2004). Remarkably, evaluations of temperate inbreds and their crosses over breeding eras have shown that heterosis per se has increased at only 22% of the rate of hybrid yield, while the rate of yield improvement of inbred parents was 80% that of the hybrid. A similar response would be expected in tropical germplasm (Edmeades et al., 2017). Studies of heterotic responses among CIMMYT tropical populations over environments showed that the level of heterosis between populations rarely exceeded 15% (Vasal et al., 1992), but reinforced the importance of the Tuxpeño × ETO (coastal tropical flint) combination. Under subtropical conditions subtropical × tropical population crosses showed consistent heterosis (Edmeades et al., 2017).

In the United States, nowadays most of the private and public breeding programs use the SSS (Stiff Stalk Synthetics) × NSSS (Non Stiff Stalk Synthetic) heterotic pattern. The amazing fact is that this heterotic pattern was built over intense selection from varieties of just one unique modern race of maize: the Corn Belt Dent. The SSS pool is relatively narrow in genetic diversity and comprises mostly B73, B37 and B14 types and their descendants, all derived from a Synthetic made with 16 inbreds from different Corn Belt Dent (Gerdes et al., 1994). The NSSS, in other hand, has more genetic diversity and encompass inbreds from Lancaster

Surecrop; Leaming; Midland, Minnesota 13, Iodent, etc. Southern Europe uses basically the same heterotic pattern as the USA. In Northern Europe, the silage type hybrids, uses Alpine Flints (mostly lines derived from the French inbred F2 and F7) and Northern Flints against Corn Belt Dent inbreds (mostly SSS and Iodent).

In the tropical area, CIMMYT recognizes two main heterotic groups, A and B, where Tuxpenos and South Africa M37 are considered group A. Group B encompasses most of the other Flint types: Caribbean, Coastal Tropical Flints, Suwan DMR 1, ETO, etc. Suwan 1 can also be considered as a third major heterotic group since combines with both A and B groups. However, because these groups are not well defined and were derived from broad-based populations, there is often as much heterosis among lines within A or B groups as there is between A and B lines (Reif et al., 2003). It is common to see some Tuxpeno inbreds listed as B line by CIMMYT. IITA initially developed populations with their own heterotic groupings but is gradually aligning these with CIMMYT's A × B heterotic pattern (Edmeades et al., 2017). Private breeders (Walter Trevisan, personal info) normally attribute the lower heterosis among CIMMYT population to the way these populations were built particularly in the beginning of CIMMYT works in Mexico. Often each of these populations mixed traditional heterotic patterns used in the tropics (per example the Tuxpeno and Caribbean) aiming to develop high yielding varieties without any intention of developing hybrids. Consequently, it decreased the potential for higher levels of heterosis. Besides, unlike in the temperate areas where the germplasm has been bred for 15+ cycles of inbreeding and testing for heterosis, the tropical and subtropical germplasm normally have not yet completed even 5 cycles of inbreeding/selection. That is why most of the times,

the genetic diversity among CIMMYT populations resembles the diversity within populations. And this is reflected also in the inbreds derived from these populations.

In Latin America (except Argentina, Uruguay and Chile), most of the countries use Mexican Dents x Tropical Flints. The Mexican Dents are basically, the Tuxpeno, Vandeno and Celaya. The Tropical Flints are basically the Coastal tropical Flints, the Caribbean Flints and the variety ETO (abbreviation of Estacion Tulio Ospina, from Colombia). The Tuson from the Caribbean area sometimes is used in the Tuxpeno or in the Tropical Flint side, depending on the breeder's preferences. In Argentina, there was a tradition of producing the orange "Plata Flint" made basically from different strains of Coastal Tropical Flints, which were not very heterotic type of hybrids. In the 80s, this heterotic model was improved with the addition of the Corn Belt Dents (SSS and NSSS). This introgression of Corn Belt germplasm into local heterotic patterns also happened (in different intensities and different times) in most of the Latin America countries. The Corn Belt heterotic pattern has been "exported" to many countries that were looking to increase heterotic distances or seeking earliness or seeking better plant architecture or combinations of these three goals (Walter Trevisan, personal info).

In Kenya, Kitale Composite II was a broad-based population developed mostly from a number of Southern US Dent varieties adapted to the East African mid-altitudes. Hybrids became important with the introduction of Ecuador 573 (Montana, from Ecuador and Colombia), which, when crossed with Kitale Composite II, gave excellent heterosis and a robust, long season hybrid. These types of hybrids currently occupy about 70% of the

Kenya highlands and are well disseminated in the highlands of Tanzania, Ethiopia, and Uganda (Edmeades et al., 2017).

In South Africa, South African breeders from public and private institutions have used up to 9 different heterotic patterns over the years but the one that has been mostly used till today has been the K64R x Teko Yellow heterotic pattern. K64R is the K64 from Kansas, USA (a Pride of Saline inbred) bred in South Africa for rust (*Puccinia sorghii*) resistance and many generations of stress tolerance breeding with South African germplasm and other introductions. Teko Yellow was introduced in South Africa in the early 20th century and has been subject to many cycles of breeding for drought and heat tolerance. Nowadays more modern US germplasm has been introduced in South Africa to increase heterotic distances but the basic drought tolerance of this K64R x Teko Yellow is still important to give the hybrids tolerance to drought and heat (Walter Trevisan, personal information).

In other countries of the Sub-Sahara region, the N3 x SC and the KS64R x N3 are the main heterotic patterns used. The former is used more for late and medium maturity hybrids, while N3 x K64R is used more for early hybrids. Recently these heterotic hybrids have been enhanced by the introduction of CIMMYT A and B germplasm and, probably by US and European Stiff Stalks and Non Stiff Stalks due to the increased presence of the multinational seed companies established in Africa particularly in the last 30 years.

CIMMYT has impacted the entire Africa continent particularly with its hybrid breeding development and strong efforts in obtain MSV (Maize Streak Virus) and drought tolerance. Hybrids developed by CIMMYT are sold in many countries by many medium and

small seed companies. For this reason, the CIMMYT heterotic pattern A x B, is now widespread in Africa and testers A and testers B are used by many seed companies. Recently, CIMMYT has started to use also US germplasm to introgress into these A and B pools to increase heterosis, obtain earliness and better plant type, with some outstanding results (Amsal Tarekegne, personal information)

In South and Southeast Asia, most of the maize area is grown during the monsoon season and requires a high level of foliar and ear disease resistance. Suwan 1 by harder dent Tuxpeños and Suwan 1 by other tropical flints (particularly the Caribbean Flints) are the most important type of hybrids for the Southeast Asia. Tuxpenos x Tropical Flints (including Suwan 1) are also important in South Asia, with some introgression of Corn Belt Dents depending on how high is the latitude. The downy mildew resistant Suwan 1, developed by Suwan Farm in Thailand, was the most successful variety in the 80's and 90' before the main seed companies established in Thailand. This variety was introduced in most of the tropical countries in the world (Africa, Latin America and Asia). Recently the Suwan Farm (Kasetsart University) developed a population named KS23 (also Downy Mildew resistant) that was built to be heterotic to Suwan 1 (Jampatong, 2017). Recent hybrids developed by the Suwan Farm are based on the heterotic pattern KS23 x Suwan 1. An inbred developed out of KS23 by Dr James Brewbaker in Hawaii (KS23-6) was one of the most resistant to MCMV (Maize Chlorotic Mottle Virus) in Africa. MCMV, is one of the components of the Maize Lethal Necrosis (together with Maize Dwarf Mosaic Virus) that has caused losses of millions of dollars in the Sub-Saharan Africa maize cultivation, recently.

In China the heterotic pattern SSS x NSSS has been widely used also, although some unique groups have been developed after the selfing of commercial hybrids introduced by multinational seed companies. Besides, China has some unique germplasm developed out of a Chinese landrace (YE4). Inbreds out of the very early YE4, crossed to inbreds from SSS, NSSS or mixes, are very important for the summer maize season in China. The summer crop is planted in early summer (mostly June), after wheat is harvested, in the provinces Southwest of Beijing. This maize needs to be very early and highly resistant to heat and diseases to adapt to this late planting.

These heterotic patterns described for these geographies are the basic ones and still used by most of the public institutions. A common practice nowadays is the selfing of commercial hybrids, which is allowed in most of the countries, except the United States. This procedure has tremendously complicated the clean heterotic classification of inbreds generated from selfing commercial hybrids. Most of times inbreds are placed in a given heterotic pool after being tested against several testers.

Conclusion

Maize has been originated in the Balsas region in Southwest Mexico and was spread to all Americas before Columbus discovered America. The Spanish and Portuguese navigators were the main disseminators of the large maize variability collected in the Americas, through the maritime routes established in the 16th and 17th centuries. Europe, Africa and Asia were benefited from these introductions, helped by the dissemination by land done by the Turkish. More introductions done in the 18th, 19th and 20th century allowed maize to become a major crop in many of

these areas. The local selection on a very diverse array of races plus the natural intermixing allowed maize to adapt to the many different environments in these regions, and new races were formed. Breeders acknowledged these local adapted germplasm and, when hybrids became important, used these local adapted germplasm plus new introduction to establish heterotic patterns to breed better hybrids.

Only 10% of the races available today in the germplasm bank collections are used worldwide in commercial hybrids or commercial varieties, in most of the countries. In the USA and Europe is less than 1%. Worse, the narrow base USA germplasm has been exported to the tropics to increase heterosis and allow the selection of earlier, more modern and tolerant to high-density type of plants. This potentially will reduce the variability of the tropical and subtropical maize resulting in an undesirable genetic vulnerability to potential new biotic threats. Recently, the international seed companies are investing more in the introgression of exotic maize in order to decrease the possible genetic vulnerability of maize. GEM (Germplasm Enhancement of Maize) in USA, a PPP (Public Private Partnership) has been working for 25 years trying to increase the diversity of maize in the USA. About 300 inbreds using 25% to 50% tropical, GEM has released germplasm.

With the advent of more rapid breeding techniques, like Double Haploid technology, and genomic selection techniques aiming to accelerate genetic gains all over the world, there is a general concern that the low genetic variability existent today can decrease rapidly and potentially decrease genetic gains at medium/long term. More efforts aiming to utilize the variability stored in these germplasm banks are needed.

References

DESJARDINS, A. E.; McCARTHY, S. A. **Milho, makka, and yu mai: early journeys of *Zea mays* to Asia.** Washington: USDA, 2012.

DUVICK, D. N. The contribution of breeding to yield advances in maize (*Zea mays* L.) **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 86, p. 83-145, 2005.

COOPER, M.; SMITH, O. S.; GRAHAM, G. Genomics, genetics and plant breeding: a private sector perspective. **Crop Science**, Madison, v. 44, p. 1907-1913, 2004.

EBERHART, S. A.; SALHUANA, W.; SEVILLA, R.; TABA, S. Principles for tropical maize breeding. **Maydica**, Bergamo, v. 40, p. 339-355, 1995.

EDMEADES, G. O.; TREVISAN, W.; PRASANNA, B. M. & CAMPOS, H. Tropical Maize (*Zea mays* L.). In: **Genetic Improvement of Tropical Crops**. Springer, Cham, 2017. p. 57-109.

FREITAS, F. O.; BENDEL, G.; ALLABY, R. G. & BROWN, T. A. **DNA from primitive maize landraces and archaeological remains: implications for the domestication of maize and its expansion into South America.** Journal of Archaeological Science, v. 30, n. 7, p. 901-908, 2003.

GERDES, J. T.; BEHR, C. F.; COORS, J. G.; TRACY, W. F. **Compilation of North American maize breeding germplasm.** Wisconsin: Crop Science of America, 1994. 202 p.

GERRISH, E. E. Indications from a diallel study for interracial maize hybridization in the Corn Belt. **Crop Science**, Madison, v. 23, p. 1082-1084, 1993.

GOODMAN, M.; BROWN, W. L. Races of corn: corn and corn improvement. In: HALLAUER, A. R.; MIRANDA, F. O. J. B. **Quantitative genetics in maize breeding**. 2nd ed. Ames: Iowa State University, 1988.

HALLAUER, A. R.; CARENA, M. J. Recurrent selection methods to improve germplasm in maize. **Maydica**, Bergamo, v. 57, p. 266-283, 2012.

HALLAUER, A. R.; MIRANDA FO, J. B. **Quantitative genetics in maize breeding**. 2nd ed. Ames: Iowa State University, 1988.

HERNÁNDEZ, J. A. S. **The origin and diversity of maize in the American continent**. Mexico: Greenpeace, 2009. Disponível em: <<http://www.greenpeace.org/mexico/PageFiles/44856/el-origen-y-la-diversidad-del-2.pdf>>. Acesso em: 18 maio 2018.

JAMPATONG, S. **The development of Kasetsart University field maize germplasm**. Chatuchak: Kasetsart University, 2017. 10 p.

KENNETT, D. J.; THAKAR, H. B.; VANDERWARKER, A. M.; WEBSTER, D. L.; CULLETON, D. J.; HARPER, T. K.; KISTLER, L.; SCHEFFLER, T. E.; HIRTH, K. High-precision chronology for Central American maize diversification from El Gigante rock shelter, Honduras. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, v. 114, n. 34, p. 9026-9031, 2017.

McCANN, J. C. **Maize and grace- Africa's encounter with a new world crop 1500-2000**. Cambridge: Harvard University Press, 2005.

MIR, C.; ZERVAL, T.; COMBES, V.; MADUR, D.; BEDOYA, C.; DREISIGACKER, S.; FRANCO, J.; GRUDLOYAMA, P.; HAO, P. X.; HEARNE, S.; JAMPATONG, C.; LALOE, D.; MUTHAMIA, Z.; NGUYEN, T.; PRASANNA, B. M.; TABA, S.; XIE, C. X.; YUNUS, M.; ZHANG, S.; WARBURTON, M. L.; CHARCOSSET, A. Out of America: tracing the genetic footprints of the global diffusion of maize. **Theoretical and Applied Genetics**, New York, v. 126, n. 11, p. 2671-2682, 2013.

PANDEY, S.; GARDNER, C. O. Recurrent selection for population, variety, and hybrid improvement in tropical maize. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 48, p. 1-87, 1992.

REIF, J. C.; MELCHINGER, A. E.; XIA, X. C.; WARBURTON, M. L.; HOISINGTON, D. A.; VASAL, S. K.; SRINIVASAN, G.; BOHN, M.; FRISCH, M. Genetic distance based on simple sequence repeats and heterosis in tropical maize populations. **Crop Science**, Madison, v. 43, p. 1275-1282, 2003.

SMITH, J. S.; GARDNER, A. C.; COSTICH, D. E. **Ensuring the genetic diversity of maize and its wild relatives**. Cambridge: Burleigh Dodds Science Publishing, 2017.

SAUNDERS, A. R. **Maize in South Africa**. South Africa: Central News Agency, 1930. 283 p. (South African Agricultural Series n° 7).

TRACY, W. F.; CHANDLER, M. A. The historical and biological basis of the concept of heterotic patterns in corn belt dent maize. In: LAMKEY, K. R.; LEE, M. (Ed.). **Plant breeding**: the Arnel R Hallauer International Symposium. Iowa: Blackwell, Iowa, 2006. p. 219-233.

TROYER, F. Persistent and popular germplasm in seventy centuries of corn evolution. In: SMITH, C. W.; BELTRAN, J.; RUNGE, E. C. A. **Corn**: origin, history, technology and production. New York: John Wiley & Sons, 2004. p. 133-231.

VAN HEERWAARDEN, J.; DOEBLEY, J.; BRIGGS, W. H.; GLAUBITZ, J. C.; GOODMAN, M. M.; GONZALEZ, J. de J. S.; ROSS-IBARRA, J. Genetic signals of origin, spread, and introgression in a large sample of maize landraces. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, v. 108, p. 1088-1092, 2011.

VASAL, S. K.; SRINIVASAN, G.; GONZALEZ, F.; HAN, G. C.; PANDEY, S.; BECK, D. L.; CROSSA, J. Heterosis and combining ability of tropical x subtropical maize germplasm. **Crop Science**, Madison, v. 32, p. 1483-1489, 1992.

WELLHAUSEN, E. J.; ROBERTS, L. M.; HERNANDEZ, E.; MANGELSDORF, P. C. **Races of maize in Mexico**: their origin, characteristics and distribution. Cambridge: The Bussey Institute, of Harvard University, 1952. 223 p.

Capítulo 18

Progress in Doubled Haploid Technology and Application for Utilization of Genetic Resources

*Thomas Lübberstedt
Anderson Verzeznazzi
Henrique Trentin
Arthur Pereira-da-Silva
Alejandro Ledesma
Darlene Sanchez
Benjamin Trampe
Kimberly Vanous
Ursula Karoline Frei*

Introduction

Probably the least splashy biotechnology with tremendous impact in crop breeding has been the implementation of doubled haploids (DHs) in major crop species, such as barley, wheat, and canola. Obvious advantages of using DHs include reduced time to produce pure lines, which is of major interest in line and hybrid breeding, the evaluation of homogeneous variety or variety parent candidates in early generations, which increases prediction accuracy of genetic performance, and substantially smaller population sizes needed for gene pyramidization and backcrossing programs (Bonnet et al., 2005; Lübberstedt; Frei, 2010) compared to traditional selfed offspring. Implementation of DH technology in any species is typically preceded by decades of research to overcome genotype-specificity of in vitro haploid protocols, or for establishing in vivo haploid induction procedures (Liu et al., 2016). There are still several important crop species that would benefit from DH technology, for which no economic protocol has been established yet, including soybean, sunflower,

various forage and turf grasses, various vegetable and woody species.

Production of DHs in maize has become economically viable within the last 10 to 20 years. In a traditional DH program, a cross between two inbred parents is made to produce an F_1 . Then, the F_1 is pollinated with a maternal haploid inducer to produce haploid kernels (Geiger, 2009). Haploid kernels are chemically treated to induce genome doubling. Significant challenges in using DH technology in maize are efficiency of haploid induction, haploid selection, genome doubling, and seed production on chimeric haploid plants after colchicine treatment. The main bottleneck for making DH technology in maize more effective in terms of labor and costs is the genome doubling step. In most DH programs, a chemical treatment based on colchicine is used for genome doubling (Eder; Chalyk, 2002). Colchicine inhibits chromosome segregation during meiosis, leading to genome doubling. Colchicine is toxic. Therefore, proper precautions need to be taken for protection. The main issue in using colchicine (or other chemical treatments) is that seedlings need to be treated before transplanting. It is thus very time consuming to first treat seedlings, and then transplant them, typically using a vegetable transplanter – in contrast to direct sowing of maize kernels.

Recently, genotypes with high levels of spontaneous haploid genome doubling (SHGD) have been reported in maize (e.g., Kleiber et al., 2012). Spontaneous haploid genome doubling occurs at an extreme low frequency, and leads to genome doubling in and thus fertility of haploids derived from genotypes with SHGD ability. However, the understanding of the genetics and biology underlying SHGD is still very limited. Implications of successful application of SHGD to a DH breeding program are

substantial. It would remove greenhouse costs, transplanting, labor of treating haploids, and eliminate the need for the use of colchicine as a hazardous doubling agent. Putative haploids could be directly sown into the field without the need of genome doubling and associated costs. SHGD would make DH technology in maize more broadly available, which is still mostly confined to major breeding programs.

Significance of DHs in maize breeding

Crop production has steadily increased over time and it has been suggested that 50% of the progress is attributable to advances in crop management and breeding. For example, the three major crops in the U.S., maize (*Zea mays*), wheat (*Triticum spp.*), and soybean (*Glycine max*), show positive linear increases in average yield from 1930 to 2012. However, changes in climatic patterns, land and water availability now provide additional challenges for plant breeders and geneticists to ensure yield stability in varying environments. In order to meet the projected increase of global demand for food, feed, and fiber (100% by 2050), the linear progress will need to be increased. In order to increase the rate of genetic improvement, the efficiency, reliability, and speed of genetic improvement must be accelerated.

Off season nurseries, popularized by the pioneering plant breeder Norman Borlaug, help to reduce the time needed to release new cultivars. E.g., the time for producing a new wheat cultivar was shortened from 10-12 to 5-6 years (Geiger, 2009). For pure line and hybrid crop breeding, the ability to generate homozygous and homogeneous lines is another time constraint. By using DHs, homozygous and homogeneous lines can be produced in two rather than five or more generations. DH technologies are

available for over 250 crop species, and over 300 DH-derived cultivars have been developed in 12 species worldwide (Forster; Thomas 2005). This has been a major breakthrough to reduce cycle time (Geiger, 2009).

Induction of haploids in maize has first been reported by Chase at ISU in 1947 (Chase, 1947). The main reason for slow implementation in commercial breeding programs was the initial low percentage of haploids (0.1%), which has been increased to more than 10% currently (Geiger, 2009). Still, production of DH lines requires large numbers of starting materials and plants to ultimately obtain the targeted number of DH lines. Among the 10% haploids obtained from an induction cross, currently only about 10% of the haploid plants will result in fertile plants with doubled genome number after colchicine treatment (Geiger, 2009). Thus, to obtain one DH line in maize, on average 100 kernels need to be produced initially, a selection procedure needs to identify the about 10 kernels with haploid embryo, of which only one will produce offspring. For large breeding companies, this may require production of and selection among 10-100 Mio. kernels annually within a short time frame (to go from summer to winter nurseries). Even a small increase in efficiency of induction or doubling, as well as the ability to automate procedures will have a major impact on economic feasibility of DH technology. In maize, most programs still use manual / visual selection of haploid kernels based on a color marker (Geiger, 2009).

Haploid induction

Identification and use of haploid inducer line Stock 6 was a major breakthrough for DH technology in the 1950's. Coe (1959) demonstrated that haploid plants occurred among the progeny

induced by Stock 6 at a frequency of 2.29%. While this was a substantial advance in the ability to produce haploids, this rate was still considered too low for the routine use of haploids and derived DHLs at a commercial scale by most breeding companies. In subsequent decades, inducers with higher induction rate and excellent agronomic traits were bred, which promoted the development of DH technology (Chang; Coe, 2009). In 2010, DuPont Pioneer generated more maize inbred lines via DH technology than had been produced through inbreeding in the 80-year history of Pioneer’s breeding program.

Identification of haploid kernels

In offspring of inducer crosses, usually more than 90% are regular diploid offspring and thus undesirable. There is, therefore, a need to efficiently discriminate haploid and diploid kernels. Coe developed several marker systems including R1-Navajo (*R1-nj*) and Sarkar applied them to facilitate identification of haploid seed (Coe Jr.; Sarkar, 1964). The *R1-nj* gene is a dominant anthocyanin color marker gene, which expresses in the aleurone as well as in the embryo, which enables identification of kernels with haploid embryos based on color. Generally, there are four types of kernels resulting from a cross between a male inducer such as Stock 6 carrying the *R1-nj* gene and any donor genotype (used as female), not carrying the color marker (**Figure 1**).

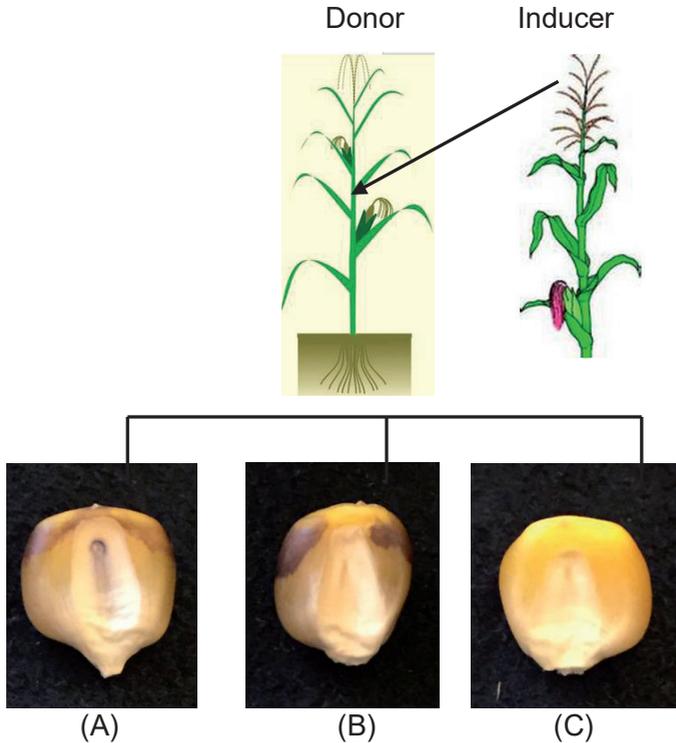


Figure 1. Haploid embryo resulting from haploid induction crosses

A) Top aleurone and embryo all appear as red/purple, which is normal diploid hybrid grain. B) Top aleurone appears as red/purple while embryo as non-red/purple and less embryo surface, recessed deeper which is haploid grain. C) Embryo and aleurone are all not red/purple which are contaminated by other pollen grain. D) Top aleurone appears as non-red/purple while embryo as red/purple, which is grain heteronuclear diploid fertilized (no picture).

Genome doubling

Since Blakeslee and Avery (1937) successfully doubled the genome number of *Datura* and other plants using colchicine, it has been widely applied in cytology, genetics research, and plant breeding. In the 1950's, colchicine was introduced to generate DHs (Deanon, 1957). Although there are several methods for genome doubling, use of chemicals and in particular colchicine is the most common approach. So far, using colchicine is the most effective and most successful method in plant somatic genome doubling. Different protocols were established for maize: Seaney (1955) soaked haploid seedlings in 0.05% colchicine solution, Bordes et al. (1997) soaked the 3-leaf stage haploid seedlings in 0.15% colchicine solution, Chase (1968) injected root tip growth points with 0.5 ml of 0.05% colchicine and 10% glycerin solution, and Eder and Chalyk (2002) injected seedlings with 0.125% colchicine and 0.5% DMSO. However, there are limitations in using colchicine. Colchicine is toxic to humans and the environment.

Haploid plants are usually sterile and cannot be self-pollinated. Frequent male sterility of haploids is the limiting factor for seed set (Wei; Chen, 2006; Xu et al., 2012). To achieve fertility in haploid plants by generating a DH (2n) plant out of a haploid (n), the genome needs to be doubled, so that these plants can be self-pollinated to derive DH lines. Spontaneous doubling rates are generally low, and some materials even do not double genomes spontaneously (Chase, 1964; Shatskaya et al., 1994). Doubling rates of tropical landraces lag behind those of more elite tropical germplasm or U.S. Corn Belt materials (Kleiber et al., 2012). In a completed PhD study at ISU, three genotypes were identified with a high (>50%) capacity of spontaneous haploid genome doubling (SHGD) (Ren et al., 2016; De la Fuente et al., 2018).

Despite the advantages of DH technology in maize breeding, not all the steps involved in the process have been optimized. There are three subsequent steps required for acquiring a DH plant: (1) haploid induction, (2) haploid identification, and (3) genome doubling (Geiger, 2009). The first two steps have been improved substantially over decades. For example, haploid induction rate (HIR) has been increased from 0.6% (Chase, 1952) to more than 10% (Liu et al., 2016). Many inducers such as RWS (Röber et al., 2005), UH400 (Prigge et al., 2011), and CAU5 (Xu et al., 2013) have been developed and are available for plant breeding programs. Haploid identification is mostly done visually using the "red color" marker *R1-nj*, but automated platforms based on near-infrared spectroscopy (Jones et al., 2012) or kernel oil are under development (Liu et al., 2016). Genome doubling technology relies on artificial treatment. Improved doubling methods may result in up to 27% of the treated haploid plants producing seed (Eder; Chalyk, 2002). Alternative chemical treatments have been suggested, such as trifluralin, amiprofos-methyl, and nitrous oxide gas, (Kato; Geiger, 2002; Häntzschel; Weber, 2010), but they were not as effective as colchicine.

Haploids may become fertile without particular treatment, i.e., by spontaneous haploid genome doubling. Barnabás et al. (1999) reported that spontaneous haploid genome doubling rates ranged from 0 to 21.4% among maize germplasm. The spontaneous haploid genome doubling rates range from 10% to 40% in rape (*Brassica napus* L.) and can reach 87% in some varieties of barley (*Hordeum vulgare* L.) (Liu et al., 2016). After *in vivo* haploid induction and planting in the field, maize haploids usually show a high degree of haploid female fertility (HFF) (Chase, 1952; Chalyk, 1994; Kleiber et al., 2012). More than 90% haploid ears with kernels are obtained after crossing haploid plants with

regular diploid maize pollen (Chalyk, 1994; Geiger et al., 2006). The average haploid male fertility (HMF) rate is usually below 10% (Chase, 1947, 1952; Chalyk, 1994), which limits the number of DH lines produced in a population without colchicine treatment. Thus, methods to improve HMF are of interest to maize breeders. The choice of an appropriate environment is one option. HMF was found to be significantly higher for haploid in greenhouse compared to field cultivated maize (Kleiber et al., 2012). However, the use of greenhouses limits the number of DH lines that can be produced. Genetically improving HMF as is thus a more realistic choice for large breeding programs.

Geiger (2009) and coworkers studied European dent maize and used four levels to distinguish different degrees of HMF. Their classification was from one with very few extruding anthers on an unbranched tassel to four with several pollen-shedding anthers on all branches. By applying these scores, male fertility varied significantly among the investigated European dent maize entries. They also found a significant within population variation for HMF. Similar results have been found in other temperate and tropical maize germplasm, in which large genotypic variation for HMF has been observed (Zabirova et al., 1993; Chalyk, 1994; Geiger et al., 2006; Kleiber et al., 2012).

DH breeding programs in maize

Various DH line-based schemes have been reported pertaining to hybrid maize commercial breeding (Gallais, 1988; Bordes et al., 2007; Longin et al., 2006; Gordillo; Geiger, 2008). In order to better use this technology, various DH line-based breeding schemes and computer software for simulating and optimizing the dimension of the schemes and for determining the relative advantages

of alternative breeding strategies have been developed. DHs have been adopted in worldwide commercial maize breeding programs (Schmidt, 2003).

Optimum allocation of financial and breeding resources is of fundamental importance for the efficiency of maize breeding programs and selection strategies. Advances in DH technology accelerates maize inbred line development, which required 6-7 breeding cycles in traditional pedigree selection. Using DH technology, thousands of maize inbred lines are developed every year. Limited breeding resource make it impossible to evaluate all inbred lines using phenotypic evaluation of testcross progeny. Utilization of genomic selection (GS) enables DH line selection without need of extensive field trials. In GS, the DH lines can be selected based on markers only, when a training model is available before selection. GS is a form of marker-assisted selection (MAS) that simultaneously estimates all locus effects across the entire genome without identifying a subset of markers significantly associated with the trait (Meuwissen et al., 2001). The main steps of GS in a maize DH-based breeding program are: (1) population construction; (2) training model development and validation; (3) genomic estimated breeding value (GEBV) prediction based on haploid or diploid plants; and (4) selection based on these predictions. In GS, a training population (TP) for which both phenotypic and genotypic data are collected, is used to estimate marker effects. The model can be used to calculate GEBVs, where a GEBV is the sum of all marker effects included in the model for an individual genotype. These GEBVs are then used to select the best individuals for advancement in subsequent breeding cycles.

The usefulness of different schemes for GS depends on the costs involved. Bernardo and Yu (2007) pointed out that the costs of phenotyping increase and the costs of genotyping decrease. For maize breeding combining DHs with GS we need to consider, whether genotyping at the haploid or diploid stage is more efficient (**Table 1**).

Let us suppose the current haploid induction rate is 10%, the genome doubling success rate (i.e., haploid plants treated with colchicine with fertile pollen producing at least one kernel after self-pollination) is 10% (but can be varied), the selection index of GS is 10%, the cost of genotyping is 0.02 U.S. dollars per data point (including the cost of DNA extraction), the cost of labor is 18 U.S dollars per hour and the cost of reagents per plant is 0.5 U.S. dollars.

For a maize DH breeding program with the goal to select 50 elite inbred lines, representing the top 10% of the breeding population, we compared different scenarios (**Table 1**). For the diploid scenario, 500 DH lines need to be generated initially, from which the top 10% based on pre-existing training models are selected. For this, at least 5,000 haploid plants need to be available initially, in order to produce 500 DHs, given a 10% success rate. Thus, 50,000 kernels of a respective induction cross are required, from which 5,000 kernels with haploid embryo are selected (assuming a 10% induction rate). The alternative is, that the best 10% are selected among haploid plants. Because the current success rate is only about 10%, the best 500 out of 5,000 haploids (selected from 50,000 kernels initially) are selected, resulting in 50 DH lines, due to a 10% success rate to produce seed on haploid plants after genome doubling. Based on this, using markers first before DH lines become available is slightly more costly (**Table 1**). However,

When success rates for doubling increase above 17%, the cost of the haploid scenario will be below the diploid scheme (**Table 1**). In other words, at a >17% doubling rate, GS at the level of haploids becomes more cost effective. Moreover, an important non-monetary aspect of increased doubling rates is, that selection can happen at least one generation earlier at the level of haploid rather than DH plants or DH lines, which increases genetic gains, and simplifies handling and management procedures of breeding germplasm.

Table 1. Costs for genomic selection at the level of haploid (prior to genome doubling; haploid scenario) or doubled haploid plants (diploid scenario) at different genome doubling rates*

<i>Technical aspects</i>	<i>Diploid scenario</i>		<i>Haploid scenario</i>			
	<i>10%</i>	<i>20%</i>	<i>50%</i>	<i>10%</i>	<i>20%</i>	<i>50%</i>
<i>Genome doubling rate</i>						
Number of DH lines selected	50	50	50	50	50	50
Number of individuals for GS	500	500	500	5000	2500	1000
Number of plants need to be treated with colchicine	5000	2500	1000	500	250	100
Number of kernels need to be produced	50000	25000	10000	50000	25000	10000
Number of SNPs per sample	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Hands on/sample colchicine treated (min)	10	10	10	10	10	10
Hands on/ plant field management (min)	50	50	50	50	50	50
Total hands on (min)	300000	150000	60000	30000	15000	6000
Economic aspects	\$	\$	\$	\$	\$	\$
Cost/data point of genotyping labour cost/min	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
Cost/sample genotyping	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Cost/kernel produced	20	20	20	20	20	20
Total cost of kernel produced	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025
Total cost of genotyping	1250	625	250	1250	625	250
Total labour cost	10000	10000	10000	100000	50000	20000
Total cost	90000	45000	18000	9000	4500	1800
	101250	55625	28250	110250	55125	22050

*Error in the left-most column under haploid scenario: should be 5, not 50% (from Wu et al., 2015).

Significance of genetic resources for maize breeding

Maize (*Zea mays* L.) is one of the most important crops worldwide, serving as staple food, livestock feed, or raw materials for industrial purposes. Over the last century, breeders have increased grain yields eightfold (Troyer, 1990), partly by harnessing heterosis that can increase yields of hybrids by 15 to 60% relative to inbred parents (Duvick; Cassman, 1999). Demand for maize is expected to grow by about 15% over the next decade, or roughly 200 million metric tons per year, due to population growth, altered eating habits (e.g., more dairy products in China), and usage of maize grain for biofuel production. To meet growing demand, maize yield must increase, more arable land has to be employed. Over the past four decades, there has also been a 7-fold increase in nitrogen (N) fertilizer usage. Although increased N fertilizer application in agriculture is enabling sufficient food supply to animals and humans (Cassman, 1999), its detrimental impact on various ecosystems is severe, and crop input costs have risen due to excessive usage (Hirel et al., 2007). Thus, the challenge is to develop highly efficient agricultural practices, including N use efficient varieties, whilst at the same time protecting the quality of environments (Dyson, 1999).

Moreover, the climate of the central U.S. and its maize-intensive growing region has changed over the last 30 years through changes in patterns of temperature and precipitation. The Midwest has longer frost-free periods, and maize is now planted about two weeks earlier than in 1980 (Kucharik, 2006). Mean annual precipitation in this region has gradually increased over the last 100 years, with amplified year-to-year variability, as seen by the severe droughts in 2012 and 2013. These changes in climate require increased ability of future varieties to tolerate extreme abiotic stress (heat, drought, flooding, limited nutrient

availability), and novel pathogens or pathogen isolates, migrating into new regions which have become habitable to them.

Diversity used in elite germplasm

With rapidly increasing maize genomic information, implementation of molecular tools will accelerate maize breeding efforts that exploit the high levels of morphological and nucleotide diversity in maize (Flint-Garcia et al., 2005). Indeed, unrelated maize inbred lines have on average a greater divergence than hominids (Springer et al., 2009). Over 47,000 accessions of maize exist in gene banks around the world, about 27,000 of which are stored at the International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT) (<http://www.croptrust.org/documents/web/Maize-Strategy-FINAL-18Sept07.pdf>), including inbred lines, improved populations, traditional farmer's populations (landraces), and wild relatives. It is estimated that less than 5% of the available maize germplasm is used in commercial breeding programs worldwide. The exotic composition of U.S. corn germplasm is less than 1% in 1983, and increased only slightly to about 3% (Goodman, 1990). Recent studies at the molecular level also indicate limited divergence among lines from the 1930s to present. Heerwaarden et al. (2012) reported limited genome-wide patterns of diversity and recombination, primarily among relatively common alleles, when analyzing 400 accessions using 46,000 SNP markers. A similar observation was reported for the expired Plant Variety Protection (Ex-PVP) inbreds, where most diversity is derived from a small subset of elite inbred lines (Mikel, 2011). Lack of characterization of germplasm stored in gene banks is one major impediment of increased usage (Yan et al., 2009).

Approaches for exploiting genetic resources

Increasing diversity of U.S. maize germplasm can help to reduce its genetic vulnerability. However, efforts to systematically exploit genetic resources are minor compared to recycling of elite germplasm (Nass et al., 1993). This is consistent with far more frequent seed orders for expired PVP lines compared to other gene bank accessions at the Plant Introduction Station in Ames, IA (Gardner, unpublished). For introduction of exotic germplasm (any germplasm not adapted to a target region) into elite germplasm, the term "pre-breeding" has been coined. Pre-breeding efforts are typically long-term and costly, one of the reasons for breeding companies to focus on short-term progress based on recycling of elite germplasm. With average long-term annual yield increases of 1-2% per year in maize (Lamkey; Edwards, 1999), the gap between elite and exotic germplasm is widening further.

For evaluation of genetic resources, typically introgression into adapted germplasm is required to overcome adaptation issues. The best method for introducing exotic germplasm into elite germplasm is, however, not obvious. This relates to the percentage of exotic germplasm, number of generations of recombination, and ultimately the evaluation procedures in terms of choice of testers and traits to be characterized (Nass; Paterniani, 2000). For example, optimal percentages of exotic germplasm introgression ranged from below 25% to 50% of exotic germplasm (Wellhausen, 1965; Crossa; Gardner, 1987; Michelini; Hallauer, 1993), depending on germplasm and associated negative attributes.

One major international pre-breeding program was the Latin American Maize Project (LAMP 1991) with participation of 12 countries in the Americas including the U.S. (Nass; Paterniani,

2000; Pollak, 1993). LAMP was carried out in stages over a five-year period (1987-1992), focusing on per se and combining ability evaluation of a broad range of accessions (12,000 in all) within each of the participating countries. Early studies were encouraging for utilization of LAMP accessions to enhance the germplasm base. Out of 562 Caribbean maize accessions, 18 outperformed a high-yielding check variety in Puerto Rico (Pollak, 1993). Particular emphasis besides agronomic performance was given to identification of potential disease resistance donors.

LAMP was the initial foundation of the Germplasm Enhancement of Maize (GEM) project (http://www.public.iastate.edu/~usda-gem/GEM_Project/GEM_Project.htm) in the U.S. Presently, GEM has released 265 lines, of which 162 were derived from LAMP accessions crossed to elite proprietary inbreds. Fifty-two GEM cooperators from the private, public, and international sectors address a wide array of germplasm trait and research needs, and utilize exotic germplasm from all over the world. This includes germplasm provided by international public and private cooperators in Argentina, Brazil, Canada, Chile, Peru, Spain, Thailand, Turkey, and the U.S. Proprietary germplasm from more than 50 private participants has been used to create approximately 1,100 breeding crosses that are now part of the GEM project. The Ames, IA component focuses on 25% exotic germplasm while the Raleigh, NC component focuses on 50% exotic germplasm.

Use of haploids and DHs for genetic resource exploitation

Haploids are an effective tool to eliminate recessive genes leading to lethality or sub-vitality. The main application of (doubled) haploids is rapid production of completely homozygous and homogeneous lines. Potentially masking genetic variation

within lines or families is completely eliminated within DH lines. Seitz (2005) demonstrated, that the usefulness of DH lines was significantly increased over $F_{2:3}$ or $F_{3:4}$ families, when derived from the same biparental crosses, due to significantly enhanced genetic variation among DH lines.

Germplasm Enhancement of Maize project

The GEM project is an important community resource that provides (1) publicly available germplasm, (2) associated information via the GEM website such as yield, maturity, agronomic and quality traits, disease and insect resistance, and (3) new knowledge, gathered by a public cooperator network. The proposed project differs from the original GEM project in several important respects. The initial focus of the GEM project was to develop germplasm from the most elite exotic races identified from the LAMP project such as Tuxpeno, Tucson, Carribean, etc. It also utilized proprietary germplasm which offered high yield and adaptability, and selection was based on yield performance. The proposed project taps into a wider diversity of maize races including Highland germplasm; Highland germplasm is very unadapted and proved so challenging to use during LAMP investigations that these races were not included in the top 100 priority set for the GEM project. Highland races have been included in a unique Allelic Diversity (AD) project within the GEM program. No selection is made for agronomic trait performance in AD materials in order to enhance capture of novel allelic diversity. Currently, 60 races (including 12 Highland races above 2,500 meters elevation) are represented in the DH materials, while 30 races are involved in the 265 GEM releases from the traditional GEM program (Vanous et al., 2018b). The original project had neither access to DH, nor to next generation sequencing technology and it was, therefore, not possible to effectively assess allelic variation, or to effectively

characterize and exploit useful genetic diversity as described in this proposal.

Extensive genetic diversity & mapping of quantitative trait polymorphisms in GEM-BC1-DH lines

As a model, we compared the genetic diversity and linkage disequilibrium (LD) at the *brown midrib 3 (bm3)* locus (Barrière et al., 2007) between GEM and elite inbred lines. In total, we investigated 55 exotic alleles at the *bm3* locus, and discovered more than 400 polymorphisms in a 2.2 kb region (Chen et al., 2014). The pairwise nucleotide diversity (π) for the exotic alleles of the *bm3* gene was 0.0172, and much higher than the reported pairwise nucleotide diversity of various genes in elite inbred lines ($\pi=0.0047$ to 0.0067) (Chen et al., 2010). The average number of nucleotide differences between any two randomly selected alleles was 27.7 for exotic alleles, much higher than 18.0 for elite alleles. The ratio of non-synonymous to synonymous SNPs was 3:1 for exotic alleles, significantly higher than the 1:1 ratio for elite alleles. The LD decay for exotic alleles was four times more rapid than for elite alleles with $r^2 > 0.1$ persisting only up to 100 bp. In conclusion, the alleles sampled in the GEM project offer a valuable genetic resource to broaden genetic variation for the *bm3* and likely other genes in elite background. Moreover, the low LD makes this material suitable for high resolution association analyses. It remains to be shown, whether this high level of allelic variation can be found for other genes in GEM materials.

Genome-wide association studies (GWAS) using 200 – 300 GEM-BC1-DH lines were and are being employed to map genome regions and underlying candidate genes for phytohormone response (Hu et al., 2017), seedling root traits (Sanchez et al., 2018a), agronomic and kernel quality traits (Vanous et al., 2018a;

Vanous et al., 2018b), nitrogen use efficiency (Sanchez et al., 2018b; Ma et al., in preparation), and drought tolerance (Wu et al., in preparation).

Conclusions

Substantial progress in maize DH technology has been accomplished in the past decade. Haploid inducers with induction rates of 10-15% have been developed for different regions of the world. Novel methods for more efficient automated haploid selection have been evaluated and implemented. Recent identification of major genes affecting spontaneous haploid genome doubling may help to overcome the need of artificial treatments with colchicine. Application DHs in commercial maize breeding programs is becoming routine, and further enhanced in combination with genomic selection. Moreover, DHs are being used for more efficient exploitation of genetic resources, for example in the GEM program of USDA.

Acknowledgements

Authors would also like to thank USDA's National Institute of Food and Agriculture (Project Numbers: IOW04314, IOW01018), and Hatch Multistate Project NC-007, as well as the Plant Sciences Institute, RF Baker Center for Plant Breeding and K.J. Frey Chair in Agronomy at Iowa State University for funding or supporting this work, as well as Brazilian government agencies CAPES and CNPq for supporting PhD students.

References

BARNABÁS, B.; OBERT, B.; KOVACS, G. Colchicine, an efficient genome-doubling agent for maize (*Zea mays* L.) microspores cultured in anthero. **Plant Cell Reports**, Berlin, v. 18, p. 858-862, 1999.

BARRIÈRE, Y.; RIBOULET, C.; MÉCHIN, V.; PICHON, M.; CARDINAL, A.; LÜBBERSTEDT, T.; LAPIERRE, C. Genetics and genomics of lignification in grass cell walls based on maize as a model system. **Genes, Genomes and Genomics**, v. 1, n. 2, p. 133-156, 2007.

BERNARDO, R.; YU, J. Prospects for genome wide selection for quantitative traits in maize. **Crop Science**, Madison, v. 47, n. 3, p. 1082-1090, 2007.

BLAKESLEE, A. F.; AVERY, A. G. Methods of inducing doubling of chromosomes in plants by treatment with colchicine. **Journal of Heredity**, Washington, v. 28, n. 12, p. 393-411, 1937.

BONNET, D. G.; REBETZKE, G. J.; SPIELMEYER, W. Strategies for efficient implementation of molecular markers in wheat breeding. **Molecular Breeding**, Dordrecht, v. 15, n. 1, p. 75-85, 2005.

BOOTE, B. W.; FREPPON, D. J.; DE LA FUENTE, G. N.; LUBBERSTEDT, T.; SMITH, E. A. **Haploid differentiation in maize kernels based on fluorescence imaging**. 2015. Tese (Doutorado) - Iowa State University, Ames, 2015.

BORDES, J.; DEVAULX, R. D.; APIERRE, A. L.; POLLACSEK, M. Haplodiploidization of maize *Zea mays* L. through induced

gynogenesis assisted by glossy markers and its use in breeding. **Agronomie**, Paris, v. 17, n. 5, p. 291-297, 1997.

BOUCHEZ, A.; GALLAIS, A. Efficiency of the use of doubled-haploids in recurrent selection for combining ability. **Crop Science**, Madison, v. 40, n. 1, p. 23-29, 2000.

BRUMMER, E. C. Applying genomics to alfalfa breeding programs. **Crop Science**, Madison, v. 44, n. 6, p. 1904-1907, 2004.

CASSMAN, K. G. Ecological intensification of cereal production systems: yield potential, soil quality, and precision agriculture. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, v. 96, n. 11, p. 5952-5959, 1999.

CHALYK, S. T. Properties of maternal haploid maize plants and potential application to maize breeding. **Euphytica**, Wageningen, v. 79, n. 1/2, p. 13-18, 1994.

CHANG, M.T.; COE, E. H. Double haploids. In: KRIZ, A. L.; LARKINS, B. A. (Ed.). **Molecular genetic approaches to maize improvement**. Berlin: Springer-Verlag, 2009. p. 127-142.

CHASE, S. S. Techniques for isolating monoploid maize plants. **American Journal of Botany**, Lancaster, v. 34, n. 10, p. 582, 1947.

CHASE, S. S. Production of homozygous diploids of maize from monoploids. **Agronomy Journal**, Madison, v. 44, n. 5, p. 263-267, 1952.

CHASE, S. S. Monoploids and diploids of maize: a comparison of genotypic equivalents. **American Journal of Botany**, Lancaster, v. 51, n. 9, p. 928-933, 1964.

CHASE, S. S. Monoploids and monoploid-derivatives of maize *Zea mays* L. **Botanical Review**, Bronx, v. 35, n. 2, p. 117-167, 1968.

CHEN, Y.; BLANCO, M.; JI, Q.; FREI, U. K.; LÜBBERSTEDT, T. Extensive genetic diversity and low linkage disequilibrium within the *Bm3* locus in germplasm enhancement of maize populations. **Plant Science**, Limerick, v. 221/222, p. 69-80, 2014.

CHEN, Y.; BRENNER, E. A.; ZEIN, I.; ANDERSEN, J. R.; WENZEL, G.; OUZUNOVA, M.; EDER, J.; DARNHOFER, B.; LÜBBERSTEDT, T. Polymorphisms within genes coding for enzymes involved in the phenylpropanoid pathway are associated with morphological and yield traits. **BMC Plant Biology**, v. 10, p. 1-12, 2010.

COE JR., E. H.; SARKAR, K. R. The detection of haploids in maize. **Journal of Heredity**, Washington, v. 55, n. 5, p. 231-233, 1964.

COE JR., E. H. A line of maize with high haploid frequency. **American Naturalist**, Chicago, v. 93, n. 873, p. 381-382, 1959.

CROSSA, J.; GARDNER, C. O. Introgression of an exotic germplasm for improving an adapted maize population. **Crop Science**, Madison, v. 27, p. 187-190, 1987.

DE LA FUENTE, G.; FREI, U. K.; TRAMPE, B.; NETTLETON, D.; LÜBBERSTEDT, T. A diallel analysis of a maize donor population response to in vivo maternal haploid induction. II: Genome goubing. **Crop Science**, Madison, 2018. No prelo.

DEANON, J.R. Treatment of sweet corn silks with maleic hydrazide and colchicine as a means of increasing the frequency of monoploids. **Philippine Agriculturalist**, Laguna, v. 41, n. 7, p. 364-377, 1957.

DONG, X.; XU, X. X.; CHEN, S. J.; MELCHINGER, A. E. Fine mapping of qhir1 influencing in vivo haploid induction in maize. **Theoretical and Applied Genetics**, New York, v. 126, n. 7, p. 1713-1720, 2013.

DUVICK, D. N.; CASSMAN, K. G. Post-green-revolution trends in yield potential of temperate maize in the north-central United States. **Crop Science**, Madison, v. 39, p. 1622-1630, 1999.

DYSON, T. World food trends and prospects to 2025. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, v. 96, n. 11, p. 5929-5936, 1999.

EDER, J.; CHALYK, S. T. In vivo haploid induction in maize. **Theoretical and Applied Genetics**, New York, v. 104, n. 4, p. 703-708, 2002.

EINSET, J. Chromosome length in relation to transmission frequency in maize trisomes. **Genetics**, Austin, v. 28, n. 5, p. 349-364, 1942.

FLINT-GARCIA, S. A.; THUILLET, A.-C.; YU, J. M.; PRESSOIR, G.; ROMERO, S. M.; MITCHELL, S. E.; DOEBLEY, J.; KRESOVICH, S.; GOODMAN, M. M.; BUCKLER, E. S. Maize association population: a high resolution platform for quantitative trait locus dissection. **Plant Journal**, v. 44, n. 6, p. 1054-1064, 2005.

FORSTER, B. P.; THOMAS, W. T. B. Doubled haploids in genetics and plant breeding. In: JANICK, J. (Ed.). **Plant breeding reviews**. Oxford: John Wiley & Sons, 2005. v. 25, p. 57-88.

GALLAIS, A. A method of line development using double haploids: the single doubled haploid descent recurrent selection. **Theoretical and Applied Genetics**, New York, v. 75, p. 330-332, 1988.

GEIGER, H. H. Doubled haploids. In: BENNETZEN, J. L.; HAKE, S. (Ed.). **Maize handbook: genetics and genomics**. New York: Springer Science Business, 2009. v. 2, p. 641-657.

GEIGER, H. H.; BRAUN, M. D.; GORDILLO, G. A.; KOCH, S.; JESSE, J.; KRUTZFELDT, B. A. E. Variation for female fertility among haploid maize lines. **Maize Genetics Newsletter**, v. 80, p. 28-29, 2006.

GEIGER, H. H.; GORDILLO, G. A. Doubled haploids in hybrid maize breeding. **Maydica**, Bergamo, v. 54, n. 4, p. 485-499, 2009.

GOODMAN, M. M. Genetic and germplasm stocks worth conserving. **Journal of Heredity**, Washington, v. 81, p. 11-16, 1990.

GORDILLO, G. A.; GEIGER, H. H. Optimization of DH-line based recurrent selection procedures in maize under a restricted annual loss of genetic variance. **Euphytica**, Wageningen, v. 161, p. 141-154, 2008.

HÄNTZSCHEL, K. R.; WEBER, G. Blockage of mitosis in maize root tips using colchicine-alternatives. **Protoplasma**, New York, v. 241, p. 99-104, 2010.

HEERWAARDEN, J. V.; HUFFORD, M. B.; ROSS-IBARA, J. Historical genomics of North American maize. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, v. 109, n. 31, p. 12420-12425, 2012.

HIREL, B.; LE GOUIS, J.; NEY, B.; GALLAIS, A. The challenge of improving nitrogen use efficiency in crop plants: towards a more central role for genetic variability and quantitative genetics within integrated approaches. *Journal of Experimental Botany*, London, v. 58, n. 9, p. 2369-2387, 2007.

HU, S.; SANCHEZ, D.; WANG, C.; LIPKA, A. E.; YIN, Y.; GARDNER, C. A.; LÜBBERSTEDT, T. Brassinosteroid and Gibberellin control of seedling traits in maize (*Zea mays L.*). *Plant Science*, Limerick, v. 263, p. 132-141, 2017.

JONES, R. W.; REINOT, T.; FREI, U. K. Selection of haploid maize kernels from hybrid kernels for plant breeding using near-infrared spectroscopy and SIMCA analysis. **Applied Spectroscopy**, v. 664, p. 447-450, 2012.

KATO, A.; GEIGER, H. H. Chromosome doubling of haploid maize seedling using nitrous oxide gas at the flower primordial stage. **Plant Breeding**, Berlin, v. 121, n. 5, p. 370-377, 2002.

KLEIBER, D.; PRIGGE, V.; MELCHINGER, A. E.; BURKARD, F.; SAN VICENTE, F.; PALOMINO, G.; GORDILLO, G. A. Haploid fertility in temperate and tropical maize germplasm. **Crop Science**, Madison, v. 52, n. 2, p. 623-630, 2012.

KUCHARIK, C. J. A multidecadal trend of earlier corn planting in the central USA. **Agronomy Journal**, v. 98, p. 1544-1550, 2006.

LAMKEY, K. R.; EDWARDS, J. W. Quantitative genetics of heterosis. In: COORS, J. G.; PANDEY, S. (Ed.). **Genetics and exploration of heterosis in crops**. Madison: American Society of Agronomy, 1999. p. 31-48.

LIU, Z.; REN, J.; TRAMPE, B.; FREI, U. K.; LÜBBERSTEDT, T. Doubled haploids: from obscure phenomenon to key technology of current maize breeding programs. **Plant Breeding Reviews**, New York, v. 40, p. 123-166, 2016.

LONGIN, C.; UTZ, H.; REIF, J. Hybrid maize breeding with doubled haploids: I. Onestage versus two-stage selection for testcross performance. **Theoretical and Applied Genetics**, New York, v. 112, n. 5, p. 903-912, 2006.

LÜBBERSTEDT, T.; FREI, U. K. Application of doubled haploids for target gene fixation in backcross programmes of maize. **Plant Breeding**, New York, v. 131, n. 3, p. 449-452, 2012.

MEUWISSEN, T. H. E.; HAYES, B. J.; GODDARD, M. E. Prediction of total genetic value using genome-wide dense marker maps. **Genetics**, Austin, v. 157, p. 1819-1829, 2001.

MICHELINI, L. A.; HALLAUER, A. R. Evaluation of exotic and adapted maize (*Zea mays* L.) germplasm crosses. **Maydica**, Bergamo, v. 38, p. 275-282, 1993.

MIKEL, M. A. Genetic composition of contemporary U.S. commercial dent corn germplasm. **Crop Science**, Madison, v. 51, n. 2, p. 592-599, 2011.

NASS, L. L.; PATERNIANI, E. Pre-breeding: a link between genetic resources and maize breeding. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 57, n. 3, p. 581-587, 2000.

NASS, L. L.; PELLICANO, I. J.; VALOIS, A. C. C. Utilization of genetic resources for maize and soybean breeding in Brazil. **Brazilian Journal of Genetics**, Ribeirão Preto, v. 16, n. 4, p. 983-988, 1993.

POLLAK, L. M. Evaluation of Caribbean maize accessions in Puerto Rico. **Tropical of Agriculture**, London, v. 70, p. 8-12, 1993.

PRIGGE, V.; SÁNCHEZ, C.; DHILLON, B. S. Double hybrids in tropical maize: I. Effects of inducers and source germplasm on in vivo haploid induction rates. **Crop Science**, Madison, v. 51, n. 4, p. 1498-1506, 2011.

REN, J.; WU, P.; TIAN, X.; LÜBBERSTEDT, T.; CHEN, S. Fine mapping of quantitative trait locus qhmf4 causing haploid male fertility in maize based on segregation distortion. **Theoretical and Applied Genetics**, New York, v. 130, n. 7, p. 1349-1359, 2017.

REN, J. J.; WU, P. H.; LUBBERSTEDT, T.; CHEN, S. J. Genetic analysis of haploid fertility in maize. In: ANNUAL MAIZE GENETICS CONFERENCE, 58., 2016, Jacksonville. **Program and abstracts...** Jacksonville: [s.n.], 2016. p. 284.

RÖBER, F. K.; GORDILLO, G. A.; GEIGER, H. H. In vivo haploid induction in maize-performance of new inducers and significance of doubled haploid lines in hybrid breeding. **Maydica**, Bergamo, v. 50, p. 275-283, 2005.

SANCHEZ, D.; LIU, S.; IBRAHIM, R.; BLANCO, M.; LÜBBERSTEDT, T. Association mapping of seedling root traits in exotic derived doubled haploid lines of maize. **Plant Science**, Limerick, v. 268, p. 30-38, 2018a.

SANCHEZ, D.; PETERLINI, E.; DE LA FUENTE, G.; CASTELLANO, M.; BLANCO, M.; LÜBBERSTEDT, T. Genome-wide association analysis of doubled haploid exotic introgression maize (*Zea mays* L.) lines for agronomic traits under depleted nitrogen conditions. **New Phytologist**, 2018b. in press.

SCHMIDT, W. Hybrid maize breeding at KWS SAAT AG. In: ANNUAL MEETING OF THE AUSTRIAN SEED ASSOCIATION, 2003, Gumpenstein. **Proceedings...** Gumpenstein: Austrian Seed Association, 2003.

SEANEY, R. R. **Studies on monoploidy in maize**. 1955. Tese (Doutorado) - Cornell University, Ithaca, 1955.

SEITZ, G. The use of doubled haploids in corn breeding. In: ANNUAL ILLINOIS CORN BREEDERS' SCHOOL, 41., 2005, Urbana-Champaign. **Proceedings...** Urbana-Champaign: University of Illinois at Urbana-Champaign, 2005.

SHATSKAYA, O. A.; ZABIROVA, E. R.; SHCHERBAK, V. S.; CHUMAK, M. V. Mass induction of maternal haploids in corn. **Maize Genetics Cooperation Newsletter**, Columbia, v. 68, p. 51, 1994.

SMELSER, A.; BLANCO, M.; LÜBBERSTEDT, T.; FREI, U. K.; GARDNER, C. Germplasm enhancement of maize: a look into

haploid induction of adapted tropical sources. **Plant Breeding**, Berlin, v. 13, n. 5, p. 593-597, 2016.

SMELSER, A.; BLANCO, M.; LÜBBERSTEDT, T.; SCHECHERT, A.; VANOUS, A.; GARDNER, C. Weighing in on a method to discriminate maize haploid from hybrid seed. **Plant Breeding**, Berlin, v. 13, n. 4, n. 3, p. 283-285, 2015.

SPRINGER, N. M.; YING, K.; FU, Y.; JI, T.; YEH, C.-T.; JIA, Y.; WU, W.; RICHMOND, T.; KITZMAN, J.; ROSENBAUM, H.; INIGUEZ, A. L.; BARBAZUK, W. B.; JEDDELOH, J. A.; NETTLETON, D.; SCHNABLE, P. S. Maize inbreds exhibit high levels of CNV and presence/absence differences in genome content. **PLoS Genetics**, v. 5, e1000734, 2009.

TROYER, A. F. A retrospective view of corn genetic resources. **Journal of Heredity**, Washington, v. 81, n. 1, p. 17-24, 1990.

VANOUS, A.; BLANCO, M.; MARTIN-SCHWARZE, A.; FLINT-GARCIA, S.; BOHN, M.; EDWARDS, J.; LÜBBERSTEDT, T.; GARDNER, C. Association mapping of kernel composition traits in exotic derived doubled haploid lines of maize. **Plant Genome**, 2018a. No prelo.

VANOUS, A.; GARDNER, C.; BLANCO, M.; MARTIN-SCHWARZE, A.; FLINT-GARCIA, S.; BOHN, M.; EDWARDS, J.; LÜBBERSTEDT, T. Association mapping of flowering and plant height traits in germplasm enhancement of maize doubled haploid (GEM-DH) lines. **Plant Genome**, v. 11, n. 2, p. 1-14, 2018b.

WEI, J. J.; CHEN, M. X. Primary study on the natural fertility of maize haploid. **Journal of Maize Science**, v. 14, n. 2, p. 24-26, 2006.

WEI, J. J.; ZHANG, X. L.; CHEN, M. X.; LI, Z. Z.; ZHU, L. Y. Analysis of the results of injection treatment with colchicines in six leaf stage to maize haploid. **Journal of Maize Science**, v. 15, n. 4, p. 49-51, 2007.

WELLHAUSEN, E. J. Exotic germplasm for improvement of corn belt maize. In: ANNUAL HYBRID CORN INDUSTRY RESEARCH CONFERENCE, 20., 1965, Chicago. **Proceedings**. Washington: American Seed Trade Association, 1965. p. 31-45.

WU, P.; REN, J.; TIAN, X.; LI, G.; LI, W.; LÜBBERSTEDT, T.; WANG, L.; LIU, W.; CHEN, S. New insights into the genetics of haploid male fertility. **Crop Science**, Madison, v. 57, n. 2, p. 637-647, 2017.

WU, Y. **Molecular breeding**. Oxford: CAB International, 2010.

WU, Y.; FREI, U. K.; LIU, H.; DE LA FUENTE, G.; HUANG, K.; WEI, Y.; LÜBBERSTEDT, T. Combining genomic selection and doubled haploid technology increases efficiency of maize breeding. In: GOVIL, J. N. (Ed.). **Recent developments in biotechnology: plant biotechnology**. Houston: Studium Press, 2015. v. 2, 215-237.

XU, G. L.; DAI, Y. X.; LIU, X. D. Research on the induced rates and the doubling rates of haploid in maize. **Journal of Maize Science**, v. 202, p. 1-5, 2012.

XU, X. W.; LI, L.; DONG, C.; JIN, W. W.; MELCHINGER, A. E.; CHEN, S. J. Gametophytic and zygotic selection leads to segregation distortion through in vivo induction of a maternal haploid in maize. **Journal of Experimental Botany**, London, v. 64, n. 4, p. 1083-1096, 2013.

YAN, J. B.; SHAH, T.; WARBURTON, M. L.; BUCKLER, E. S.; MCMULLEN, M. D.; CROUCH, J. Genetic characterization and linkage disequilibrium estimation of a global maize collection using SNP markers. **PLoSOne**, San Francisco, v. 4, n. 12, p. 1-14, 2009.

ZABIROVA, E. R.; SHATSKAYA, O. A.; SHCHERBAK, V. S. Line 613/2 as a source of a high frequency of spontaneous diploidization in corn. **Maize Genetics Cooperation Newsletter**, Columbia, v. 67, p. 67, 1993.

Capítulo 19

Desafios para as Empresas Nacionais no Melhoramento Genético e no Mercado de Sementes de Milho

Herberte Pereira Silva

Renzo Garcia Von Pinho

Introdução

O milho é considerado uma das principais fontes de carboidratos para a alimentação humana e animal (aves, suínos, ovinos, caprinos, entre outros); base da alimentação de vários povos e principal fonte de energia para a produção de proteína animal.

A produção mundial de milho representa 50,4% da produção total de grãos (United States, 2018). A enorme participação do milho no cenário mundial é sua importância econômica e, sobretudo, pelo grande investimento de pesquisa em genética e melhoramento atrelado às práticas culturais, mecanização e uso de insumos modernos. É sem dúvida uma das culturas mais estudadas e pesquisadas em diferentes áreas do conhecimento e sofrendo, contudo, os impulsos dessa transformação.

A estimativa mundial de produção do milho na safra 2017/18, é de 1.052 milhões de toneladas e o maior produtor continua sendo os Estados Unidos, seguido pela China e o Brasil (United States, 2018).

No Brasil, a estimativa de produção na safra 2017/18 é de 89,7 milhões de toneladas, cultivados numa área de 16,6 milhões de hectares um aumento substancial comparado à safra 2007/08 que foi de 58,6 milhões de toneladas numa área de 14,7 milhões de hectares e um aumento substancial, na produtividade de 3.972 kg/ha para 5.359 kg/ha, na última década (Conab, 2018). Diversos fatores contribuíram para este aumento, tais como: maior mecanização das lavouras, pulverização e colheita mais modernas, práticas culturais (adubação balanceada, espaçamento reduzido, uso de fungicidas nas lavouras), tratamento industrial de semente, lançamento de cultivares transgênicas com maior potencial genético, regionalização e posicionamento adequado das cultivares nas diferentes épocas de plantio, investimentos contínuos no beneficiamento e armazenamento.

O valor de mercado da semente de milho na última década teve um aumento substancial em função das cultivares transgênicas, valores de R\$ 18.737 milhões de reais, com vendas de 7.231 milhões de sacos de 60 mil sementes, na safra 2016/17 (Camargo, 2018).

Neste capítulo, serão abordados os desafios para as empresas nacionais no melhoramento genético e no mercado de sementes de milho no Brasil; em razão dos avanços genéticos dos híbridos comerciais, da tendência das novas tecnologias no melhoramento de milho; a estratificação do mercado em tipo de híbrido e ciclo, incluindo os transgênicos. Serão discutidos também as mudanças do sistema de produção e os aspectos legais de produção e comercialização de sementes convencionais e transgênicas e a necessidade de adequação das leis, para coibir a “pirataria”; o comportamento dos diferentes híbridos

convencionais e transgênicos e seus eventos, assim como novas demandas relacionadas à produção e qualidade das sementes.

A cultura do milho

As demandas globais, na produção do milho, ocorrem em função do aumento da população mundial e da demanda crescente por requerimentos nutricionais mais proteicos. Neste contexto, tem aumentado a demanda por melhoria da qualidade nutricional da ração animal, com maior quantidade e qualidade de aminoácidos essenciais nos grãos de milho para a nutrição animal.

As pressões ambientais por fontes alternativas renováveis e menos poluentes que o petróleo, como o etanol da cana-de-açúcar, cresceram no mundo, em especial, nos Estados Unidos. A produção e consumo de milho cresceu, vertiginosamente, como fonte de produção de biocombustível etanol, menos poluente e renovável.

O aquecimento global tem causado alterações climáticas como decréscimo dos recursos hídricos para irrigação, seca em algumas regiões do planeta e chuvas em excesso em outras e esses fatores exigem ações de preservação dos nossos recursos edafoclimáticos. A redução de terras férteis pela má conservação do solo, ao longo de décadas, com sua agricultura extrativista, ocasionou o crescimento da produção em áreas de desmatamento. O desenvolvimento da produção necessita ser redirecionado à otimização do uso de áreas agrícolas disponíveis ou degradadas, com práticas e tecnologias para aumento de produtividade sustentável da atividade agrícola.

O maior produtor mundial de milho é os Estados Unidos, com produção de 371,0 milhões de toneladas na safra 2017/18, seguido pela China com 215,9 milhões de toneladas. O Brasil, na safra 2017/18, tem uma produção estimada de 89,2 milhões de toneladas. Inicialmente havia uma expectativa de aumento de área plantada e produção recorde, mas frustrações foram ocorrendo ao longo do processo de tomada de decisão de plantio.

Relatórios de estoque mundial elevado, posteriormente o plantio da soja no verão mais tarde que em anos anteriores, em decorrência do atraso das chuvas, conseqüentemente, a tomada de decisão de investimento, na sucessão com milho, foi no sentido, de diminuição de área ou do nível tecnológico. Se confirmada, será a primeira queda nos últimos nove anos.

Para este ano, na primeira safra, a estimativa de redução na produção foi de 16% menor à safra anterior. No milho segunda safra, estima-se uma redução da produção em 6,5%, por redução do pacote tecnológico utilizado pelos produtores nos principais estados e pela diminuição de área plantada.

A produtividade do milho cultivado segunda safra, foi significativamente, afetada pelas condições climáticas em consequência do veranico, principalmente, no Paraná, São Paulo, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais e Goiás. Muitas estimativas de produção têm sido revistas, pois ainda não se tem uma visão clara do quadro geral.

Até a safra 2011/12, o milho de primeira safra foi responsável pela maior produção do grão, da área e produtividade no Brasil. A partir dessa safra, a segunda safra, conhecida como “safrinha”, tornou-se a principal safra.

A “safrinha”, atualmente, é a safra preponderante na produção nacional e caracterizada por lavouras tecnificadas em sucessão à soja. Entretanto, os resultados não são melhores na segunda safra em decorrência de fatores edafoclimáticos desfavoráveis no inverno, frio no Sul e falta de chuvas nos Cerrados, principalmente.

Nos Estados Unidos, as produtividades médias são superiores a 10 toneladas/hectare. A média brasileira tem se situado ao redor de 5,5 ton./ha, tanto na primeira quanto na segunda safra. Todavia, vale ressaltar que a média nacional de 5,5 ton./ha é pequena quando comparada a importantes regiões produtoras no Sul do País, que colhem até 15 ton./ha. Há relatos de produtores no Rio Grande do Sul que já colheram mais de 18 ton./ha.

Na safra-verão há regiões no país com altíssima produtividade, como o Paraná e Mato Grosso do Sul, que colheram em torno de 9,0 ton./ha, na última safra, mas, na média, são contrabalançados por colheitas de baixíssimas produtividades, como observadas no Nordeste, região que apresentou média de 2.865 kg/ha na última safra.

Regulamentação do mercado de sementes no Brasil

O setor de sementes no Brasil é regido por normas e padrões de produção de sementes que regulam e asseguram a qualidade das sementes produzidas para a sustentabilidade dos sistemas produtivos.

A lei nº 4727, de 1965, foi a 1ª Lei de Sementes no país, com o objetivo de regulamentar a fiscalização do comércio de sementes e mudas; estabeleceu padrões obrigatórios de germinação

e pureza física para o controle da qualidade de sementes comercializadas no país.

Posteriormente, a lei nº. 6507, de 1977, estabeleceu a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de sementes e mudas, em todo o território nacional, os critérios se mantiveram inalterados até 2003. A lei de Proteção de Cultivares (nº 9.456/97) exigiu a revisão, em todo o sistema nacional de semente e regulamentou o direito de propriedade e uso das cultivares. O controle de qualidade da semente (certificação), que antes era função exclusiva de órgãos públicos, agora pode ser efetuado também por instituições privadas.

O setor regulado por leis permitiu às empresas do setor privado, nacionais e transnacionais, investirem em pesquisa para o desenvolvimento de novas cultivares e na produção de sementes de milho. O germoplasma foi valorizado, e novas empresas transnacionais instalaram suas operações, com aquisições e fusões, permitindo o crescimento do setor.

A decretação da “Nova Lei de Sementes e Mudanças” nº 10.771, de 05/08/2003, com diversos aspectos inovadores, refere-se à produção e comercialização de sementes e mudas. É uma legislação abrangente, que procura regular todas as etapas do processo produtivo inerentes à cadeia produtiva de sementes e mudas, bem como à certificação e à comercialização desses produtos no país por meio *do Sistema Nacional de Sementes e Mudanças – SNSM* (Brasil, 2003).

As pessoas físicas e jurídicas que exerçam as atividades de produção, beneficiamento, embalagem, armazenamento, análise, comércio, importação e exportação de sementes e mudas

ficam obrigadas à inscrição, no Registro Nacional de Sementes e Mudas (RENASEM) e ao credenciamento de responsáveis técnicos, entidade de certificação, certificador de sementes ou mudas de produção própria, laboratório de análise e amostrador de sementes e mudas.

A produção, o beneficiamento e a comercialização de sementes e mudas ficam condicionadas à previa inscrição da respectiva cultivar no Registro Nacional de Cultivares (RNC). Para tanto, exige-se a determinação do seu Valor de Cultivo e Uso (VCU), o que representou uma importante modificação no sistema de indicação de novas cultivares, para a agricultura brasileira.

O Sistema Nacional de Sementes e Mudas - SNSM - foi um avanço na regulação do setor e promoveu os investimentos necessários, públicos e privados, no desenvolvimento de novas cultivares. Em 1998 eram cerca de 300 cultivares registradas e no ano de 2015 estavam em 1600 cultivares registradas (Brasil, 2015).

A Lei nº 9279/96, regula direitos e obrigações relativos à propriedade industrial, protegendo patentes de invenção e de modelo de utilidade. Qualquer brasileiro ou empresa domiciliada podem requerer o pedido ou registro de patente proveniente do exterior e depositado no país. Foi possível patentear genes modificados, por meio de processo inventivo e microrganismos transgênicos, principalmente, das empresas transnacionais que tiveram amparo legal dos seus investimentos no país (Barbosa, 1997).

A Lei de Biossegurança (nº 11.105/05), estabelece normas de segurança e mecanismos de fiscalização de atividades que envolvam organismos geneticamente modificados-OGM e

seus derivados; cria o Conselho Nacional de Biossegurança; reestrutura a Comissão Técnica Nacional de Biossegurança-CTNBio e, dispõe sobre a Política Nacional de Biossegurança. Esta Lei, também, estabelece normas de segurança e mecanismos de fiscalização sobre a construção, o cultivo, a produção, a manipulação, o transporte, a transferência, a importação, a exportação, o armazenamento, a pesquisa, a comercialização, o consumo, a liberação no meio ambiente e o descarte de organismos geneticamente modificados – OGM e seus derivados, tendo como diretrizes o estímulo ao avanço científico, na área de biossegurança e biotecnologia, a proteção à vida e à saúde humana, animal e vegetal, e a observância do princípio da precaução para a proteção do meio ambiente.

A importância da lei regulando o uso de OGM, deve-se ao aumento mundial do emprego das técnicas de transgenia. São indiscutíveis os benefícios diretos e indiretos fornecidos pelos transgênicos no Brasil e no mundo. A rápida adoção da tecnologia no milho transgênico está na sua praticidade de uso e facilidade de manejo. A redução dos números de aplicações com inseticidas agrícolas e a possibilidade de uso de herbicida de largo espectro de ação, no controle de ervas daninhas, permite que o manejo seja simplificado e possibilite a redução dos danos causados por lagarta e ervas na cultura do milho, e atendem a dois requisitos básicos, aumento de produtividade e menor custo.

Desafios para as empresas nacionais no mercado de sementes de milho

Mercado de sementes de milho no Brasil

O mercado brasileiro de semente de milho híbrido é altamente competitivo, em função do tamanho da área cultivada e do valor do mercado de semente.

Muitas empresas nacionais e transnacionais têm atuado no Brasil há muitas décadas. No período de 1998 a 2013, houve redução no número de empresas de sementes e de programas de melhoramento de milho por fusões e aquisições, mas tem-se observado nesses últimos 5 anos, um aumento de participação de grupos nacionais no mercado, assim como, o início de operação de novas empresas multinacionais. O mercado de semente de milho é constituído por nove empresas transnacionais e 34 empresas nacionais, com programas de melhoramento, produção e comercialização, ou somente programa de melhoramento para licenciamento; isso mostra o grau de competição, porém, o maior volume de faturamento está concentrado em quatro empresas.

A demanda de semente de milho cresceu muito, a partir da safra 2008/09, com um aumento de 11,556 milhões de sacos de 60 mil sementes, para 18,737 milhões de sacos, na safra 2016/17 (Pereira Filho; Borghi, 2016). Nessa última safra 2017/18, houve uma redução da demanda com estimativa de 15,2 milhões de sacos.

Na safra 2016/17, foram ofertados 21,419 milhões de sacos. Os estados de Minas Gerais e Goiás concentram a maior produção

de sementes, sendo responsáveis por 72 % do total de semente produzida no Brasil.

As empresas disponibilizam para o mercado um grande número de cultivares de diferentes tipos de cruzamento (simples, simples modificado, triplo, duplos e variedades), ciclos (hiperprecoce, superprecoce, precoce, semiprecoce e normal) e sementes convencionais e transgênicas. As opções disponíveis no mercado são muitas e variadas.

Na safra 2016/17, disponíveis, para os produtores brasileiros, 315 cultivares de milho, número abaixo do oferecido ao da safra 2015/16 (477 cultivares) (Cruz et al., 2015). Essa diminuição se deve ao fato de algumas empresas de sementes terem negligenciado as informações, ou ainda, à fusão e incorporação de empresas multinacionais, que reduziram o portfólio de sementes de milho como estratégia comercial. Deste modo é certo que o número de cultivares realmente disponíveis para a safra 2016/2017 deve estar próximo da safra anterior. Os dados levantados pela Associação Paulista dos Produtores de Sementes (APPS), órgão que agrega a maioria das empresas produtoras. Na safra 2017/28, evidenciam que foram disponibilizadas 467 cultivares, sendo as cultivares precoce e os híbridos simples com maior participação na escolha do agricultor (**Tabela 1**).

A escolha de uma cultivar deve atender as necessidades específicas do agricultor, como a melhor adaptação à sua região e a seu sistema de produção. Numa propriedade o agricultor deve considerar os aspectos técnicos e econômicos, maximizando a possibilidade de sucesso. A experiência demonstra que a diversificação de cultivares é importante para diluição de riscos econômicos (escolha com base em diferentes ciclos para evitar

concentrar o florescimento num mesmo período caso haja deficiência hídrica num período crítico à cultura) e otimizar os aspectos técnicos (escolha da cultivar com a tecnologia adequada no seu manejo).

Tabela 1. Distribuição percentual das cultivares transgênicas e convencionais e dos ciclos das cultivares disponíveis nas safras 2015/16, 2016/17 e 2017/18.

Cultivares	2015/16 ¹	2016/17 ¹	2017/18 ²
Transgênicos	67,7	67,9	72,8
Convencionais	32,3	32,1	27,2
Ciclo			
Hiperprecoce e Superprecoce	24,4	24,6	25,3
Precoce	66,3	67,9	65,7
Semiprecoce e Normal	9,4	4,4	9,0
Total de Cultivares Disponíveis no Mercado	477	315	467

Fonte: 1. Cruz et al. (2015), safras 2015/16 e 2016/2017. 2. Camargo (2016, 2018), safra 2017/18.

A **Tabela 1**, demonstra a distribuição percentual das cultivares transgênicas e convencionais e das cultivares disponíveis de acordo com o ciclo. Há um predomínio de cultivares transgênicas e de ciclo precoce. A escolha de cultivares de ciclo precoce é atribuída ao fato do posicionamento técnico destes materiais, para o cultivo em segunda safra, após a soja.

Os híbridos simples têm sido os mais adquiridos pelos agricultores nos últimos nove anos. Na Safra 2016/17, foram comercializados 76,4% de híbridos simples, os triplos e duplos, corresponderam

a 18% e 4,8%, respectivamente, e as variedades em menor percentual de 0,8%. A demanda dos agricultores tem sido por híbrido de maior nível tecnológico, com maior investimento em híbridos simples para potencializar os ganhos com a cultura (Figura 1).

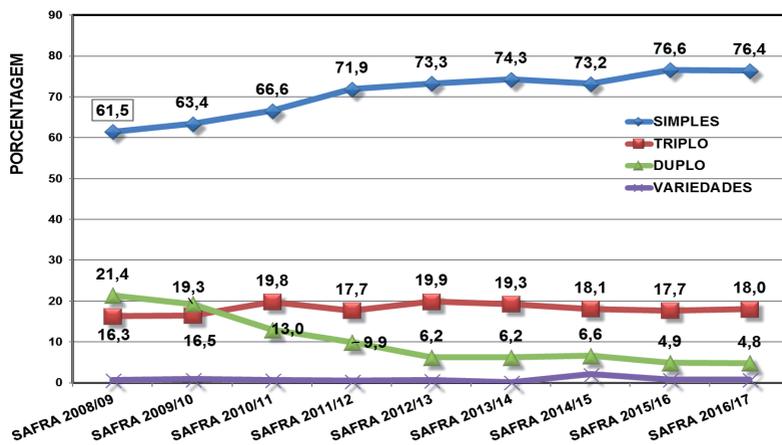


Figura 1. Percentual dos diferentes tipos de sementes disponibilizadas pelas empresas produtoras nas últimas nove safras de milho. Fonte: Camargo (2018).

Milho transgênico

A introdução dos transgênicos causou uma mudança no sistema de produção do milho. A liberação da comercialização dos transgênicos no Brasil foi, em 2007, com crescimento rápido e atingiu 72,8% do total de cultivares comercializadas na safra 2017/18 (Camargo, 2018).

Pelas normas vigentes do Mapa, para o caso do milho, uma cultivar pode ser comercializada tanto na forma convencional

como também com eventos transgênicos. Algumas empresas de sementes comercializam a mesma cultivar, na versão transgênica e convencional, e outras apenas cultivares na versão transgênicas e não comercializando a versão convencional.

Os benefícios diretos e indiretos pelo uso dos transgênicos no Brasil e no mundo são inegáveis. O manejo de pragas e ervas daninhas é simplificado pela redução do número de aplicações de inseticidas e pela possibilidade de controle de um largo espectro de plantas daninhas, permitindo obter um aumento de produtividade de grãos associados aos menores danos causados por lagartas e insetos e à menor competição com plantas daninhas.

A tomada de decisão, na escolha da cultivar a ser utilizada, depende de uma avaliação do custo-benefício. O uso de semente de alto valor agregado de maior nível tecnológico requer também investimento em práticas culturais como fertilizantes e insumos para a expressão máxima do potencial genético da cultivar.

Não existe uma regra para a escolha entre uma cultivar transgênica ou convencional. A escolha depende de uma série de fatores que o agricultor analisa, antes de tomar a decisão, tais como: praticidade de uso, tamanho da área a ser semeada e implementos agrícolas disponíveis para condução, como: pulverizadores e equipamento de aplicação de defensivos; a relação preço do grão e da semente e a expectativa futura. Esses fatores são ponderados antes da decisão.

Na **Figura 2**, mostra-se a evolução da tecnologia single RR, single Bt e estaqueado, assim como a participação no mercado das cultivares convencionais. Nas últimas seis safras de 2012 a 2017,

a tecnologia single Bt decresceu de 72,8%, em 2012 para 24,9%, em 2017; em contrapartida, a tecnologia estaqueada cresceu inversamente proporcional de 4,5% em 2012 para 59,2% em 2017. A importância do uso de cultivares estaqueadas, que contenham mais de um evento transgênico é evidenciada pelo aumento do número dessas cultivares transgênicas nos últimos anos. Na safra 2012/2013, estavam disponíveis 38 cultivares transgênicas de milho, para controle de lagartas e resistência a herbicidas, enquanto, na safra 2015/2016, foram disponibilizadas no mercado 115 cultivares de milho com eventos estaqueados (Cruz et al., 2015). Resultados evidenciaram que os eventos transgênicos, principalmente, quando estaqueados, têm impacto positivo na produção (Shi et al., 2013).

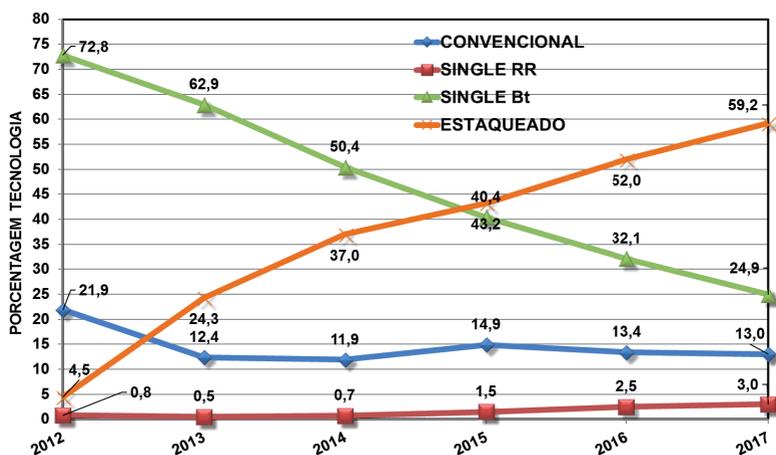


Figura 2. Percentual dos diferentes tipos de sementes disponibilizadas pelas empresas produtoras nas últimas nove safras de milho. Fonte: Camargo (2018).

As cultivares Single RR (somente contendo Roundup Ready), tem crescido nos últimos anos, em razão da praticidade de uso e

do manejo da resistência de lagarta ao milho Bt, usando o Single RR como refúgio em áreas de milho Bt.

O surgimento de lagartas resistentes a alguns eventos Bt obrigaram os produtores de sementes a adotar práticas de manejo, afim de preservar as tecnologias, tais como refúgio. O mercado dispõe de alguns eventos que possuem uma eficiência satisfatória. A safra 2017/18, dispõe de cultivares somente com evento *RR2*, tem como finalidade principal o plantio como áreas de refúgio.

Os eventos transgênicos single ou estaqueados *VT Pro*, *VT Pro2* e *VT Pro3*, *PowerCore*, *Yieldgard*, *TL*, *Herculex*, *Agrisure Viptera*, *Vip3*, *Intrasect*, *Leptra*, *Optimum*, representam 78,3% das cultivares que farão parte do mercado de milho para esta safra.

As cultivares transgênicas disponibilizadas no mercado apresentam várias tecnologias responsáveis por grande parte do controle das lagartas que atacam a cultura tanto na parte aérea quanto de solo, bem como a plantas resistentes ao glifosato e glufosinato de amônia.

Das pragas-alvo de controle dos eventos de milho Bt, *S. frugiperda* é a espécie que apresenta maior potencial para evolução da resistência. Algumas características bioecológicas dessa espécie e do sistema de produção de cultivos têm favorecido a seleção de insetos resistentes, tais como: a) grande capacidade reprodutiva; b) gerações contínuas e sobrepostas no decorrer do ano; c) disponibilidade constante de hospedeiros cultivados; d) elevada densidade populacional da praga; e) ocorrência de severas infestações em qualquer estágio fenológico e época de cultivo do milho; f) cultivo intensivo de milho Bt em duas safras

anuais; g) baixa adoção de áreas de refúgio e de outras táticas de MIP e a h) presença de resistência cruzada entre proteínas Bt expressas em milho. Em conjunto, esses fatores aumentam consideravelmente o risco de evolução da resistência e, em curto prazo, pode comprometer a eficácia de todos os eventos de milho Bt comercialmente cultivados.

No Brasil, a evolução da resistência de *S. frugiperda* a eventos de milho Bt foi reportada para as proteínas Cry1F e Cry1Ab. O cultivo intensivo de milho foi um dos principais fatores que contribuiu para a evolução da resistência de *S. frugiperda* a eventos de milho Bt que expressam as proteínas Cry1F e Cry1Ab (Farias et al., 2014; Omoto et al., 2016). Diante disso, o estabelecimento e uso efetivo de estratégias de MRI é essencial para reduzir a pressão de seleção, em favor dos insetos resistentes, prolongar a vida útil e a eficiência dos eventos de milho Bt para o controle de pragas.

A introdução dos transgênicos acarretou mudanças na base genética dos híbridos cultivados, com a maior comercialização de híbridos simples, com maior potencial genético, para produção, do que os triplos e duplos. As empresas produtoras investiram em melhoria de processos e manejo no campo de produção de semente. A melhoria também ocorreu no beneficiamento de sementes com a adoção de maiores rigores nos processos de pureza genética, física, qualidade fisiológica e sanitária e no tratamento industrial de sementes com inseticidas e fungicidas.

O grande desafio da agricultura brasileira é conciliar um sistema intensivo de produção de cultivos com o uso de práticas agrícolas sustentáveis, especialmente para o manejo de pragas e ervas daninhas.

Os desafios, para as empresas nacionais no mercado de sementes de milho, são muitos pela alta competitividade do setor.

As oportunidades, para as empresas nacionais no mercado de sementes as quais não possuem eventos transgênicos próprios, são o licenciamento de híbridos com “traits”, a possibilidade de uso de “traits” de patentes vencidas “genéricas”; o alto valor agregado das sementes estaqueadas permite que se forneçam híbridos convencionais competitivos em preço ao agricultor. O surgimento de ervas daninhas resistentes ao glifosato e à lagarta *Spodoptera* resistente a alguns eventos Bt, faz com que o agricultor analise o custo – benefício da tecnologia comparativamente às cultivares convencionais antes da tomada de decisão na escolha da cultivar. O uso de inseticidas, para o controle de cigarrinha no milho, do percevejo e do pulgão, aumentou os custos de produção; atuação em nichos de mercado de baixo interesse das grandes empresas e mudanças de mercado com fusões e aquisições de empresas permitindo a entrada de empresas nacionais em revendas descontentes.

Porém, existem ameaças para as empresas nacionais no mercado como o lançamento de novos “traits” de maior eficiência e traits “ genéricos” de baixa eficiência; o sistema regulatório das patentes de “traits” vencidas; a queda no preço de commodities e a semente acompanhando o preço; o estoque elevado de sementes nas empresas diminuindo o preço no mercado das cultivares transgênicas; novas empresas multinacionais participando do mercado e acirrando a concorrência; o maior custo de produção de sementes pela ocorrência de enfezamento nas regiões produtoras; o sistema integrado venda de semente – defensivos – barter; a elevada rotatividade da equipe de venda; e os elevados investimentos em tecnologia de produção de

semente para atender o mercado cada vez mais exigente; produtor capitalizado tende a reduzir a dependência ao financiamento via revendas; gigantismo das multinacionais com as novas fusões, oferecendo pacotes de fertilizantes, defensivos e sementes; as grandes empresas com bons profissionais e boas revendas; multinacionais visando crescimento de “market share” via redução de preços e lançamentos de novos “traits” aumentando os custos de produção e o valor dos royalties.

As empresas nacionais possuem pontos fortes como flexibilidade de negociação; empresas regionais no atendimento de agricultores com produto competitivos e de baixo preço e produtores identificados com empresas regionais. Porém os pontos fracos para algumas empresas nacionais são dificuldade de licenciamento de “traits” e híbridos com traits; dificuldade de acesso às melhores revendas e distribuidores; representantes técnicos de venda qualificados; mercado de semente convencional pulverizado; maior heterogeneidade nas empresas nacionais com diferentes modelos de atuação: a) empresas públicas e privadas licenciadoras de germoplasma; b) empresas com programa de melhoramento; produção e comercialização; c) empresas somente com programa de melhoramento; contratos de cooperação tecnológica e comercial complexo e inflexível e altos valores dos royalties definidos pelas detentoras da tecnologia com negociação unilateral.

Desafios para as empresas nacionais no melhoramento genético do milho

Melhoramento do milho

Os avanços na produtividade na cultura do milho, foram inegáveis, nestes últimos 110 anos com os trabalhos iniciados por Shull (1909), propondo o sistema de endogamia-hibridação, a base da utilização do milho híbrido no Brasil e no mundo.

Inicialmente a utilização de híbridos pela síntese com linhagens deficientes em uma série de características agrônômicas, como baixa produtividade, quebramento e acamamento, podridão de espigas, baixa germinação de sementes, desestimularam o seu uso (Baker, 1984).

Jones (1918) viabilizou o uso do milho híbrido com a utilização do híbrido duplo, assim, a expansão do uso de sementes híbridas foi rápida, despertando interesses dos agricultores.

No Brasil, por volta de 1915, houve nova introdução de milhos dentados americanos, efetuados pelo fundador e diretor da Escola Agrícola de Lavras, Benjamin Hunnicut. Em visita aos Estados Unidos, ficou impressionado com o comprimento das espigas expostas nas feiras agrícolas, e tomou a iniciativa de trazer amostras para o Brasil. Tais milhos passaram a ser cultivados, e, naturalmente, cruzaram com o cateto, resultando em inúmeras variedades (Udry; Duarte, 2000). Posteriormente, em 1924, o Dr. Hunnicut publicou o livro *O Milho: Sua Cultura e Aproveitamento no Brasil*. Foi o primeiro trabalho impresso necessário para o início de alguns programas de melhoramento de milho no Brasil.

Em 1932, no Instituto Agronômico de Campinas (IAC) foi iniciado o primeiro programa de melhoramento de milho no Brasil de autofecundações de variedades locais. Os trabalhos de melhoramento com milho híbrido ocorreram simultaneamente no Instituto Agronômico de Campinas IAC, no estado de São Paulo, e na Universidade Federal de Viçosa - UFV, em Minas Gerais. O então diretor do IAC, Carlos Arnaldo Krugg, esteve nos Estados Unidos, fazendo seu Ph.D. e sua tese versou sobre a heterose ou vigor de híbrido no milho. Assim que retornou ao Brasil, deu início aos trabalhos para desenvolvimento do milho híbrido.

Milho híbrido

O pesquisador Glauco Pinto Viegas, em 1932, chefe da seção de cereais, liderou esse programa durante muitos anos, assumindo, posteriormente, o cargo de diretor do IAC e a Secretaria da Agricultura de São Paulo. Inicialmente, foram conduzidos trabalhos procurando a obtenção de linhagens de milho cateto, uma vez que era o mais popular entre os agricultores.

Na Escola de Agricultura de Viçosa, o professor Gladstone de Almeida Drummond - que trabalhava com estatística e o professor Antônio Secundino de São José Araújo - mais envolvido com genética, tomaram conhecimento do milho híbrido nos Estados Unidos e resolveram iniciar um programa de produção de milho híbrido no Brasil, em 1935. O programa de milho híbrido, iniciado em Viçosa, deu origem à empresa Agroceres, fundada pelos dois pesquisadores, em 1945, considerada a primeira empresa de sementes híbridas de milho do Brasil.

Em 1939, foi lançado o primeiro híbrido duplo de milho obtido pelo IAC, com produtividade, em média, 50% superior à das variedades locais. Os primeiros híbridos, apenas com linhagens cateto de grãos duros e alaranjados, não eram muito produtivos, embora fossem bem mais produtivos do que o milho cateto.

Ernesto Paterniani, na década de 1950, desenvolveu o banco de germoplasma de milho na Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – ESALQ/USP; o sucesso no melhoramento de milho se deve à grande diversidade genética da espécie. O banco de germoplasma foi utilizado por vários pesquisadores e instituições públicas e privadas, para obtenção de híbridos e para os programas de melhoramento. Posteriormente, na década de 1960, desenvolveu estudos utilizando seleção recorrente populacional (Paterniani, 1990).

O milho híbrido é dentre todas as tecnologias agrícolas hoje, empregadas no cultivo, a que mais se desenvolveu nos últimos tempos. A partir da década de 90, com os avanços da genética molecular e o uso de marcadores moleculares, a biotecnologia impactou a produção de milho no Brasil, estabeleceu um novo conceito de milho híbrido, com os avanços tecnológicos, além do potencial genético visando à produtividade, e à associação da genética com a biotecnologia.

O melhoramento do milho incorporou outras áreas do conhecimento. Graças aos avanços genéticos, biotecnológicos e da informática, temos cultivares mais produtivas, responsivas e estáveis, melhor resistência às pragas e doenças e tolerância a herbicidas para o controle eficiente de plantas daninhas.

Antes da década de 1930, nos Estados Unidos, a base genética do milho era o uso de variedades de polinização aberta, com a obtenção de híbridos duplos, e suas linhagens mais produtivas viabilizam a produção de sementes. Em 1930, o milho híbrido ocupava 75% da área plantada nos Estados Unidos. Na década de 50, a produção anual era de 76 milhões de toneladas de grãos, em 1960, a produtividade média de grãos chegava a 3.000 kg. ha⁻¹ e evoluiu para 10,0 ton. ha⁻¹, em 2005 (Troyer, 2006). Vários trabalhos demonstram o progresso genético com a utilização do milho híbrido nos Estados Unidos e Brasil (Vencovsky et al., 1986; Duvick, 1994; Araújo, 1995; Fernandes; Franzon, 1997; Storck et al., 2005; Troyer, 2006; Oliveira, 2013) (**Figura 3**).

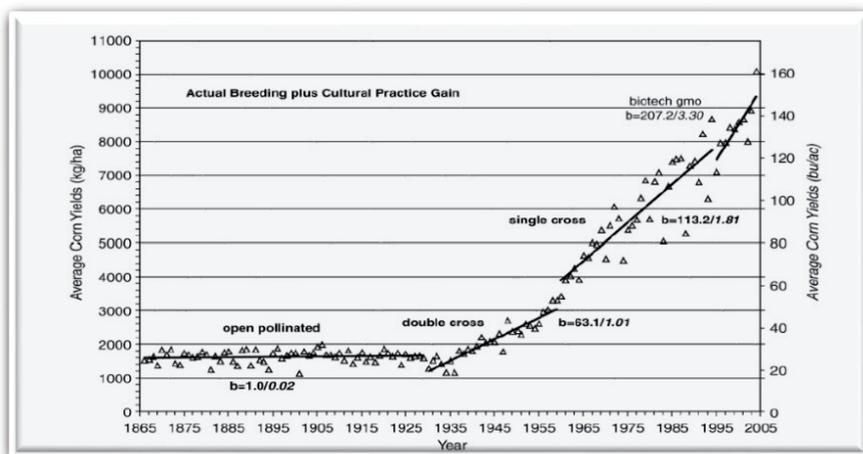


Figura 3. Produtividade média de grãos de milho e dos diferentes tipos de híbridos de milho nos Estados Unidos, no período de 1865 a 2005. Fonte: Troyer (2006).

Na safra 2017/2018, a produção americana foi de 383 milhões de toneladas, com uma produtividade de 10.700 kg ha⁻¹ (United States, 2018).

Na **Figura 4**, está apresentada a evolução da produtividade de grãos de milho no Brasil a partir de 1976. Essa evolução ocorreu em virtude da substituição de híbridos duplos, predominante na década de 1970, por híbridos triplos nas décadas de 1980 e 1990 e posteriormente, a partir da década de 2000, por híbridos simples e transgênicos. Observa-se uma evolução da produtividade, em 2000, de 54 sacos de grãos por hectare para 93 sacos por hectare em 2016. Este incremento em produtividade no Brasil, comparado num mesmo período aos Estados Unidos, é superior. Este incremento denota o sucesso dos programas de melhoramentos públicos e privados e a evolução tecnológica do agricultor, com maior investimento em tecnologia de produção.

As técnicas de melhoramento molecular, por meio da seleção genômica (identificação de QTLs, seleção assistida por marcadores moleculares e fingerprints) permitem uma análise do genoma e auxílio na seleção de indivíduos e populações com ganhos em precisão e tempo.

A transgenia (Céleres, 2015) e uso de duplo haploides (Battistelli et al., 2013) têm sido incorporados ao melhoramento do milho, aliadas às novas técnicas de análise de dados e tecnologias de informação. O uso conjunto dessas técnicas contribuirá para a contínua evolução da produtividade do milho.

A evolução em máquinas, equipamentos de plantio e colheita, informatização na coleta e análise de dados, melhoraram a qualidade de experimentação, diminuição do erro experimental

e maior precisão na estimativa da variância genética. Novas abordagens estatísticas permitiram melhorar as estimativas de seleção, predição e recomendação de cultivares (Ferreira et al., 2010; Crossa et al., 2011; Balestre et al., 2012; Josse et al., 2014; Figueiredo et al., 2015; Bernardo Júnior, 2016; Cantelmo et al., 2016; Santos et al., 2016).

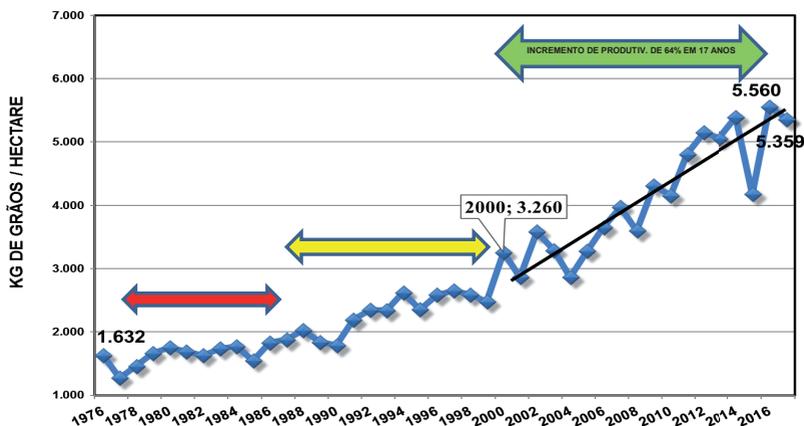


Figura 4. Produtividade média de grãos de milho no Brasil, no período de 1976 a 2017. Fonte: Conab (2016, 2018).

Conhecendo as necessidades do agricultor

O milho é cultivado no Brasil em duas estações distintas: na primeira safra (safra verão) de setembro a meados de dezembro e, na segunda safra ou milho “safrinha”, nos meses de fevereiro e março.

O milho de segunda safra tornou-se a principal desde a safra 2011/2012, uma produção de 39,1 milhões de toneladas e 33,8 milhões produzidos na primeira safra (Conab, 2018), porém sujeito a uma série de fatores adversos como estresses abióticos e bióticos, variando de acordo com a região edafoclimática. O plantio do milho, nesta época, está sujeito a riscos climáticos que

os agricultores necessitam minimizar, como o plantio na janela recomendada, de acordo com o zoneamento agrícola.

Os estresses abióticos têm sido a falta de precipitação, especialmente, no período crítico da cultura, por ocasião do florescimento, reduzindo a produtividade com a má granação, enchimento de grãos e absorção deficiente de nutrientes pela planta (Schuelter, 2009; Silva et al., 2015).

Os estresses bióticos causados por doenças e pragas, ocasionam danos econômicos e os programas de melhoramento se preocupam em lançar cultivares produtivas e tolerantes às doenças, reduzindo o risco de frustração de Os agricultores escolhem as cultivares de acordo com sua região edafoclimática. As características requeridas da cultivar na segunda safra são distintas para cada região de plantio. Na região do Sudoeste do Paraná e Mato Grosso do Sul, características como sanidade de grãos e precocidade são mais importantes e, para os agricultores da região Médio Norte, as principais características são estabilidade produtiva, tolerância à seca e tombamento.

As características importantes no milho verão (primeira época) são diferentes no milho semeado na segunda safra. Os desafios das empresas produtoras de semente são vários e distintos para a primeira e segunda época. A presença de interação significativa do híbrido com o ambiente exigem programas de melhoramento para diferentes regiões e épocas de plantio (Figueiredo et al., 2015).

Os novos lançamentos de cultivares enfatizam características como produtividade e estabilidade de produção, tolerância a tombamento, doenças e pragas e precocidade. O percentual

de híbridos superprecoce ou precoce no florescimento e perda rápida de umidade dos grãos para a colheita antecipada “dry down”, na segunda safra, são em maior número (**Tabela 1**). Nos últimos anos a produtividade média do milho na segunda safra tem sido maior que no milho verão, em consequência do maior nível tecnológico dos agricultores, manejo adequado e adoção de boas práticas agrícolas e das cultivares mais adaptadas ao sistema de produção (Pereira et al., 2009).

Os novos lançamentos das cultivares com as características de porte baixo e alta resistência a tombamento permitiu a adoção de espaçamento reduzido, maior densidade de plantas por área, e melhor distribuição espacial das plantas. Conjuntamente, as cultivares tolerantes ao glifosato, permitiram o rápido sombreamento das ervas daninhas, o menor mato competição e o melhor manejo da lavoura, de modo geral, contribuíram para o aumento da produtividade.

O valor da semente impacta consideravelmente no custo de produção, portanto, a escolha correta do cultivar deve merecer toda a atenção do produtor que pretende ser bem-sucedido em seu empreendimento.

As oportunidades, para as empresas nacionais no melhoramento, são o aumento da demanda por híbridos convencionais; o licenciamento de “traits”, sendo que este acesso é fundamental para viabilizar os programas de melhoramento de empresas nacionais e redução de custos de genotipagem permitindo investimento em novas ferramentas de biotecnologia (edição de genes).

Porém, existem desafios, para as empresas nacionais no melhoramento: o domínio do uso da técnica de duplo haploide que permite agilidade na obtenção de linhas puras quando comparado ao método convencional; a manutenção da área de desenvolvimento de produto estruturada para melhor regionalização dos híbridos; a redução na rotatividade de equipe de desenvolvimento de produtos; a necessidade de elevados, máquinas e equipamentos; o aumento do volume de experimentação, sem perda na qualidade, a necessidade de compartilhamento das informações e o modelo gerencial nas empresas nacionais, focada na experiência do melhorista, são fatores que no futuro, serão importante para o crescimento dessas empresas; dificuldade de acesso aos bancos de germoplasma públicos; redução de recursos em empresas públicas de pesquisa nacionais e internacionais e lançamento de novos “traits” de difícil acesso e de conversão mais complexa.

As empresas nacionais possuem pontos fortes no melhoramento como: tomada de decisão verticalizado versus sistema matricial nas multinacionais; agilidade na tomada de decisão e baixa relação custo x benefício e equipes de pesquisa menores, experientes e menos “departamentalizadas” permitindo maior integração interna e visão geral de negócio. Todavia os pontos fracos são transgenia; uso de marcadores moleculares para manuseio de genes nativos e traits; uso de macho esterilidade gametofítica; intercâmbio de informações e acesso a novas fontes de germoplasma; desenvolvimento de produto para maior regionalização do portfólio em contraste com modelo para híbrido com ampla adaptação; atrativos a novos colaboradores (melhorista e assistentes de pesquisas) e mão de obra qualificada; despesas de custeio e investimento em pesquisa com base em fluxo de caixa versus investimento e custeio com base em

orçamento e limitação de recursos pelas empresas nacionais, limitando o tamanho dos programas e número de unidades experimentais.

Desafios das empresas nacionais da qualidade de sementes

A tecnologia de produção de sementes, nos últimos anos, tem evoluído rapidamente em função de exigência do agricultor por sementes de alta qualidade física, sanitária, genética e fisiológica para sustentabilidade do sistema de produção e para a exploração máxima do potencial genético das cultivares.

Nas últimas décadas, houve um aumento considerável nos investimentos realizados pelas empresas para a melhoria do sistema de produção de sementes com a implementação de tecnologias nas diferentes etapas do processo de produção, beneficiamento, armazenamento, análise de sementes e certificação de pureza genética.

O manejo da produção de sementes é decorrente do desenvolvimento de tecnologia de campo para atender o sistema de produção. Possibilitou a mecanização do despendoamento, colheita, a macho esterilidade e outros tratamentos culturais, com uma ampla gama de defensivos agrícolas para o manejo de pragas e ervas daninhas.

Nas unidades de beneficiamento de sementes, investimento em equipamentos de recepção, secagem, despálhe, debulha, classificação, tratamento, ensaque e armazenamento têm-se preservado a qualidade da semente oriunda dos campos de produção.

Trabalhos desenvolvidos nestas áreas por instituições privadas e públicas, têm contribuído para a melhoria do sistema de produção de sementes de milho, assim como as empresas produtoras de semente que envolvem profissionais na pesquisa de produção e na tecnologia de sementes (Von Pinho et al., 1996a; Von Pinho et al., 1996b; Von Pinho et al., 1997; Silva et al., 1999, 2008; Rosa et al., 2000; Couto et al., 2015; Abreu et al., 2016).

Os padrões de qualidade, estabelecidos pelo Governo Federal e Estadual, exigem laboratórios de análise de sementes para a qualidade fisiológica, física, sanitária e testes conduzidos com uso de isoenzimas e marcadores moleculares para garantir a pureza genética.

A oferta de semente de qualidade são fatores importantes para garantir a maior produtividade e atendimento das exigências do agricultor.

Considerações finais

Instituições públicas e privadas são fundamentais para o progresso genético dos diferentes caracteres agrônômicos do milho e na tecnologia de produção de sementes. O germoplasma será a grande restrição às novas empresas no mercado brasileiro de sementes.

O uso conjunto de métodos clássicos e biotecnológicos com a criação de novas variantes é fundamental para o aumento da produtividade. Os transgênicos estimularam mudanças e melhorias, nos processos de produção de sementes, que acarretam, indiretamente, o aumento de produtividade de

grãos, mas os híbridos convencionais têm papel fundamental na sustentabilidade do sistema de produção.

O aumento da competitividade do setor e o valor do mercado de sementes acarretarão maiores demandas por recursos financeiros para pesquisa e desenvolvimento de cultivares.

Referências

ABREU, V. M.; SILVA NETA, I. C.; VON PINHO, E. V. R.; NAVES, G. M. F.; GUIMARÃES, R. M.; SANTOS, H. O.; VON PINHO, R. G. Heat-resistant protein expression during germination of maize seeds under water stress. **Genetics and Molecular Research**, Ribeirão Preto, v. 15, n. 3, p. 1-9, 2016.

ARAÚJO, J. S. **Ganhos genéticos obtidos em híbridos e variedades de milho representativos de três décadas de melhoramento no Brasil**. 1995. 64 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1995.

BAKER, W. E. The social structure of a national securities market. **American Journal of Sociology**, Chicago, v. 89, n. 4, p. 775-811, 1984.

BALESTRE, M.; VON PINHO, R. G.; SOUZA JÚNIOR, C. L.; BUENO FILHO, J. S. Bayesian mapping of multiple traits in maize: the importance of pleiotropic effects in studying the inheritance of quantitative traits. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 125, n. 3, p. 479-493, 2012.

BARBOSA, D. B. Uma introdução à propriedade intelectual: teoria de concorrência, patentes e signos distintivos. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro: Lumen Juris, 1997.

BATTISTELLI, G. M.; VON PINHO, R. G.; JUSTUS, A.; COUTO, E. G. O.; BALESTRE, M. Production and identification of doubled haploids in tropical maize. **Genetics and Molecular Research**, Ribeirão Preto, v. 12, n. 4, p. 4230-4242, 2013.

BERNARDO JÚNIOR, L. A. Y. Estabilidade e adaptabilidade de híbridos de milho utilizando a abordagem AMMI-Bayesiano. 2016. 84 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2016.

BRASIL. Lei nº 10.771, de 5 de agosto de 2003. Dispõe sobre o Sistema Nacional de Sementes e Mudas e dá outras providências. Brasília, DF, 2003. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/2003/L10.711.htm>. Acesso em: 23 jun. 2018.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasília, DF, 2015. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/>> Acesso em: 13 jul. 2016.

CAMARGO, C. Pesquisa de mercado de sementes de milho. Campinas: Associação Paulista dos Produtores de Sementes, 2016.

CAMARGO, C. Pesquisa de mercado de sementes de milho. Campinas: Associação Paulista dos Produtores de Sementes, 2018.

CANTELMO, N. F.; VON PINHO, R. G.; BALESTRE, M. Genomic breeding value prediction for simple maize hybrid using total effects of associated markers, under different imbalance levels and environments. **Genetic and Molecular Research**, Ribeirão Preto, v. 15, n. 1, p. 1-16, 2016.

CÉLERES. **1º Levantamento de adoção da biotecnologia agrícola no Brasil, safra 2015/16**. Uberlândia, 2015. Disponível em: <<http://www.celeres.com.br/1o-levantamento-de-adocao-da-biotecnologia-agricola-no-brasil-safra-201516/>>. Acesso em: 23 ago. 2016.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Safras**: séries históricas. Brasília, DF, 2016. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&>>. Acesso em: 12 jun. 2016.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Conjuntura mensal**: sorgo - 2018. Brasília, DF, 2018. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 23 jun. 2018.

COUTO, E. G. O.; VON PINHO, E. V. R.; VON PINHO, R. G.; VEIGA, A. D.; BUSTAMANTE, F. O.; DIAS, K. O. G. *In vivo* haploid induction and efficiency of two chromosome duplication protocols in tropical maize. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 39, n. 5, p. 435-442, 2015.

CROSSA, J.; PEREZ-ELIZALDE, S.; JARQUIN, D.; COTES, J. M.; VIELE, K.; LIU, G.; CORNELIUS, P. L. Bayesian estimation of the additive main effects and multiplicative interaction model. **Crop Science**, Madison, v. 51, n. 4, p. 1458-1469, July 2011.

CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A.; BORGHI, E.; SIMÃO, E. P. **Quatrocentas e setenta e sete cultivares de milho estão disponíveis no mercado de sementes do Brasil para a safra 2015/16**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2015. 28 p.

DUVICK, D. N. Maize breeding: past, present and future. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 20., 1994, Goiânia. **Centro-Oeste**; cinturão do milho e sorgo no Brasil: resumos. Goiânia: EMGOPA; Sete Lagoas: ABMS: Embrapa-CNPMS, 1994.

FARIAS, J. R.; ANDOW, D. A.; HORIKOSHI, R. J.; SORGATTO, R. J.; FRESIA, P.; SANTOS, A. C.; OMOTO, C. Field-evolved resistance to Cry1F maize by *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in Brazil. **Crop Protection**, Guildford, v. 64, p. 150-158, 2014.

FERNANDES, J. S. C.; FRANZON, J. F. Third years of genetic progress in maize (*Zea mays* L.) in a tropical environment. **Maydica**, Bergamo, v. 42, n. 1, p. 21-27, 1997.

FERREIRA, D. V.; VON PINHO, R. G.; BALESTRE, M.; OLIVEIRA, R. L. Prediction of maize hybrid performance using similarity in state and similarity by descent information. **Genetic and Molecular Research**, Ribeirão Preto, v. 9, n. 4, p. 2381-2394, 2010.

FIGUEIREDO, A. G.; VON PINHO, R. G.; SILVA, H. D.; BALESTRE, M. Application of mixed models for evaluating stability and adaptability of maize using unbalanced data. **Euphytica**, Wageningen, v. 202, n. 3, p. 393-409, 2015.

JONES, D. F. **The effects of inbreeding and crossbreeding upon development**. New Haven: Connecticut Agricultural Experiment Station, 1918. (Bulletin, 207).

JOSSE, J.; EEUWIJK, F. V.; PIEPHO, H. P.; DENIS, J. B. Another look at Bayesian analysis of AMMI models for genotype-environment data. **Journal of Agricultural, Biological and Environmental Statistics**, Alexandria, v. 19, n. 2, p. 240-257, 2014.

OMOTO, C.; BERNARDI, O.; SALMERON, E.; SORGATTO, R. J.; DOURADO, P. M.; CRIVELLARI, A.; CARVALHO, R. A.; WILLSE, A.; MARTINELLI, S.; HEAD, G. P. Field-evolved resistance to *Cry1Ab* maize *Spodoptera frugiperda* in Brazil. **Pest Management Science**, Sussex, v. 72, n. 9, p. 1727-1736, 2016.

OLIVEIRA, M. **A evolução da produtividade no Cerrado**. Santa Cruz do Sul: Pioneer Sementes, 2013. Disponível em: <<http://www.pioneersementes.com.br/media-center/artigos/160/a-evolucao-da-produtividade-no-cerrado>>. Acesso em: 26 maio 2016.

PATERNIANI, E. Maize breeding in the tropics. **Critical Reviews in Plant Science**, Boca Raton, v. 9, n. 2, p. 125-154, 1990.

PEREIRA, J. L. A. R.; VON PINHO, R. G.; BORGES, I. D.; PEREIRA, A. M. A. R.; LIMA, T. G. Cultivares, doses de fertilizantes e densidades de semeadura no cultivo de milho safrinha. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 3, p. 676-683, 2009.

PEREIRA FILHO, I. A.; BORGHI, E. **Mercado de sementes de milho no Brasil: safra 2016/2017**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2016. 28 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos, 202).

ROSA, S. D. V. F.; VON PINHO, E. V. R.; VIEIRA, M. G. G. C.; SANTOS, C. D.; VEIGA, R. D. Qualidade fisiológica e atividade enzimática em sementes de milho submetidas à secagem artificial. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, DF, v. 22, n. 1, p. 177-184, 2000.

SANTOS, J. P. R.; PIRES, L. P. M.; VASCONCELOS, R. C. C.; PEREIRA, G. S.; VON PINHO, R. G.; BALESTRE, M. **BMC Genetics**, v. 17, p. 1-10, 2016.

SCHUELTER, A. R. Precocidade na safrinha: o mito e a realidade. Santa Cruz do Sul: Pioneer Sementes, 2009. Disponível em: <<http://www.pioneersementes.com.br/media-center/artigos/95/precocidade-na-safrinha-o-mito-e-a-realidade>>. Acesso em: 4 jul. 2016.

SHI, G.; CHAVAS, J. P.; LAUER, J. Commercialized transgenic traits, maize productivity and yield risk. **Nature Biotechnology**, New York, v. 31, n. 2, p. 111-114, 2013.

SHULL, G. H. **A pure-line method in corn breeding**. Cold Spring Harbor: American Breeders Association, 1909. p. 51-59.

SILVA, E. A. A.; VON PINHO, E. V. R.; VIEIRA, M. G. G. C.; MACHADO, J. C.; CARVALHO, M. L. M. Padrões eletroforéticos de proteínas tipo Zeina em sementes de milho inoculadas com *Aspergillus flavus*, *Fusarium moniliforme* e *Penicillium spp.* **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, DF, v. 21, n. 1, p. 258-263, 1999.

SILVA, A. G.; DUARTE, A. P.; PIEDADE, R. C.; COSTA, H. P.; MEIRELES, K. G. C.; BORGES, L. P. Inoculação de sementes de milho safrinha com *Azospirillum* e aplicação de nitrogênio em cobertura. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 14, n. 3, p. 358-370, 2015.

SILVA, N. O.; RAMALHO, M. A. P.; BRUZI, A. T.; VON PINHO, E. V. R. Genetic control of traits associated with maize seed quality. **Maydica**, Bergamo, v. 53, p. 55-62, 2008.

STORCK, L.; BISOGNIN, D. A.; CARGNELUTTI FILHO, A. Ganho genético decorrente da substituição anual de cultivares de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 40, n. 9, p. 881-886, 2005.

TROYER, A. F. Adaptedness and heterosis in corn and mule hybrids. **Crop Science**, Madison, v. 46, n. 2, p. 528-543, 2006.

UDRY, C. V.; DUARTE, W. (Org.). **Uma história brasileira do milho: o valor dos recursos genéticos**. Brasília, DF: Paralelo 15, 2000.

UNITED STATES. Department of Agriculture. **Word agricultural supply and demand estimates**. Washington, 2018. Disponível em: <<https://www.usda.gov/oce/commodity/wasde/>>. Acesso em: 12 maio 2018.

VENCOVSKY, R.; MORAIS, A. R.; GARCIA, J. C.; TEIXEIRA, N. M. Progresso genético em vinte anos de melhoramento de milho no Brasil. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 16., 1986, Belo Horizonte. **Anais**. Sete Lagoas: Embrapa-CNPMS, 1986. p. 300-307.

VON PINHO, E. V. R.; VON PINHO, R. G.; CÍCERO, S. M. Utilização de características morfológicas para avaliação da pureza genética em lotes de sementes híbridas de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 32, n. 9, p. 941-949, 1997.

VON PINHO, E. V. R.; VON PINHO, R. G.; CÍCERO, S. M. Consequências da autofecundação indesejável em campos de produção sobre a qualidade fisiológica de sementes híbridas de milho. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, DF, v. 18, p. 251-255, 1996a.

VON PINHO, E. V. R.; VON PINHO, R. G.; CÍCERO, S. M. Efeito da contaminação genética em campos de produção de sementes sobre o comportamento de diferentes híbridos de milho (*Zea mays L.*). **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, DF, v. 18, p. 256-261, 1996b.

Capítulo 20

Respostas Morfofisiológicas do Milho e Sorgo sob Déficit Hídrico

Thiago Corrêa de Souza

Kamila Rezende Dázio de Souza

Paulo César Magalhães

Introdução

O Brasil vem passando por problemas econômicos e de desenvolvimento industrial, e a agricultura vem segurando de certa forma a economia para que a crise não seja ainda pior (Boadle, 2017). Contudo, em decorrência das variações climáticas, impactos negativos vêm impedindo a expansão na agricultura em alguns setores. Por exemplo, os períodos de estiagens estão se tornando cada vez mais frequentes e notórios e percebe-se um estreitamento entre a relação dos vegetais cultivados com a disponibilidade hídrica. Além da disponibilidade hídrica, a temperatura (calor) associada ao estresse hídrico está contribuindo com os impactos negativos sobre a produtividade agrícola brasileira (Acompanhamento da safra brasileira [de] grãos, 2018).

A Fisiologia de Plantas Cultivadas é uma área da Agronomia/ Fitotecnia que vem contribuindo com o melhoramento genético de vários cultivos para a tolerância aos estresses abióticos.

Esta área pode trazer ferramentas importantes que auxiliam na fenotipagem e no melhoramento das plantas.

Os fatores ambientais influenciam qualquer planta cultivada. No entanto, quando esses fatores conduzem a um desvio das condições fisiológicas ótimas eles são chamados de fatores de estresse ou apenas estresse. De todos os fatores de estresse envolvidos no cultivo de cereais, a disponibilidade hídrica corresponde ao grupo dos mais importantes e que devem ser estudados (Cramer et al., 2011; Zhu, 2016).

Seleção de genótipos mais tolerantes à seca ou déficit hídrico é uma forma de melhorar a adaptação do milho e do sorgo. Assim, o uso de parâmetros fisiológicos pode aumentar a precisão na identificação de genótipos superiores nesses ambientes de estresse (Bazinger et al., 2000; Araus et al., 2011).

Entretanto, o melhoramento para adaptação a estresses abióticos é limitado pela falta de métodos adequados de fenotipagem (Araus et al., 2008). Frequentemente, as características fisiológicas para uma fenotipagem adequada diferem dependendo do tipo e nível de estresse (Araus et al., 2013). Muitos experimentos de fenotipagem baseados em características fisiológicas são realizados em condições de casa de vegetação e estufas, perdendo a relação com o ganho genético em programas de melhoramento (Souza et al., 2013a; Lopes et al., 2014; Souza, 2017). Por isso, é interessante que a fenotipagem seja realizada sob as condições mais similares àquelas do ambiente alvo, ou seja, a fenotipagem em condições de campo (Araus; Cairns, 2014; Lopes et al., 2014; Araus et al., 2018). Contudo, não podem ser desvalorizados os experimentos de casa de vegetação, pois de certa forma podem

fornecer análises preliminares na busca de genótipos e contribuir com o entendimento dos mecanismos de tolerância.

Esses parâmetros ou características fisiológicas podem ser associados à morfologia (Brestic; Zivcak, 2013) (nesta abordagem conceituada como morfofisiologia), trazendo mais eficiência na discriminação de genótipos de milho e sorgo contrastantes ao déficit hídrico.

Outro aspecto importante a ser apontado que vem acelerando o processo de fenotipagem, e que será abordado nesse capítulo, é o uso de sensoriamento remoto nas respostas fisiológicas e agrônômicas de cereais. As ferramentas de sensoriamento remoto permitem a avaliação de características fisiológicas que são claramente relacionadas à produtividade das culturas e à adaptação ao estresse em termos de aquisição de recursos (radiação, água, nutrientes, etc.).

Efeitos do déficit hídrico na cultura do milho e sorgo

O déficit hídrico nada mais é do que a baixa disponibilidade de água no solo (pouca água termodinamicamente disponível para movimento). Isso acarreta, tanto no milho quanto no sorgo, perdas no fluxo contínuo de água no sistema solo-planta-atmosfera levando inicialmente ao murchamento das folhas (Souza, 2017). Sem água nas folhas várias enzimas responsáveis pela expansão foliar (extensibilidade da parede celular) são inibidas (Lu; Neumann, 1998), acarretando em folhas novas com área foliar reduzida. A diminuição da área foliar diminui a área fotossintética das plantas inicialmente um fator prejudicial, porém também diminui a perda de água pela planta (menor taxa

transpiratória por área foliar) sendo uma adaptação importante na economia de água (Larcher, 2000; Avramova et al., 2015).

Além da diminuição da área foliar, os estômatos dão uma resposta fundamental para a sobrevivência das plantas: o fechamento estomático. Esta resposta constituída pelo fechamento das células estomáticas, limita tanto a condutância de água quanto de CO₂ (trocas gasosas foliares) e, conseqüentemente, limita a fotossíntese, podendo assim diminuir a produção (Lopes et al., 2011; Souza et al., 2014; Prado et al., 2017).

Quando se relata a limitação do déficit hídrico na fotossíntese das plantas de milho e sorgo, destaca-se uma limitação “estomática” que é relacionada ao fechamento dos estômatos (diminuição da condutância estomática), e uma limitação “não estomática” como inibição ou danificação do metabolismo bioquímico (enzimas da fotossíntese) e das reações fotoquímicas (eficiência de dissipação dos fotossistemas ou quenchings). Estas limitações dependerão do período de estresse, genótipo e do tempo de exposição (Zegada-Lizarazu; Monti, 2013; Souza et al., 2013b, 2016).

Com a limitação bioquímica ou não estomática da fotossíntese em razão do déficit hídrico, o ATP e o NADPH formados na primeira etapa da fotossíntese (fotoquímica) não são consumidos e acabam se acumulando. Como a interceptação da radiação durante o dia é inevitável e os pigmentos coletores continuam recebendo radiação, pode ocorrer um excesso de energia na antena dos fotossistemas (principalmente no fotossistema II). Sob déficit hídrico, quando as clorofilas e os pigmentos fotoprotetores do fotossistema recebem grande quantidade de energia esta pode ser dissipada por meios não fotoquímicos (quenching não fotoquímico, NPQ) de dois tipos: o quenching não fotoquímico

regulado (YNPQ), ou seja, rendimento quântico de dissipação regulada de energia não fotoquímica do FSII; e o quenching não fotoquímico não regulado (YNO), nomeado de rendimento quântico de dissipação não regulada de energia não fotoquímica do FSII. O primeiro constitui na dissipação do excesso de energia pelos carotenoides e xantofilas na forma de calor e o segundo constitui de uma dissipação não regulada de energia, ou seja, a energia em excesso pode chegar para outras moléculas, como o Oxigênio, formando uma Espécie Reativa de Oxigênio (ERO) (Souza, 2017). As espécies reativas de oxigênio em pequenas quantidades são mensageiras, porém, um déficit hídrico nas folhas de milho e sorgo resulta em grandes quantidades de EROs, gerando um estresse oxidativo (Souza et al., 2014; Guo et al., 2018). Estas espécies reativas de oxigênio podem atacar as membranas lipídicas (peroxidação lipídica), DNA, proteínas e clorofila (senescência foliar) ou, ainda, este excesso de energia pode levar a uma fotoinibição (Gill; Tuteja, 2010; Souza, 2017; Guo et al., 2018).

A diminuição da produção de fotoassimilados faz com que as plantas de milho e sorgo consumam suas reservas de carboidratos (aumentam os açúcares solúveis em razão da quebra do amido) a fim de suprir a falta de energia e obter compostos osmorreguladores (Singh et al., 2015). Desta forma, as plantas, sem energia, diminuem seu crescimento e a síntese de proteínas importantes para seu metabolismo, como as enzimas. O déficit hídrico também induz uma diminuição de nutrientes nas plantas por causa da falta de absorção destes ou ainda pela inativação de transportadores proteicos e enzimas ligadas ao processo de assimilação (Lopes et al., 2011; Silva et al., 2011).

O efeito mais aparente da seca nos vasos de xilema das plantas é a diminuição da condutância hidráulica que ocorre tanto pela falta de água disponível como pela baixa atividade/expressão das aquaporinas (proteínas responsáveis pelo transporte de água para dentro das raízes). Sem a água no xilema (traqueídeos e elementos de vasos) podem formar bolhas de ar (embolismo) ou ainda interrupção do fluxo (cavitação) pelo estiramento (quebra) da coluna d'água (Kaldenhoff, 2008; Li et al., 2009; Vadez, 2014).

O efeito da falta de água na produção de grãos é particularmente importante em três estádios de desenvolvimento da planta de milho: a) iniciação floral e desenvolvimento da inflorescência, quando o número potencial de grãos é determinado; b) período de fertilização, quando o potencial de produção é fixado; nesta fase, a presença da água também é importante para evitar a desidratação do grão de pólen e garantir o desenvolvimento e a penetração do tubo polínico; c) enchimento de grãos, quando ocorre o aumento na deposição de matéria seca, o qual está intimamente relacionado à fotossíntese, desde que o estresse resulte na menor produção de carboidratos, o que implicaria em menor volume de matéria seca nos grãos (Magalhães et al., 2009; Souza et al., 2013a).

O sorgo requer menor quantidade de água para se desenvolver quando comparado com outros cereais, sendo o estágio de florescimento o mais crítico para ocorrência do déficit hídrico (Magalhães et al., 2014).

Tanto na cultura do milho quanto na do sorgo, o rendimento de grãos parece estar muito mais ligado à força do dreno do que à fonte. Assim, índices que consideram a partição de fotoassimilados tornam-se mais importantes no estudo de seca

(Long et al., 2006; Araus et al., 2008; Lopes et al., 2011; Mutava et al., 2011).

Fenotipagem para a tolerância ao déficit hídrico

O cenário climático futuro prevê mudanças dramáticas nas condições ambientais das culturas do milho e sorgo no Brasil e no mundo, principalmente na frequência e severidade de déficits hídricos (Stocker et al., 2013; Acompanhamento da safra brasileira [de] grãos, 2018). Neste contexto, a melhoria dessas culturas tem um papel fundamental na adaptação às alterações climáticas e a fenotipagem acaba ganhando presença nesse cenário.

A fenotipagem de plantas é definida como a aplicação de metodologias e protocolos para medir uma característica específica relacionada à estrutura (morfologia) e função da planta (fisiologia), indo desde níveis celulares até a planta inteira ou em nível de dossel (Ghanem et al., 2015). De acordo com Dhondt et al. (2013), a fenotipagem, oriunda da palavra *fenótipo*, é o ato de determinar os valores qualitativos ou quantitativos das características em estudo e relacioná-las ao desempenho de um genótipo em determinado ambiente. A fenotipagem é um ponto crítico na melhoria das culturas (Araus; Cairns, 2014), por causa da escolha dos critérios de seleção adequados e na sua medição como a qualidade e capacidade (“elevada precisão”; High-throughput) das metodologias utilizadas para a medição (Araus et al., 2008; Cabrera-Bosquet et al., 2012; Masuka et al., 2012) sem esquecer o processamento subsequente da informação (Deery et al., 2014).

As técnicas de fenotipagem tradicionais são baseadas, na maioria das vezes, no peso e no tamanho das plantas e de seus

órgãos. Estas medidas são fáceis de realizar, porém demandam tempo e recursos humanos. Hoje, a maioria dos programas de fenotipagem trabalham com características mais complexas e com número de indivíduos elevado, o que dificulta a adoção dessas técnicas tradicionais (Sousa et al., 2017). Por causa dos estudos acelerados de genômica, estas técnicas de fenotipagem tendem a ficar para trás e darem espaços para técnicas de fenotipagem mais modernas (Araus; Cairns, 2014).

Estas técnicas modernas abrangem uma análise de larga escala e de alta precisão e são conhecidas em inglês como high-throughput phenotyping (HTP). Existem grandes programas de fenotipagem associados ao melhoramento genético e a tolerância a estresses abióticos que utilizam suportes fixos e móveis que permitem a associação a sensores ou câmaras. Essas estruturas são chamadas de plataformas de fenotipagem, em inglês high-throughput phenotyping platform (HTPP). Plataformas de fenotipagem no campo são baseadas no uso de duas categorias de ferramentas: (1) aquelas com base em medições diretas no campo, usando diferentes técnicas de detecção remota (sensoriamento remoto) e (2) análises laboratoriais envolvendo certos componentes, tais como a utilização de isótopos estáveis, parâmetros de qualidade de grãos, bioquímica, morfologia e anatomia vegetal (Araus; Cairns, 2014).

Fotossíntese, composição isotópica, fluorescência da clorofila *a* na fenotipagem de milho e sorgo para a tolerância ao déficit hídrico

As relações entre o crescimento, o desempenho fotossintético foliar, fluorescência da clorofila e os parâmetros de produtividade são citados no contexto de aplicações práticas para potenciais programas de fenotipagem, que buscam identificar melhor desempenho da planta sob déficit hídrico (Brestic; Zivcak, 2013). A fotossíntese e a fluorescência vêm sendo abordadas como características positivas na fenotipagem à seca para o milho e sorgo (Magalhães et al., 2009; Souza et al., 2013b; Ogbaga et al., 2014; Guo et al., 2018).

A avaliação das trocas gasosas foliares é uma análise física das trocas de gás (água e dióxido de carbono) na folha através de Analisadores de Gás por Infravermelho (IRGA). Estes fornecem alguns parâmetros envolvendo a taxa fotossintética, condutância estomática, transpiração, concentração intercelular de CO₂ dentre outros. Essas avaliações utilizam equipamentos de custos elevados, contudo para o déficit hídrico a utilização de Porômetros tem tido bons resultados inclusive para o milho (Araus et al., 2012). Estes são equipamentos mais simples, de baixo custo e medem a transpiração foliar/condutância estomática. Essas características são importantes porque fornecem inferências sobre o status hídrico da planta (estômatos abertos, maior condutância) (Araus et al., 2012).

Existem trabalhos com milho e sorgo evidenciando duas abordagens para a tolerância ao déficit hídrico e trocas gasosas, ou seja, manter seu status hídrico: a primeira é que genótipos tolerantes tendem a ter maior eficiência do uso da água (WUE) que

é a relação entre carbono assimilado e água perdida (Fotossíntese/Condutância estomática). Dessa forma, os genótipos que fecham seus estômatos (até certo ponto) seriam os mais adaptados ao déficit hídrico por não perder (economizar) água (Narayanan et al., 2013). Contudo, em uma segunda abordagem podemos destacar é que a tolerância ao déficit hídrico foi encontrada em milho (Carvalho et al., 2011; Souza et al., 2013a, 2013b) e sorgo (Mutava et al., 2011; Ogbaga et al., 2014) e estes genótipos apresentaram maior fotossíntese (P_n) e condutância estomática (g_s) frente ao estresse.

Assim, na literatura podemos encontrar algumas divergências ou diferentes mecanismos de tolerância em milho e sorgo envolvendo essas características fisiológicas. A primeira abordagem por genótipos mais eficientes em economizar água e assim mantém seu status hídrico (Water Use Efficiency) e a segunda por genótipos que conseguem manter seu status hídrico pelo escape do estresse (raízes mais profundas, por exemplo) e assim conseguem manter os estômatos mais abertos e maior fotossíntese, ou seja, gastam mais água (Water Use) (Blum, 2009; Avila et al., 2017). Alguns autores justificam essa segunda abordagem em milho e sorgo relatando que um maior status hídrico pode favorecer uma maior condutância estomática levando a um fluxo de CO_2 e além disso a um resfriamento da folha (dossel) pela transpiração (Jones et al., 2009; Mutava et al., 2011; Souza et al., 2013a).

Comparando milho e sorgo sob déficit hídrico tem-se evidenciado que sorgo possui maior tolerância e eficiência do uso da água (WUE). Isso pode ser explicado por conter mais expressões de genes envolvidos na presença de aquaporinas nas raízes e folhas de sorgo (Hasan et al., 2017).

A composição de isótopos de carbono ($d^{13}C$) e de oxigênio ($d^{18}O$) na matéria seca (folha e espiga) é uma ferramenta promissora que frequentemente apresenta alta herdabilidade e correlação genética com rendimento de plantas (Araus; Cairns, 2014). Assim, a composição isotópica mostra o efeito integrado do status hídrico da planta na fotossíntese durante todo o período de crescimento da cultura (é uma análise integrada) (Araus et al., 2013). Em genótipos de milho mais produtivos e tolerantes pela maior eficiência do uso da água (menor g_s) tem-se relacionado maiores valores de $d^{13}C$ (Monneveux et al., 2007; Araus et al., 2010). Existem poucos trabalhos com sorgo, porém mesmo resultado foi encontrado (Henderson et al., 1998).

A composição isotópica de oxigênio ($d^{18}O$) na matéria vegetal possui um papel importante, pois pode ajudar a separar os efeitos independentes da fotossíntese e condutância estomática presentes na $d^{13}C$. Quando analisado, o $d^{18}O$ integra as condições de evaporação durante todo o ciclo da cultura (Araus et al., 2012; Sánchez-Bragado et al., 2016).

Com relação à Fluorescência da Clorofila *a*, o valor de sua medição está na sua relação com a fotossíntese, uma vez que a luz absorvida pelas plantas que não estimulam a produção de carboidratos é dissipada como calor ou reemitida como luz na forma de fluorescência (Brestic; Zivcak, 2013). Em milho e sorgo, existem trabalhos na literatura que relacionam medições de fluorescência e respostas específicas do genótipo em razão do estresse (Souza et al., 2013b; Fracasso et al., 2016; Guo et al., 2018).

É interessante notar que um dos parâmetros de fluorescência mais utilizados seja a máxima eficiência do fotossistema (PSII)

(Fv/Fm), talvez pela sua praticidade e baixo custo do equipamento. Contudo, tem-se observado em alguns casos que Fv/Fm não vem respondendo ao estresse em condições de déficit hídrico severo (Brestic; Zivcak, 2013; Souza et al., 2013b; Yan et al., 2015).

Genótipos sensíveis ao déficit hídrico tendem a ter uma menor manutenção do status hídrico ocasionando em menores valores de dissipação fotoquímica (qP) (Kalefetoğlu; Ekmekçi, 2009; Carvalho et al., 2011; Souza et al., 2013b; Ogbaga et al., 2014). A taxa de transporte de elétrons (ETR) e a produção quântica fotoquímica efetiva adaptada à luz a FPSII também é um indicador da capacidade fotossintética, pois mede o rendimento do transporte de elétrons no PSII (Kalefetoğlu; Ekmekçi, 2009). Em milho e sorgo, genótipos tolerantes tendem a ter maior FPSII e ETR (Ding et al., 2005; O’Neill et al., 2006; Souza et al., 2013b; Ogbaga et al., 2014; Guo et al., 2018).

Como o déficit hídrico leva a um impedimento do uso de ATP e NADPH pela inibição das enzimas do ciclo de Calvin e, assim, ocorre um acúmulo de elétrons/energia nos fotossistemas, os genótipos tolerantes possuem uma adaptação na dissipação dessa energia: o quenching não fotoquímico (NPQ). O NPQ está envolvido na dissipação do excesso de energia (fótons) e na regulação do centro de reação do fotossistema II (PSII) e em plantas este pode ser um importante parâmetro para indicar mecanismos fotoprotetores (Yan et al., 2017). Essa capacidade em dissipar o excesso dos elétrons e proteger os fotossistemas fica bem evidenciada na análise da partição do NPQ. Genótipos tolerantes tendem a resultar em mais quenching não fotoquímico regulado (YNPQ), ou seja, rendimento quântico de dissipação regulada de energia não fotoquímica do FSII do que o quenching não fotoquímico não regulado (YNO). Isso acarreta em liberação

de energia para reações enzimáticas, calor e não para o oxigênio formando Espécie Reativa de oxigênio (ERO) (Reis, 2018).

Morfologia radicular e foliar na fenotipagem de milho e sorgo para a tolerância ao déficit hídrico

Parâmetros morfofisiológicos, tanto da parte aérea quanto radicular estão envolvidos na capacidade de transporte e de *conservação de água*. O enrolamento foliar do milho pode indicar adaptações para diminuir a interceptação da radiação e a área de transpiração. Esse movimento do milho de enrolar suas folhas favorece um microclima e diminui a superfície de transpiração levando a uma perda menor de água. Contudo, este enrolamento se for prolongado também pode levar a uma diminuição na captação de energia e diminuição da fotossíntese. Uma maior quantidade de células buliformes (células motoras presentes nas folhas) e o maior tamanho dessas células promovem uma maior abertura da lâmina foliar expondo uma maior área da folha de milho. Características relacionadas com o diâmetro dos vasos e a sua distribuição nas folhas (venação) (menor distância entre os feixes vasculares e menor diâmetro dos feixes) fornecem maior habilidade na translocação de fotoassimilados e maior distribuição e conservação de água nas folhas de milho e sorgo (Araus et al., 2011; Entringer, 2011; Souza et al., 2013a; Ocheltree et al., 2014; Magalhães et al., 2016).

Uma outra estratégia de conservação de água nas folhas de milho e sorgo é um aumento da espessura da epiderme e também da cutícula (Souza et al., 2013a; Magalhães et al., 2016). Esta última estrutura mostra-se modificada quimicamente em genótipos tolerantes e pode diminuir a transpiração (Assefa et al., 2010).

Plantas tolerantes de milho e sorgo podem modificar o número e o diâmetro dos vasos de xilema. Na raiz a presença de vasos de xilema em maior número e com menor diâmetro podem favorecer a *conservação de água* nas plantas. Essas características podem indicar uma maior condutividade hidráulica aumentando a capacidade de transporte de água (Li et al., 2009; Souza et al., 2016; Sutka et al., 2016). As camadas de células nas raízes conhecidas como endoderme e a exoderme podem ser medidas e uma maior espessura dessas estruturas podem indicar impedimento da saída de água dos feixes de xilema para o solo evitando a desidratação (Enstone et al., 2003; Peña-Valdivia et al., 2005; Souza et al., 2013a; Souza et al., 2016).

Em raízes de milho sob déficit hídrico, evidencia-se a ocorrência de câmaras de ar, estrutura conhecida como aerênquima. No déficit hídrico, plantas de milho mais tolerantes podem apresentar mais aerênquimas tendo a função de favorecer maior exploração do solo e aquisição de água, pois estas estruturas decrescem o custo metabólico de raízes em crescimento por causa da diminuição da presença de células em respiração (Peña-Valdivia et al., 2005; Zhu et al., 2010; Souza et al., 2013a; Vadez et al., 2014; Souza et al., 2016). Díaz et al. (2018) observaram em milho tolerante ao déficit hídrico maior quantidade de aerênquimas na zona de maturação e menor quantidade na zona pilífera da raiz. Isto permite maior condutividade hidráulica na região radicular responsável pela absorção de água e aumenta a exploração do solo pelas raízes.

Com relação à *eficiência de absorção de água*, esta pode ser medida pela caracterização radicular, pois genótipos com este mecanismo possuem raízes mais profundas e densas (principalmente raízes finas) (Hund et al., 2009; Assefa; Staggenborg, 2011; Trachsel et

al., 2011; Borrell et al., 2014; Magalhães et al., 2016; Souza et al., 2016).

Análises bioquímicas na fenotipagem de milho e sorgo para a tolerância ao déficit hídrico

O déficit hídrico do solo leva a inúmeras alterações metabólicas ou bioquímicas. Tanto no caso do milho quanto do sorgo, estudos têm sido realizados no sentido de identificar as alterações bioquímicas mais importantes que estejam relacionadas à tolerância ao déficit hídrico para serem implantadas em programas de melhoramento (Johnson et al., 2015; Yang et al., 2015; Ogbaga et al., 2017). Nesse sentido, os estudos relacionados às características bioquímicas mais relacionadas à tolerância à seca focam nos seguintes tópicos: metabolismo antioxidante, metabolismos do carbono e do nitrogênio, além da produção de compostos osmoticamente ativos (Devnarain et al., 2016; Anjum et al., 2017; Nxele et al., 2017; Ogbaga et al., 2017).

Com a redução da etapa fotoquímica em decorrência do déficit hídrico, maior quantidade de energia luminosa recebida pelos pigmentos fotossintetizantes precisa ser dissipada. Parte da energia é dissipada na forma de calor, mas pode também ser passada ao oxigênio presente nos cloroplastos, gerando as espécies reativas de oxigênio (EROs) (Farooq et al., 2009). A elevada geração de EROs em plantas de milho e sorgo sob déficit hídrico foi observada em plantas de diferentes estádios de desenvolvimento (Dwivedi et al., 2016; Anjum et al., 2017). A quebra da homeostase celular leva ao estresse oxidativo, caracterizado pelo aumento desordenado na geração dessas espécies reativas, que podem passar pelo processo de

neutralização ou simplesmente iniciarão processos de oxidação de compostos no meio celular.

A formação de EROs é necessária para a indução da tolerância adaptativa, já que podem ser vistas como marcadoras de estresse e espécies sinalizadoras. Há controle em níveis transcricionais, tradução e metabólicos para evitar maiores danos causados pela presença de EROs. Ou seja, EROs produzidas em baixas concentrações atuam como sinalizadoras, no entanto, a produção excessiva dessas espécies reativas está relacionada a diferentes danos celulares (Gill; Tuteja, 2010).

As EROs, produzidas de maneira desordenada, atuam oxidando proteínas, lipídios e ácidos nucleicos, podendo causar danos ao DNA (Sharma et al., 2012). Os ânions superóxido ($O_2^{\cdot-}$) e os radicais hidroxila (OH^{\cdot}) possuem baixa mobilidade pela membrana celular e curto tempo de meia-vida, o que implica em elevada capacidade de reação e especificidade de sinalização destas EROs. Por outro lado, o peróxido de hidrogênio (H_2O_2), uma espécie não radical, possui habilidade de cruzar membranas celulares e maior tempo de meia-vida, o que possibilita agir como molécula sinalizadora do estresse oxidativo (Blokhina; Fagerstedt, 2010).

Como resultado do déficit hídrico em plantas de milho e sorgo pode-se observar a maior ocorrência de danos celulares, principalmente às membranas, que podem ser medidos pelo aumento na peroxidação lipídica e oxidação lipídica e proteica (Anjum et al., 2017; Nxele et al., 2017). Os danos causados aos componentes celulares podem levar à morte celular programada e, dependendo de sua extensão, podem levar ao menor crescimento e redução da produção vegetal.

Considerando-se os prejuízos causados pelas EROs, há necessidade de um sistema antioxidante composto por enzimas, tais como dismutase do superóxido (SOD), peroxidase do ascorbato (APX), catalase (CAT), redutase do dehidroascorbato (DHAR), redutase do monodehidroascorbato (MDHAR) e redutase da glutatona (GR) e por antioxidantes não enzimáticos, como ascorbato, glutatona, tocoferol e açúcares. A formação de espécies altamente tóxicas é prevenida pela elevada expressão de antioxidantes enzimáticos ou não enzimáticos, que neutralizam as EROS e evitam processos como peroxidação de lipídeos e oxidação de proteínas e açúcares (Sharma et al., 2012).

A SOD é a primeira enzima do sistema antioxidante, já que realiza a dismutação dos íons superóxido, formando H_2O_2 , que será metabolizado por enzimas denominadas peroxidases (APX e CAT). A CAT catalisa a dismutação do H_2O_2 em água e oxigênio molecular. A APX transforma H_2O_2 em água na presença de um cofator enzimático, que é o ascorbato. Com isso, APX é a principal enzima do ciclo ascorbato-glutatona, em que para a regeneração do ascorbato há a atividade de enzimas como a DHAR, MDHAR e GR (Gill; Tuteja, 2010). A ação combinada dessas enzimas permite a conversão de $O_2^{\cdot-}$ e de H_2O_2 , prejudiciais à célula, em água e oxigênio molecular (O_2), prevenindo a geração de OH-.

A atuação do sistema antioxidante é muito importante na defesa vegetal contra o excesso de EROs produzidas em condições de déficit hídrico. De modo geral, observa-se uma resposta variada do sistema antioxidante de plantas de milho e sorgo sob déficit hídrico. A resposta das enzimas antioxidantes nas plantas está diretamente relacionada com a tolerância e a capacidade de neutralização de EROs sob estresse. Existem casos em que o aumento na produção de EROs é acompanhado pelo

aumento na atividade das enzimas antioxidantes e neutralização dessas espécies (Anjum et al., 2017), mas há aqueles casos em que a atividade do sistema antioxidante não é aumentada ou simplesmente não é suficiente para neutralizar a grande quantidade de espécies reativas geradas, ocorrendo danos celulares (Nxele et al., 2017).

O balanço entre a geração e a neutralização das espécies reativas é muito importante para tolerância vegetal à restrição hídrica. O aumento da atividade das enzimas antioxidantes é considerado por diferentes autores como um fator fundamental para a tolerância ao déficit hídrico, uma vez que as cultivares mais tolerantes à seca apresentam maior atividade das enzimas antioxidantes e, conseqüentemente, menos danos celulares, culminando com menores perdas à produtividade (Anjum et al., 2016, 2017). Por outro lado, nas cultivares sensíveis, ainda que haja aumento na atividade das enzimas antioxidantes, este não é suficiente para prevenir os danos celulares e, muitas vezes, culmina com maior redução do crescimento e da produção do que nas cultivares tolerantes (Anjum et al., 2016). Além disso, a maior atividade das enzimas antioxidantes (CAT, POX, APX, GR) nos meristemas foliares contribui para a manutenção do crescimento de folhas de milho sob déficit hídrico (Avramova et al., 2017).

Aliados ao sistema enzimático estão os antioxidantes não enzimáticos, tais como ácido ascórbico, tocoferol, glutathione e compostos fenólicos. O ácido ascórbico funciona como doador de elétrons em diversas reações enzimáticas e não enzimáticas, além de possuir outras funções nas células. O tocoferol é um antioxidante relacionado diretamente à proteção das membranas celulares, apresentando também outras funções

que não antioxidantes. Os compostos fenólicos são compostos secundários amplamente presentes em plantas e com estrutura química favorável para sequestrar radicais livres (Blokhina et al., 2003).

Os açúcares tiveram sua função antioxidante elucidada nos últimos anos (Keunen et al., 2013; Van Den Ende; El-Esawe, 2013). Açúcares solúveis, tais como dissacarídeos (sacarose), oligossacarídeos da classe rafínosica e frutanos são os principais açúcares com função antioxidante (Keunen et al., 2013). Esses carboidratos têm seus níveis elevados em casos de estresse e estão intimamente ligados à manutenção da homeostase celular pelo controle das EROs geradas, principalmente radicais hidroxila (Coueé et al., 2006). Desta maneira, o acúmulo de açúcares solúveis está relacionado ao aumento da tolerância a diferentes estresses abióticos (Keunen et al., 2013).

Plantas de milho e de sorgo provenientes de cultivares mais tolerantes ao déficit hídrico apresentam aumento na produção de ascorbato, glutatona, açúcares solúveis totais e compostos fenólicos que permitem a elas a melhor manutenção do metabolismo e maior produção nessas condições de estresse (Lavinsky et al., 2015; Anjum et al., 2017).

Além da manutenção da homeostase celular pelo sistema antioxidante, em condições de déficit hídrico há também a produção de solutos orgânicos osmoticamente ativos tais como prolina, glicina betaína e açúcares solúveis, que atuam no ajustamento osmótico e têm sido relacionados à maior produtividade em plantas que estão sob seca (Blum, 2017). A prolina atua na redução do potencial hídrico celular, permitindo a entrada de água para este meio. Além disso, a prolina pode ser

relacionada à proteção de compostos celulares (principalmente proteínas) contra a desidratação e também à atuação como antioxidante, que atua combatendo as EROs (Burritt, 2012). Nesse sentido, a produção desses compostos osmoticamente ativos em plantas sob déficit hídrico está relacionada à manutenção do turgor celular, evitação da perda de água e proteção dos compostos celulares.

Em plantas de milho e de sorgo, a produção de osmólitos compatíveis como a prolina, glicina betaína e os açúcares estão relacionados à manutenção do status hídrico das plantas. As plantas mais tolerantes tendem a produzir maior quantidade destes compostos e, conseqüentemente, apresentam menores variações no potencial hídrico quando submetidas ao déficit hídrico (Anjum et al., 2016; Devnarain et al., 2016; Anjum et al., 2017). A redução do potencial osmótico (acúmulo de prolina e trealose) na zona de crescimento nas raízes de milho está relacionada à atenuação da redução do crescimento radicular e manutenção do turgor celular (Velázquez-Márquez et al., 2015).

Em sorgo, plantas de genótipos com característica “Stay green” apresentam especificamente maior expressão de genes relacionados à síntese de prolina, o que demonstra a importância desse osmólito também na tolerância à seca (Johnson et al., 2015). A produção de osmólitos compatíveis possui uma relação direta com a tolerância de plantas ao déficit hídrico (Nxele et al., 2017). Verificou-se também uma relação entre a redução nas proteínas relacionadas ao PSII e Rubisco e a síntese de prolina e glicina-betaína, de modo que todo o nitrogênio liberado pela quebra das proteínas seja utilizado visando o aumento da tolerância de plantas de sorgo ao déficit hídrico (Ogbaga et al., 2014). Além disso, a maior concentração de açúcares solúveis em folhas

permite a manutenção da transpiração e da fotossíntese até mesmo em condições de seca extrema em cultivares tolerantes (Ogbaga et al., 2014).

Em resposta ao déficit hídrico, as plantas também aumentam a produção de proteínas denominadas LEA (late embryogenesis abundant), que se acumulam em tecidos sob desidratação. Dentre as LEA estão as deidrinas (DHN), que são proteínas altamente hidrofílicas e que estão relacionadas à tolerância a estresses ambientais. Nesse sentido, a expressão de genes DHN em plantas de sorgo foi considerado um importante marcador a ser utilizado no processo de seleção para tolerância ao déficit hídrico (Fracasso et al., 2016). As plantas mais tolerantes de linhagens de diferentes procedências apresentaram maior expressão desse gene, que foi associada à maior expressão de outros genes mais específicos, tais como NADP-málica, anidrase carbônica (CA) e proteína intrínseca da membrana plasmática (PIP2-5).

Em plântulas de milho existe uma certa sequência dos eventos de resposta à restrição hídrica: primeiramente, aos cinco dias, a alteração nos carboidratos e na prolina mostrou a importância do ajustamento osmótico e dos antioxidantes para manter a fotossíntese das plântulas. Aos sete dias, o aumento na atuação do sistema antioxidante, inclusive com aumento na atividade de APX, mostrou a importância dos antioxidantes como mecanismo de defesa em resposta ao agravamento do déficit hídrico foliar, prevenindo o estresse oxidativo (Nikolaeva et al., 2015). Com relação à intensificação do estresse, verificou-se que houve alteração progressiva no metabolismo de carboidratos, com redução na quantidade de amido e aumento na quantidade de AR e sacarose. Também foi observado um aumento progressivo na quantidade de prolina produzida em resposta à intensificação

do estresse por seca. Apesar da maior quantidade de açúcares e de prolina, a intensificação do estresse levou a um aumento na peroxidação lipídica na maior severidade do estresse (Nikolaeva et al., 2017).

Quando o estresse foi aplicado no estágio pré-florescimento, os tratamentos de seca alteraram a programação normal do metabolismo durante o desenvolvimento do grão de milho, resultando em produção de EROs. As maiores alterações metabólicas foram observadas nos ciclos da ureia e da glutatona, metabolismo de carboidratos e lipídeos visando proteção osmótica e antioxidante (Yang et al., 2018).

Em plantas de sorgo, a seca progressiva reduziu significativamente o crescimento e o desenvolvimento das plantas pela modulação diferenciada de várias respostas bioquímicas. Observou-se uma relação direta entre os danos celulares e o estresse oxidativo, assim como a tolerância ao estresse e o acúmulo de osmólitos osmoticamente ativos (Nxele et al., 2017).

O déficit hídrico também possui efeitos sobre o metabolismo do carbono e do nitrogênio em plantas de milho. O déficit hídrico no pós-embonecamento no milho altera o particionamento de nitrogênio na planta como um todo, sendo que o aumento na expressão dos genes que codificam para glutamina sintetase (GS) e asparagina sintetase (AS) nas folhas mostra a elevada remobilização de N sob seca (Li et al., 2016). Em sorgo, a senescência foliar induzida pelo déficit hídrico foi marcada por sintomas de decréscimo na fotossíntese, eficiência fotoquímica do fotossistema II, conteúdo de clorofila e expressão diferencial dos genes marcadores de senescência. Também foi observado um aumento na relação carbono: nitrogênio ao longo do

tratamento de seca. O balanço carbono: nitrogênio está envolvido na regulação da senescência foliar induzida pela seca (Chen et al., 2015).

Sensoriamento remoto na fenotipagem de milho e sorgo para a tolerância ao déficit hídrico

Nesses últimos anos, a ferramenta mais utilizada para HTP tem sido baseada em análises ópticas não destrutivas de características vegetais (propriedades espectrais da folha ou do dossel), principalmente com o uso de imagens obtidas por sensoriamento remoto (Araus et al., 2018). Com essas técnicas tem se conseguido a avaliação de diversos parâmetros ou índices ao nível das moléculas, das organelas, das células e de indivíduo. Assim, com esse tipo de fenotipagem moderna, consegue-se uma infinidade de dados e análises, sem destruir as plantas e em pouco tempo (Araus; Cairns, 2014; Araus et al., 2018).

O sensoriamento remoto se caracteriza aqui pela coleta de informações das plantas (folhas ou dossel) e de diversas funções, sem que haja contato físico com os alvos de interesse (Florenzano, 2007; Meneses; Almeida, 2012). O sensoriamento remoto possui grande vantagem por permitir análises não destrutivas, rápidas e integração em grande escala da parte aérea das plantas com o rendimento das culturas. As metodologias mais utilizadas baseiam-se na utilização da radiação refletida nas regiões espectrais captadas na região da radiação visível (400-700 nm), do infravermelho próximo (800-2500 nm) e, também, do infravermelho longo (8-15 μm) (Araus; Cairns, 2014; Sousa et al., 2017).

Na fenotipagem por dispositivos de sensoriamento remoto baseados em propriedades espectrais pode-se utilizar “sensores” para medidas realizadas em plataforma de solo, ou pode-se utilizar imagens de câmeras que são implantadas em plataformas aéreas ou plataformas de solo (Araus; Cairns, 2014).

Os sensores possuem uma desvantagem em relação às imagens, uma vez que não realizam medições de diferentes parcelas simultaneamente e, por isso, são mais embarcados em sistemas como veículos/máquinas de fenotipagem ou “Phenomobiles” (Singh et al., 2016) ou são utilizados em pistolas ou espectroradiômetros portáteis (“sensores/equipamentos de mão”). Existem trabalhos com milho e sorgo que já utilizaram estes tipos de sensores em fenotipagem para tolerância ao déficit hídrico (Lu et al., 2011; Sahoo et al., 2015). Essas medidas feitas pelos sensores portáteis são metodologias ditas “proximais”, pois apesar de estar como sensores remotos, os dados são obtidos próximos a cultura (Araus; Cairns, 2014; Araus et al., 2018).

Os espectroradiômetros são mais utilizados nas faixas do visível (VIS: 400 a 700 nm) e do infravermelho próximo (NIR:700 a 1.000 nm), mas também existem aqueles que trabalham na faixa multiespectral ou hiperespectral (350 a 2.500 nm) e sensores térmicos (ondas longas de infravermelho) (LWIR: acima de 2.500 nm). As câmeras também são dispositivos de imagens que incluem faixas do visível (imagens RGB), infravermelho, multiespectral ou hiperespectral, fluorescência e térmicas (Fahlgren et al., 2015; Araus et al., 2018). Trabalhos com milho e sorgo também têm utilizado imagens de câmeras para a fenotipagem ao déficit hídrico (Araus et al., 2012; Daumard et al., 2012; Zia et al., 2013; Gracia-Romero et al., 2017; Potgieter et al., 2017).

De forma resumida, essas faixas do espectro levam a diversos índices de vegetação (IV) e análises como (a) imagens RGB: taxa de crescimento, altura das plantas, biomassa; (b) fluorescência: fluorescência e geração de calor pelas clorofilas; (c) imagens e sensores multiespectrais/hiperespectrais: clorofila a, clorofila b, carotenoides, proporção de pigmentos, antocianinas e índices derivados como NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), NWI (Normalized Water Index) e NDMI (Normalized Difference Moisture Index), SWWI (Normalized Difference Moisture Index), PRI (Photochemical Reflectance Index); (d) térmicas: temperatura da folha ou do dossel e parâmetros derivados CTD (canopy temperature depression), CWSI (Crop Water Stress Index); estado hídrico da planta; grau de estresse hídrico; condutância estomática, abertura estomática; taxa de transpiração (Araus et al., 2012; Zia et al., 2013; Fahlgren et al., 2015; Sousa et al., 2017; Souza, 2017; El-Hendawy et al., 2017; Gracia-Romero et al., 2017; Potgieter et al., 2017; Xue; Su, 2017).

Com relação a possibilidades de plataformas aéreas na aquisição de dados e imagens para a fenotipagem de milho e sorgo, têm-se destacados os Veículos aéreos não tripulados (VANT em português e UAV em inglês) ou popularmente conhecidos como DRONES (Zaman-Allah et al., 2015; Duan et al., 2017; Gracia-Romero et al., 2017; Potgieter et al., 2017). O sucesso dos VANTs no sensoriamento remoto se deve principalmente à coleta de dados com alta precisão em curto espaço de tempo, atributos estes que os tornaram vantajosos em relação aos satélites orbitais (Rango et al., 2009; Silva et al., 2014). Outras vantagens são: (a) obtenção de imagens em escala milimétrica, (b) a insensibilidade ao efeito das nuvens, (c) o potencial na geração dos modelos 3D, (d) a facilidade de acesso a regiões difíceis, (e) e ainda contar com o baixo custo operacional e de obtenção de imagens, que são

benefícios que dinamizaram os estudos de fenotipagem (Araus; Cairns, 2014; Zaman-Allah et al., 2015). No cenário nacional e internacional, os VANTs são cada vez mais utilizados nos estudos de fenotipagem (Jorge; Inamasu, 2014; Kefauver et al., 2017; Gracia-Romero et al., 2017).

A análise morfofisiológica na reidratação/ recuperação (Rewatering) em plantas de milho e sorgo sob déficit hídrico

As análises morfofisiológicas em milho e sorgo tem tido mais atenção nos períodos de déficit hídrico, contudo avaliações na reidratação (“rewatering” em inglês) têm mostrado resultados interessantes entre genótipos contrastantes ao estresse hídrico. Genótipos de milho e sorgo tolerantes ao déficit hídrico tendem a restabelecer suas características morfofisiológicas após a reidratação a valores próximos aos tratamentos que não tiveram estresse. Quanto mais rápida é esta recuperação hídrica e morfofisiológica menos impactos são evidenciados na produtividade (Souza et al., 2013b; Zegada-Lizarazu; Monti, 2013; Souza et al., 2014; Song et al., 2018).

Plantas de milho de diferentes linhagens apresentaram graus diferenciados de alteração no perfil metabólico durante o déficit hídrico, principalmente em compostos das classes dos ácidos orgânicos, aminoácidos e açúcares cujas alterações foram revertidas em diferentes níveis após reirrigação. Na reirrigação, as vias metabólicas com diferentes importâncias relativas, tais como produção de energia, proteção osmótica e regulação da sinalização retornaram ao status normal em taxas diferentes durante a recuperação do estresse (Sun et al., 2016).

Considerações finais

A fenotipagem para tolerância ao déficit hídrico vem ganhando destaque quando se pensa em aspectos morfofisiológicos principalmente pelo avanço das tecnologias na pesquisa. No entanto, o efeito do déficit hídrico no milho e sorgo dependerá de sua intensidade, duração e da época em que ele ocorre. Além disso, há a necessidade de ressaltar que em condições de campo, por causa de uma interação de vários fatores de estresse, têm-se muitas reações de estresse pelas plantas simultaneamente caracterizando uma síndrome. Pensando na condição de safrinha, por exemplo, a interação de estresses ou os eventos de estresse são múltiplos (frio, calor, déficit hídrico) e as respostas morfofisiológicas do milho e do sorgo podem ser totalmente diferentes do que em condições de apenas um estresse. Dessa forma, não podemos tentar simplificar eventos tão complexos que ocorrem nas plantas de milho e sorgo sob déficit hídrico.

Referências

ACOMPANHAMENTO DA SAFRA BRASILEIRA [DE] GRÃOS: oitavo levantamento. Brasília, DF: Conab, maio 2018. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 16 maio 2018.

ANJUM, S. A.; TANVEER, M.; ASHRAF, U.; HUSSAIN, S.; SHAHZAD, B.; KHAN, I.; WANG, L. Effect of progressive drought stress on growth, leaf gas exchange, and antioxidant production in two maize cultivars. **Environmental Science and Pollution Research**, Cham, v. 23, p. 17132-17141, 2016.

ANJUM, S. A.; ASHRAF, U.; TANVEER, M.; KHAN, I.; HUSSAIN, S.; SHAHZAD, B.; ZOHAIB, A.; ABBAS, F.; SALEEM, M. F.; ALI,

I.; WANG, L. C. Drought induced changes in growth, osmolyte accumulation and antioxidant metabolism of three maize hybrids. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 8, p. 1-12, 2017.

ARAUS, J. L.; SLAFER, G. A.; ROYO, C.; SERRET, M. D. Breeding for yield potential and stress adaptation in cereals. **Critical Reviews in Plant Science**, Philadelphia, v. 27, p. 377-412, 2008.

ARAUS, J. L.; KEFAUVER, S. C.; ZAMAN-ALLAH, M.; OLSEN, M. S.; CAIRNS, J. E. Translating high-throughput phenotyping into genetic gain. **Trends in Plant Science**, London, v. 23, p. 451-466, 2018.

ARAUS, J. L.; SÁNCHEZ, C.; CABRERA-BOSQUET, L. Is heterosis in maize mediated through better water use? **New Phytologist**, Hoboken, v. 187, p. 392-406, 2010.

ARAUS, J. L.; SERRET, M. D.; EDMEADES, G. Phenotyping maize for adaptation to drought. **Frontiers in Physiology**, Lausanne, v. 3, p. 305, 2012.

ARAUS, J. L.; SERRET, M. D.; EDMEADES, G. O. Phenotyping maize for adaptation to drought. In: MONNEVEUX, P.; RIBAUT, J. M. (Ed.). **Drought phenotyping in crops: from theory to practice**. Texcoco: CGIAR Generation Challenge Programme, 2011. p. 263-283.

ARAUS, J. L.; CAIRNS, J. E. Field high-throughput phenotyping: the new crop breeding frontier. **Trends in Plant Science**, London, v. 19, p. 52-61, 2014.

ARAUS, J. L.; CABRERA-BOSQUET, L.; SERRET, M. D.; BORT, J.; NIETO-TALADRIZ, M. T. Comparative performance of $\delta^{13}C$, $\delta^{18}O$ and $\delta^{15}N$ for phenotyping durum wheat adaptation to a dryland environment. **Functional Plant Biology**, Clayton, v. 40, p. 595-608, 2013.

ASSEFA, Y.; STAGGENBORG, S. A. Phenotypic changes in grain sorghum over the last five decades. **Journal of Agronomy and Crop Science**, Hoboken, v.197, p. 249-257, 2011.

ASSEFA, Y.; STAGGENBORG, S. A.; PRASAD, V. P. Grain sorghum water requirement and responses to drought stress: a review. **Crop Management**, Madison, v. 9, p. 1-11, 2010.

AVILA, R.; MAGALHAES, P. C.; ALVARENGA, A. A. de; LAVINSKY, A. D. O.; CAMPOS, C. N.; SOUZA, T. C. de; GOMES JÚNIOR, C. C. Drought-tolerant maize genotypes invest in root system and maintain high harvest index during water stress. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 15, p. 450-460, 2017.

AVRAMOVA, V.; ABDELGAWAD, H.; VASILEVA, I.; PETROVA, A. S.; HOLEK, A.; MARIËN, J.; ASARD, H.; BEEMSTER, G. T. High antioxidant activity facilitates maintenance of cell division in leaves of drought tolerant maize hybrids. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 8, p. 84, 2017.

AVRAMOVA, V.; ABDELGAWAD, H.; ZHANG, Z.; FOTSCHKI, B.; CASADEVALL, R.; VERGAUWEN, L.; KNAPEN, D.; TALEISNIK, E.; GUISEZ, Y.; ASARD, H.; BEEMSTER, G. T. S. Drought induces distinct growth response, protection and recovery mechanisms in the maize leaf growth zone. **Plant Physiology**, Rockville, v. 169, n. 2, p. 1382-1396, 2015.

BAZINGER, M.; EDMEADES, G. O.; BECK, D.; BELLON, M. **Breeding for drought and nitrogen stress tolerance in maize: from theory to practice.** Mexico: CIMMYT, 2000. 68 p.

BLOKHINA, O.; FAGERSTEDT, K. V. Oxidative metabolism, ROS and NO under oxygen deprivation. **Plant Physiology and Biochemistry**, Paris, v. 48, p. 359-373, 2010.

BLOKHINA, O.; VIROLAINEN, E.; FAGERSTEDT, K. V. Antioxidants, oxidative damage and oxygen deprivation stress: a review. **Annals of Botany**, Oxford, v. 91, p. 179-194, 2003.

BLUM, A. Osmotic adjustment is a prime drought stress adaptive engine in support of plant production. **Plant, Cell & Environment**, Oxford, v. 40, p. 4-10, 2017.

BLUM, A. Effective use of water (EUW) and not water-use efficiency (WUE) is the target of crop yield improvement under drought stress. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 112, p.119-123, 2009.

BOADLE, A. **Agricultura e agronegócio no Brasil contribuíram com 23,5% do PIB em 2017, estima CNA.** 2017. Disponível em: <<https://extra.globo.com/noticias/economia/agricultura-agronegocio-no-brasil-contribuiram-com-235-do-pib-em-2017-estima-cna-22151398.html>>. Acesso em: 17 maio 2018.

BORRELL, A. K.; MULLET, J. E.; GEORGE-JAEGGLI, B.; VAN OOSTEROM, E. J.; HAMMER, G. L.; KLEIN, P. E.; JORDAN, D. R. Drought adaptation of stay-green sorghum is associated with canopy development, leaf anatomy, root growth, and water

uptake. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 65, p. 6251-6263, 2014.

BRESTIC, M.; ZIVCAK, M. PSII fluorescence techniques for measurement of drought and high temperature stress signal in crop plants: protocols and applications. In: ROUT, G. R.; DAS, A. B. (Ed.). **Molecular stress physiology of plants** Berlin: Springer, 2013. p. 87-131.

BURRITT, D. J. Proline and the cryopreservation of plant tissues: functions and practical applications, current frontiers in cryopreservation. **InTech**, London, p. 415-426, 2012.

CABRERA-BOSQUET, L.; CROSSA, J.; VON ZITZEWITZ, J.; SERRET, M. D.; ARAUS, J. L. High-throughput phenotyping and genomic selection: the frontiers of crop breeding converge F. **Journal of Integrative Plant Biology**, Hoboken, v. 54, p. 312-320, 2012.

CARVALHO, R. C.; CUNHA, A.; SILVA, J. M. Photosynthesis by six Portuguese maize during drought stress and recovery. **Acta Physiologiae Plantarum**, Heidelberg, v. 33, p. 359-374, 2011.

CHEN, D.; WANG, S.; XIONG, B.; CAO, B.; DENG, X. Carbon/nitrogen imbalance associated with drought-induced leaf senescence in *Sorghum bicolor*. **PloS One**, San Francisco, v. 10, e0137026, 2015.

COUÉÉ, I.; SULMON, C.; GOUESBET, G.; EL AMRANI, A. Involvement of soluble sugars in reactive oxygen species balance and responses to oxidative stress in plants. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 57, p. 449-459, 2006.

CRAMER, G. R.; URANO, K.; DELROT, S.; PEZZOTTI, M.; SHINOZAKI, K. Effects of abiotic stress on plants: a systems biology perspective. **BMC Plant Biology**, London, v. 11, n. 163, p. 1-14, 2011.

DAUMARD, F.; GOULAS, Y.; CHAMPAGNE, S.; FOURNIER, A.; OUNIS, A.; OLIOSO, A.; MOYA, I. Continuous monitoring of canopy level sun-induced chlorophyll fluorescence during the growth of a sorghum field. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, Piscataway, v. 50, p. 4292-4300, 2012.

DEERY, D. M.; REBETZKE, G. J.; JIMENEZ-BERNI, J. A.; JAMES, R. A.; CONDON, A. G.; BOVILL, W. D.; HUTCHINSON, P.; SCARROW, J.; DAVY, R.; FURBANK, R. T. Methodology for high-throughput field phenotyping of canopy temperature using airborne thermography. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 7, p. 1808, 2016.

DEVNARAIN, N.; CRAMPTON, B. G.; CHIKWAMBA, R.; BECKER, J. V.; O'KENNEDY, M. M. Physiological responses of selected African sorghum landraces to progressive water stress and re-watering. **South African Journal of Botany**, Amsterdam, v. 103, p. 61-69, 2016.

DHONDT, S.; WUYTS, N.; INZÉ, D. Cell to whole-plant phenotyping: the best is yet to come. **Trends in Plant Science**, London, v. 18, p. 428-439, 2013.

DÍAZ, A. S.; AGUIAR, G. M.; PEREIRA, M. P.; CASTRO, E. M. de; MAGALHÃES, P. C.; PEREIRA, F. J. Aerenchyma development in different root zones of maize genotypes under water limitation

and different phosphorus nutrition. **Biologia Plantarum**, Praha, v. 62, p. 561-568, 2018.

DING, L.; WANG, K. J.; JIANG, G. M.; LIU, M. Z.; NIU, S. L.; GAO, L. M. Post-anthesis changes in photosynthetic traits of maize hybrids released in different years. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 93, p. 108-115, 2005.

DUAN, T.; ZHENG, B.; GUO, W.; NINOMIYA, S.; GUO, Y.; CHAPMAN, S. C. Comparison of ground cover estimates from experiment plots in cotton, sorghum and sugarcane based on images and ortho-mosaics captured by UAV. **Functional Plant Biology**, Clayton, v. 44, p. 169-183, 2017.

DWIVEDI, N.; SINGH, K.; NAUTIYAL, P. C.; GOEL, S.; ROSIN, K. G. Differential response of antioxidant enzymes to water deficit stress in maize (*Zea mays*) hybrids during two leaf stage. **Indian Journal of Agricultural Sciences**, Nova Delhi, v. 86, p. 732-737, 2016.

EL-HENDAWY, S. E.; HASSAN, W. M.; AL-SUHAIBANI, N. A.; SCHMIDHALTER, U. Spectral assessment of drought tolerance indices and grain yield in advanced spring wheat lines grown under full and limited water irrigation. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 182, p. 1-12, 2017.

ENSTONE, D. E.; PETERSON, C. A.; MA, F. Root endodermis and exodermis: structure, function, and responses to the environment. **Journal of Plant Growth Regulation**, New York, v. 21, p. 335-351, 2003.

ENTRINGER, G. **Linhagem de milho com enrolamento permanente da folha**: características anatômicas e controle genético. 2011. 65 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

FAHLGREN, N.; GEHAN, M. A.; BAXTER, I. Lights, camera, action: high-throughput plant phenotyping is ready for a close-up. **Current Opinion in Plant Biology**, London, v. 24, p. 93-99, 2015.

FAROOQ, M.; WAHID, A.; KOBAYASHI, N.; FUJITA, D.; BASRA, S. M. A. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. In: LICHTFOUSE, E.; NAVARRETE, M.; DEBAEKE, P.; VÉRONIQUE, S.; ALBEROLA, C. **Sustainable agriculture**. Dordrecht: Springer, 2009. p. 153-188.

FRACASSO, A.; TRINDADE, L.; AMADUCCI, S. Drought tolerance strategies highlighted by two Sorghum bicolor races in a dry-down experiment. **Journal of Plant Physiology**, Jena, v. 190, p. 1-14, 2016.

FLORENZANO, T. G. **Iniciação em sensoriamento remoto**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Texto, 2007.

GHANEM, M. E.; MARROU, H.; SINCLAIR, T. R. Physiological phenotyping of plants for crop improvement. **Trends in Plant Science**, London, v. 20, p. 139-144, 2015.

GILL, S. S.; TUTEJA, N. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. **Plant Physiology and Biochemistry**, Paris, v. 48, p. 909-930, 2010.

GRACIA-ROMERO, A.; KEFAUVER, S. C.; VERGARA-DÍAZ, O.; ZAMAN-ALLAH, M. A.; PRASANNA, B. M.; CAIRNS, J. E.; ARAUS, J. L. Comparative performance of ground vs. aerially assessed RGB and multispectral indices for early-growth evaluation of maize performance under phosphorus fertilization. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 8, p. 2004, 2017.

GUO, Y. Y.; TIAN, S. S.; LIU, S. S.; WANG, W. Q.; SUI, N. Energy dissipation and antioxidant enzyme system protect photosystem II of sweet sorghum under drought stress. **Photosynthetica**, Dordrecht, v. 56, p. 861-872, 2018.

HASAN, S. A.; RABEI, S. H.; NADA, R. M.; ABOGADALLAH, G. M. Water use efficiency in the drought-stressed sorghum and maize in relation to expression of aquaporin genes. **Biologia Plantarum**, Praha, v. 61, p. 127-137, 2017.

HENDERSON, S.; VON CAEMMERER, S.; FARQUHAR, G. D.; WADE, L.; HAMMER, G. Correlation between carbon isotope discrimination and transpiration efficiency in lines of the C₄ species *Sorghum bicolor* in the glasshouse and the field. **Functional Plant Biology**, Victoria, v. 25, p. 111-123, 1998.

HUND, A.; RUTA, N.; LIEDGENS, M. Rooting depth and water use efficiency of tropical maize inbred lines, differing in drought tolerance. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 318, p. 311-325, 2009.

JOHNSON, S. M.; CUMMINS, I.; LIM, F. L.; SLABAS, A. R.; KNIGHT, M. R. Transcriptomic analysis comparing stay-green and senescent *Sorghum bicolor* lines identifies a role for proline biosynthesis in the stay-green trait. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 66, p. 7061-7073, 2015.

JONES, H. G.; SERRAJ, R.; LOVEYS, B. R.; XIONG, L.; WHEATON, A.; PRICE, A. Thermal infrared imaging of crop canopies for the remote diagnosis and quantification of plant responses to water stress in the field. **Functional Plant Biology**, Clayton, v. 36, p. 978-989, 2009.

JORGE, L. A. de C.; INAMASU, R. Y. Uso de veículos aéreos não tripulados (VANT) em agricultura de precisão. In: BERNARDI, A. C. de C.; NAIME, J. de M.; RESENDE, A. V. de; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. (Ed.). **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 109-134.

KALDENHOFF, R. Aquaporins and plant water balance. **Plant, Cell & Environment**, Oxford, v. 31, p. 658-666, 2008.

KALEFETOĞLU, M. T.; EKMEKÇI, Y. Alterations in photochemical and physiological activities of chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars under drought stress. **Journal of Agronomy and Crop Science**, Hoboken, v. 195, p. 335-346, 2009.

KEFAUVER, S. C.; VICENTE, R.; VERGARA-DÍAZ, O.; FERNANDEZ-GALLEGO, J. A.; KERFAL, S.; LOPEZ, A.; MELICAR, J. P. E.; MOLINS, M. D. S.; ARAUS, J. L. Comparative UAV and field phenotyping to assess yield and nitrogen use efficiency in hybrid and conventional barley. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 8, p. 1733, 2017.

KEUNEN, E. L. S.; PESHEV, D.; VANGRONSVELD, J.; VAN DEN ENDE, W. I. M.; CUYPERS, A. N. N. Plant sugars are crucial players in the oxidative challenge during abiotic stress: extending the traditional concept. **Plant, Cell & Environment**, Oxford, v. 36, p. 1242-1255, 2013.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RiMa, 2000. 529 p.

LAVINSKY, A. O.; MAGALHÃES, P. C.; ÁVILA, R. G.; DINIZ, M. M.; SOUZA, T. C. de. Partitioning between primary and secondary metabolism of carbon allocated to roots in four maize genotypes under water deficit and its effects on productivity. **The Crop Journal**, Amsterdam, v. 3, p. 379-386, 2015.

LI, Y.; WANG, M.; ZHANG, F.; XU, Y.; CHEN, X.; QIN, X.; WEN, X. Effect of post-silking drought on nitrogen partitioning and gene expression patterns of glutamine synthetase and asparagine synthetase in two maize (*Zea mays* L.) varieties. **Plant Physiology and Biochemistry**, Paris, v. 102, p. 62-69, 2016.

LI, Y.; SPERRY, J. S.; SHAO, M. Hydraulic conductance and vulnerability to cavitation in corn (*Zea mays* L.) hybrids of differing drought resistance. **Environmental and Experimental Botany**, Oxford, v. 66, p. 341-346, 2009.

LONG, S. P.; ZHU, X.-C.; NAIDU, S. L.; ORT, D. R. Can improvement in photosynthesis increase crop yields? **Plant, Cell & Environment**, Oxford, v. 29, p. 315-330, 2006.

LOPES, M. S.; ARAUS, J. L.; VAN HEERDEN, P. D. R.; FOYER, C. H. Enhancing drought tolerance in C4 crops. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 62, p. 3135-3153, 2011.

LOPES, M. S.; REBETZKE, G. J.; REYNOLDS, M. Integration of phenotyping and genetic platforms for a better understanding of wheat performance under drought. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 65, p. 6167-6177, 2014.

LU, Y.; HAO, Z.; XIE, C.; CROSSA, J.; ARAUS, J. L.; GAO, S.; VIVEK, B. S.; MOGOROKOSHO, C.; MUGO, S.; MAKUMBI, D.; TABA, S.; PAN, G.; LI, X.; RONG, T.; ZHANG, S.; XU, Y. Large-scale screening for maize drought resistance using multiple selection criteria evaluated under water-stressed and well-watered environments. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 124, p. 37-45, 2011.

LU, Z.; NEUMANN, P. M. Water-stressed maize, barley and rice seedlings show species diversity in mechanisms of leaf growth inhibition. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 49, p. 1945-1952, 1998.

MAGALHÃES, P. C.; SOUZA, T. C. de; ALBUQUERQUE, P. E. P. de; KARAM, D.; MAGALHÃES, M. M.; CANTÃO, F. R. D. O. Caracterização ecofisiológica de linhagens de milho submetidas a baixa disponibilidade hídrica durante o florescimento. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 8, p. 223-232, 2009.

MAGALHAES, P. C.; SOUZA, T. C. de; MAY, A.; LIMA FILHO, O. F. de; SANTOS, F. C. dos; MOREIRA, J. A. A.; LEITE, C. E. do P.; ALBUQUERQUE, C. J. B.; FREITAS, R. S. de. Exigências edafoclimáticas e fisiologia da produção. In: BORÉM, A.; PIMENTEL, L. D.; PARRELLA, R. A. da C. (Ed.). **Sorgo**: do plantio à colheita. Viçosa, MG: UFV, 2014. cap. 3, p. 58-88.

MAGALHÃES, P. C.; SOUZA, T. C. de; LAVINSKY, A. O.; ALBUQUERQUE, P. E. P. de; OLIVEIRA, L. L. de; CASTRO, E. M. de. Phenotypic plasticity of root system and shoots of '*Sorghum bicolor*' under different soil water levels during pre-flowering stage. **Australian Journal of Crop Science**, Lismore, v. 10, p. 81-87, 2016.

MASUKA, B.; ARAUS, J. L.; DAS, B.; SONDER, K.; CAIRNS, J. E. Phenotyping for Abiotic Stress Tolerance in Maize F. **Journal of Integrative Plant Biology**, Hoboken, v. 54, p. 238-249, 2012.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Brasília, DF: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, 2012. v. 1, 266 p.

MONNEVEUX, P.; SHESHSHAYEE, M. S.; AKHTER, J.; RIBAUT, J. M. Using carbon isotope discrimination to select maize (*Zea mays* L.) inbred lines and hybrids for drought tolerance. **Plant Science**, Limerick, v. 173, p. 390-396, 2007. MUTAVA, R. N.; PRASAD, P. V. V.; TUINSTRA, M. R.; KOFOID, K. D.; YU, J. Characterization of sorghum genotypes for traits related to drought tolerance. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 123, p. 10-18, 2011.

NARAYANAN, S.; AIKEN, R. M.; VARA PRASAD, P. V.; XIN, Z.; YU, J. Water and radiation use efficiencies in sorghum. **Agronomy Journal**, Madison, v. 105, p. 649-656, 2013.

NIKOLAEVA, M. K.; MAEVSKAYA, S. N.; VORONIN, P. Y. Photosynthetic CO₂/H₂O gas exchange and dynamics of carbohydrates content in maize leaves under drought. **Russian Journal of Plant Physiology**, New York, v. 64, p. 536-542, 2017.

NIKOLAEVA, M. K.; MAEVSKAYA, S. N.; VORONIN, P. Y. Activities of antioxidant and osmoprotective systems and photosynthetic gas exchange in maize seedlings under drought conditions. **Russian Journal of Plant Physiology**, New York, v. 62, p. 314-321, 2015.

NXELE, X.; KLEIN, A.; NDIMBA, B. K. Drought and salinity stress alters ROS accumulation, water retention, and osmolyte content in sorghum plants. **South African Journal of Botany**, Amsterdam, v. 108, p. 261-266, 2017.

OCHELTREE, T. W.; NIPPERT, J. B.; KIRKHAM, M. B.; PRASAD, P. V. V. Partitioning hydraulic resistance in Sorghum bicolor leaves reveals unique correlations with stomatal conductance during drought. **Functional Plant Biology**, Clayton, v. 41, p. 25-36, 2014.

OGBAGA, C. C.; MILLER, M. A.; JOHNSON, G. N. Fourier transform infrared spectroscopic analysis of maize (*Zea mays*) subjected to progressive drought reveals involvement of lipids, amides and carbohydrates. **African Journal of Biotechnology**, Nairobi, v. 16, p. 1061-1066, 2017.

OGBAGA, C.; STEPIEN, P.; JOHNSON, G. N. Sorghum (*Sorghum bicolor*) varieties adopt strongly contrasting strategies in response to drought. **Physiologia Plantarum**, Hoboken, v. 152, p. 389-401, 2014.

O'NEILL, P. M.; SHANAHAN, J. F.; SCHEPERS, J. S. Use of chlorophyll fluorescence assessments to differentiate corn hybrid response to variable water conditions. **Crop Science**, Madison, v. 46, p. 681-687, 2006.

PEÑA-VALDIVIA, C.; SÁNCHEZ-URDANETA, A.; TREJO, C.; AGUIRRE R, J.; CÁRDENAS, S.; ROOT, E. Anatomy of drought sensitive and tolerant maize (*Zea mays* L.) seedlings under different water potentials. **Cereal Research Communications**, Budapest, v. 33, p. 705-712, 2005.

POTGIETER, A. B.; GEORGE-JAEGGLI, B.; CHAPMAN, S. C.; LAWS, K.; SUÁREZ CADAVID, L. A.; WIXTED, J.; WATSON, J.; ELDRIDGE, M.; JORDAN, D. R.; HAMMER, G. L. Multi-spectral imaging from an unmanned aerial vehicle enables the assessment of seasonal leaf area dynamics of sorghum breeding lines. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 8, n. 1532, p. 1-11, 2017.

PRADO, S. A.; CABRERA BOSQUET, L.; GRAU, A.; COUPEL LEDRU, A.; MILLET, E. J.; WELCKER, C.; TARDIEU, F. Phenomics allows identification of genomic regions affecting maize stomatal conductance with conditional effects of water deficit and evaporative demand. **Plant, Cell & Environment**, Oxford, v. 41, p. 314-326, 2017.

RANGO, A.; LALIBERTE, A.; HERRICK, J. E.; WINTERS, C.; HAVSTAD, K.; STEELE, C.; BROWNING, D. Unmanned aerial vehicle-based remote sensing for rangeland assessment, monitoring, and management. **Journal of Applied Remote Sensing**, Bellingham, v. 3, p. 1-15, 2009.

REIS, C. O. **Aplicação de quitosana e seus derivados em híbrido de milho sob déficit hídrico**. 2018. 47 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Universidade Federal de Alfenas, Alfenas, 2018.

SAHOO, R. N.; RAY, S. S.; MANJUNATH, K. R. Hyperspectral remote sensing of agriculture. **Current Science**, Bangalore, v. 108, p. 848-859, 2015.

SÁNCHEZ-BRAGADO, R.; ARAUS, J. L.; SCHEERER, U.; CAIRNS, J. E.; RENNENBERG, H.; FERRIO, J. P. Factors preventing the

performance of oxygen isotope ratios as indicators of grain yield in maize. **Planta**, New York, v. 243, p. 355-368, 2016.

SHARMA, P.; JHA, A. B.; DUBEY, R. S.; PESSARAKLI, M. Reactive oxygen species, oxidative damage, and antioxidative defense mechanism in plants under stressful conditions. **Journal of Botany**, London, v. 2012, p. 1-26, 2012.

SILVA, E. C.; NOGUEIRA, R. J. M. C.; SILVA, M. A.; ALBUQUERQUE, M. B. Drought stress and plant nutrition. **Plant Stress**, v. 5, p. 32-41, 2011.

SILVA, M. A. D.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; OLIVEIRA, A. H.; AVANZI, J. C.; NORTON, L. D. Water erosion risk prediction in eucalyptus plantations. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 38, p. 160-172, 2014.

SINGH, A.; GANAPATHYSUBRAMANIAN, B.; SINGH, A. K.; SARKAR, S. Machine learning for high-throughput stress phenotyping in plants. **Trends in Plant Science**, London, v. 21, p. 110-124, 2016.

SINGH, M.; KUMAR, J.; SINGH, S.; SINGH, V. P.; PRASAD, S. M. Roles of osmoprotectants in improving salinity and drought tolerance in plants: a review. **Reviews in Environmental Science and BioTechnology**, Dordrecht, v. 14, p. 407- 426, 2015.

SONG, H.; LI, Y.; ZHOU, L.; XU, Z.; ZHOU, G. Maize leaf functional responses to drought episode and rewatering. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 249, p. 57-70, 2018.

SOUSA, C. A. F.; PAIVA, D. S.; CASARI, R. A. D. C. N.; OLIVEIRA, N. G.; MOLINARI, H. B. C.; KOBAYASHI, A. K.; MAGALHÃES, P. C.; GOMIDE, R. L.; SOUZA, M. T. A procedure for maize genotypes discrimination to drought by chlorophyll fluorescence imaging rapid light curves. **Plant Methods**, London, v. 13, p. 61, 2017.

SOUZA, T. C. Ecofisiologia e suas implicações no manejo cultural do milho safrinha. In: SEMINÁRIO NACIONAL [DE] MILHO SAFRINHA, 14., 2017, Cuiabá. **Construindo sistemas de produção sustentáveis e rentáveis: anais**. Sete Lagoas: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2017. p. 42-85.

SOUZA, T. C.; MAGALHÃES, P. C.; CASTRO, E. M. D.; DUARTE, V. P.; LAVINSKY, A. O. Corn root morphoanatomy at different development stages and yield under water stress. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 51, n. 4, p. 330-339, 2016.

SOUZA, T. C.; MAGALHÃES, P. C.; CASTRO, E. M. de; CARNEIRO, N. P.; PADILHA, F. A.; JÚNIOR, C. C. G. ABA application to maize hybrids contrasting for drought tolerance: changes in water parameters and in antioxidant enzyme activity. **Plant Growth Regulation**, Dordrecht, v. 73, p. 205-217, 2014.

SOUZA, T. C.; CASTRO, E. M. de; MAGALHAES, P. C.; LINO, L. D. O.; ALVES, E. T.; ALBUQUERQUE, P. E. P. de. Morphophysiology, morphoanatomy, and grain yield under field conditions for two maize hybrids with contrasting response to drought stress. **Acta Physiologiae Plantarum**, Heidelberg, v. 35, p. 3201-3211, 2013a.

SOUZA, T. C.; MAGALHÃES, P. C.; CASTRO, E. M. de; ALBUQUERQUE, P. E. P. de; MARABESI, M. A. The influence of ABA on water relation, photosynthesis parameters, and

chlorophyll fluorescence under drought conditions in two maize hybrids with contrasting drought resistance. **Acta Physiologiae Plantarum**, Heidelberg, v. 35, p. 515-527, 2013b.

STOCKER, T. F.; QIN, D.; PLATTNER, G.-K.; TIGNOR, M.; ALLEN, S. K.; BOSCHUNG, J.; NAUELS, A.; XIA, Y.; BEX, V.; MIDGLEY, P. M. (Ed.). **Climate Change 2013: the physical science basis**. Cambridge: Cambridge University Press, 2013. 1535 p. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

SUN, C.; GAO, X.; CHEN, X.; FU, J.; ZHANG, Y. Metabolic and growth responses of maize to successive drought and re-watering cycles. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 172, p. 62-73, 2016.

SUTKA, M. R.; MANZUR, M. E.; VITALI, V. A.; MICHELETTO, S.; AMODEO, G. Evidence for the involvement of hydraulic root or shoot adjustments as mechanisms underlying water deficit tolerance in two *Sorghum bicolor* genotypes. **Journal of Plant Physiology**, Jena, v. 192, p. 13-20, 2016.

TRACHSEL, S.; KAEPLER, S. M.; BROWN, K. M.; LYNCH, J. P. Shovelomics: high throughput phenotyping of maize (*Zea mays* L.) root architecture in the field. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 341, p. 75-87, 2011.

XUE, J.; SU, B. Significant remote sensing vegetation indices: a review of developments and applications. **Journal of Sensors**, London, v. 2017, p. 1-17, 2017.

ZEGADA-LIZARAZU, W.; MONTI, A. Photosynthetic response of sweet sorghum to drought and re-watering at different growth stages. **Physiologia Plantarum**, Hoboken, v. 149, p. 56-66, 2013.

VADEZ, V. Root hydraulics: the forgotten side of roots in drought adaptation. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 165, p. 15-24, 2014.

VAN DEN ENDE, W.; EL-ESAWI, S. Sucrose signaling pathways leading to fructan and anthocyanin accumulation: a dual function in abiotic and biotic stress responses? **Environmental and Experimental Botany**, Oxford, v. 108, p. 4-13, 2013.

VELÁZQUEZ-MÁRQUEZ, S.; CONDE-MARTÍNEZ, V.; TREJO, C.; DELGADO-ALVARADO, A.; CARBALLO, A.; SUÁREZ, R.; MASCORRO, J.O.; TRUJILLO, A. R. Effects of water deficit on radicle apex elongation and solute accumulation in *Zea mays* L. **Plant Physiology and Biochemistry**, Paris, v. 96, p. 29-37, 2015.

YAN, W.; ZHONG, Y.; SHANGGUAN, Z. Evaluation of physiological traits of summer maize under drought stress. **Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil & Plant Science**, Oslo, v. 66, p. 133-140, 2015.

YAN, H.; WU, L.; FILARDO, F.; YANG, X.; ZHAO, X.; FU, D. Chemical and hydraulic signals regulate stomatal behavior and photosynthetic activity in maize during progressive drought. **Acta Physiologiae Plantarum**, Heidelberg, v. 39, p. 125, 2017.

YANG, L.; FOUNTAIN, J. C.; JI, P.; NI, X.; CHEN, S.; LEE, R. D.; KEMERAIT, R. C.; GUO, B. Deciphering drought-induced metabolic

responses and regulation in developing maize kernels. **Plant Biotechnology Journal**, Hoboken, p. 1-13, 2018.

YANG, L.; FOUNTAIN, J. C.; WANG, H.; NI, X.; JI, P.; LEE, R. D.; KEMERAIT, R. C.; SCULLY, B. T.; GUO, B. Stress sensitivity is associated with differential accumulation of reactive oxygen and nitrogen species in maize genotypes with contrasting levels of drought tolerance. **International Journal of Molecular Sciences**, Basel, v. 16, p. 24791-24819, 2015.

ZAMAN-ALLAH, M.; VERGARA, O.; ARAUS, J. L.; TAREKEGNE, A.; MAGOROKOSHO, C.; ZARCO-TEJADA; HORNERO, A.; ALBÀ, A. H.; DAS, B.; CRAUFURD, P.; OLSEN, M.; PRASANNA, B. M.; CAIRNS, J. Unmanned aerial platform-based multi-spectral imaging for field phenotyping of maize. **Plant Methods**, London, v. 11, p. 35, 2015.

ZHU, J. K. Abiotic stress signaling and responses in plants. **Cell**, Cambridge, v. 167, p. 313-324, 2016.

ZHU, J.; BROWN, K. M.; LYNCH, J. P. Root cortical aerenchyma improves the drought tolerance of maize (*Zea mays* L.). **Plant, Cell & Environment**, Oxford, v. 33, p. 740-749, 2010.

ZIA, S.; ROMANO, G.; SPREER, W.; SANCHEZ, C.; CAIRNS, J.; ARAUS, J. L.; MÜLLER, J. Infrared thermal imaging as a rapid tool for identifying water-stress tolerant maize genotypes of different phenology. **Journal of Agronomy and Crop Science**, Hoboken, v. 199, p. 75-84, 2013.

Capítulo 21

Biorreguladores na Amenização dos Efeitos de Estresse Abiótico nas Culturas de Milho e Sorgo

João Domingos Rodrigues

Evandro Binotto Fagan

Elizabeth Orika Ono

Introdução

Cada vez mais a agricultura busca aumentar a produtividade das plantas. E, para isso, precisamos torná-las mais eficientes na exploração dos recursos disponibilizados, como os fertilizantes, a água e a luz, para que consigamos ter ganhos significativos, sem aumentar os custos de produção. Desta forma, torna-se estratégico o emprego de novas tecnologias e, neste contexto, o uso de biorreguladores é uma prática que visa tornar as plantas mais eficientes, adaptadas a explorar melhor o ambiente e com maior capacidade de expressão do potencial genético. No entanto, situações estressantes, ligadas ao ambiente, denominadas estresses abióticos, representam problemas graves para a agricultura, sendo considerado o fator mais prejudicial para a produtividade das culturas em todo o mundo. Normalmente, há uma combinação de fatores agindo conjuntamente, sendo os abióticos difíceis de evitar, como temperatura e radiação elevadas, salinidade, déficit hídrico, geadas, etc., transformando-se em incertezas de uma eficiente produtividade. As mudanças climáticas mundiais estão se tornando forte combustível para o

surgimento desses estresses abióticos em todo o mundo, sendo necessário que as plantas estejam preparadas para os eventos estressantes, uma das funções dos biorreguladores, os quais agem minimizando os efeitos dos estresses abióticos.

Como já escrito, os fatores ambientais são as principais causas de estresse no meio agrícola. A falta ou excesso de água, luminosidade e nutrientes adequados ao solo, além dos ataques de pragas e doenças, como fungos, vírus e bactérias são responsáveis por reduzir ou aumentar a produtividade e a viabilidade econômica das culturas.

Para combater ou minimizar os efeitos do estresse, muitas ações podem ser tomadas, dependendo da causa específica. Maia (2014) explica que a primeira providência deve ser cessar a causa do estresse, ressaltando que os biorreguladores tem se mostrado alternativa bastante efetiva, pois atuam em processos fundamentais para a sobrevivência e a manutenção do bom estado da planta, podendo amenizar os danos causados pelo estresse. O referido autor cita que quando a planta é afetada por algum estresse, acaba utilizando grande parte da energia, refletindo na redução do crescimento, desenvolvimento e produção. Em trabalhos por ele realizados, a utilização de uma mistura de reguladores vegetais, promotores do desenvolvimento, como Citocininas (CK), Auxinas (Ax) e Giberelinas (GA_3) contribuiu de forma significativa para reduzir em mais de 20% as perdas de produção em ambientes com deficiência hídrica, ocorrendo tal efeito por influência positiva no processo fotossintético. Este é o principal processo metabólico afetado, em razão da sua importância para a planta e para a produtividade, já que esse processo é o responsável para o fornecimento de energia que mantém a vida e o acúmulo de biomassa de interesse econômico,

além de garantir a energia para o reparo de danos causados pelos estresses. Durante o estudo realizado pelo referido autor, notou-se que plantas tratadas com biorreguladores apresentaram aumento de 34% no potencial fotossintético e 35% na atividade da enzima ribulose 1,5-difosfato carboxilase/oxigenase (Rubisco), a qual participa desse importante processo nas plantas. No trabalho realizado, foi comprovado que a utilização de biorregulador proporcionou efeito positivo nas taxas fotossintéticas em plantas submetidas ao estresse, evidenciando seu papel como agente de combate ou amenização desse estresse, podendo reverter parte das perdas de produtividade causadas pelo gasto de energia, energia essa utilizada pela planta no combate ao estresse.

Os biorreguladores possuem efeitos similares aos dos hormônios vegetais conhecidos e podem ser aplicados diretamente nas plantas, minimizando os efeitos do estresse e contribuindo para o desenvolvimento da espécie, pois restabelece o equilíbrio hormonal. Esses ganhos, relatados por Maia (2014), devem-se à redução do estresse no momento da frutificação, ao efeito dos hormônios na divisão e alongamento celular, aumentando a força do dreno destes frutos, aumentando a transferência de açúcares, permitindo não só o maior estabelecimento de frutos, mas incrementos no tamanho dos grãos. Além disso, o uso de biorreguladores favorece o desenvolvimento vegetativo das plantas, aumentando os pontos de frutificação e maior enfolhamento (maior produção de açúcares). O uso de biorreguladores é uma prática que permite à planta explorar o ambiente e os recursos que estão sendo disponibilizados de forma eficiente, mantendo o equilíbrio hormonal ao longo do ciclo da cultura. Atualmente, o uso de biorreguladores na produção agrícola vem aumentando, principalmente na produção de grãos, mormente em culturas como milho, feijão

(*Phaseolus vulgaris* L.), etc. (Dourado Neto et al., 2014). Dentre os biorreguladores comerciais destaca-se um produto com uma mistura estequiometricamente sinérgica, que tem em sua constituição três substâncias promotoras de crescimento, o ácido indolilbutírico (IBA, auxina), cinetina (Kt, citocinina) e o ácido giberélico (GA₃, giberelina). Acredita-se que este biorregulador pode, em função de sua composição, concentração e proporção das substâncias, incrementar o crescimento e o desenvolvimento vegetal, estimulando a divisão celular, podendo também aumentar a absorção de água e nutrientes pelas plantas (Vieira; Castro, 2004).

A cultura do milho (*Zea mays* L.) é uma das mais importantes para o setor agrícola do Brasil. A produtividade desta cultura está alavancada em vários processos tecnológicos que incluem o sistema solo-planta-atmosfera, além do manejo adotado por cada produtor. O potencial produtivo desta cultura é grande, em razão da possibilidade de ela produzir pelo menos de 400 a 600 sementes por espiga a partir de uma única planta. Um exemplo do grande potencial produtivo da cultura do milho foi observado pelos dados obtidos por Randy Dowdy de Valdosta, da Geórgia, Estados Unidos. Esse produtor utilizando sementes da 'Dekalb' alcançou produtividade média de 31,5 toneladas ha⁻¹. Obviamente, para que esta produtividade seja alcançada, vários fatores devem favorecer o cultivo, muitos dos quais não dependem diretamente do produtor como é o caso do clima e do solo.

A obtenção de elevados patamares produtivos está ligada à maximização do potencial fisiológico das plantas. Uma das alternativas que tem se buscado é a utilização de biorreguladores. A aplicação de hormônios promotores de crescimento tem sido

uma das propostas desenvolvidas, com o intuito de induzir crescimento e resistência em plantas, buscando incrementos de produtividade.

Os efeitos benéficos de auxinas, giberelinas e citocininas tem sido relacionado ao aumento do crescimento radicular, absorção de nutrientes, atraso de senescência foliar, redução do aborto de flores, entre outros. De acordo com Castro e Vieira (2001), as auxinas, citocininas e giberelinas existentes na formulação da mistura hormonal comercial podem incrementar o crescimento e desenvolvimento vegetal, por cauda do seu efeito na divisão e expansão celular, podendo também aumentar a absorção de água e nutrientes pelas plantas por incrementar a produção de raízes secundárias.

Para determinar o efeito da aplicação de hormônios promotores de crescimento em plantas de milho, quer seja pelas sementes ou foliar é necessária a avaliação de alguns parâmetros fisiológicos. A análise da atividade de algumas enzimas pode ser fator importante para determinar a condição fisiológica da planta. Em células vegetais, enzimas antioxidantes como a superóxido dismutase (SOD), peroxidase (POD) e catalase (CAT) são consideradas ferramentas de defesa de proteção contra o estresse oxidativo (Mittler, 2002). O incremento da atividade da SOD, POD e CAT tem relação direta à tolerância de plantas aos estresses ambientais (Koca et al., 2007).

Também existe carência de informações sobre a ação dos biorreguladores no metabolismo da planta, especialmente na atividade da enzima nitrato redutase e teor de proteína foliar, quando as aplicações são realizadas em diferentes estádios de desenvolvimento. Esses dados podem informar o tempo de

contribuição dos biorreguladores, no incremento da atividade fisiológica da planta, principalmente, em estádios onde a cultura necessita de fotoassimilados, como é o caso do período compreendido entre o florescimento e enchimento de grãos. Também é importante ressaltar que na fase vegetativa a planta apresenta elevada atividade fisiológica. Dessa forma, a aplicação de biorreguladores que potencializam o metabolismo da planta pode proporcionar aumentos na taxa de crescimento, o que pode repercutir na produtividade de grãos.

Dessa forma, temos que sempre ter em mente a utilização de biorreguladores para expressar da melhor forma possível o potencial genético das plantas e a redução das perdas. Para estas, seria necessário o manejo ambiental, em termos de densidade de plantio, fertilidade do solo, irrigação, escalonamento do plantio, controle de pragas, doenças e plantas não desejáveis. Além disso, acima disso tudo, manejar as plantas, tornando-as mais eficientes para melhor explorar o ambiente, objetivando o alcance do rendimento do potencial genético produtivo (RPGP), atualmente bem abaixo desse patamar. Para chegar mais próximo do RPGP temos que garantir a população de plantas, desenvolver o sistema radicular, aumentar o número de grãos, entre outros aspectos. Por exemplo, para um RPGP teórico para o milho de 38 toneladas ha^{-1} , a média nacional de produção gira em torno de 8 toneladas ha^{-1} , longe do rendimento potencial. Além disso, para nos aproximarmos do RPGP, além do que já foi citado, Arias (2004) reporta fatores importantes como disponibilidade de água, aumento da fotossíntese (a própria produtividade) e incremento na transferência de fotoassimilados. Então, a melhora da produtividade, visando nos aproximar mais da RPGP, depende da ação dos biorreguladores no metabolismo das plantas, afetando processos fundamentais como a fotossíntese e

a redução do estresse, como veremos adiante. Portanto, a atuação dos fatores ambientais, altera a síntese de hormônios vegetais, os quais regulando a expressão genica, afetam diretamente a produtividade (**Figura 1**).

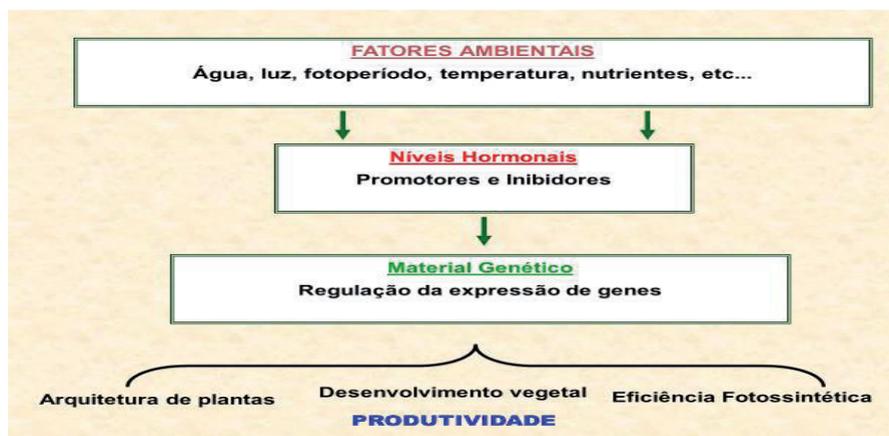


Figura 1. Fatores ambientais influenciando os níveis hormonais e a produtividade.

É importante conceituar os termos hormônios vegetais e biorreguladores, para facilitar o entendimento. Hormônios vegetais são compostos orgânicos de ocorrência natural, que em baixas concentrações (ppm) causam profundas influências na fisiologia das plantas. São mensageiros químicos que produzidos em pequena quantidade em um local específico, induzem respostas em outras localizações da planta. Importante para a ação hormonal é a presença de células alvo e de seus receptores proteicos nos diferentes tecidos ou órgãos, dependendo do estágio de desenvolvimento. As células alvo são grupos de células que reconhecem e selecionam os diferentes hormônios através de receptores proteicos, proteínas estruturais que ocorrem na membrana plasmática, onde atuam os hormônios vegetais

não esteroides. Durante a ligação com o hormônio, a proteína receptora sofre alteração conformacional, causando mudanças metabólicas que levam à amplificação do sinal hormonal ou à produção de mensageiros secundários, que por sua vez, levarão à resposta fisiológica, como mostra a **Figura 2** (Amaral, 2015). A sinalização hormonal possui três passos principais: a recepção, que é dependente da presença de células alvo; a transdução do sinal, que engloba as reações de produção dos mensageiros secundários e a tradução, a resposta fisiológica em nível celular (Fagan et al., 2015).

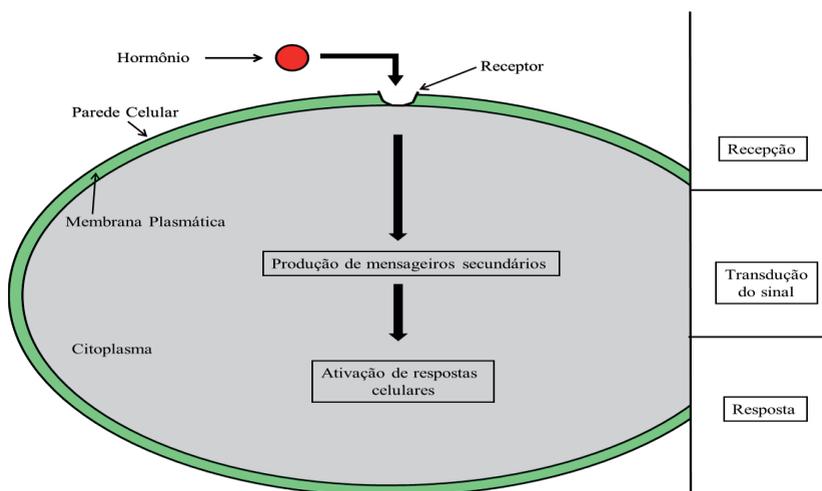


Figura 2. Amplificação do sinal hormonal que ativa respostas celulares.

A interação entre hormônio e receptor ocorre em sítios específicos, em concentrações extremamente baixas, desencadeando diversos processos fisiológicos, de modo a promover, inibir ou modificar o crescimento e desenvolvimento da planta, sendo extremamente importante nas respostas a fatores ambientais.

Os principais grupos hormonais encontrados em plantas são divididos em promotores e inibidores de desenvolvimento. Os promotores de desenvolvimento são as auxinas (Ax), giberelinas (GA) e citocininas (CK), enquanto que os inibidores mais conhecidos são o etileno (ET) e o ácido abscísico (ABA). Contudo, também existem outros compostos que recentemente foram considerados hormônios vegetais, dentre eles destacam-se os brassinosteróides (BR), salicilatos (SA), jasmonatos (JA), poliaminas (PA), hormônios peptídeos (PPT) e estrigolactonas.

Os hormônios vegetais (*plant hormones* ou *phytohormones*) podem ser definidos como “reguladores produzidos pelas plantas, os quais em baixas concentrações, regulam processos fisiológicos nessas plantas” e que os hormônios vegetais podem-se mover do local de síntese para o local de ação nas plantas (Arteca, 1995). A partir dessa definição, o termo “hormônio” em plantas deve ser utilizado exclusivamente para as substâncias naturais das plantas, ou seja, endógenas e o termo “regulador vegetal” para substituir o termo hormônio vegetal quando se refere aos produtos químicos não naturais da planta, como os produtos agrícolas que são utilizados para controlar os cultivos (Weaver, 1982). Segundo Cleland (1996), o termo *plant growth regulators* ou reguladores do desenvolvimento vegetal tem sido utilizado como sendo “um composto sintético que quando utilizado em baixas concentrações ($1 \mu\text{mol L}^{-1}$ ou menor) modifica o crescimento ou o desenvolvimento vegetal.

Para Castro e Vieira (2001) os reguladores vegetais são substâncias sintetizadas que, quando aplicadas exogenamente nas plantas, promovem efeitos semelhantes aos grupos de hormônios vegetais conhecidos. Logo, reguladores vegetais são compostos naturais ou sintéticos que exibem atividade biológica

no controle do crescimento e do desenvolvimento das plantas. As mais diversas classes de reguladores vegetais desenvolvidos e estudados pela pesquisa, ao longo dos anos, têm proporcionado melhorias ao sistema de cultivo de diversas culturas. Em muitos casos, a utilização de reguladores vegetais se torna prática indispensável à viabilidade de sistemas de cultivo. Deste modo, o estudo de substâncias que regulam o metabolismo, inibindo, promovendo ou modificando o crescimento e o desenvolvimento de culturas é indispensável para que o potencial produtivo das culturas seja expresso em níveis satisfatórios (Rodrigues; Fioreze, 2015).

Os biorreguladores são reguladores vegetais classificados como promotores do crescimento, apresentando atividade semelhante aos hormônios vegetais endógenos encontrados nas plantas. Neste grupo, os reguladores vegetais mais comuns são produtos à base de giberelinas (ácido giberélico) e produtos compostos por mais de um grupo hormonal, como auxinas, giberelinas e citocininas. Estudos realizados sobre o processo de germinação de sementes demonstram que a aplicação de ácido giberélico acelera a germinação e aumenta a quantidade de sementes germinadas. A pré-embebição de sementes de milho doce com 50 mg L^{-1} de ácido giberélico, após oito meses de armazenamento, promoveu o aumento da atividade metabólica durante o processo de germinação, resultando em maior vigor e germinação. O regulador vegetal utilizado apresenta 10% de ácido giberélico em sua composição, sendo registrado para a aplicação via sementes nas culturas do milho e arroz (Aragão et al., 2001, 2003). Além desse, existe outro regulador vegetal comercial registrado para o milho, formulado com 50 mg L^{-1} de ácido indolibutírico (IBA), 90 mg L^{-1} de cinetina (Kt) e 50 mg L^{-1} de ácido giberélico (GA_3), que será aqui tratado como IBA+Kt+ GA_3 . Na cultura do milho, sua

aplicação é recomendada em tratamento de sementes, aplicação no sulco de semeadura, ou mesmo, em aplicações foliares nas fases iniciais do desenvolvimento da cultura, entre os estádios V1 e V4 do desenvolvimento. Pode-se considerar que os estudos da eficácia da aplicação de biorreguladores na cultura do milho ainda são escassos, quando comparados com outras classes de reguladores vegetais em outras culturas, como é o caso dos inibidores da biossíntese de giberelina nas culturas do algodão e do trigo.

O objetivo principal da aplicação de biorreguladores na cultura do milho é promover o rápido desenvolvimento inicial das plantas, favorecendo a exploração do solo pelas raízes e o desenvolvimento foliar. Desse modo, as plantas poderão aproveitar os recursos ambientais, como água, nutrientes e radiação solar, de forma mais eficiente durante o período de diferenciação de espigas, que ocorre nos estádios iniciais do desenvolvimento da cultura. Este estímulo inicial ao desenvolvimento da cultura pode representar maior vantagem competitiva contra plantas não desejáveis, ou mesmo, em relação ao estresse ambiental. De modo geral, aplicações de IBA+Kt+GA₃ em sementes (1,5 L 100 kg⁻¹) apresentam incrementos em produtividade, apresentando maior facilidade de aplicação. Os efeitos provenientes da aplicação desta classe de biorreguladores têm sido relacionados com incremento no crescimento de raízes, diâmetro de colmos, número de fileiras de grãos por espiga e de grãos por fileira, resultando em incremento de produtividade (Dourado Neto et al., 2004).

Dentro da fisiologia vegetal desenvolveu-se um conceito importante, o da essencialidade hormonal, ou seja, o hormônio vegetal é fundamental para todas as fenofases da vida da planta,

não sendo o milho uma exceção. Logo, deve ser pensada a sua utilização, se possível, durante toda a vida da planta, pois atua nos principais processos fisiológicos, os quais não ocorrem a contento se não for fornecido o biorregulador. Assim, desde a fase de semente até a reprodutiva, estas não acontecerão com qualidade, ocorrendo queda na emergência, crescimento, formação de grãos e, com certeza, na produtividade. Assim, processos fundamentais como a fotossíntese, a emissão do sistema radicular, a relação fonte-dreno, a redução do estresse, são extremamente dependentes dos biorreguladores, não se devendo pensar no uso desses produtos para finalização de ciclo, como um simples "produto foliar de acabamento" a mais, no sentido de melhora final, melhora que não vai ocorrer, pois sua atuação é durante as fases fenológicas que antecedem o final do ciclo da cultura. Utilizado assim, não vai haver resposta. Logo, os hormônios e, conseqüentemente, os reguladores vegetais são importantes em todas as fases de crescimento e desenvolvimento das plantas como pode ser visto na **Figura 3**.



Figura 3. Importância dos hormônios vegetais em todas as fenofases da planta de milho.

Ao mesmo tempo, observa-se pela **Figura 3** que todos os processos fisiológicos são ativados por mais de um hormônio vegetal ao mesmo tempo, mostrando que esses compostos atuam não de forma isolada, mas em conjunto. Isto deve-se à interação hormonal, função de um balanço entre os vários hormônios vegetais ou biorreguladores envolvidos. Dessa forma, fica claro que deve se utilizar na agricultura e na cultura do milho, biorreguladores que tenham mais de um grupo de regulador vegetal ao mesmo tempo, para fornecer os produtos da forma que a planta os sintetiza e utiliza, ou seja, uma mistura hormonal, estequiometricamente balanceada de forma sinérgica, fornecendo os reguladores na forma e condição de uso imediato pela planta, visando seu melhor desenvolvimento e aproveitamento total, no momento adequado, como pode ser observado na **Figura 4**.

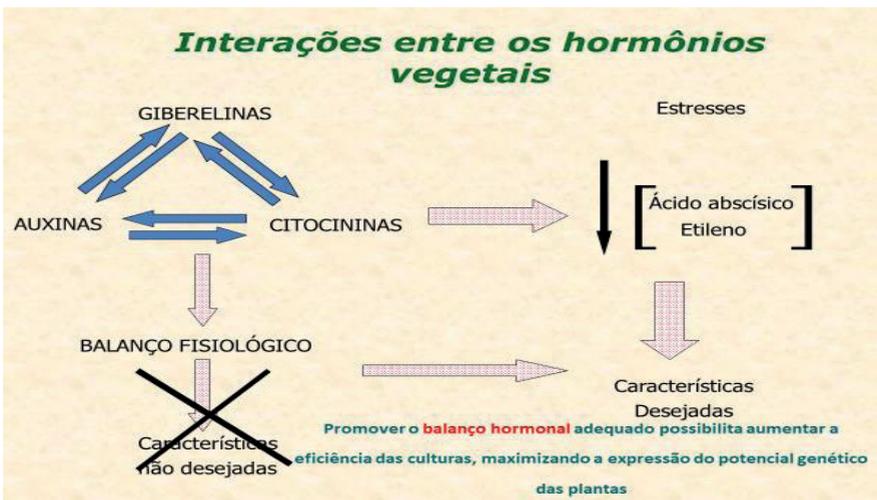


Figura 4. Interações entre diferentes hormônios vegetais.

Como já nos referimos, o estresse abiótico influencia negativamente os processos fisiológicos importantes como a fotossíntese, a formação e enchimento de grãos ou na relação fonte-dreno, formação de moléculas como as espécies reativas ao oxigênio (EROs) ou radicais livres, extremamente nocivas, podendo levar as células à morte. Como os biorreguladores podem atenuar ou mesmo reprimir os efeitos do estresse abiótico, vamos abordar a ação dos biorreguladores atuando na melhora desses processos fisiológicos, mesmo em situações de estresse, revertendo em aumentos de produtividade.

Biorreguladores na fotossíntese

Inicialmente, devemos ter consciência de que o que realmente determina a produção vegetal é a fotossíntese, cujo processo com o auxílio dos biorreguladores podemos, de certa forma, manipular. No entanto, para tal, temos que entender bem esse processo, onde a planta absorve o carbono do ar e, na presença de luz e água disponível no solo para a planta, o incorpora na forma de carboidrato. A fotossíntese é a base de toda a produção vegetal, sendo a produtividade nada mais do que a fotossíntese líquida, ou seja, a fotossíntese bruta ou total, menos o que a planta gasta nos processos de respiração e fotorrespiração, sendo que no caso do milho como planta C_4 , o processo de fotorrespiração é desprezível, devendo ser considerado apenas o gasto com a respiração. A **Figura 5** exemplifica essa questão.

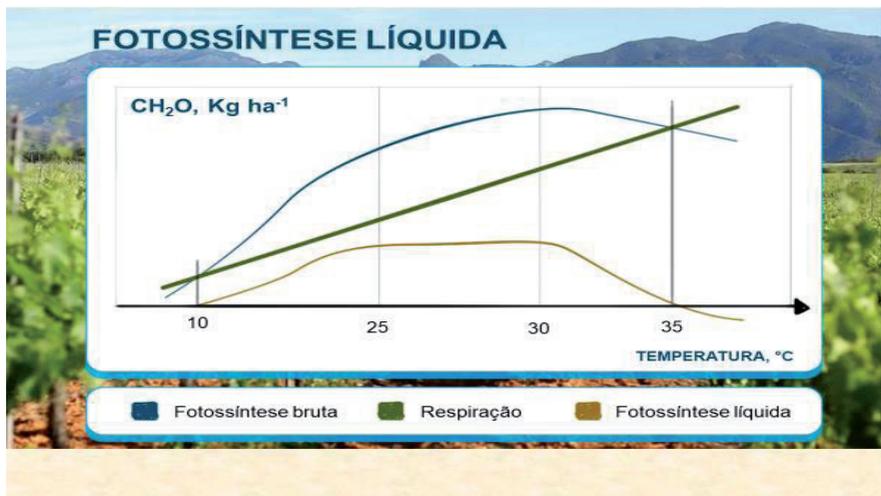


Figura 5. Fotossíntese líquida = produtividade.

Logo, os carboidratos, produzidos na fotossíntese, são armazenados nos drenos (grãos, sementes, raízes, etc.) e ou utilizados no crescimento, frutificação e em todos os outros processos metabólicos, como a respiração, por exemplo. Devemos pensar que existe uma competição interna na planta por carboidratos que limita a produtividade: a planta realiza a fotossíntese poucas horas por dia (até ocorrer o fechamento estomático) mas respira, ou seja, consome carboidratos, 24 horas por dia! Quanto mais elevada a temperatura diurna e noturna, mais elevada será a respiração. Logo, menor fotossíntese líquida. Assim, o processo produtivo sofre influência de vários processos, entre os quais, o tamanho da superfície fotossintética, a taxa de fotossíntese líquida e taxa de distribuição de fotoassimilados, bem como, o tamanho e número de sementes, por exemplo. Ao mesmo tempo, alguns fatores podem afetar fortemente a fotossíntese como, o desequilíbrio nutricional, redução da área foliar, déficit hídrico e dias nublados. No entanto, os biorreguladores podem aumentar a fotossíntese bruta e com isso,

aumentar a produtividade, pelo aumento da fotossíntese líquida. Tal fato pode ser observado na **Figura 6** (Cato et al., 2017) que mostra o efeito de biorreguladores composto por Citocinina (CK – Cinetina (Kt)) + Auxina (Ax – IBA) + Giberelina (GA_3) no potencial fotossintético e na atividade da enzima Rubisco, catalisadora da redução do CO_2 a carbono e na eficiência de conversão da luz em plantas de soja que receberam a aplicação desse biorregulador em tratamento de semente e no estágio R2.



Figura 6. Ação de Biorreguladores no aumento da eficiência fotossintética. Fonte: Palestra do Prof. Dr. Gustavo Maia, Universidade Federal de Pelotas, 2012.

Esse efeito dos biorreguladores na fotossíntese se estende para todas as plantas, sejam C_3 como soja ou C_4 , como a cana-de-açúcar, submetidas ou não a condições de estresse abiótico. Estudos realizados em cana-de-açúcar (Zilliani, 2015; Cato et al., 2017), com e sem estresse hídrico, englobando a fase fotoquímica da fotossíntese (taxa de transporte de elétrons), bem como a fase bioquímica ou fase de síntese orgânica, onde se estudou o potencial fotossintético, a atividade das enzimas de carboxilação,

fosfoenol-piruvato carboxilase (PEPcase) e Rubisco e a eficiência do uso da água, com avaliações sendo realizadas diariamente por 30 dias pós estresse hídrico, com auxílio do *Infrared gas analyser* (IRGA), mostrou a ação da mistura sinérgica dos biorreguladores (Kt+IBA+GA₃) em suplantando o estresse causado pelas condições de deficiência hídrica, como mostra a **Figura 7**.

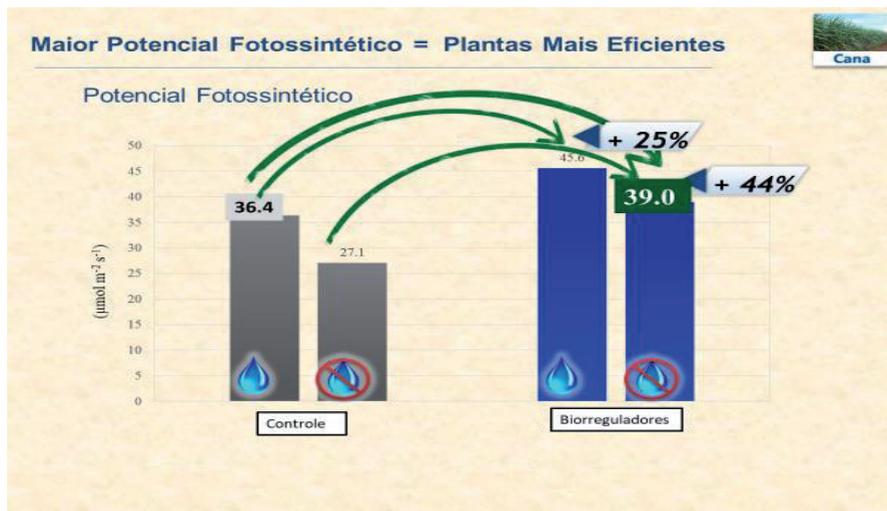


Figura 7. Ação de biorreguladores no aumento da fotossíntese em cana, com e sem déficit hídrico.

Fagan (2015) estudou a ação de biorreguladores na forma da mistura sinérgica (Kt+IBA+GA₃) sobre parâmetros fisiológicos e produtivos do milho, em condições de campo, em Patos de Minas, Minas Gerais, obtendo sempre valores superiores para as plantas que receberam os biorreguladores em relação àquelas que não receberam. O referido autor avaliou os teores de prolina, aminoácido que indica resistência ao estresse, nível de proteína total, atividade da enzima redutase de nitrato, importante na redução e posterior utilização do nitrogênio, além da fotossíntese

líquida por intermédio da determinação da Taxa Assimilatória Líquida (TAL). Avaliou também o efeito dos biorreguladores na massa seca de raízes, massa seca de caule, fileiras por espiga e grãos por fileira, com valores sempre superiores para as plantas que receberam a aplicação de biorreguladores (**Figura 8**).

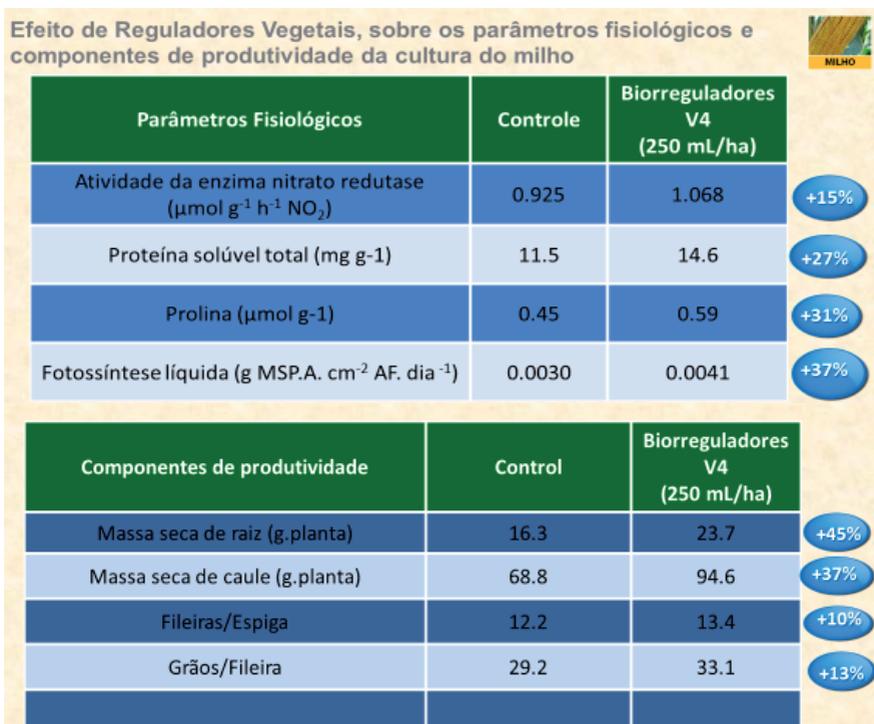


Figura 8. Biorreguladores e efeitos em algumas avaliações fisiológicas e da produtividade na cultura do milho.

Sobre os parâmetros fisiológicos avaliados e apresentados na Figura 8, Fagan (2015) aborda cada um deles. Assim, até os 42 dias após a semeadura, o melhor comportamento na análise da nitrato redutase foi verificado no tratamento com aplicação de biorreguladores no estágio V₄ com acréscimo de 15% em relação

ao controle. Por causa do papel da disponibilidade de N na modulação do metabolismo da planta, sugere-se que a atividade da enzima nitrato redutase esteja associada com a produtividade ou a capacidade de plantas de milho a responder à adubação nitrogenada (Borges et al., 2006). De acordo com Eghball e Maranville (1993) populações de milho que apresentam baixa atividade da enzima nitrato redutase são menos produtivas, possuindo baixa eficiência do uso de N aplicado no solo. Em função disso, plantas que apresentam maior atividade da enzima nitrato redutase são mais promissoras para respostas de aumento em produtividade.

A quantificação do teor de proteína na folha é de extrema importância durante o crescimento vegetativo; isso porque, durante esta fase as plantas de milho apresentam elevada taxa fotossintética que é destinada para o crescimento de novos órgãos vegetativos e armazenamento no colmo para a fase reprodutiva. A proteína presente nas folhas está ligada a tecidos que realizam a fixação fotossintética do CO₂ atmosférico, via ação catalisadora das enzimas fosfoenol piruvato carboxilase (PEPcase) e Ribulose 1,5-Bifosfato Carboxilase/Oxigenase (Rubisco).

A prolina tem sido considerada um dos principais aminoácidos protetores contra estresse. Dentre suas inúmeras funções destacam-se: (a) como chaperonas moleculares capazes de proteger a integridade de proteínas. Essa função inclui a prevenção da agregação e estabilização da M₄ lactato desidrogenase durante temperaturas extremas (Weltmeier et al., 2006), proteção da enzima nitrato redutase em situações de estresses por metais pesados e osmótico (Sharma; Dubey, 2005), além da estabilização de ribonucleases e proteases em elevadas exposições de arsênio (Mishra; Dubey, 2006); (b) vários estudos tem atribuído à prolina

atividade antioxidante, sugerindo-a como um potente agente com atividade desintoxicante (Smirnoff; Cumbes, 1989; Matysik et al., 2002). O maior valor, 31% a mais do que o controle, foi verificado quando se utilizou o biorregulador no estádio V_4 .

A relevância da determinação da TAL está na informação da quantidade de fotoassimilados que foi sintetizado pelas folhas e utilizado diretamente para o crescimento ao longo do tempo; nesse processo a sacarose é o principal carboidrato transportado no floema de plantas de milho. Portanto, o incremento na taxa fotossintética das folhas, especialmente na fase reprodutiva, proporciona maior disponibilização de sacarose para a formação e enchimento de grãos, evidenciando que durante o florescimento e formação de sementes, qualquer alteração na taxa fotossintética da planta afeta a produção. Desta forma, quanto maior a duração da área foliar na planta, maior será o potencial produtivo.

A quantificação da taxa de assimilação líquida reflete a dimensão do sistema assimilador, atribuído às folhas, que é envolvido na produção de massa seca da parte aérea. ATAL também representa os fotoassimilados sintetizados pela fotossíntese e aquele oxidado na respiração, a própria fotossíntese líquida, indicando assim, a eficiência da planta no aumento da produtividade. Com o uso do biorregulador houve aumento de 37% da TAL, comparado com o controle.

A avaliação do sistema radicular é de fundamental importância no desenvolvimento de plantas, por ser o seu maior "capital"; portanto, devemos ter grande consideração e preocupação com este investimento, no intuito de obtenção de plantas altamente produtivas. Sistemas radiculares com baixa taxa de crescimento não são apenas menos competitivos em água e

nutrientes em relação a raízes com maior nível de crescimento, mas principalmente, por apresentarem menor capacidade de síntese hormonal. Assim, o uso de biorreguladores proporcionou aumentos de 45% na taxa de crescimento radicular, quando se utilizou aplicações tanto no estágio V_4 como no V_8 . Logo, o acúmulo de massa seca de raízes que foi incrementado pelos biorreguladores, pode ocasionar vantagens competitivas na produtividade.

Plantas de milho acumulam grande quantidade de carboidratos e outros compostos orgânicos no colmo a fim de fornecê-los em períodos de estresse ou durante o enchimento de grãos. Portanto, os efeitos evidenciados no aumento da massa de caule com o uso de reguladores vegetais é um aspecto importante na amenização do estresse e na maior eficiência da fase reprodutiva.

Assim, o efeito das atividades fisiológicas da utilização da mistura sinérgica de biorreguladores, Kt + IBA + GA_3 , no estágio V_4 , relacionadas à assimilação de nitrogênio, teor de clorofila, teor proteico da folha e taxa assimilatória líquida culminou em alterações nas taxas de aumento de massa de raiz, caule e folha, além da ação na redução do estresse oxidativo, assunto a ser abordado em seguida.

Metabolismo oxidativo - espécies reativas de oxigênio (EROs)

As espécies reativas de oxigênio (EROs) são sintetizadas como subprodutos do metabolismo aeróbio das plantas, decorrentes dos processos realizados na fotossíntese e na respiração, no qual o oxigênio molecular (O_2) é metabolizado e transformado nas EROs. As principais organelas responsáveis por gerar esses

produtos são os cloroplastos, os peroxissomas e as mitocôndrias, que também apresentam eficiente maquinaria antioxidante, sendo, porém, inevitável as alterações na homeostase dessas EROs, quando a planta passa por períodos de estresse biótico e abiótico (Draper, 1997; Vranová et al., 2002; Apel; Hirt, 2004; Foyer; Noctor, 2005; Lehmann et al., 2015). Esses mecanismos modificam o estado funcional do oxigênio molecular (O_2), ocorrendo a inversão do giro dos elétrons não pareados que forma o oxigênio singleto (1O_2), que irá originar várias formas de moléculas reduzidas e quimicamente reativas (Vranová et al., 2002). O oxigênio singleto (1O_2) sofre ação de enzimas e é convertido em radical superóxido (O_2^-) e, em seguida, em peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e radical hidroxila (OH^\cdot) (Wojtaszek, 1997; Hancock et al., 2001).

As EROs podem apresentar diferentes funções nas plantas, podendo ser expressas como fatores prejudiciais, protetores ou sinalizadores. Esses fatos dependem do equilíbrio da síntese e da atividade de enzimas antioxidantes. Dessa forma, pode-se dizer que essas moléculas podem danificar as células da planta, ocorrendo a peroxidação de lipídios da membrana celular, peroxidação das proteínas e danos ao DNA, podendo danificar as células de forma definitiva, podendo ocorrer até mesmo morte celular. Concomitante a este processo, inicia-se o aumento da atividade de enzimas antioxidantes como resposta inicial de defesa. Porém, quando esse estresse é muito prolongado ou extenso, ocorre uma "explosão oxidativa" (aumento de EROs) que não é acompanhada na mesma proporção pelo incremento da atividade de enzimas antioxidantes, culminando assim na morte celular (Carvalho, 2008).

Teor de peróxido de hidrogênio (H_2O_2)

O peróxido de hidrogênio se destaca como substrato para as EROs por ser uma molécula estável, ausente de carga, moderadamente reativa e com meia-vida considerada longa (1ms). Essas características permitem atuação em processos fisiológicos, como senescência, fotorrespiração, fotossíntese, movimento estomático e ciclo celular. Salienta-se que o peróxido de hidrogênio apresenta a capacidade de ser ativado por determinado estresse oxidativo (Garcia, 2018). Sendo reflexo do metabolismo oxidativo, plantas que apresentem elevados teores de peróxido de hidrogênio, provavelmente estão submetidas a intensos estresses ambientais que podem ocasionar danos em lipídios de membrana, DNA, RNA e outras biomoléculas. No entanto, é importante salientar que o incremento na síntese de peróxido de hidrogênio nem sempre resulta em efeitos negativos em plantas, pois esta molécula pode funcionar como agente sinalizador (Neill et al., 2002), incluindo: respostas a elicitores de patógenos (Kachroo et al., 2003), fechamento estomático (Chen; Gallie, 2004), resistência sistêmica adquirida (Chen et al., 1993) e morte celular programada (Levine et al., 1994). As plantas apresentam mecanismos que regulam a concentração de EROs, que em excesso acarretam em danos às células como a peroxidação de lipídios (Jambunathan, 2010). Dessa forma, observam-se as atividades das enzimas antioxidantes que permitem uma homeostase do sistema celular, como a superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT) e peroxidase (POD) (Barbosa et al., 2014). Sabe-se em função de diversos estudos, como de Fagan (2015), que os biorreguladores aumentam a atividade das enzimas antioxidantes, dando condições de redução das consequências ocasionadas pelo estresse abiótico.

Superóxido Dismutase (SOD)

As SODs são metalo-enzimas extremamente fundamentais na evolução dos seres vivos, por causa da proteção contra o radical superóxido (O_2^-). São as primeiras defesas da planta ativadas contra os EROs, catalisando a dismutação dos radicais O_2^- , gerando H_2O_2 e O_2 , nos cloroplastos, mitocôndrias, citosol e nos peroxissomos. As ações dessas enzimas reduzem o risco de formação de radicais hidroxilas (OH^-), altamente tóxicos para as células vegetais (Mittler, 2002; Bhattacharjee, 2010; Miller, 2012). Estudos recentes revelam que a SOD presente no núcleo celular regula a expressão de vários genes de respostas oxidativas, conhecidos por fornecer resistência ao estresse da oxidação e de replicação e reparo aos danos ocorridos no DNA. Essa pesquisa ressalta que a SOD também apresenta importante função como fator de transcrição nuclear para controlar a resposta geral ao estresse oxidativo (Tsang et al., 2014). Na **Figura 9**, temos a ação de biorreguladores ($Kt+IBA+GA_3$) aumentando a atividade da SOD, em videiras cultivadas sob condições altamente estressantes, na região semiárida de Petrolina (PE). Esse aumento da atividade da SOD mostra a ação protetora dos biorreguladores na redução dos efeitos do estresse abiótico, promovendo aumento na produtividade.

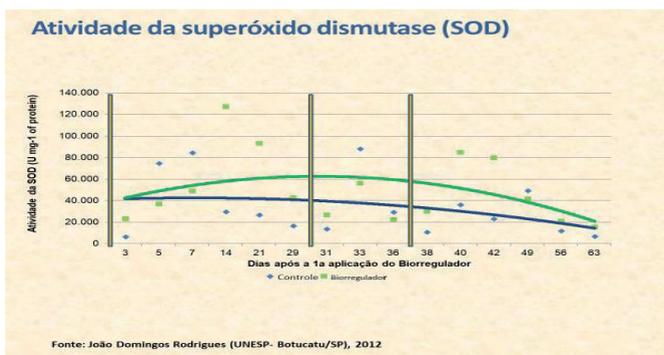


Figura 9. Efeito de biorreguladores no aumento da atividade da enzima superóxido dismutase (SOD).

Catalase (CAT)

A catalase é uma enzima que contém o grupo heme tetramérica, sendo considerada indispensável na catalisação da dismutação direta do peróxido de hidrogênio em oxigênio e água. De acordo com a expressão gênica de plantas, essas enzimas são classificadas em três classes: I- aquelas que são expressas em tecidos fotossintéticos e são reguladas pela luz; II- estão em maiores níveis nos tecidos vasculares e III- são abundantes em sementes e plantas jovens, em razão da sua atividade ser importante na remoção do H_2O_2 sintetizado durante a degradação do ácido graxo (Willikens et al., 1995). Dessa forma, ressalta-se ser essa enzima a principal via de degradação do H_2O_2 ; portanto, a inibição da CAT resulta no acúmulo de peróxido de hidrogênio (Torres et al., 2006), o que aumenta a produção de EROs. Esse aumento na produção de EROs reduz a produtividade. Mas como já descrito, a atividade da catalase foi medida em videiras, em condições estressantes, que sob a ação de biorreguladores (Kt+IBA+GA₃) reduzem o efeito deletério do estresse, por estas substâncias aumentarem a atividade da CAT, como pode ser visto na **Figura 10**.

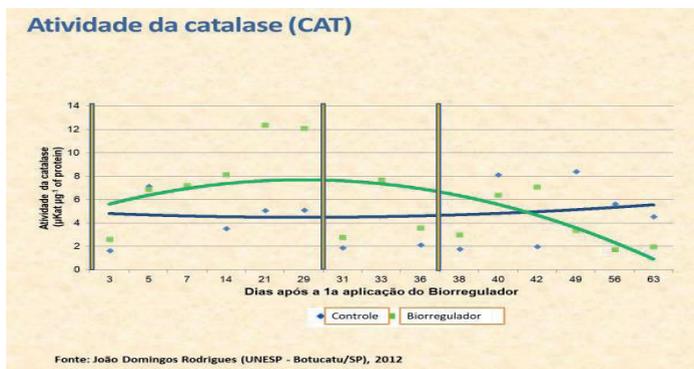


Figura 10. Efeito de biorreguladores no aumento da atividade da enzima catalase (CAT).

Peroxidase (POD)

A peroxidase é amplamente distribuída em plantas superiores e envolvida em vários processos, incluindo o metabolismo de lignificação, das auxinas, tolerância a estresses salinos e por metais pesados (Passardi et al., 2005). As peroxidases são glicoproteínas com massa molecular de aproximadamente 40 kDa; também são hemoproteínas que apresentam múltiplos genes responsáveis por sua síntese, pois são enzimas importantes durante todo o ciclo das plantas (Garcia, 2018). Essas enzimas são divididas em três classes: as das classes I e II são intracelulares e as da classe III são agregadas na parede celular ou no meio circundante. As PODs apresentam diversidade de oxidar substratos, o que destaca sua importância em ampla gama de processos fisiológicos. Esse destaque está relacionado com a catalisação da redução do H_2O_2 , na qual utilizam diversas moléculas doadoras, como auxinas, metabólitos secundários, compostos fenólicos, etc. O aumento da atividade das peroxidases é uma resposta metabólica relacionada a diferentes tipos de estresses (Cakmak; Horst, 1991; Anderson et al., 1995; Zhang; Kirkham, 1996; Jiménez et al., 1998; Moraes et al., 2002). Dessa forma, essa enzima vem sendo frequentemente utilizada como um parâmetro metabólico, durante alterações de crescimento e condições de estresse ambiental. Como mostra a **Figura 11**, os biorreguladores em conjunto (Kt+IBA+GA₃) proporcionam incrementos na atividade da POD, reduzindo o efeito do estresse abiótico.

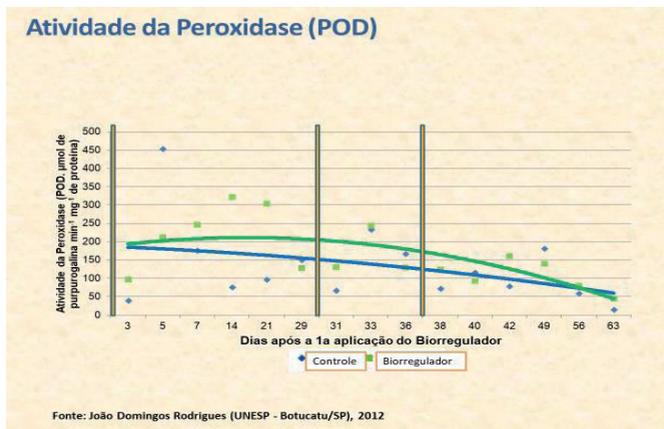


Figura 11. Efeito de biorreguladores no aumento da atividade da enzima peroxidase (POD).

Peroxidação lipídica

Como já amplamente descrito, as EROs podem apresentar ação citotóxica contra a própria planta, quando os sistemas enzimáticos antioxidantes discutidos não se mostram efetivos, como a supressão da atividade das enzimas superóxido dismutase, catalase e peroxidase. Esses danos celulares são decorrentes da oxidação dos componentes celulares como tióis, cofatores enzimáticos, proteínas, nucleotídeos, lipídios, ácidos graxos poli-insaturados. Todos esses processos são avaliados como indicador ao estresse oxidativo celular, dito peroxidação lipídica (Scandalios, 1994; Geller; Sigler, 1995; Romero et al., 1998). A peroxidação lipídica apresenta três estádios designados como início, propagação e término, que envolvem reações que excluem átomos de hidrogênios e, em seguida podem incluir radicais como hidroxila (OH^\cdot), alcoxil (RO^\cdot), peroxil (ROO^\cdot) e, possivelmente, o HO_2 (dioxidamida) (Gutteridge, 1995; Catalá, 2006). A elevada taxa de lipoperoxidação pode induzir efeitos

deletérios para as células vegetais, isso porque, as espécies reativas que induzem este processo atuam em ácidos graxos de membrana, resultando na perda de sua rigidez, integridade e permeabilidade, ou seja, a peroxidação dos fosfolipídios das membranas plasmáticas (Fagan, 2015; Garcia, 2018). Esse processo interfere na estrutura física da membrana plasmática, ocasionando mudanças na sua fluidez e permeabilidade a diferentes solutos, alterações no transporte de íons e inibição de processos metabólicos (Catalá, 2009). Esse fato foi relatado por Kazemi et al. (2010) que observaram que o aumento da atividade das enzimas catalase e peroxidase, reduzem a peroxidação lipídica em plantas tratadas com ácido salicílico e óxido nítrico, dois reguladores vegetais.

Baseado no até aqui exposto, a análise da peroxidação lipídica ganha enorme importância, pois conhecendo seus valores podemos com bastante confiabilidade saber a grandeza dos efeitos do estresse abiótico nas plantas. Assim, valores elevados de peroxidação lipídica mostram que as plantas sofreram estresse severo, pois as membranas apresentam danos irreparáveis. Normalmente, quando as enzimas antioxidantes (SOD, CAT e POD) estão com alta atividade, isso significa que a produção de radicais hidroxila (OH^\cdot), um dos mais ativos, senão o mais ativo dos radicais livres ou espécies reativas de oxigênio (EROs), está em baixa concentração, o que mantém as membranas íntegras. O contrário é verdadeiro, isto é, quando as enzimas antioxidantes estão com baixa atividade, o desarranjo das membranas é enorme, podendo levar as plantas a grandes alterações e perdas metabólicas, chegando até mesmo a culminar com a morte celular.

Dessa forma, como vimos, os biorreguladores aumentam a atividade das três principais enzimas antioxidantes totais, SOD, CAT e POD, determinadas neste trabalho na cultura da videira, em condições de campo, na região semi-árida de Petrolina (PE), em situação de alto estresse motivado pelas temperaturas extremas, alta radiação, baixa umidade relativa, etc. O efeito do biorregulador utilizado, em mistura sinérgica de citocinina (cinetina, Kt), ácido indolilbutírico (IBA, auxina) e GA_3 (Giberelina), elevou a atividades das enzimas antioxidantes, originando com isso valores menores de peroxidação lipídica, mostrando plantas resistindo ao estresse e mais produtivas. Na peroxidação lipídica, ao contrário das atividades das enzimas antioxidantes, o que se quer é que os biorreguladores diminuam esses valores e, assim, tenhamos plantas mais saudáveis, sofrendo menos estresse e apresentando maior **Figura 12**. Efeito de biorreguladores na menor peroxidação lipídica das membranas celulares.

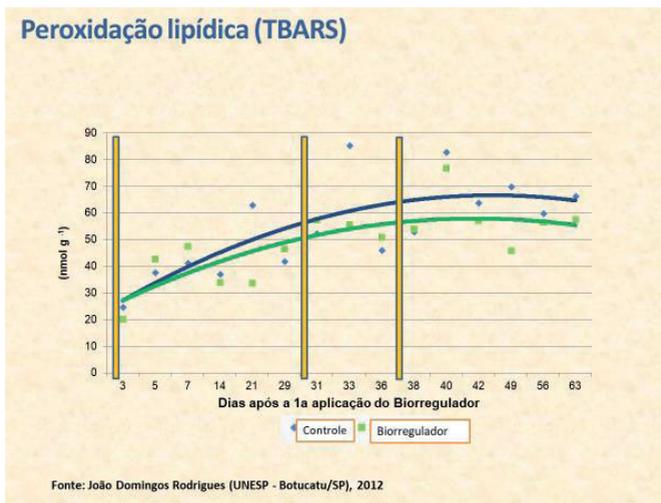


Figura 12. Efeito de biorreguladores na menor peroxidação lipídica das membranas celulares.

Então, uma mistura equilibrada e sinérgica, dos três principais hormônios promotores em conjunto, Citocinina (cinetina- Kt), Auxina (ácido indolilbutírico- IBA) e Giberelina (ácido giberélico – GA₃) efetivamente promovem a redução do estresse abiótico, ativando vários processos fisiológicos, entre os quais, nos detivemos na fotossíntese. Além disso, vimos os efeitos dessa mistura de reguladores vegetais no combate ao metabolismo oxidativo. Outro aspecto importante é o balanço a ser considerado na planta entre os hormônios e reguladores vegetais promotores do crescimento e aqueles que são considerados, dependendo da fenofase e do processo fisiológico, hormônios ou reguladores inibidores como o caso do etileno (ET) e do ácido abscísico (ABA).

Etileno

Na fase de crescimento e desenvolvimento das plantas, milho inclusive, o etileno é um regulador não desejável. Em condições de estresse, principalmente abiótico, as plantas aumentam a síntese desse hormônio vegetal, trazendo consequências como a inibição do crescimento radicular, enrolamento das folhas, aceleração da senescência, entre outros processos fisiológicos que são afetados. Assim, evitar o aumento do etileno é uma forma de se reduzir o estresse, sendo que para isso devemos diminuir a atividade das principais enzimas envolvidas na síntese de etileno, como o ácido 1-carboxílico-1-aminociclopropano sintase (ACC sintase) e ácido 1-carboxílico-1-aminociclopropano oxidase (ACC oxidase). Para a primeira pode ser utilizado o composto ácido amino-oxiacético (AOA) e aminoetoxivinilglicina (AVG), enquanto que para a segunda, podem ser utilizados alguns compostos, sendo um dos mais eficientes o cobalto (Co), para o qual há um produto comercial com cobalto, registrado para

a cultura do milho. Logo, a redução do nível de etileno é um manejo a ser considerado na redução do estresse (**Figura 13**).



Figura 13. Redução da síntese de etileno resultando em menor estresse.

Balanço

Outro item importante na redução do estresse abiótico, causado pelas variações ambientais, seria aumentar a concentração de hormônios ou reguladores vegetais promotores e com isso, suplantar a concentração dos hormônios ou reguladores inibidores, nas fenofases de desenvolvimento, principalmente, o Etileno, reforçando a ação dos compostos que reduzem sua síntese. Assim, teremos aumento na germinação e emergência das plântulas, maior formação do sistema radicular, maior número de flores e aumento do número e tamanho dos grãos.

Considerações finais

A finalização deste texto nos leva a considerar quão importante é o fator estresse ambiental na produtividade do milho. Devemos sempre considerar a saúde da planta, apoiada em pelo menos 3 componentes que são interdependentes: o controle de doenças, a eficiência no crescimento e desenvolvimento e a resistência ao estresse. Considera-se o manejo do estresse, seja causado por seca ou excesso de água, temperaturas extremas (altas ou baixas), danos mecânicos, etc., como o mais importante e decisivo para o alcance de boas produtividades. Além disso, deve-se sempre considerar os biorreguladores não como mais um produto de “acabamento”, mas fundamental para o equilíbrio hormonal que leva ao aumento dos processos produtivos. Assim, os desafios que surgem para a agricultura moderna, como a instabilidade climática, limitação de recursos como água ou de área, podem ser enfrentados com a utilização de novas tecnologias em bases científicas, principalmente, pelo uso de biorreguladores, o que proporcionará plantas mais eficientes, minimização de estresses bióticos e abióticos e a maximização da produtividade e qualidade.

Referências

AMARAL, L. I. V. do. **Os hormônios vegetais**. Disponível em: <<http://nead.uesc.br/arquivos/Biologia/mod4bloco4/eb7/eb7-os-hormonios-vegetais.pdf>>. Acesso em: 19 maio 2015.

ANDERSON, M. D.; PRASAD, T. K.; STEWART, C. R. Changes in isozyme profiles of catalase, peroxidase, and glutathione reductase during acclimation to chilling in mesocotyls of maize

seedlings. **Plant Physiology**, Washington, v. 109, p. 1247-1257, 1995.

APEL, K.; HIRT, H. Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress, and signal transduction. **Annual Review of Plant Biology**, Palo Alto, v. 55, p. 373-399, 2004.

ARAGÃO, C. A.; LIMA, M. W. P.; MORAIS, O. M.; ONO, E. O.; BOARO, C. S. F.; RODRIGUES, J. D.; NAKAGAWA, J.; CAVARIANI, C. Fitorreguladores na germinação de sementes e no vigor de plântulas de milho super doce. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, DF, v. 23, p. 62-67, 2001.

ARAGÃO, C. A.; DANTAS, B. F.; ALVES, E.; CATANEO, A. C.; CAVARIANI, C.; NAKAGAWA, J. Atividade amilolítica e qualidade fisiológica de sementes armazenadas de milho super doce tratadas com ácido giberélico. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, DF, v. 25, n. 1, p. 43-48, 2003.

ARIAS, C. A. A. Potencial genético da soja: progressos e limitações para alta produtividade. In: WORLD SOYBEAN RESEARCH CONFERENCE, 7; INTERNATIONAL SOYBEAN PROCESSING AND UTILIZATION CONFERENCE; CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 3., 2004, Foz do Iguaçu. **Proceedings**. Londrina: Embrapa Soja, 2004. p. 1263-1268.

ARTECA, R. N. **Plant growth substances**: principles and applications. New York: Chapman & Hall, 1995. 332 p.

BARBOSA, M. R.; SILVA, M. M. de A.; WILLADINO, L.; ULISSES, C.; CAMARA, T. R. Geração e desintoxicação enzimática de espécies

reativas de oxigênio em plantas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 44, n. 3, p. 453-460, 2014.

BHATTACHARJEE, S. Sites of generation and physicochemical basis of formation of reactive oxygen species in plant cell. In: GUPTA, S. D. **Reactive oxygen species and antioxidants in higher plants**. Enfield: Science Publishers, 2010. p. 1-30.

BORGES, E. A.; FERNANDES M. S.; LOSS, A.; SILVA, E. E.; SOUZA, S. R. Acúmulo e remobilização de nitrogênio em variedades de milho. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 19, p. 278-286, 2006.

CAKMAK, I.; HORST, J. H. Effects of aluminum on lipid peroxidation, superoxide dismutase, catalase, and peroxidase activities in root tips of soybean (*Glycine max*). **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 83, p. 463-468, 1991.

CARVALHO, M. H. C. Drought stress and reactive oxygen species. **Plant Signaling & Behavior**, Austin, v. 3, n. 3, p. 156-165, 2008.

CASTRO, P. R. C.; VIEIRA, E. L. **Aplicações de reguladores vegetais na agricultura tropical**. Gaíba: Agropecuária, 2001. 131 p.

CATALÁ, A. An overview of lipid peroxidation with emphasis in outer segments of photoreceptors and the chemiluminescence assay. **The International Journal of Biochemistry and Cell Biology**, v. 38, p. 1482-1495, 2006.

CATALÁ, A. Lipid peroxidation of membrane phospholipids generates hydroxy-alkenals and oxidized phospholipids active in physiological and/or pathological conditions. **Chemistry and Physics of Lipids**, v. 157, n. 1, p. 1-11, 2009.

CATO, S. C.; MAIA, G. S.; TEZOTTO, T. Growth regulator Stimulate® and soil-water-deficit stress in soybean and sugarcane crop. In: **BIOSTIMULANTS WORLD CONGRESS ON THE USE OF BIOSTIMULANTS IN AGRICULTURE, 3.**, 2017, Miami. **Abstracts...** Miami: [s.n.], 2017.

CHEN, Z.; GALLIE, D. R. The ascorbic acid redox state controls guard cell signaling and stomatal movement. **Plant Cell**, Rockville, v. 16, p. 1143-1162, 2004.

CHEN, Z.; SILVA, H.; KLESSIG, D. F. Active oxygen species in the induction of plant systemic acquired resistance by salicylic acid. **Science**, Washington, v. 262, p. 1883-1886, 1993.

CLELAND, R. E. Growth substances. In: SALISBURY, F. B. **A reference for presentation of research results in the plant sciences**. New York: Oxford University Press, 1996. p. 126-128.

DRAPER, J. Salicylate, superoxide synthesis and cell suicide in plant defense. **Trends in Plant Science**, Cambridge, v. 2, p. 162-165, 1997.

DOURADO NETO, D.; DÁRIO, G. J. A.; BARBIERI, A. P. P.; MARTIN, T. N. Ação de bioestimulante no desempenho agrônômico de milho e feijão. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 30, p. 371-379, 2014.

DOURADO NETO, D.; DARIO, G. J. A.; VIEIRA JÚNIOR, P. A.; MANFRON, P. A.; MARTIN, T. N.; CARRERE, R. A. G.; CRESPO, P. E. N. Aplicação e influência do fitorregulador no crescimento das plantas de milho. **Revista da Faculdade de Zootecnia, Veterinária e Agronomia**, v. 11, n. 1, p. 1-9, 2004.

EGHBALL, B.; MARANVILLE, J. W. Root development and nitrogen influx of corn genotypes grown under combined water and nitrogen stress. **Agronomy Journal**, Madison, v. 85, p. 147-152, 1993.

FAGAN, E. B. **Comportamento fisiológico da cultura de milho em função das épocas de aplicação de Stimulate®**. Patos de Minas: [s.n.], 2015. Relatório técnico, Stoller do Brasil.

FAGAN, E. B.; ONO, E. O.; RODRIGUES, J. D.; CHALFUN JÚNIOR, A.; DOURADO NETO, D. **Fisiologia vegetal: reguladores vegetais**. São Paulo: Andrei Editora, 2015. 300 p.

FOYER, C. H.; NOCTOR, G. Redox homeostasis and antioxidant signaling: a metabolic interface between stress perception and physiological responses. **Plant Cell**, Rockville, v. 17, p. 1866-1875, 2005.

GARCIA, C. **Óleos essenciais de pitanga, guaçatonga e melaleuca no controle de doenças fúngicas na cultura da videira**. 2018. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava, 2018.

GELLER, G.; SIGLER, K. Oxidative stress and living cells. **Folia Microbiologica**, v. 40, n. 2, p. 131-152, 1995.

GUTTERIDGE, J. M. C. Lipid peroxidation and antioxidants as biomarkers of tissues damage. **Clinical Chemistry**, New York, v. 41, p. 1819-1828, 1995.

HANCOCK, J. T.; DESIKAN, R.; NEILL, S. J. Role of reactive oxygen species in cell signalling pathways. **Biochemical Society Transactions**, Essex, v. 29, p. 345-349, 2001.

JAMBUNATHAN, N. Determination and detection of reactive oxygen species (ROS), lipid peroxidation, and electrolyte leakage in plants. In: SUNKAR, R. (Ed.). **Plant stress tolerance: methods and protocols**. [Totowa]: Humana Press, 2010. p. 291-297. (Methods in Molecular Biology, 639).

KACHROO, A.; LAPCHYK, L.; FUKUSHIGAE, H.; HILDEBRAND, D.; KLESSIG, D.; KACHROO, P. Plastidial fatty acid signaling modulates salicylic acid- and jasmonic acid-mediated pathways in the *Arabidopsis* ssi2 mutant. **Plant Cell**, v. 15, p. 2952-2965, 2003.

KAZEMI, N.; KHAVARI-NEJAD, R. A.; FAHIMI, H.; SAADATMAND, S.; NEJAD-SATTARI, T. Effects of exogenous salicylic acid and nitric oxide on lipid peroxidation and antioxidant enzyme activities in leaves of *Brassica napus* L. under nickel stress. **Scientia Horticulturae**, v. 126, n. 3, p. 402-407, 2010.

KOCA, H.; BOR, M.; ÖZDEMİR, F.; TÜRKAN, İ. The effect of salt stress on lipid peroxidation, antioxidative enzymes and proline content of sesame cultivars. **Environmental and Experimental Botany**, Oxford, v. 60, n. 3, p. 344-351, 2007.

JIMÉNEZ, A.; HERNÁNDEZ, J. A.; PASTORI, G.; DEL RIO, L. A.; SEVILLA, F. Role of ascorbate-glutathione cycle of mitochondria and peroxisomes in the senescence of pea leaves. **Plant Physiology**, Washington, v. 118, p. 1327-1335, 1998.

LEHMANN, S.; SERRANO, M.; L'HARIDON, F.; TJAMOS, S. E.; METRAUX, J. P. Reactive oxygen species and plant resistance to fungal pathogens. **Phytochemistry**, New York, v. 112, p. 54-62, 2015.

LEVINE, A.; TENHAKEN, R.; DIXON, R.; LAMB, C. H₂O₂ from the oxidative burst orchestrates the plant hypersensitive disease resistance response. **Cell**, Cambridge, v. 79, n. 4, p. 583-593, 1994.

MAIA, G. Uso de biorreguladores minimiza os efeitos do estresse nas plantas. **Jornal Dia de Campo**, 10 jun. 2014. Disponível em: <<http://www.diadecampo.com.br/zpublisher/materias/Materia.asp?id=30317&secao=Agrotemas>>. Acesso em: 14 maio 2018.

MATYSIK, J.; ALIA BHALU, B.; MOHANTY, P. Molecular mechanisms of quenching of reactive oxygen species by proline under stress in plants. **Current Science**, Bangalore, v. 82, p. 525-532, 2002.

MILLER, A. F. Superoxide dismutases: ancient enzymes and new insights. **FEBS Letters**, Amsterdam, v. 586, n. 5, p. 585-595, 2012.

MISHRA, S.; DUBEY, R. S. Inhibition of ribonuclease and protease activities in arsenic exposed rice seedlings: role of proline as enzyme protectant. **Journal of Plant Physiology**, Baltimore, v. 163, p. 927-936, 2006.

MITTLER, R. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. **Trends in Plant Science**, Cambridge, v. 7, n. 9, p. 405-410, 2002.

MORAES, R. M.; KLUMP, A.; FURLAN, C. M.; KLUMP, G.; DOMINGOS, M.; RINALDI, M. C. S.; MODESTO, I. F. Tropical fruit

trees as bioindicator of industrial air pollution in Southeast Brazil. **Environment International**, Holland, v. 28, p. 367-374, 2002.

NEILL, S.; DESIKAN, R.; HANCOCK, J. Hydrogen peroxide signaling. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 5, n. 5, p. 388-395, 2002.

PASSARDI, F.; COSIO, C.; PENEL, C.; DUNAND, C. Peroxidases have more functions than a Swiss army knife. **Plant Cell Reports**, New York, v. 24, p. 255-265, 2005.

RODRIGUES, J. D.; FIOREZE, S. L. Reguladores são, para muitos cultivos, indispensáveis ao alcance de bons níveis. **Visão Agrícola**, Piracicaba, v. 9, n. 13, p. 35-39, 2015.

ROMERO, F. J.; BOSCH-MORELL, F.; ROMERO, M. J.; ROMERO, B.; MARIN, N.; ROMA, J. Lipid peroxidation products and antioxidants in human disease. **Environmental Health Perspectives**, v. 106, p. 1229-1234, 1998.

SCANDALIOS, J. G. Regulation and properties of plant catalases. In: FOYER, C. H.; MULIUNEUX, P. M. (Ed.). **Causes of photooxidative stress and amelioration of defense systems in plants**. Boca Raton: CRC Press, 1994. p. 275-315.

SHARMA, P.; DUBEY, R. S. Modulation of nitrate reductase activity in rice seedlings under aluminium toxicity and water stress: role of osmolytes as enzyme protectant. **Journal of Plant Physiology**, Rockville, v. 162, p. 854-864, 2005.

SMIRNOFF, N.; CUMBES, Q. J. Hydroxyl radical scavenging activity of compatible solutes. **Phytochemistry**, Murcia, v. 28, p. 1057-1060, 1989.

TORRES, M. A.; JONES, J. D.; DANGL, J. L. Reactive oxygen species signaling in response to pathogens. **Plant Physiology**, Washington, v. 141, n. 2, p. 373-378, 2006.

TSANG, C. K.; LIU, Y.; THOMAS, J.; ZHANG, Y.; ZHENG, X. S. Superoxide dismutase 1 acts as a nuclear transcription factor to regulate oxidative stress resistance. **Nature Communications**, v. 5, p. 3446, 2014.

VIEIRA, E. L.; CASTRO, P. R. C. **Ação de bioestimulante na cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill)**. Cosmópolis: Stoller do Brasil, 2004.

VRANOVÁ, E.; INZÉ, D.; VAN BREUSEGEM, F. Signal transduction during oxidative stress. **Journal of Experimental Botany**, London, v. 53, p. 1227-1236, 2002.

WEAVER, R. J. **Reguladores del crecimiento de las plantas en la agricultura**. México: Editorial Trillas, 1982. 622 p.

WELTMEIER, F.; EHLERT, A.; MAYER, C. S.; DIETRICH, K.; WANG, X.; SCHÜTZE, K.; ALONSO, R.; HARTEK, K.; VICENTE-CARBAJOSA, J.; DRÖGE-LASER, W. Combinatorial control of *Arabidopsis* proline dehydrogenase transcription by specific heterodimerization of bZIP transcription factors. **The EMBO Journal**, London, v. 25, p. 3133-3143, 2006.

WILLIKENS, H.; INZE, D.; VAN MONTAGU, M.; VAN CAMP, W. Catalases in plants. **Molecular Breeding**, Dordrecht, v. 1, n. 3, p. 207-228, 1995.

WOJTASZEK, P. Oxidative burst: an early plant response to pathogen infection. **Biochemical Journal**, London, v. 322, p. 681-692, 1997.

ZHANG, J.; KIRKHAM, M. B. Antioxidant responses to drought in sunflower and sorghum seedlings. **New Phytologist**, Oxford, v. 132, p. 361-373, 1996.

ZILLIANI, R. R. **Bioregulators influence on the physiology and initial growth of sugarcane submitted to water deficit**. 2015. 59 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) - Universidade do Oeste Paulista, Presidente Prudente, 2015.

Capítulo 22

O Futuro dos OGMs nos Sistemas de Produção de Culturas Anuais no Brasil

Edivaldo Domingues Velini

Caio Antonio Carbonari

Introdução

A capacidade de inovar assume papel central na definição do sucesso ou insucesso de empresas, instituições ou nações. Inovar é gerar, produzir e explorar, economicamente e com sucesso, novas ideias e conceitos. A inovação é essencial a todas as áreas do conhecimento e ramos de atividade, para garantir diferencial estratégico à indústria, agricultura, saúde e à educação, por exemplo. A inovação não se limita à inovação tecnológica. Um dos maiores desafios para o mundo e, principalmente, para o Brasil, é a produção de inovações sociais e políticas públicas inovadoras.

Também vivemos um momento sem precedentes em termos de produção de informações e conhecimento. Os avanços ligados à manipulação da matéria em escala atômica ou molecular (Nanotecnologia), aos genes (Genética e Biotecnologia), aos bits (Tecnologias de Informação) e aos neurônios (Ciências Cognitivas), chamadas tecnologias convergentes ou NBIC, tornam-se progressivamente mais rápidos e capazes de contribuir

para o nosso conhecimento e influenciar nossas atividades. A produção de novas tecnologias torna-se mais rápida a cada dia e, por outro lado, a avaliação da utilidade e segurança delas se torna mais complexa, onerosa e extensa no tempo. Para se decidir sobre a utilidade e segurança de novas tecnologias, as informações não podem mais ser tratadas individualmente, sendo necessário construir redes de informações interligadas, redundantes, abrangentes, multidisciplinares e, sobretudo, confiáveis.

Essas redes de informações produzem o que pode ser denominado de convergência científica, que por sua vez, é a base para a convergência regulatória. Em escala mundial, a convergência regulatória já se encontra em processo de construção. Um exemplo é a substituição das análises de periculosidade por análises de risco quando da avaliação e decisão sobre a segurança de novas tecnologias. A avaliação de risco considera a variável exposição e deve ser sempre conduzida em condições práticas de uso da tecnologia.

Tão importante quanto proibir ou postergar o uso de tecnologias que podem causar danos ou riscos, é permitir o acesso rápido às tecnologias que, à luz da ciência, sejam consideradas úteis e seguras. Compatibilizar esses dois objetivos tem sido um grande desafio para o Brasil e para a humanidade. A avaliação contínua das tecnologias ao longo de todo o período de comercialização facilita a harmonização desses objetivos.

Biossegurança de OGMs – Sistema regulatório brasileiro

No contexto exposto, há pontos altamente inovadores na Lei Nacional de Biossegurança de OGMs vigente. Em 2018 completamos 13 anos da Lei nº 11.105 que estabelece normas de segurança e mecanismos de fiscalização de atividades que envolvam organismos geneticamente modificados – OGMs e seus derivados, no Brasil. A Lei nº 11.105 foi sancionada em 24 de março de 2005, sendo regulamentada pelo Decreto nº 5.591. A Lei nº 11.105 revogou a Lei nº 8.974, de 5 de janeiro de 1995, a Medida Provisória nº 2.191-9, de 23 de agosto de 2001, e artigos da Lei nº 10.814, de 15 de dezembro de 2003.

A sanção da Lei nº 11.105, regulamentada pelo Decreto nº 5.591, foi seguida por um período bastante profícuo na produção de Resoluções Normativas, Portarias e Comunicados, seguindo o estabelecido nas normas maiores. Como resultado, formou-se no Brasil um novo arcabouço legal que trata, técnica e cientificamente, de biossegurança de Organismos Geneticamente Modificados – OGMs. Ao invés de critérios rígidos, que com o passar do tempo podem se tornar incompatíveis com os avanços científicos e tecnológicos, foi criado um sistema robusto, transparente e que pode ser constantemente aprimorado. A CTNBio – Comissão Técnica Nacional de Biossegurança de OGMs tem papel central no ajuste das normas vigentes aos avanços científicos e tecnológicos. Biologia sintética, edição de genomas e RNA de interferência (RNAi) são exemplos de tecnologias que emergiram recentemente, mas que poderão ser adequadamente avaliadas pela CTNBio no âmbito do sistema legal vigente no Brasil.

A lei brasileira de biossegurança também inovou ao tornar contínuo o processo de avaliação das novas biotecnologias, atribuindo à CTNBio, competência para reavaliar suas decisões técnicas quando fundamentada em fatos ou conhecimentos científicos novos e relevantes. As empresas responsáveis pelas biotecnologias aprovadas para uso comercial no Brasil devem apresentar planos e relatórios de monitoramento pós-liberação comercial, contribuindo para a continuidade e eficiência das avaliações conduzidas pela CTNBio.

A CTNBio, integrante do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, MCTI, é uma instância colegiada multidisciplinar do Estado brasileiro, que possui representantes indicados com a participação de sociedades científicas e de organizações da sociedade civil, além de representantes do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, do Ministério da Saúde, do Ministério do Meio Ambiente, do Ministério do Desenvolvimento Agrário, do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, do Ministério da Defesa, do Ministério da Aquicultura e Pesca e do Ministério das Relações Exteriores. Essa estrutura diversificada demonstra o cuidado do legislador com a necessidade de regulação de tecnologias complexas de forma célere e à luz do melhor conhecimento científico disponível, e ao mesmo tempo com a garantia da segurança necessária para o meio ambiente, saúde humana e animal.

A Lei nº 11.105/2005 tem como um de seus princípios basilares a análise caso a caso. Quando se trata de biossegurança de OGMs, não se pode tomar a parte pelo todo nem o todo pela parte. A lei determina que as avaliações e decisões sejam específicas e construídas a partir do conhecimento técnico e científico

disponível. Desde a edição da lei, alinhamentos reducionistas a favor ou contra a biotecnologia e os OGMs estão ultrapassados. Não se pode dar credibilidade a avaliações e julgamentos de cunho ideológico e genéricos, não importando se a favor ou contra a biotecnologia. Quem quiser opinar sobre o assunto deve fazê-lo caso a caso e à luz do conhecimento científico e tecnológico disponível.

A Lei nº 11.105/2005 atribui à CTNBio a função de apoio técnico e assessoramento ao Governo Federal nas questões relacionadas à Política Nacional de Biossegurança, conforme o art. 10 da referida Lei, abaixo transcrito:

“Art. 10. A CTNBio, integrante do Ministério da Ciência e Tecnologia, é instância colegiada multidisciplinar de caráter consultivo e deliberativo, para prestar apoio técnico e de assessoramento ao Governo Federal na formulação, atualização e implementação da PNB de OGM e seus derivados, bem como no estabelecimento de normas técnicas de segurança e de pareceres técnicos referentes à autorização para atividades que envolvam pesquisa e uso comercial de OGM e seus derivados, com base na avaliação de seu risco zoofitossanitário, à saúde humana e ao meio ambiente”. A Lei nº 11.105/2005 também estabelece quais são as competências da CTNBio:

- I. Estabelecer normas para as pesquisas com OGM e derivados de OGM;
- II. Estabelecer normas relativamente às atividades e aos projetos relacionados a OGM e seus derivados;

- III. Estabelecer, no âmbito de suas competências, critérios de avaliação e monitoramento de risco de OGM e seus derivados;
- IV. Proceder à análise da avaliação de risco, caso a caso, relativamente a atividades e projetos que envolvam OGM e seus derivados;
- V. Estabelecer os mecanismos de funcionamento das Comissões Internas de Biossegurança – CIBio, no âmbito de cada instituição que se dedique ao ensino, à pesquisa científica, ao desenvolvimento tecnológico e à produção industrial que envolvam OGM ou seus derivados;
- VI. Estabelecer requisitos relativos à biossegurança para autorização de funcionamento de laboratório, instituição ou empresa que desenvolverá atividades relacionadas a OGM e seus derivados;
- VII. Relacionar-se com instituições voltadas para a biossegurança de OGM e seus derivados, em âmbito nacional e internacional;
- VIII. Autorizar, cadastrar e acompanhar as atividades de pesquisa com OGM ou derivado de OGM, nos termos da legislação em vigor;
- IX. Autorizar a importação de OGM e seus derivados para atividade de pesquisa;
- X. Prestar apoio técnico consultivo e de assessoramento ao CNBS na formulação da PNB de OGM e seus derivados;

XI. Emitir Certificado de Qualidade em Biossegurança – CQB para o desenvolvimento de atividades com OGM e seus derivados em laboratório, instituição ou empresa e enviar cópia do processo aos órgãos de registro e fiscalização referidos no art. 16 desta Lei;

XII. Emitir decisão técnica, caso a caso, sobre a biossegurança de OGM e seus derivados no âmbito das atividades de pesquisa e de uso comercial de OGM e seus derivados, inclusive a classificação quanto ao grau de risco e nível de biossegurança exigido, bem como medidas de segurança exigidas e restrições ao uso;

XIII. Definir o nível de biossegurança a ser aplicado ao OGM e seus usos, e os respectivos procedimentos e medidas de segurança quanto ao seu uso, conforme as normas estabelecidas na regulamentação desta Lei, bem como quanto aos seus derivados;

XIV. Classificar os OGM segundo a classe de risco, observados os critérios estabelecidos no regulamento desta Lei;

XV. Acompanhar o desenvolvimento e o progresso técnico-científico na biossegurança de OGM e seus derivados;

XVI. Emitir resoluções, de natureza normativa, sobre as matérias de sua competência;

XVII. Apoiar tecnicamente os órgãos competentes no processo de prevenção e investigação de acidentes e de enfermidades, verificados no curso dos projetos e das atividades com técnicas de ADN/ARN recombinante;

XVIII. Apoiar tecnicamente os órgãos e entidades de registro e fiscalização, referidos no art. 16 desta Lei, no exercício de suas atividades relacionadas a OGM e seus derivados;

XIX. Divulgar no Diário Oficial da União, previamente à análise, os extratos dos pleitos e, posteriormente, dos pareceres dos processos que lhe forem submetidos, bem como dar ampla publicidade no Sistema de Informações em Biossegurança – SIB a sua agenda, processos em trâmite, relatórios anuais, atas das reuniões e demais informações sobre suas atividades, excluídas as informações sigilosas, de interesse comercial, apontadas pelo proponente e assim consideradas pela CTNBio;

XX. Identificar atividades e produtos decorrentes do uso de OGM e seus derivados potencialmente causadores de degradação do meio ambiente ou que possam causar riscos à saúde humana;

XXI. Reavaliar suas decisões técnicas por solicitação de seus membros ou por recurso dos órgãos e entidades de registro e fiscalização, fundamentado em fatos ou conhecimentos científicos novos, que sejam relevantes quanto à biossegurança do OGM ou derivado, na forma desta Lei e seu regulamento;

XXII. Propor a realização de pesquisas e estudos científicos no campo da biossegurança de OGM e seus derivados;

XXIII. Apresentar proposta de regimento interno ao Ministro da Ciência e Tecnologia.

Dois papéis principais cabem à CTNBio: 1) orientar e acompanhar o desenvolvimento seguro de biotecnologias por meio de suas normas e pareceres, além de avaliar e acompanhar as ações

e procedimentos nas instituições públicas ou privadas que trabalham com OGMs; 2) decidir quais biotecnologias são seguras e podem ter uso comercial no Brasil. Esses dois papéis principais da CTNBio são indissociáveis. Entretanto, não compete à CTNBio avaliar outros aspectos que não os técnico-científicos relacionados à biossegurança nos processos sob sua análise.

O sistema de gestão da biossegurança no Brasil fundamenta-se em ações em três níveis. O primeiro deles é o credenciamento de todas as instituições públicas ou privadas que pretendam trabalhar com OGMs, conferindo a elas um Certificado de Qualidade em Biossegurança, ou CQB. Cada instituição que receber um CQB deve criar também uma Comissão Interna de Biossegurança, CIBio. Exige-se que todas as propostas de trabalho com OGMs sejam encaminhadas à CTNBio pelas CIBios, compostas por técnicos qualificados e conhecedores das normas nacionais em biossegurança. As CIBios também encaminham à CTNBio relatórios anuais informando sobre suas atividades. O não envio ou não aprovação dos relatórios pode implicar na suspensão ou cancelamento da autorização da instituição para trabalhar com OGMs.

Em um segundo nível, as atividades experimentais em laboratório, necessárias ao desenvolvimento de biotecnologias que envolvem OGMs, devem ser avaliadas e autorizadas pela CTNBio. Existem normas gerais que tratam dos projetos e pesquisas em regime de contenção e da Liberação Planejada de OGMs no meio ambiente e uma série de comunicados e normativas que estabelecem critérios específicos para diferentes espécies. Essas atividades experimentais em regime de contenção ou envolvendo a liberação planejada no meio ambiente são fundamentais para que a biossegurança da

tecnologia em desenvolvimento possa ser conhecida e avaliada. Algumas tecnologias têm seu desenvolvimento interrompido ainda na fase experimental. Outras progridem e as informações obtidas permitem a formação dos dossiês que são necessários para que a empresa ou instituição responsável possa solicitar a liberação da tecnologia para uso comercial. Aprovar ou não o uso comercial de um produto obtido por meio da biotecnologia corresponde ao terceiro nível em que a biossegurança de OGMs é tratada no Brasil.

Havendo uma solicitação de uso comercial, a CTNBio fundamenta sua decisão nas informações apresentadas no dossiê elaborado pela instituição ou empresa requerente, nas informações técnicas ou científicas disponíveis e nas informações presentes nos relatórios de atividade das CIBios ou de atividades experimentais. Se informações adicionais forem necessárias, a CTNBio pode realizar as diligências necessárias para obtê-las. Além disso, a realização de audiências públicas que garantem a participação da sociedade civil e o amplo debate sobre as tecnologias em análise, também faz parte da dinâmica de trabalho da Comissão. Desde a proposição das primeiras atividades experimentais até a deliberação sobre uso comercial de uma tecnologia, algumas dezenas de pareceres são produzidas ao longo de vários anos. Considerando que as normas, decisões e pareceres da CTNBio são públicos, quando se delibera sobre o uso comercial de uma tecnologia, esta já é amplamente conhecida pela comissão e pela sociedade.

A qualificação dos avaliadores da CTNBio, que é composta por cientistas com destacada atuação em diferentes áreas do conhecimento, é de suma importância para o processo. No total são 54 membros, sendo 27 titulares e 27 suplentes, todos com

título de Doutor. Assim, a Comissão é composta por médicos, nutricionistas, biólogos, advogados, agrônomos, veterinários, entomólogos e biotecnólogos. A diversidade na composição da Comissão é fundamental para que todos os aspectos referentes às análises de biossegurança de OGMs possam ser tratados. Adicionalmente, a legislação estabelece que todas as decisões da comissão devem ocorrer por maioria absoluta em sessão plenária.

Em suas análises, a CTNBio trabalha apenas com avaliação de risco. Este é um cuidado fundamental para que cumpra seu papel de orientar as instituições públicas ou privadas no desenvolvimento de biotecnologias efetivamente seguras. Ao realizar análises de risco, os membros da CTNBio levam em consideração preocupações de diferentes segmentos da sociedade, mas suas decisões são pautadas pelo conhecimento científico.

Vale ressaltar que nem a Lei nº 11.105/2005 nem o Decreto nº 5.591/2005 atribui à CTNBio competência para avaliar questões socioeconômicas. Análises referentes a conveniência e oportunidade socioeconômicas e do interesse nacional dos pedidos de liberação comercial de novas biotecnologias fundamentadas em OGMs cabem ao Conselho Nacional de Biossegurança – CNBS, composto por onze ministros e presidido pelo Ministro Chefe da Casa Civil. Este conselho também pode avocar para si e decidir, em última instância, sobre processos que envolvam uso comercial de OGMs e seus derivados.

Biotecnologia, agricultura e pecuária

No Brasil, a agricultura e a pecuária têm sido as principais usuárias das biotecnologias fundamentadas em OGMs. A análise das informações apresentadas por Comissão Técnica Nacional de Biossegurança (2018) e Conselho de Informações sobre Biotecnologia (2018) evidencia que cerca de 83% das 129 tecnologias aprovadas pela CTNBio para uso comercial destinam-se a estas atividades econômicas. Na **Figura 1** são apresentadas as informações sobre o número de liberações comerciais para cada classe de tecnologia, nas duas últimas décadas. A Lei nº 11.105/2005 tornou o marco regulatório previsível e funcional contribuindo para um ambiente juridicamente seguro, o que resultou em maiores investimentos e inovação em biotecnologia, que teve como consequência o aumento do número de liberações comerciais.

No total, foram liberados para uso comercial 78 tipos de plantas geneticamente modificadas para um total de cinco culturas: milho (44), soja (16), algodão (15), feijão (1), eucalipto (1) e cana-de-açúcar (1). Dos 44 liberados para milho, dois são exclusivamente para consumo humano ou animal, não podendo ser cultivados no Brasil. Não há até o momento qualquer liberação comercial para a cultura do sorgo. O aumento do número de liberações de OGMs para uso comercial coincide e, possivelmente, é a principal causa do aumento contínuo da produtividade e da produção de cereais no Brasil no período de 2006 a 2018. Na safra 2016/2017, a adoção de OGMs ocorreu em 91,8% e 82,4% das áreas de cultivo de milho de inverno e verão, respectivamente (Céleres, 2018).

Em escala mundial, segundo International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications (2018), o número de

eventos transgênicos liberados para uso comercial nessas culturas é: milho (231), algodão (60), batata (48), canola (45), soja (40), tomate (11), arroz (8), mamão (4), maçã (3), cana-de-açúcar (3), populus (2), girassol (2), roseiras (2), trigo (1), feijão (1) e eucalipto (1). Também não há eventos com uso comercial autorizado para a cultura do sorgo.

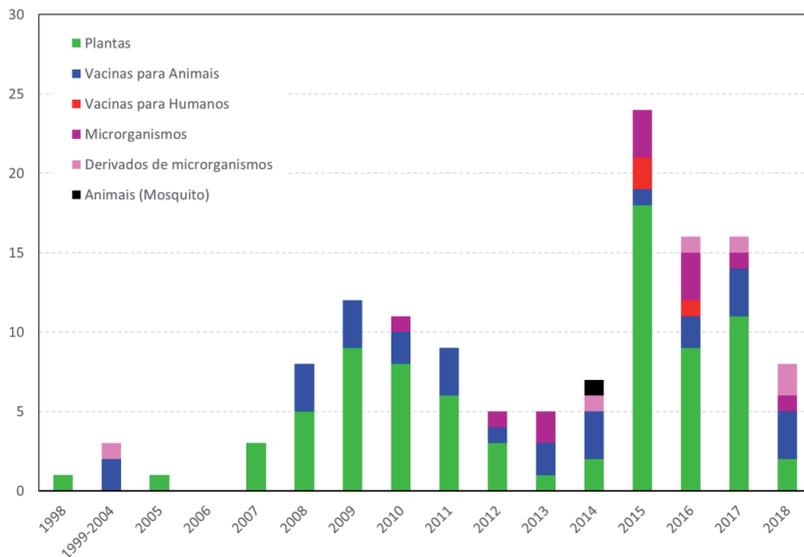


Figura 1. Número de liberações comerciais de OGMs no Brasil. Fonte: Comissão Técnica Nacional de Biossegurança (2018).

O amplo número de eventos liberados para a cultura do milho possivelmente está relacionado à diversidade de objetivos dos OGMs nessa cultura, destacando-se o controle de pragas e a tolerância a herbicidas com diferentes mecanismos de ação. As diferenças entre os números de eventos aprovados no Brasil e internacionalmente expõe o que talvez seja a principal limitação ao uso de OGMs para fins agrícolas, que é a dificuldade de sincronização das liberações para cultivo e consumo nos

diferentes países. Muitos eventos, mesmo quando aprovados para plantio comercial em seus países, não podem ser cultivados até que ocorra a liberação para consumo por parte dos países importadores. A ausência de convergência e sincronismo regulatório afeta o livre fluxo e a dinâmica de mercados de alimentos, fibras, bioenergia e serviços ecossistêmicos. Construir um ambiente regulatório internacional que seja efetivo, rápido e sincronizado é prioritário para expandir o uso seguro e sustentável da biotecnologia na produção de alimentos, fibras, bioenergia e serviços ecossistêmicos.

Destacando-se os alimentos, produzi-los em quantidade para abastecer a humanidade tem sido um grande desafio. Os estoques mundiais de cereais equivalem apenas a três meses de consumo (FAO, 2018a), o que tem pressionado o preço dos alimentos. O preço médio dos alimentos praticado em março de 2015 correspondeu a 174% do preço médio praticado entre 2002 e 2004 (FAO, 2018b). A análise das informações indica que já vivemos um cenário mundial de escassez de alimentos que cria o risco de desabastecimento e favorece a volatilidade e elevação de preços, dificultando o acesso por populações de baixa renda. Os alimentos que são commodities têm seus preços definidos em bolsas internacionais e, independentemente da grande produção nacional, os seus preços no mercado interno seguem a tendência mundial. O crescimento da população brasileira e mundial torna a necessidade de aumento da produção de alimentos mais crítica a cada dia. Em síntese, a produção sustentável e contínua de alimentos no Brasil é fundamental para a segurança alimentar nacional e mundial. Historicamente, a agricultura e a pecuária têm produzido cerca de um quarto do PIB e um terço dos empregos no Brasil. A qualidade dos alimentos produzidos no Brasil tem sido basilar na expansão

de nossas exportações. A agricultura e pecuária são grandes geradoras de superávit comercial, contribuindo decisivamente para a estabilidade econômica e social nacional. Para manter e ampliar a competitividade e sustentabilidade da agricultura e da pecuária brasileira, é fundamental permitir o acesso constante a tecnologias que, à luz do melhor conhecimento disponível, sejam consideradas úteis e seguras.

Técnicas inovadoras de melhoramento de precisão (TIMP)

A engenharia genética e a biotecnologia sofreram avanços marcantes nas últimas décadas, mas tudo se iniciou com os trabalhos de Gregor Mendel que em 1865 elucidou a transmissão hereditária. Em 1953 Watson e Crick revelam a estrutura do DNA. Em 1971 são descobertas as enzimas de restrição que permitiram desenvolver a tecnologia do DNA recombinante em 1973. Em 1983 são obtidas as primeiras plantas transgênicas.

Até poucos anos, a mutação, hibridações interespecíficas ou a transferência de genes de uma espécie para outra utilizando as ferramentas de biotecnologia (processo denominado de transgenia) eram os únicos recursos para inserir uma nova característica em espécies cultivadas. Nas últimas décadas predominaram os OGMs que têm por objetivo a tolerância a herbicidas ou a resistência a pragas e a explicação para isso é bastante simples, são objetivos mais fáceis de serem alcançados. A inserção de um único gene pode permitir a produção de uma enzima específica que pode degradá-lo ou uma nova variante de uma proteína alvo, na qual o herbicida não se liga e não tem atividade. Do mesmo modo, a inserção de um gene que codifica a síntese de uma toxina proteica pode conferir resistência a

pragas. Contudo, quando se trata de aumento de crescimento, produtividade e tolerância a estresses ambientais, o assunto se torna mais complexo. Em geral, o desenvolvimento de novas variedades com melhor desempenho envolve a inserção de mais de um gene e o controle preciso da expressão deles. Um exemplo é a resistência a seca que pode demandar genes que controlam crescimento radicular, absorção e consumo de água, genes ligados à fotossíntese (possivelmente codificados nos cloroplastos) e genes ligados à tolerância a altas temperaturas, por exemplo.

Embora não existam dúvidas que o aumento da resistência a seca e a redução do consumo de água e fertilizantes sejam os principais objetivos da biotecnologia nas próximas décadas, não será fácil alcançá-los utilizando apenas a técnica de transgenia. Contudo, nos últimos anos, foram desenvolvidas ferramentas de biotecnologia de alta precisão que poderão simplificar esse processo. Observe-se que essas novas ferramentas estão sendo aplicadas tanto ao melhoramento de espécies vegetais, animais e microrganismos, quanto para o desenvolvimento de terapias para humanos e outros animais. Para que essas ferramentas possam ser empregadas com segurança, contribuindo para a produção sustentável de alimentos, fibras, bioenergia e serviços ecossistêmicos, é necessário que os sistemas regulatórios voltados inicialmente à análise de OGMs, sejam aprimorados para permitir a análise da biossegurança dessas novas biotecnologias e seus produtos.

Nesse contexto e circunscrita às atribuições que lhe são conferidas pela Lei 11.105, a CTNBio, após mais de dois anos de discussão, publicou a Resolução Normativa 16 (Comissão Técnica Nacional de Biossegurança, 2018). Essa resolução estabelece

diretrizes para realização de consultas e para o enquadramento, ou não, das Técnicas Inovadoras de Melhoramento de Precisão (TIMP) como OGMs. As normas editadas pela CTNBio regulam o uso de todas as biotecnologias, incluindo atividades industriais, ambientais e na área de saúde humana. O termo TIMP inclui os termos em inglês Precision Breeding Innovation (PBI) e New Breeding Technologies (NBTs). Segundo o entendimento da CTNBio, expresso na RN 16, as TIMP abrangem um conjunto de novas metodologias e abordagens que diferem da estratégia de engenharia genética por transgenia, pela ausência de ADN/ARN recombinante no produto final e podem introduzir usos inovadores de ferramentas de biologia molecular, que podem resultar:

1. Na edição precisa de genomas, por indução de mutações específicas, gerando ou modificando alelos selvagens e/ou mutados sem inserção de transgene(s);
2. Em transformação genética e/ou controle de expressão gênica (ativação/inativação);
3. Em regulação epigenética da expressão de genes por mecanismos naturais sem haver modificação genética no indivíduo;
4. Em transformação genética e/ou controle de expressão gênica com genes de espécies sexualmente compatíveis;
5. Em transformação genética temporária e não herdável de células e tecidos;

6. Em infecção permanente ou não no hospedeiro de elementos virais transformados geneticamente;
7. Na criação de alelos com herança autônoma e potencial de recombinação com possibilidade de alterar toda uma população (direcionamento gênico, do inglês: gene drive); e
8. Na construção de genes heterólogos ou novas cópias de genes homólogos.

Para ser enquadrada como uma Técnica Inovadora de Melhoramento de Precisão – Timp, segundo o estabelecido na RN 16, a tecnologia deve atender a um ou mais dos critérios:

I – produto com ausência comprovada de ADN/ARN recombinante, obtido por técnica que emprega OGM como parental;

II – produto obtido por técnica que usa ADN/ARN que não se multiplicará em célula viva;

III – produto obtido por técnica que introduz mutações sítio dirigidas, gerando ganho ou perda de função gênica, com a ausência comprovada de ADN/ARN recombinante no produto;

IV – produto obtido por técnica onde existe a expressão, temporária ou permanente, de moléculas de ADN/ARN recombinante, sem que haja a presença ou introgressão dessas moléculas no produto;

V – produto onde são utilizadas técnicas que empregam moléculas de ADN/ARN que, absorvidas ou não de forma sistêmica, não causam modificação permanente do genoma.

De forma a determinar se o produto obtido por TAMP será ou não considerado um OGM e seus derivados, nos termos do art. 3º da Lei 11.105, de 2005, a requerente deverá apresentar consulta à CTNBio. O parecer da CTNBio é baseado em uma análise, caso a caso, sendo conclusivo sobre a presença de ADN/ARN recombinante no produto final e sobre o seu enquadramento, ou não, como OGM ou TAMP. A velocidade de desenvolvimento de novas biotecnologias, sobretudo técnicas de edição genômica, inviabiliza a fixação *a priori* de quais técnicas podem ser enquadradas como TAMP ou são OGMs segundo os conceitos da Lei nº 11.105, sendo bastante oportuna a decisão da CTNBio em estabelecer normas para a apresentação de consultas e a análise e decisão caso a caso.

Como consequência da aprovação e aplicação da Lei nº 11.105/2005 e do trabalho consistente da CTNBio na análise de novas tecnologias e na produção de novas normativas, o Brasil tem um sistema regulatório sobre OGMs e TAMPs que é efetivo, transparente e que tem sido a base para os aumentos sustentáveis da produção agrícola e pecuária. A qualidade e segurança dos alimentos produzidos no Brasil é fundamental para a expansão contínua de nossas exportações para um amplo conjunto de países e mercados.

Sobre a relação entre OGMs uso e riscos de agrotóxicos

A matriz agrícola brasileira é uma das mais diversificadas do mundo. Não produzimos apenas alimentos. Produzimos também grandes quantidades de fibras, bioenergia, matérias primas industriais e serviços ecossistêmicos. Quando analisamos o uso de agrotóxicos precisamos considerar esse aspecto. Apenas

parte dos agrotóxicos é utilizada na produção de alimentos consumidos internamente ou exportados. Após esse cuidado inicial, as análises das informações sobre consumo de agrotóxicos demanda a normalização dos dados por área cultivada ou por quantidade de produção, conforme o apresentado por Carbonari e Velini (2018). Após a normalização das informações dos valores referentes ao uso de agrotóxicos por unidade de área, os autores observaram que o Brasil ocupa a sétima posição entre 20 países analisados, tendo à sua frente Japão, Coreia do Sul, Alemanha, França, Itália e Reino Unido. Quando a normalização foi feita por quantidade produzida, o Brasil passou a ocupar a décima terceira posição, tendo sido superado ainda por Canadá, Espanha, Austrália, Argentina, Estados Unidos e Polônia.

Também não se pode confundir uso e consumo. O agricultor usa agrotóxicos. Se houver resíduos desses agrotóxicos nos alimentos, os consumidores poderão consumir agrotóxicos ao consumirem alimentos. No entanto, a quantidade usada pelo agricultor não é a que seria consumida pelos consumidores. Quando aplicados sobre as plantas, os agrotóxicos estão sujeitos a vários processos de degradação. A característica RL50 correspondendo ao número de dias necessários para que um composto seja 50% degradado (Pesticide Properties DataBase, 2018). Tomando como exemplo a cypermetrina, um inseticida com RL50 médio próximo de 5 dias, segundo as duas fontes citadas, após 10, 30 e 60 dias a sua concentração na planta é reduzida a $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{64}$ e $\frac{1}{4096}$ da concentração inicial, respectivamente. Além disso, em geral, apenas parte do agrotóxico utilizado chega às partes da planta que são colhidas. Considerando o exposto, a confusão entre uso e consumo parece primária demais para que alguém a cometa, mas tem sido comum a apresentação de informações de uso de agrotóxicos normalizadas pelo número

de habitantes, criando a falsa impressão de que os consumidores estão ingerindo tais quantidades desses produtos.

Em síntese: uso e consumo de agrotóxicos não são sinônimos; deve ser dada preferência ao uso de informações que se referem ao uso de ingredientes ativos; informações sobre consumo de agrotóxicos em quantidade de produtos comerciais ou valores de comercialização devem ser feitas com bastante cuidado; comparações entre países, regiões, anos ou sistemas de produção, por exemplo, só podem ser feitas após a normalização ou relativização dos dados por área cultivada ou por unidade de produção.

Até esse ponto, nos limitamos a tratar do uso de agrotóxicos e não do mais relevante, o risco associado a esse consumo. Ao tratar de risco, todos os cuidados já discutidos devem ser mantidos. Vale lembrar que risco não é sinônimo de perigo. O risco depende tanto do perigo quanto da exposição. A exposição, por sua vez, depende de vários fatores, incluindo dose, número de aplicações, intervalo de tempo entre a aplicação e colheita, RL50, dinâmica do agrotóxico na planta e no ambiente, tecnologia e equipamentos de proteção utilizados. Com toda essa complexidade, a questão que surge é: há algum indicador de risco de uso de agrotóxicos que seja preciso, simples de usar e facilmente compreensível? Até o momento, a melhor opção disponível é o EIQ proposto por Kovach et al. (1992). Tal indicador é calculado a partir de um total de 12 características dos agrotóxicos: toxicidade dermal, toxicidade crônica, sistemicidade, toxicidade para peixes, potencial de lixiviação, potencial de movimentação na superfície do solo, toxicidade a pássaros, tempo para degradar 50% no solo, toxicidade para abelhas, toxicidade para artrópodos benéficos e tempo para degradar 50% na superfície das plantas. O EIQ total

é característico de cada ingrediente ativo e corresponde à média de três outros coeficientes mais específicos calculados a partir de subgrupos das características citadas: EIQ Ecológico, EIQ para o trabalhador e EIQ para o consumidor.

Os valores de EIQ são adimensionais e determinados para 1kg do ingrediente ativo. A maneira correta de comparar agrotóxicos é calcular o EIQ por ha de área aplicada, multiplicando-se o EIQ pela dose de ingrediente ativo utilizada em cada aplicação ou utilizando-se utilizando aplicativos que já fazem o cálculo automaticamente como o EIQ Calculator (New York State Integrated Pest Management, 2018). Como consequência, dois agrotóxicos com mesmo valor de EIQ podem ter riscos completamente distintos, se as doses expressas em g ou kg de i.a./ha forem também distintas e agrotóxicos aplicados na mesma dose podem ter riscos distintos se tiverem coeficientes de EIQ diferentes. Para calcular o EIQ por ha de cultivo, devem ser somados todos os EIQs calculados por área aplicada, em um ciclo de cultivo ou ano.

O uso do EIQ como indicador de risco associado ao uso de agrotóxico tem como vantagens: considerar um conjunto complexo de variáveis sobre periculosidade e dinâmica dos agrotóxicos no ambiente agrícola; permite avaliar os riscos para o ambiente, trabalhador e consumidor separadamente; considera a dose de ingrediente ativo por unidade de área. Havendo informações sobre os agrotóxicos e doses aplicadas, é possível calcular o EIQ ha tratado, por ha (soma de todas aplicações), por kg ou t de produto (soma dos EIQs em todas as aplicações dividido pela quantidade produzida) ou para toda uma região ou país (soma de todos os valores). O cálculo da evolução do EIQ médio por ha de área tratada ao longo do tempo pode permitir

uma avaliação objetiva da efetividade dos sistemas regulatórios em aumentar a segurança dos agrotóxicos disponíveis para os agricultores. Informações iniciais já obtidas indicam que o EIQ médio e seus três componentes determinados por ha de área tratada vêm sendo continuamente reduzidos no Brasil.

Ao racionalizar o uso de agrotóxicos, os envolvidos nas cadeias produtivas podem reduzir os valores de EIQ por ha, por ha cultivado ou por unidade de produção (kg ou t). Quando temos por objetivo reduzir os riscos associados ao uso de agrotóxicos, estabelecer metas para reduções do EIQ é muito mais adequado do que reduzir o valor gasto na compra de agrotóxicos, o número de aplicações ou a quantidade de produtos comerciais ou ingredientes ativos utilizados.

As principais informações obtidas em levantamentos realizados de 2002 a 2015 para a cultura do milho no Brasil, são apresentadas nas **Figuras 2 e 3**. Observa-se que os valores médios de EIQ por kg de produto comercial ou ingrediente ativo de agrotóxicos se mantiveram relativamente constantes ao longo do tempo. Houve redução de 45% dos valores de EIQ expressos por hectare de área tratada, tendo como principal justificativa a redução da dose média de agrotóxicos aplicada.

Quando os valores foram expressos em unidades de EIQ por tonelada de grãos produzida, os valores totais também foram relativamente constantes no período. Merece destaque a redução de 24% no número de unidades de EIQ por tonelada de grãos, que corresponderam ao uso de herbicidas. Portanto, independentemente do valor dos tratamentos ou das doses aplicadas, houve significativa redução do número de unidades de EIQ associadas ao uso de herbicidas. No caso de inseticidas,

merece destaque o fato dos valores terem se mantido estáveis, mesmo com a introdução de pragas de difícil controle como a *Helicoverpa armigera*.

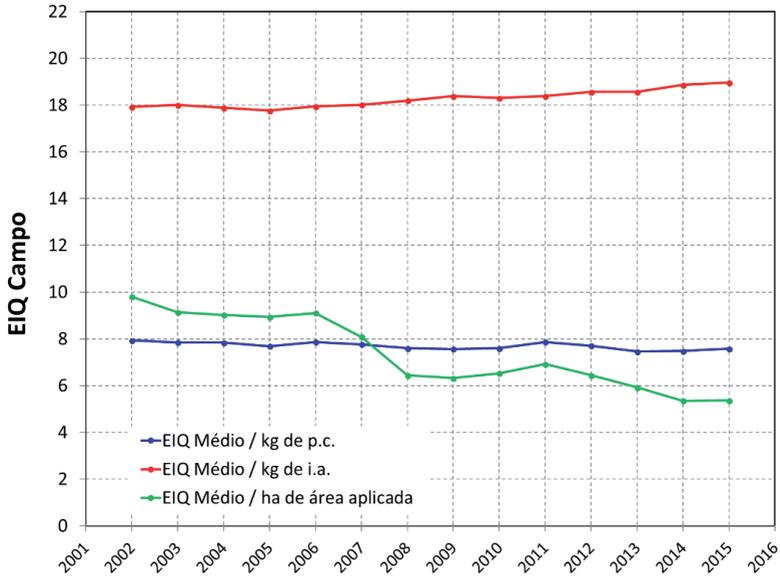


Figura 2. Valores médios de EIQ campo para a cultura do milho no Brasil, no período de 2002 a 2015.

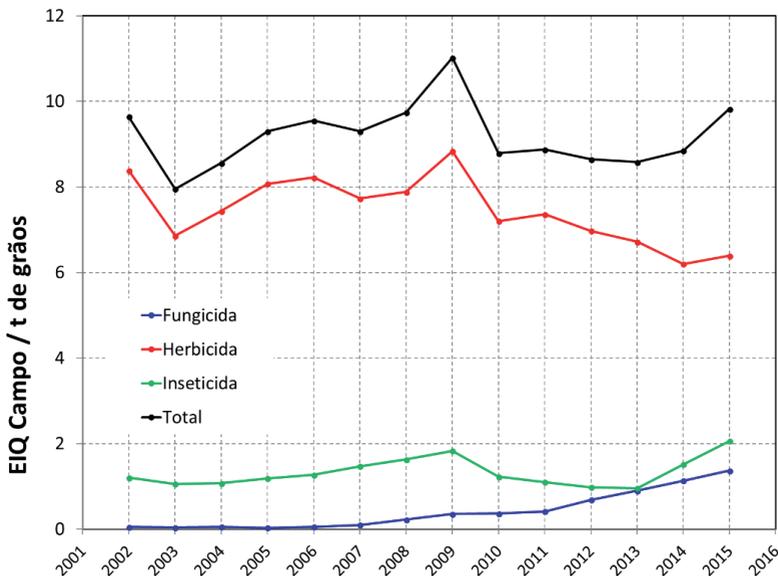


Figura 3. Valores médios de EIQ campo por tonelada de grãos de milho produzidos no Brasil de 2002 a 2015.

Em termos mundiais, os resultados obtidos no levantamento conduzido por Brookes e Barfoot (2017) são apresentados na **Tabela 1**. Vale ressaltar uma vez mais a diferença entre uso e de agrotóxicos e risco associado a esse uso. Para o caso de soja tolerante a herbicidas, houve aumento de 0,5% na quantidade de ingredientes ativos utilizados, mas uma redução de 13,9% nas unidades de EIQ no período avaliado. Mesmo que a quantidade de agrotóxicos tenha sido elevada, os riscos foram reduzidos. As informações referentes a unidades de EIQ correspondem ao produto entre os valores de EIQ campo e o número de hectares cultivados com cada tipo de evento. O uso de variedades de milho GM tolerantes a herbicidas ou resistentes a insetos, permitiram reduzir em 12,7% e 57,7% o número de unidades de EIQ correspondentes a herbicidas e inseticidas, respectivamente.

Tabela 1. Impacto do uso de diferentes classes de OGMs no consumo de agrotóxicos e no produto das unidades de EIQ pelo número de hectares cultivados no período de 1996 a 2015.

Tipo de Evento	Ingrediente Ativo Diferença em Mkg	Ingrediente Ativo Diferença em %	Unidades de EIQ,ha Variação em Milhões	Unidades de EIQ,ha Variação em porcentagem
Soja Tolerante a Herbicidas	15,3	0,5	-8.112	-13,9
Soja Tolerante a Herbicidas e Resistente a Insetos	-3,6	-1,4	-348	-4,3
Milho Tolerante a Herbicidas	-226,0	-8,4	-7.315	-12,7
Milho Resistente a Insetos	-87,1	-53,3	-3.891	-57,7
Algodão Tolerante a Herbicidas	-25,1	-7,6	-629	-10,2
Algodão Resistentes a Insetos	-268,7	-29,1	-11.949	-31,5
Total	-595,2		-32.244	
Média		-16,6		-21,7

Fonte: Brookes e Barfoot (2017).

Considerações finais

A biotecnologia e o melhoramento convencional de plantas são complementares e não antagônicos. O desenvolvimento de um evento de transgenia nada significa se variedades de alto desempenho não estiverem disponíveis para a sua inserção. Na mesma medida em que o Brasil precisa se qualificar para ser produtor de novas biotecnologias, precisa preservar suas coleções de germoplasma e seus programas de melhoramento de culturas em andamento em instituições públicas ou privadas.

A biotecnologia é um ramo predominantemente instrumental da ciência. Desenvolve as ferramentas para que os objetivos de outras áreas possam ser alcançados. Os avanços recentes em técnicas como RNAi, edição genômica, “gene drive”, epigenéticas e biologia sintética permitem planejar projetos biotecnológicos com objetivos mais complexos e diversos do que os atingidos até o momento. Por exemplo, já é possível editar o gene que codifica a produção de uma toxina proteica, sem a necessidade de introduzir uma nova versão com uso das técnicas convencionais

de transgenia. De modo similar, a tolerância a herbicidas pode ser alcançada pela edição do gene que codifica a proteína alvo, sem a necessidade de introduzir genes de outras espécies ou outros genótipos da mesma espécie. Também já é possível inibir a expressão de um gene ou controlar o quanto e em quais condições ele será expresso.

Tornar as plantas cultivadas mais produtivas e tolerantes a estresses bióticos e abióticos é um grande desafio. Nas próximas décadas precisaremos praticamente duplicar, de modo sustentável, a produção de alimentos, fibras e bioenergia. A biotecnologia terá papel central nesse esforço. Duas áreas que certamente serão muito beneficiadas pelos desenvolvimentos recentes em biotecnologia são o controle biológico e a preservação de alimentos.

Ao encerrar esse texto, destaca-se que inovar é o maior desafio da atualidade. A inovação pode de produto, de processo, organizacional ou de comunicação. A agricultura brasileira vem incorporando continuamente inovações ligadas a produtos, processos e organização, mas ainda tem dificuldades em produzir e explorar sistematicamente bases de informações que contribuam para o seu desenvolvimento e sustentabilidade. É fundamental analisar os riscos associados ao uso de agrotóxicos e OGMs com base em estatísticas corretas, precisas e que permitam à população obter conclusões verdadeiras sobre o nível de segurança de nossos produtos e processos de produção agrícola.

Referências

BROOKES, G.; BARFOOT, P. **GM crops: global socio-economic and environmental impacts 1996-2015**. Dorchester: PG Economics, 2017. 201 p.

CARBONARI, C. A.; VELINI, E. D. Análise de risco associado ao uso de defensivos agrícolas. **Agronanalysis - A revista de Agronegócios da FGV**, São Paulo, p. 43- 44, 1 abr. 2018.

CÉLERES. **3º levantamento de adoção da biotecnologia agrícola no Brasil, safra 2016/17**. Uberlândia, 2018. Disponível em: <<http://www.celeres.com.br/3o-levantamento-de-adocao-da-biotecnologia-agricola-no-brasil-safra-201617>>. Acesso em: 4 jul. 2018.

COMISSÃO TÉCNICA NACIONAL DE BIOSSEGURANÇA. Brasília, DF, 2018. Disponível em: <<http://ctnbio.mcti.gov.br/inicio>>. Acesso em: 7 jul. 2018.

CONSELHO DE INFORMAÇÕES SOBRE BIOTECNOLOGIA. **Produtos aprovados**. Disponível em: <<http://cib.org.br/produtos-aprovados>>. Acesso em: 3 jul. 2018.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **World food situation: FAO cereal supply and demand brief**. Disponível em: <<http://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/en>>. Acesso em: 7 jul. 2018a.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **World food situation: food price index**. Disponível em: <<http://>

www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/en>. Acesso em: 7 jul. 2018b.

INTERNATIONAL SERVICE FOR THE ACQUISITION OF AGRIBIOTECH APPLICATIONS. **GM crops list**. Disponível em: <<http://www.isaaa.org/gmaprovaldatabase/cropslist/default.asp>>. Acesso em: 3 jul. 2018.

KOVACH, J.; PETZOLDT, C.; DEGNIL, J.; TETTE, J. A method to measure the environmental impact of pesticides. **New York's Food and Life Sciences Bulletin**, v. 139, p. 1-8, 1992.

NEWYORK STATE INTEGRATED PEST MANAGEMENT. **Calculator for Field Use EIQ**. Disponível em: <<https://nysipm.cornell.edu/eiq/calculator-field-use-eiq>>. Acesso em: 8 jul. 2018.

PESTICIDE PROPERTIES DATABASE. **The PPDB**: A to Z list of pesticide active ingredients. Disponível em: <<https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/atoz.htm>>. Acesso em: 20 jun. 2018.

Capítulo 23

Desafios do Melhoramento Genético de Milho para Safrinha

Narjara Fonseca Cantelmo

Ester A. S. Buiate

Ana Paula Mijone

Rafael Vieira

Sara Morra Coser

Introdução

A produção de milho fornece alimentos para uma imensa população animal e combustível para mais de seis bilhões de pessoas no mundo e a população mundial continua a crescer (**Figura 1**) em face do aumento dos preços de comida, diminuição das áreas agricultáveis, escassez de água, ameaça das mudanças climáticas e aumento dos níveis de dióxido de carbono (Troyer; Weelin, 2009).

Diante da demanda por alimentos e combustíveis, são necessários programas de melhoramento de milho mais eficientes e mais ágeis para suprir estas necessidades. No passado, as cultivares de milho eram derivadas de polinização aberta. Na década de 30, nos Estados Unidos, as melhores cultivares foram autofecundadas e produziram mais de 100 cultivares de polinização aberta (Jenkins, 1934 citado por Lu; Bernardo, 2001). Porém, posteriormente com o desenvolvimento das indústrias de sementes de milho híbrido, os cruzamentos entre genótipos elite se tornaram a principal forma de obtenção de novas linhagens (Hallauer et al., 1988;

Troyer, 1990). Essa reciclagem, que ficou conhecida como ciclo avançado de melhoramento de linhagens, envolve cruzamentos entre linhagens relacionadas como fonte de populações (Lu; Bernardo, 2001).

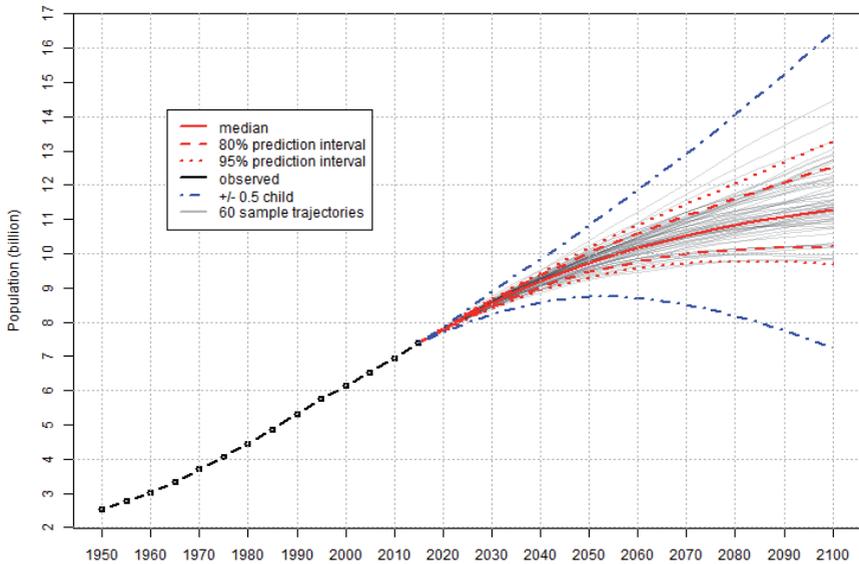


Figura 1. Crescimento populacional no mundo. Fonte: Organização das Nações Unidas (2017).

O conhecimento da diversidade genética, relação e estrutura do germoplasma são essenciais no melhoramento de plantas por diferentes razões, entre elas: auxiliar na escolha das melhores combinações parentais para o desenvolvimento de progênies com máxima variabilidade genética (Barrett; Kidwell, 1998) e separar o germoplasma em grupos heteróticos. No melhoramento de milho, essas duas utilidades são indispensáveis para o desenvolvimento de melhores linhagens e a criação de híbridos

superiores, principalmente para o caráter produtividade (Duvick, 2001).

O milho no Brasil representa um dos principais cultivos e, juntamente com a soja, são responsáveis por grande parte do cultivo de grãos. Até a década de 80, o milho era plantado somente na safra de verão – com semeadura de agosto a outubro – e utilizando-se de híbridos simples e duplos. No final de década de 80, com a expansão da fronteira agrícola para a região do Cerrado aliada a disponibilidade de cultivares de soja adaptadas a esse ambiente, iniciou-se o sistema soja/trigo como importante sistema de cultivo.

No começo da década de 1990, o cultivo de trigo entrou em decadência no Brasil, o Estado de Mato Grosso do Sul, junto com o Paraná foram os mais afetados, uma vez que a produção de grãos deles se baseava na sucessão soja-trigo. Assim, buscou-se uma alternativa de cultura que apresentasse elevado rendimento econômico. Surgiu então a possibilidade do cultivo do milho após a soja, com as primeiras semeaduras em meados de março, se estendendo pelo mês de abril. Durante essa primeira etapa, até o fim dessa década, o milho safrinha foi cultivado muitas vezes sem tecnologia alguma - sem aporte de fertilizantes, sementes de baixa qualidade, cultivares desenvolvidas para semeaduras de verão e escasso controle de pragas (Neto; Ceccon, 2015).

Nos últimos 20 anos o plantio do milho safrinha cresceu expressivamente no Brasil, frente a maior lucratividade da soja em relação ao milho Verão, que chega a ter uma rentabilidade 30% maior que o milho em algumas regiões do Sudeste do Brasil. Com isso, a área plantada com milho safrinha ultrapassou a área de milho Verão no ano de 2011, suportado pela maior

disponibilidade de cultivares precoces de soja e contínua expansão agrícola da soja no verão. No ano de 2017 a área plantada com milho safrinha no Brasil foi de aproximadamente 12 milhões de hectares, representando 70% da produção de milho (**Figura 2**).

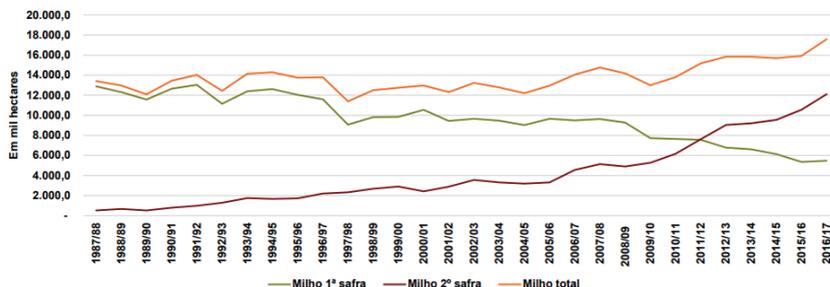


Figura 2. Evolução da área de milho (primeira safra, segunda safra e total) – Brasil. Fonte: Acompanhamento da safra brasileira [de] grãos (2018).

A expansão das áreas de soja no verão é acompanhada pela expansão do milho safrinha, reforçando a importância e abrangência do sistema Soja/Milho (**Figura 3**). Dentre os principais estados produtores de soja no Brasil, também estão os principais estados produtores de milho - Mato Grosso, Paraná e Mato Grosso do Sul são os maiores produtores de milho safrinha com 28,610 toneladas, 13,145 toneladas e 9,609 toneladas produzidas respectivamente, no ano de 2017 (Acompanhamento da safra brasileira [de] grãos, 2018).

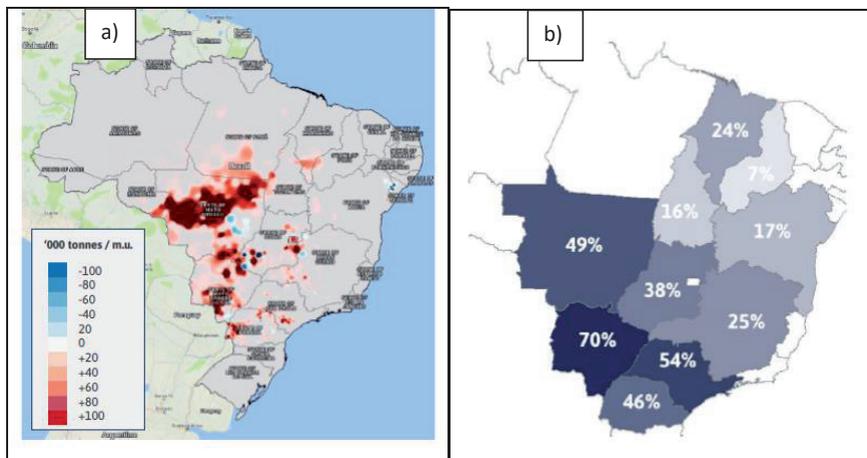


Figura 3. a) Variação absoluta da produção de safrinha entre os anos de 2011 a 2017; b) Porcentagem de área de milho safrinha em relação às áreas de soja. Fonte: Acompanhamento da safra brasileira [de] grãos (2018); Design: INTL FCStone.

As regiões de safrinha estão suscetíveis a eventos climáticos que comprometem a produtividade do milho, como a deficiência hídrica, temperaturas muito elevadas ou abaixo de 13 °C, baixa radiação solar e instabilidade climática em regiões específicas. Tais fatores podem ser amenizados pela escolha da época de semeadura e uso de sistemas de irrigação, aumentando a faixa temporal de cultivo tanto para a soja quanto para o milho (Battisti, 2013), mas sobretudo utilizando-se híbridos adaptados a cada região de cultivo.

O principal objetivo de um programa de melhoramento é assegurar o desenvolvimento e posicionamento no mercado de materiais genéticos cada vez mais produtivos. No entanto, para alcançar tais patamares de produção é necessário agregar características como estabilidade produtiva nos mais diversos

ambientes de produção e tolerância a fatores bióticos e abióticos. Sendo assim, o desafio do melhoramento de milho safrinha torna-se ainda mais intenso em razão da heterogeneidade e complexidade dos ambientes nos quais a safrinha é cultivada, classificado como um dos mais suscetíveis a distúrbios climáticos drásticos.

Os desafios do melhoramento genético de milho tanto de verão quanto de safrinha passam pela produtividade, estabilidade, tolerância a fatores bióticos e abióticos, como doenças e tolerância à seca. Além das características em comum entre as duas Safras de milho, destacam-se os desafios relacionados aos ambientes de cultivo específicos da safrinha. Na safrinha concentrada em ambientes de Cerrados, representado principalmente pelos estados do Mato Grosso, Goiás e Minas Gerais, o grande desafio é a tolerância a doenças foliares e de grãos e estresse hídrico, principalmente com relação à seca durante o florescimento e enchimento de grãos. Já na safrinha do Sul do Brasil, representada principalmente pelos plantios no Oeste do Paraná e Sul do Mato Grosso do Sul, as características principais são a estabilidade ambiental – haja vista a grande instabilidade dos ambientes de safrinha nestas regiões – e a tolerância a grãos ardidos e características associadas à qualidade de colmo.

Tolerância a doenças

Podemos dividir as principais doenças com base nos diferentes ambientes de safrinha:

Safrinha Centro

Mancha-branca

A mancha-branca (*Pantoea ananatis* e *Phaeosphaeria maydis*) é uma doença de ampla distribuição pelo território brasileiro. Sua importância aumentou a partir de 1990 e atualmente é uma das principais doenças do milho. As perdas causadas por esta doença podem ser da ordem de 60% em ambientes favoráveis cultivados com híbridos suscetíveis (Grigoli; Lourenção). A melhor forma de controle é o uso de materiais resistentes, já que poucos fungicidas são efetivos.

Cercóspora

A cercosporiose (*Cercospora zea-maydis* e *Cercospora zeina*) foi observada inicialmente no sudoeste de Goiás no ano de 2000, nos municípios de Rio Verde, Jataí, Montividiu e Santa Helena. Atualmente, a doença está presente em praticamente todos os campos de cultivo de milho, e é uma das mais importantes da cultura. Apesar da doença ser facilmente controlada com a utilização de fungicidas, em condições climáticas favoráveis e alta incidência, pode provocar perdas superiores a 80% em híbridos susceptíveis (Grigoli; Lourenção, 2018).

Enfezamentos

Os enfezamentos são causados por mollicutes (espiroplasma – *Spiroplasma kunkelii* – e fitoplasma – *Maize Bushy Stunt Phytoplasma*), microrganismos semelhantes a bactérias, e

pelo vírus da risca do milho (*Maize Rayado Fino Virus-MRFV*). O espiroplasma é responsável pela doença denominada enfezamento-pálido e o fitoplasma pelo enfezamento-vermelho (**Figura 4**). Os enfezamentos têm causado danos expressivos nas lavouras, especialmente nas regiões quentes do Brasil, como Bahia, sudoeste de Goiás, Triângulo Mineiro e o noroeste de Minas Gerais, onde a cultura é cultivada em mais de uma safra ao ano. As doenças podem reduzir em até 70% a produção de grãos, dependendo da incidência e severidade (Grigoli; Lourenção, 2018).

Os agentes causais dos enfezamentos são transmitidos de uma planta de milho doente para uma planta de milho sadia por um único inseto-vetor, denominado de cigarrinha-do-milho, com o nome científico de *Dalbulus maidis* (Hemiptera: Cicadellidae) (Grigoli; Lourenção, 2018), o que torna o controle da doença por meios químicos desafiador, visto o hábito do inseto e os “corredores” de milho que conectam safra de verão e safrinha no Brasil. Isso faz com que o melhoramento genético dos híbridos de milho se tornem ainda mais importante para o sucesso da cultura em áreas de risco.

Ferrugem-polissora

A ferrugem-polissora (*Puccinia polysora*) é a mais importante e agressiva doença do milho na região de safrinha de baixa altitude. Pode ser controlada com a utilização de fungicidas, contudo danos econômicos da ordem de até 65% já foram constatados experimentalmente (Grigoli; Lourenção, 2018).



Figura 4. Sintomas foliares do enfezamento vermelho, multiespigamento causado pelo enfezamento e sintomas foliares do enfezamento pálido.

Safrinha Sul

Grão Ardido – *Giberella*

A sanidade dos grãos também merece atenção. Esta característica decorre da quantidade de inoculo e da resistência genética do híbrido à fungos que atacam o grão. Normalmente, a sanidade esta associada a um bom empalhamento; mas é, também, dependente das condições climáticas, nos estágios de desenvolvimento e secagem dos grãos no campo. Baixas porcentagens de espigas doentes e grãos ardidos são características que podem estar incorporadas ao insumo semente, representando valor agregado, pois, melhor qualidade de grãos poderá significar maior preço no mercado (Milho..., 2015). Na safrinha do Sul do Brasil o principal agente causador de grão ardido é a *Giberella zea*, que apresenta difícil controle por fungicidas e difícil caracterização visto que é extremamente variável de acordo com a condição ambiental do ano de plantio, apresentando baixa herdabilidade e com isso difícil incorporação em modelos estatísticos de predição e seleção.

Bacteriose

Uma nova doença tem causado danos consideráveis nas lavouras do Oeste do Paraná. As primeiras lesões foram encontradas no ano de 2016 e o problema tem evoluído desde então. A sintomatologia preliminar indica a bactéria *Xanthomonas vasicola* como agente causador da doença. A doença se caracteriza por lesões encharcadas-anasarcas e evoluem para lesões alongadas, no sentido nas nervuras com bordas irregulares, secando as folhas totalmente e podendo causar a morte prematura da planta. Em algumas situações as lesões também podem ser vistas nas espigas do milho.

A incidência e severidade variam de acordo com o híbrido, já podendo ser verificadas algumas fontes de tolerância nos campos comerciais. Condições ambientais favoráveis para o desenvolvimento da doença incluem alta umidade relativa e molhamento foliar. Contudo, como ainda é uma doença recente, com pouca fonte de informação e poucos dados de fenotipagem, pouco se consegue fazer em termos de melhoramento genético. O controle químico ainda se mostra ineficiente ou economicamente inviável (Copacol, 2018).

Qualidade de colmo

Com o aumento do nível tecnológico na cultura do milho, um fator que deve ser considerado é a resistência da planta ao acamamento e ao quebramento. Embora estas características também sejam afetadas pelo manejo da lavoura, variam com o híbrido (Milho..., 2015). Além disso, considerando a baixa umidade de colheita que normalmente é praticada na safrinha e a exaustão de colmo que ocorre nesta época de plantio, por causa do alto grau de estresse da cultura frente a seca e altas temperaturas, o colmo deve se manter intacto para que a colheita seja integral e as perdas pelo quebramento sejam minimizadas.

Como o quebramento é uma característica de difícil fenotipagem, dependente do ambiente e do ano de plantio e com isso apresenta baixa herdabilidade, seu melhoramento é desafiador e seu modelo estatístico de predição genômica ainda pouco acurado.

Características secundárias têm sido trabalhadas nos programas de melhoramento para minimizar o risco de quebramento - altura dos híbridos e também a altura de inserção da espiga. Por serem

características de fácil mensuração e alta herdabilidade, têm sido eficientemente melhoradas.

Tolerância a estresse hídrico

A condição de estresse hídrico nos ambientes de safrinha é bem conhecida pelo aumento do risco destes plantios e diminuição de produtividade, principalmente em sementeiras mais tardias. A seca, principalmente após o florescimento, é responsável por perdas significativas na produção, maior suscetibilidade ao acamamento de plantas e morte prematura de híbridos mais suscetíveis (**Figura 5**).

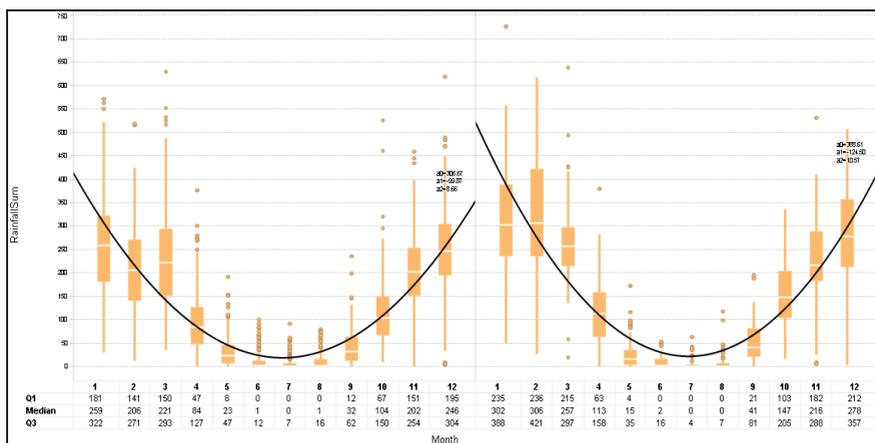


Figura 5. Histórico de 20 anos de regime hídrico na Safrinha Cerrados –Mato Grosso e Goiás. Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia.

Um dos fatores relacionados à estabilidade de produtividade nos híbridos de milho é a tolerância à seca (**Figura 6**), sendo esta uma das principais características trabalhadas no melhoramento genético do milho tanto no Brasil como em todo mundo, tanto

de forma indireta quanto direta. Além disso, a maior eficiência do uso de água passa a ter um grande impacto para obtenção de culturas agrícolas mais sustentáveis, que diminuem seus impactos nas mudanças climáticas (Cooper et al., 2014).

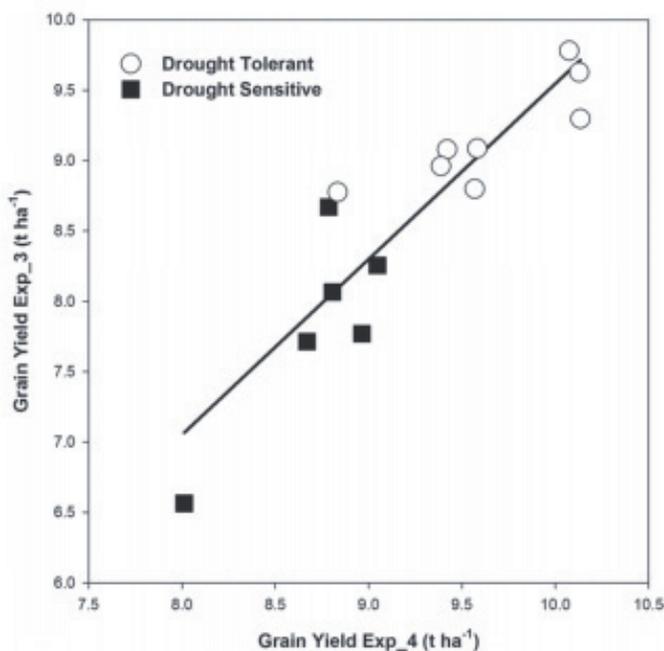


Figura 6. Comparação de produtividade de grãos para um conjunto de híbridos tolerantes e sensíveis à seca, conduzidos sob ambientes de seca controlados. Fonte: Cooper et al. (2014).

Contudo, a tolerância à seca é uma característica simplificada que agrega vários sistemas impactados pela deficiência de água, em diferentes níveis e estádios da cultura. Várias estratégias de melhoramento vêm sendo utilizadas, desde a identificação de genes isolados, que controlam processos fisiológicos que influenciam a tolerância ao estresse hídrico, passando pelo

melhoramento convencional com a acumulação de alelos favoráveis, utilizando para isso a seleção em ambientes favoráveis à esta característica e por fim e seleção genômica ampla, visando a predição de populações/híbridos mais tolerantes (Nuccio et al., 2018).

Até o momento pouco se conseguiu em termos de produtos comerciais, contudo muito se têm trabalhado no desenvolvimento de novos produtos (**Figura 7**). O único produto comercial transgênico com apelo claro de tolerância à seca é um Híbrido Geneticamente Modificado, lançado nos Estados Unidos. Seu sistema de tolerância é baseado em RNA chaperone que interfere em diferentes metabolismos de tolerância à seca como regulação transcricional, síntese de aminoácidos e sinais de etileno. Este modo de ação suporta de forma evidente a natureza complexa desta característica. Esforços contínuos têm sido feitos tanto no setor público quanto privado visando a melhoria dela (Nuccio et al., 2018).

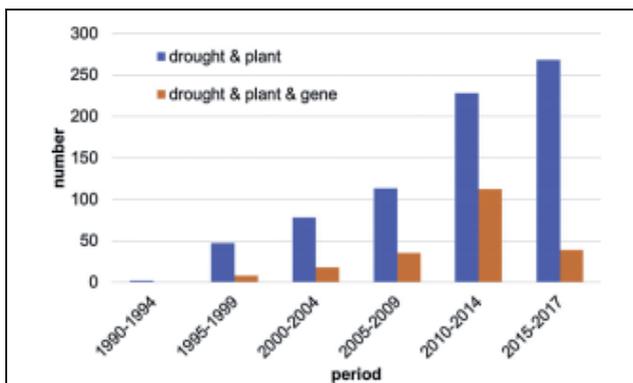


Figura 7. Patentes nos Estados Unidos relacionada a tolerância à seca. O banco de dados foi construído com informações de patentes com os termos “seca” e “planta” e o termo “gene” foi adicionado para identificação de patentes relacionadas à biotecnologia. Fonte: Nuccio et al. (2018).

Estabilidade

O cultivo do milho no Brasil é realizado em uma ampla diversidade de ambientes e tecnologias. Para se ter sucesso, um novo híbrido deve apresentar alta produtividade e alta performance para caracteres agronômicos em uma ampla gama de ambientes (Ferreira et al., 2006).

Uma das causas da superioridade de determinados genótipos em ambientes e anos distintos é a interação Genótipo x Ambiente (GxA), onde a performance de um dado genótipo depende de sua interação com o ambiente em que está sendo produzido. Parte desta interação pode ser explicada por fatores ambientais conhecidos, como doenças e pragas, volume de chuvas, ocorrência de seca, características de solos como fertilidade, tipo e profundidade, fotoperíodo entre outras. Contudo, parte da interação ainda não é explicada por esses fatores ambientais conhecidos (Ferreira et al., 2006). Isso suporta a importância dos testes dos híbridos em uma amostragem de ambientes e anos de produção que caracterize a região foco do programa de melhoramento e o nível tecnológico utilizado. A extensão da performance nesses diferentes ambientes dependerá da magnitude da interação GxA, que ocorre quando os genótipos diferem em sua performance entre os ambientes (**Figura 8 e 9**). A interação GxA é muito comum para a maioria das características quantitativas, como produtividade (Bernardo, 2010).

Por causa desses fatores, a interação genótipos x ambientes (GxA) é de fundamental importância, exigindo que os melhoristas utilizem todas as estratégias visando atenuar seus efeitos e até mesmo aproveitá-la em benefício dos agricultores. Assim, a estratégia de identificação dos melhores híbridos para

cada ambiente/região visa a maximização da produtividade e performance.

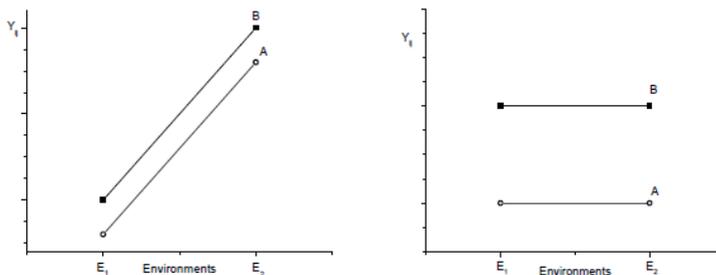


Figura 8. Ilustrações de interação GxA nula. Fonte: Ferreira et al. (2006).

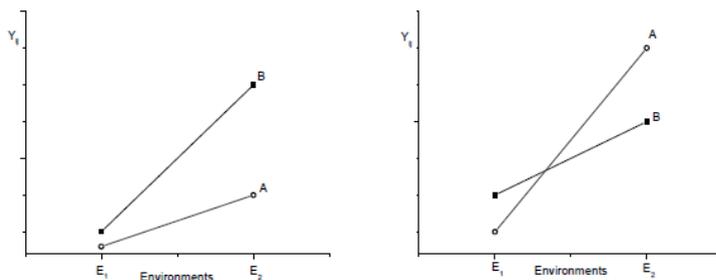


Figura 9. a) Ilustração de interação GxA simples; b) Ilustração de Interação GxA complexa. Fonte: Ferreira et al. (2006).

Em um programa de melhoramento pode-se contar com estratégias distintas de estabilidade: tanto explorando a interação GxA, direcionando os híbridos para uma gama de ambientes mais restrita, com adaptabilidade mais específica, quanto reduzindo a interação GxA, obtendo com isso híbridos de ampla adaptabilidade, podendo ser explorados de forma menos restritiva nos diferentes ambientes. Análises de estabilidade e adaptabilidade geram informações da performance dos genótipos como tipo de interação GxA, identificação de híbridos

mais adaptados para cada ambiente e identificação de grupos de híbridos que não apresentam interações complexas.

Dada a importância do estudo da estabilidade nos programas de melhoramento, várias metodologias têm sido descritas na literatura para estudo da interação GxA. O método de AMMI (*additive main effects and multiplicative interaction*) e GGE (*genotype x environment interaction effects*), são os dois métodos mais comum para as análises biplot (Yang et al., 2009).

Novas metodologias de melhoramento genético

Predição genômica ampla

Os programas de melhoramento de milho buscam híbridos com alta produtividade, geralmente, melhores aos que já existem no mercado. Contudo, atingir esse objetivo não é algo simples. O melhoramento de milho envolve sistemas de cruzamentos, que buscam identificar as melhores combinações de genitores, tendo como produto final os híbridos (Hallauer et al., 2010). Para testar todas as combinações híbridas possíveis seria necessária a realização de milhares de cruzamentos, o que se torna inviável nos programas de melhoramento. Por isso, somente uma parte dos cruzamentos são realizados diminuindo assim as chances de se encontrar as combinações mais promissoras (Schrag et al., 2010).

Com o avanço do uso de marcas moleculares, a seleção feita para caracteres de importância econômica, como a produtividade de grãos, que é um caráter quantitativo, antes realizada somente a partir de dados fenotípicos, passou a utilizar dados moleculares. Uma justificativa para a utilização de informações moleculares é a

expectativa de que informações sobre DNA tragam maior ganho genético do que quando se utilizam apenas os dados fenotípicos, uma vez que o fenótipo é produto das interações com o ambiente, a qual não é transmitida para as gerações futuras e portanto não resulta em ganhos genéticos (Meuwissen et al., 2001).

O primeiro modelo de predição de híbridos de milho foi proposto por Bernardo (1994) - *preditor linear não viesado (BLUP)* - que leva em consideração as informações dos marcadores moleculares das linhagens parentais e os dados de produtividade de uma população de cruzamentos testes. Apesar da correlação entre o desempenho genotípico do cruzamento predito e o seu valor fenotípico ser baixa em muitos casos, essa abordagem apresenta vantagens (Bernardo, 1994). A utilização do BLUP tem mostrado eficiência considerável para tal finalidade, por ser uma metodologia que maximiza a acurácia seletiva e pode ser associado ao uso de marcadores para a predição dos valores genéticos genômicos (Bernardo, 1994, 1995, 1996a, 1996b; Massman et al., 2013).

A predição genômica tem se mostrado uma ferramenta alternativa que utiliza a informação genômica, advinda dos marcadores moleculares, para seleção das melhores combinações visando realizar o melhoramento de forma mais eficiente. Ao contrário de se utilizar somente as marcas moleculares que apresentam significância para o caráter em questão, a predição genômica ampla utiliza todas as marcas simultaneamente na construção do modelo, garantindo por probabilidade que cada locus gênico esteja em equilíbrio de ligação com pelo menos um marcador, capturando todos os genes que afetam um caractere quantitativo (Windhausen et al., 2012).

Com o aumento da disponibilidade de marcas disponíveis e a redução dos custos de genotipagem, as técnicas de Predição Genômica Ampla (GWS) se tornaram uma realidade para os programas de melhoramento (Heslot et al., 2014; Zhao et al., 2015). Meuwissen et al. (2001), por meio de simulações, foram os pioneiros na incorporação de uma grande quantidade de marcas ao modelo, estimando todas simultaneamente. A GWS incorpora simultaneamente todas as marcas ao longo do genoma no modelo de predição, reduzindo o risco da identificação errônea ou imprecisa dos QTLs de efeitos menores. Cada marca é considerada um possível QTL e todas as marcas são combinadas para predizer o valor genético do genótipo (Guo et al., 2013).

Vários trabalhos têm demonstrado e confirmado a superioridade e exequibilidade prática do método em benefício do melhoramento genético. Dentre os vários métodos de predição disponíveis hoje, comprovou-se semelhante eficiência de seleção entre eles, contribuindo equivalentemente em aumentar os ganhos genéticos, otimizar recursos e reduzir o tempo de ciclo de melhoramento.

Edição gênica

Edição gênica é uma técnica que usa enzimas para a inserção, deleção ou troca do DNA numa região específica do genoma de um organismo ou célula. Nas últimas décadas, várias metodologias foram desenvolvidas, incluindo ZFN (zinc-finger nucleases),TALENs (Transcription activator-like effector nucleases) e proteínas CRISPR-Cas9 (Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats-Cas9), possibilitando mudanças precisas em bases do DNA que serão passadas para a próxima geração.

CRISPR-Cas9 se tornou a metodologia mais famosa e mais usada pela sua simplicidade, eficiência e versatilidade, além do baixo custo. O sistema foi adaptado do sistema de resistência a patógenos que ocorre naturalmente em bactérias. Ele confere resistência a materiais genéticos exógenos, como plasmídeos e fagos. A enzima CRISPR reconhece e silencia DNA exógeno, de maneira similar ao RNA interferente em materiais eucariotos (Horvath; Barrangou, 2010).

As oportunidades para agricultura são inúmeras, como aumento da produtividade, tolerância a seca, doenças e herbicidas, além de características importantes para o consumidor, como sabor do alimento. Há poucos trabalhos publicados para a cultura do milho, porém existe uma série de pesquisas em outras culturas, como canola, tomate e citrus.

Em 2015, a empresa Cibus plantou a primeira canola resistente ao herbicida sulfonilurea desenvolvida através de edição gênica, com a remoção de alguns nucleotídeos do genoma (Ainsworth 2015). A cultivar já está disponível comercialmente nos Estados Unidos. Em 2016, DuPont Pioneer anunciou uma versão de milho ceroso, com maior conteúdo de amylopectina, feito com CRISPR. Usando técnicas convencionais de melhoramento, a mesma variedade demoraria décadas para ser desenvolvida (Bomgardner, 2017). No mesmo ano, foi lançado um cogumelo que não escurece após ser cortado, e o material não foi regulado como um organismo geneticamente modificado. Por não conter nenhum DNA de outro organismo, o material editado com CRISPR-Cas9 não foi regulado pela agência de agricultura americana (Waltz, 2016).

Com a popularização da técnica de edição gênica, vários grupos de pesquisa desenvolveram plantas com maior resistência a doenças. Em citrus, a edição do promotor do gene que promove o crescimento do cancro do citrus (CsLOB1) diminuiu a severidade da doença em pelo menos 83% (Peng et al., 2017).

Todos os exemplos acima envolvem modificação de apenas um gene na planta. Porém, o grupo do Professor Lippman do Cold Spring Harbor Laboratory usou a edição gênica para criar variação em características quantitativas. Através da modificação de promotores de vários QTLs responsáveis por produtividade, eles conseguiram aumentar a quantidade de lobos e o tamanho do fruto do tomate (Rodríguez-Leal et al., 2017). Isso abre possibilidades para se trabalhar com a edição gênica não somente em características qualitativas como também quantitativas.

Considerações finais

Os desafios do melhoramento genético do milho mostram que são várias as características a serem melhoradas, contudo é importante manter o foco das mais importantes na área de atuação do programa de melhoramento. O conhecimento profundo do germoplasma disponível que permitirá a priorização dessas principais características que apresentem baixa frequência no banco genético disponível para melhoramento e a identificação das fontes de diversidade para cada uma delas é essencial para obtenção de híbridos superiores. Além disso, o melhoramento genético conta hoje com uma série de ferramentas, modelos estatísticos e predições com a finalidade de otimizar as seleções e decisões, maximizando recursos e aumentando o ganho genético.

As características de baixa herdabilidade e de difícil fenotipagem, como quebramento e acamamento e tolerância à seca, ainda representam um dos grandes desafios do melhoramento. Além destas, a estabilidade dos genótipos a variações ambientais severas, também são desafios importantes.

Germoplasma, genética, fenotipagem e seleção combinados a um claro objetivo são os fundamentos para um programa de melhoramento de sucesso. Sendo o melhorista responsável pela integração das novas tecnologias e metodologias que resultem em maior eficiência seletiva e ganho genético para os caracteres de objetivo do seu programa.

Referências

ACOMPANHAMENTO DA SAFRA BRASILEIRA [DE] GRÃOS: safra 2017/18: quinto levantamento. Brasília, DF: Conab, v. 5, n. 5, fev. 2018. 140 p. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos/item/download/12569_5b3e0e675171f49a5b1e9215edc1064a>. Acesso em: 30 maio 2018.

AINSWORTH, C. Agriculture: a new breed of edits. **Nature**, London, v. 528, p. S15-S16, 2015.

BARRETT, B. A.; KIDWELL, K. K. AFLP-based genetic diversity assessment among wheat cultivars from the Pacific Northwest. **Crop Science**, Madison, v. 38, n. 5, p. 1261-1271, 1998.

BATTISTI, R. **Épocas de semeadura da cultura da soja com base no risco climático e na rentabilidade líquida para as principais regiões produtoras do Brasil**. 2013. 261 f. Dissertação (Mestrado)

- Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2013.

BERNARDO, R. Genetic models for predicting maize performance in unbalanced yield trial data. **Crop Science**, Madison, v. 35, n.1, p. 141-147, 1995.

BERNARDO, R. Best linear unbiased prediction of maize single-cross performance. **Crop Science**, Madison, v. 36, n.1, p. 50-56, 1996a.

BERNARDO, R. Best linear unbiased prediction of maize single-cross performance given erroneous inbred relationships. **Crop Science**, Madison, v. 36, n. 4, p. 862-866, 1996b.

BERNARDO, R. **Breeding for quantitative traits in plants**. Woodbury: Stemma, 2010.

BERNARDO, R. Prediction of maize single-cross performance using RFLPs and information from related hybrids. **Crop Science**, Madison, v. 34, n.1, p. 20-25, 1994.

BOMGARDNER, M. CRISPR: a new toolbox for better crops. **Chemical & Engineering News**, v. 95, p. 30-34, 2017.

COOPER, M.; GHO, C.; LEAFGREN, R.; TANG, T.; MESSINA, C. Breeding drought-tolerant maize hybrids for the US corn-belt: discovery to product. **Journal of Experimental Botany**, London, v. 65, n. 21, p. 6191-6204, 2014.

COPACOL. Centro de Pesquisa Agrícola. **Ocorrência de lesões foliares ocasionadas por bactérias no oeste do Paraná**: informativo técnico. Cafelândia, 2018.

DUVICK, D. N. Biotechnology in the 1930s: the development of hybrid maize. **Nature Reviews Genetics**, London, v. 2, p. 69-74, 2001.

FERREIRA, D. F.; DEMÉTRIO, C. G. B.; MANLY, B. F. J.; MACHADO, A. de A.; VENCOVSKY, R. Statistical models in agriculture: biometrical methods for evaluating phenotypic stability in plant breeding. **Cerne**, Lavras, v. 12, n. 4, p. 373-388, out./dez. 2006.

GRIGOLLI, J. F. J.; LOURENÇÃO, A. L. F. **Tecnologia e produção**: milho safrinha e culturas de inverno. Disponível em: <<https://www.agrolink.com.br/downloads/doen%C3%A7as%20cultura%20do%20milho%20safrinha.pdf>>. Acesso em: 30 maio 2018.

GUO, T.; LI, H.; RANG, J.; LI, J.; ZHANG, L.; WANG, J. Performance prediction of F1 hybrids between recombinant inbred lines derived from two elite maize inbred lines. **Theoretical Applied Genetics**, Berlin, v. 126, n. 1, p. 189-201, 2013.

HALLAUER, A. R.; CARENA, M.; MIRANDA, J. B. F. **Quantitative genetics in maize breeding**. 3. ed. Ames: Iowa State University Press, 2010.

HALLAUER, A. R.; RUSSELL, W. A.; LAMKEY, K. R. Corn breeding. In: SPRAGUE, G. F.; DUDLEY, J. W. (Ed.). **Corn and corn improvement**. 3. ed. Madison: American Society of Agronomy: Crop Science Society of America, 1988. p. 463-564. (Agronomy, 18).

HESLOT, N.; JANNINK, J. L.; SORRELLS, M. E. Perspectives for genomic selection applications and research in plants. **Crop Science**, Madison, v. 55, n. 1, p. 1-12, 2014.

HORVATH, P.; BARRANGOU, R. CRISPR/Cas, the immune system of bacteria and archaea. **Science**, Washington, v. 327, p. 167-170, 2010.

JENKINS, M.T. Methods of estimating the performance of double crosses in corn. **Journal of American Society of Agronomy**, Madison, v. 26, p. 199-204, 1934.

LU, H.; BERNARDO, R. Molecular marker diversity among current and historical maize inbreds. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 103, n. 4, p. 613-617, 2001.

MASSMAN, J. M.; GORDILLO, A.; LORENZANA, R. E.; BERNARDO, R. Genome wide predictions from maize single-cross data. **Theoretical Applied Genetics**, Berlin, v. 126, n. 1, p. 13-22, 2013.

MILHO: Brasil amplia cultivo para atender demanda crescente. **Visão Agrícola**, Piracicaba, n. 13, jul./dez. 2015. Disponível em: <<http://www.esalq.usp.br/visaoagricola/sites/default/files/Esalq-VA13-Milho.pdf>>. Acesso em: 30 maio 2018.

MEUWISSEN, T. H. E.; HAYES, B. J.; GODDARD, M. E. Prediction of total genetic value using genome-wide dense marker maps. **Genetics**, Bethesda, v. 157, n. 4, p. 1819-1829, 2001.

NETO, N. L. A.; CECCON, G. Produção do milho safrinha no Mato Grosso do Sul. In: SEMINÁRIO NACIONAL [DE] MILHO

SAFRINHA, 13., 2015, Maringá. **Anais...** Maringá: Universidade Estadual de Maringá, 2015. p. 578-591.

NUCCIO, M. L.; PAUL, M.; BATE, N. J.; COHN, J.; CUTLER, S. R. Where are the drought tolerant crops? An assessment of more than two decades of plant biotechnology effort in crop improvement. **Plant Science**, Limerick, v. 273, p. 110-119, 2018.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **World population prospects 2017**. Disponível em: <<https://esa.un.org/unpd/wpp/Graphs/Probabilistic/POP/TOT/>>. Acesso em: 25 maio 2018.

PENG, A.; CHEN, S.; LEI, T.; XU, L.; HE, Y.; WU, L.; YAO, L.; ZOU, X. Engineering canker-resistant plants through CRISPR/Cas9-targeted editing of the susceptibility gene CsLOB1 promoter in citrus. **Plant Biotechnology Journal**, Oxford, v. 15, p. 1509-1519, 2017.

RODRÍGUEZ-LEAL, D.; LEMMON, Z. H.; MAN, J.; BARLETT, M. E.; LIPPMAN, Z. B. Engineering quantitative trait variation for crop improvement by genome editing. **Cell**, Cambridge, v. 171, p. 470-480, 2017.

SCHRAG, T. A.; MÖHRING, J.; MELCHINGER, A. E.; DHILLON, B. S.; PIEPHO, H. P.; FRISCH, M. Prediction of hybrid performance in maize using molecular markers and joint analyses of hybrids and parental inbreds. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 120, n. 2, p. 451-461, 2010.

TROYER, A. F. A retrospective view of corn genetic resources. **Journal of Heredity**, Washington, v. 81, n. 1, p. 17-24, 1990.

TROYER, A. F.; WELLIN, E. J. Heterosis decreasing in hybrids: yield test inbreds. **Crop Science**, Madison, v. 49, n. 6, p. 1969-1976, 2009.

WALTZ, E. Gene-edited CRISPR mushroom escapes US regulation. **Nature**, London, v. 532, p. 293, 2016.

WINDHAUSEN, V. S.; ATLIN, G. N.; HICKEY, J. M.; CROSSA, J.; JANNINK, J. L.; SORRELLS, M. E.; RAMAN, B.; CAIRNS, J. E.; TAREKEGNE, A.; SEMAGN, K.; BEYENE, Y.; GRUDLOYMA, P.; TECHNOW, F.; RIEDELSHEIMER, C.; MELCHINGER, A. E. Effectiveness of genomic prediction of maize hybrid performance in different breeding populations and environments. **G3**, Bethesda, v. 2, n. 11, p. 1427-1436, 2012.

YANG, R. C.; CROSSA, J.; CORNELIUS, P. L.; BURGUENO, J. Biplot analysis of genotype X environment interaction: proceed with caution. **Crop Science**, Madison, v. 49, p. 1564-1576, 2009.

ZHAO, Y.; METTE, M. F.; REIF, J. C. Genomic selection in hybrid breeding. **Plant Breeding**, Berlin, v. 134, n. 1, p. 1-10, 2015.

Capítulo 24

Desafios no Melhoramento de Soja como Cultura Antecessora ao Milho de Segunda Safra

Luis Fernando Alliprandini

Introdução

O melhoramento de plantas é uma ciência aplicada e multidisciplinar, resultante da aplicação de princípios genéticos e práticas associadas com o desenvolvimento de cultivares mais adaptadas às necessidades humanas do que a sobrevivência na natureza; utilizando-se de conhecimentos de botânica, genética, citogenética, genética molecular, fisiologia, fitopatologia, entomologia, estatística e bioquímica (Gepts; Hancock, 2006). Após a redescoberta das Leis de Mendel no início do século XX, uma grande revolução se deu na maneira de como o homem passou a utilizar estes conhecimentos na produção de cultivares mais adaptadas às diferentes regiões da terra e aos sistemas de cultivo existentes e em desenvolvimento.

A utilização de novas cultivares de soja e de milho, inegavelmente, tem sido uma das tecnologias que mais tem contribuído para os aumentos, não somente, da área cultivada no Brasil (**Figura 1**), mas também promovendo acréscimos significativos de produtividade e estabilidade de produção, sem acrescentar custos adicionais

ao agricultor. Uma boa cultivar melhorada de soja ou de milho, deve ter alta produtividade e estabilidade de produção em ambientes os mais variados possíveis. A estabilidade é conferida pela introdução de resistência às doenças e insetos, resistência aos nematoides e pela introdução de características agrônômicas especiais como tolerância a solos ácidos, penetração profunda das raízes e alta qualidade fisiológica das sementes, permitindo a planta tolerar os fatores adversos que podem comprometer a produção. A utilização das novas técnicas utilizadas no melhoramento genético (biotecnologia e engenharia genética), como marcadores moleculares e transformação de plantas, tornaram-se importantes ferramentas na introdução de novas características e no processo de seleção de genótipos superiores (Prado; Alliprandini, 1996).

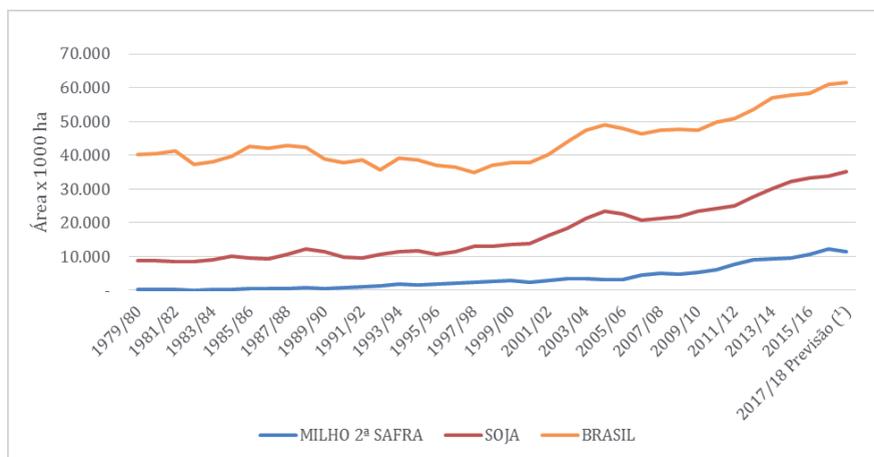


Figura 1. Área cultivada de soja e milho 2ª safra no período de 1979/80 a 2017/18. Fonte: Adaptado de Conab (2018).

Com o advento da biotecnologia e o do melhoramento a partir do uso de transgênicos, adentramos em uma nova era caracterizada pela manipulação do DNA e seleção genotípica

direta. Primeiramente comercializada nos Estados Unidos em 1996, as variedades transgênicas ofereciam novas soluções para problemas antigos, como a resistência a herbicidas não seletivos, proporcionando melhor controle de ervas daninhas e pragas como *Ostrinia nubilalis* e *Diabrotica* spp. O melhoramento, com o uso de transgenia, modificou a maneira com que os melhoristas e empresas de sementes trabalhavam, com grande impacto na produção agrícola de países que absorveram esta tecnologia (Crosbie et al., 2006).

O grande desafio que temos pela frente, quando pensamos no cenário mundial, é sem dúvida o crescimento da população mundial, aliado a demanda por uma agricultura sustentável, amparada em conceitos de preservação do meio ambiente, de forma que a utilização de cultivares melhoradas e transformadas geneticamente possam proporcionar maior produtividade e a realização do controle de pragas e doenças de forma eficiente, saudável e de maneira econômica. Nesta visão, o conjunto de técnicas e sistemas de cultivo devem ser observadas sob a lente, não só de cada cultura individualizada, mas sobretudo nos benefícios que o planejamento em conjunto da sucessão de culturas, durante o ano e através deles, devem ter para proporcionar não somente ganhos de produtividade, conservação do solo e recursos naturais, como também lucratividade na atividade agrícola e comercialização dos produtos.

Histórico e perspectivas do melhoramento de soja em relação ao aumento da produtividade de grãos considerando a segunda safra de milho

Histórico e evolução da produtividade da cultura de soja

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é uma espécie de autopolinização originária da Ásia, mais provavelmente do Centro de Origem Chinês, tendo sido introduzida no Brasil em 1882. A expansão da soja em nosso país registrou níveis significativos a partir de 1968, sendo cultivada inicialmente nos Estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais e Goiás (Miyasaka; Medina, 1981).

A partir de 1973, a participação do valor bruto da produção de soja brasileira no PIB agrícola foi sempre maior que 10%, sendo que a partir da década de 80, com a incorporação de novas áreas nos Estados de Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, Tocantins, Distrito Federal, Bahia, Maranhão e Piauí, a área aumentou para cerca de 11,7 milhões de hectares (Roessing; Guedes, 1993; Sousa, 1995). Com a incorporação de novas áreas de plantio a pesquisa desenvolveu produtos mais adaptados a estas fronteiras agrícolas, houve um significativo acréscimo na produção, mas nas áreas tradicionais, este aumento em produção correspondeu inicialmente de maneira significativa ao potencial destas regiões (**Figura 1**), sendo que o ganho genético via melhoramento mostrou-se reduzido com o decorrer dos anos para cultivares de menor ciclo, sendo nulo para cultivares de ciclo médio (Toledo et al., 1990; Alliprandini, 1992; Alliprandini et al., 1993). Segundo Vello et al. (1988), no final da década de 80, o programa de melhoramento de soja no Brasil seria considerado

como tendo uma população com tamanho efetivo relativamente baixo ($N = 11$ a 15), mudando do segundo para o terceiro ciclo de seleção recorrente. A possível existência de patamares de produtividade (**Figura 2**) e a vulnerabilidade das cultivares, ocasionadas pela estreita base genética da soja (Hiromoto; Vello, 1986), evidenciavam a necessidade da utilização de técnicas eficientes de introdução, seleção e hibridação para que novos avanços pudessem ocorrer, elevando-se, assim, o potencial genotípico de produtividade das cultivares comercializadas.

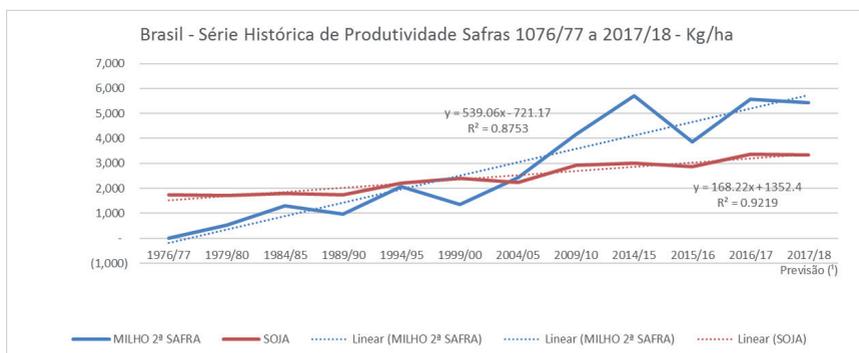


Figura 2. Produtividade média de grãos de soja e milho 2ª safra no período de 1976/77 a 2017/18. Fonte: Adaptado de Conab (2018).

A partir dos anos 90, com a introdução da Lei de Proteção de Cultivares, as empresas privadas aumentaram o investimento em melhoramento de soja, dando início a uma crescente oferta de novas cultivares no mercado. O investimento em biotecnologia, novas introduções de germoplasma, acompanhado de melhorias em técnicas de cultivo e máquinas agrícolas, proporcionaram uma nova era de aumentos de produtividade na cultura de soja.

Segundo descrito em Miyasaka e Medina (1981), no Brasil o melhoramento da soja contou inicialmente com Instituições

públicas de pesquisa e Universidades, iniciando com introduções de germoplasma oriundos principalmente do Sul dos Estados Unidos. Quase a totalidade destes materiais possuíam hábito de crescimento determinado e adaptação ao Sul do Brasil, principalmente o Rio Grande do Sul, como estado precursor da expansão da cultura para outros estados, como Santa Catarina e Paraná. No Paraná a expansão da soja teve seu impulso inicial em pesquisas, após ocorrências de geadas na década de 50, que obrigaram os produtores a procurarem no cultivo de cereais e grãos diversos, alternativas para equilibrar o custeio e renovação dos cafezais. Na década de 60, aumentos de área cultivada foram mais intensos, em razão da maior facilidade de comercialização da soja. Porém a cultura restringia-se basicamente aos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e São Paulo, onde poucas instituições de pesquisa se dedicavam ao melhoramento da cultura. Nesta década, basicamente o germoplasma dos USA era utilizado nos cruzamentos para geração de novas linhagens.

A partir da década de 70, grande expansão em área cultivada e diferentes estados passaram a cultivar esta oleaginosa em larga escala. A partir daí, o crescimento e a participação na balança comercial brasileira tem aumentado a cada ano produzindo grande riqueza e desenvolvimento econômico e social em áreas mais tradicionais e principalmente nas fronteiras agrícolas. Acompanhando e dando suporte a esta expansão, mais instituições de pesquisas direcionam recursos para o melhoramento e diversas cultivares melhoradas são lançadas para os produtores. Nas décadas de 70 e 80, a participação da iniciativa privada era ainda bem modesta em número de empresas no melhoramento, mas já apresentando cultivares bastante competitivas e de destaque nas diversas regiões sojícolas do país (Terasawa et al., 2017). Quando se observa o quadro de produtividade da

soja neste período (**Figura 2**), verifica-se que o incremento da produtividade não é significativo. Acredita-se que isto se deve a grande expansão da cultura para o Cerrado e um período de adaptação do germoplasma para estas novas condições.

Segundo Spehar et al. (1993), o desafio para o melhoramento de cultivares para as condições do Cerrado esteve relacionado principalmente às condições de baixa latitude. Além deste fator, as condições de precipitação e pluviosidade não apresentavam grande dificuldades, porém a baixa fertilidade do solo era um item importante, que precisava ser contornado. A busca por genes para florescimento tardio, período juvenil longo e com alta produtividade, envolveu instituições públicas como o IAC, EMBRAPA, EMGOPA, UFV e a iniciativa privada como a FT-Pesquisa e Sementes, produzindo diversas cultivares adaptadas e que tiveram enorme contribuição para este aumento significativo da área cultivada e consequente produção de grãos no país (Terasawa et al., 2017).

O melhoramento da soja no Brasil pode ser visto atualmente, como uma história de grande sucesso, uma vez que atualmente atingimos índices que nos colocam no topo da cadeia produtiva mundial. Esta escalada é demonstrada na **Figura 3**, onde os principais problemas e desafios foram contornados com uma pesquisa de qualidade de instituições de ensino e pesquisa públicas e privadas. Atualmente, a atividade da produção de soja, nunca esteve tão ligada a produção de milho nas áreas em que esta sucessão é possível, maximizando o uso da terra e de recursos em uma grande proporção da área cultivada de grãos no país (**Figura 1**). A continuidade desta evolução da cultura de soja nestas áreas dependerá de como investirmos recursos,

principalmente no Vale do Paranapanema, deveu-se pelas mesmas razões ligadas a triticultura e opções para substituição da cultura do trigo (Vaz, 1993). O incremento em área e produtividade desta modalidade de cultivo deu-se rapidamente a partir dos anos 90 (**Figura 4**), onde segundo Tsunehiro e Arias (1997), esses aumentos são explicados pelo uso mais racional dos fatores de produção (terra, máquinas, equipamentos e mão de obra) em período ocioso do ano, preços maiores do cereal na “safrinha” que os da safra normal (verão), menor custo operacional e a falta de outras alternativas mais seguras e rentáveis para a época.

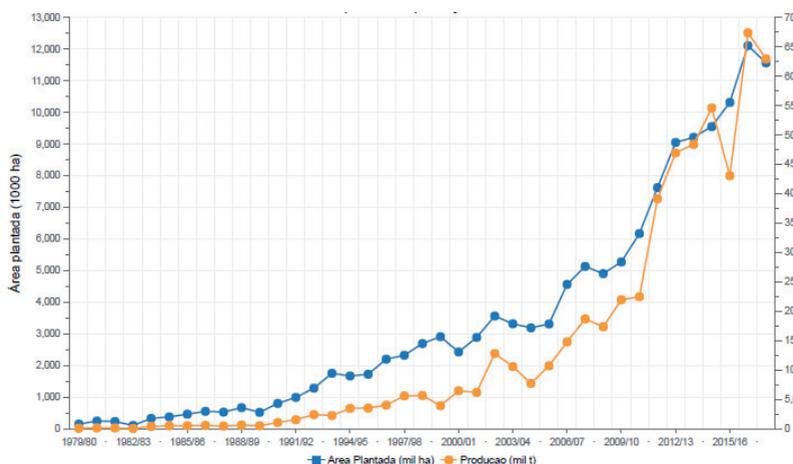


Figura 4. Evolução da área plantada e produção de milho de segunda safra no Brasil. Fonte: Conab (2018).

Verificou-se, então uma atenção crescente das empresas de pesquisas públicas e privadas, no conhecimento e melhoramento de variedades e híbridos de milho adaptados a esta modalidade de cultivo, proporcionando neste período inicial, ganhos genéticos superiores aos obtidos na safra de verão (Alliprandini et al., 1998). A pesquisa passou então direcionar esforços para adquirir um

melhor conhecimento deste novo ambiente e pouco a pouco as empresas foram adaptando seus programas de melhoramento, não somente à seleção de materiais com maior potencial produtivo e estabilidade, itens essenciais ao desenvolvimento das plantas em um período suscetível a ocorrência de menor disponibilidade hídrica e geadas (Sartori, 1997; Sans et al., 1997). Outro fator importante é que as condições diferentes do cultivo de verão mudaram consideravelmente a importância das principais doenças da cultura, havendo também necessidade de adequar à nova realidade os genótipos e suas interações com componentes de produção, como populações de plantas e as necessidades de nutrientes. (Gerage et al., 1993; Duarte et al., 1993, 1994a, 1994b; Dias et al., 1997; Brunini, 1997).

A adaptação de cultivares de soja ao cultivo do milho como cultura de segunda safra

O melhoramento de Soja no Brasil passou por uma nova etapa a partir da implantação da Lei de Proteção de Cultivares em 1997 (Aviani; Hidalgo, 2011), que proporcionou uma maior segurança às empresas obtentoras de germoplasma e conseqüentemente entrada de várias empresas privadas no setor. Nesta época ainda, houve um grande incremento de investimentos no setor de Biotecnologia e a perspectiva de agregar valor ao germoplasma com novos eventos de transgenia, ocasionou um grande aumento do interesse de empresas nacionais e multinacionais atuarem no melhoramento desta oleaginosa.

A partir dos anos 90 com a intensificação do cultivo do milho de segunda safra, havia a necessidade de obtenção de Híbridos adaptados e estáveis à estas condições. Os produtores também necessitavam de técnicas de cultivo e máquinas adaptadas a esta sucessão de culturas. Neste sentido, o pensamento reinante de

que a soja era a principal cultura e que nestas condições o milho, inicialmente denominado de "safrinha", deveria ser uma cultura de baixo investimento e lucro incerto, passou a ser substituído por um novo modelo de negócio onde o sistema como um todo deveria compor o lucro da propriedade. Neste sistema, os produtores destas regiões começaram a antecipar o plantio da soja, de maneira que pudessem semear o milho dentro de uma janela que garantisse maiores probabilidades de escape de secas e geadas, em épocas cruciais para o desenvolvimento do milho. A adoção e aumento do Cultivo mínimo, Plantio Direto e Plantio Direto na palha à partir dos anos 80 (Derpsch, 1984), foi um dos fatores primordiais para implantação deste sistema, uma vez que o preparo tradicional com grade aradora e niveladora, não permitia condições para uma sucessão de maneira que o plantio da segunda safra se desse em uma época favorável à redução dos riscos inerentes a secas e geadas, além de outros benefícios relacionados a conservação do solo, controle de Ervas Daninhas e armazenamento de água (DeMaria; Duarte, 1997).

Até então a cultura da soja tinha seu germoplasma principalmente baseado em cultivares de hábito de crescimento determinado e grupos de maturidade adaptados a semeadura de final de outubro a novembro, sendo que a partir do aumento do cultivo de segunda safra nos anos 90, a disponibilidade da área para plantio do milho na sequência dependia sobretudo da colheita da soja e da época em que seu plantio ocorria no ano anterior (Dias et al., 1997). No Cerrado, a visão de que esta sucessão poderia ser uma opção interessante, Spehar et al. (1993) descrevem um aumento da pesquisa para obtenção de novas cultivares de soja, por causa da possibilidade da realização de dois cultivos ao ano, favorecidos pela ausência de geadas.

Conforme mencionado por Destro et al. (2001) e por Ramalho (2004), as cultivares primitivas de soja eram adaptadas às condições de alta latitude. Quando cultivados em condições de baixa latitude onde a amplitude do comprimento do dia é mais curta (variações entre o dia mais curto e mais longo são bem menores), o florescimento ocorre mais cedo e o período de crescimento é reduzido, resultando em plantas mais baixas e menos produtivas. Uma destas situações é observada em plantios nos Cerrados em condições de baixa latitude, sendo que outra situação que afeta o período de florescimento e conseqüente desenvolvimento da soja é a época de semeadura. A antecipação ou atraso no plantio, segundo Toledo et al. (1995), quando ocorre em condições de dias mais curtos, tem efeito semelhante a semeadura em condições de baixas latitudes.

Para contornar este problema, a utilização da característica de Período Juvenil Longo (P JL) tem sido uma das soluções empregadas pelos programas de melhoramento e tem sido usada intensivamente no Brasil e em outros países para baixas latitudes e períodos mais flexíveis de épocas de semeadura (Destro et al., 2001). Outra característica que possibilita uma maior flexibilidade na época de semeadura é o uso de cultivares de hábito de crescimento indeterminado, sendo que nestas condições, ou em ambientes desfavoráveis, este tipo de crescimento pode oferecer vantagens em relação ao tipo de crescimento determinado (Foley et al., 1986; Kilgore-Norquest; Sneller, 2000). Segundo Curtis et al. (2000), na América do Norte, o tipo de crescimento indeterminado (Dt1) está associado aos grupos de maturidade 000 a IV e os determinados de V a X. No Brasil, o hábito de Crescimento determinado era predominante, com poucas exceções até o final da década de 90, sendo que em 1991 eram apenas por volta de 8% das entradas de cultivares

recomendadas no Brasil (Embrapa, 1991a). Com a Lei de Proteção de Cultivares, várias empresas multinacionais iniciaram programas de melhoramento no Brasil, aumentando também o fluxo de germoplasma de linhagens indeterminadas da América do Norte e da Argentina no país. Consequentemente, em razão do maior número de empresas no mercado, o número de cultivares de soja disponibilizado aos agricultores no país, pela pesquisa, cresceu vertiginosamente (**Figura 5**).

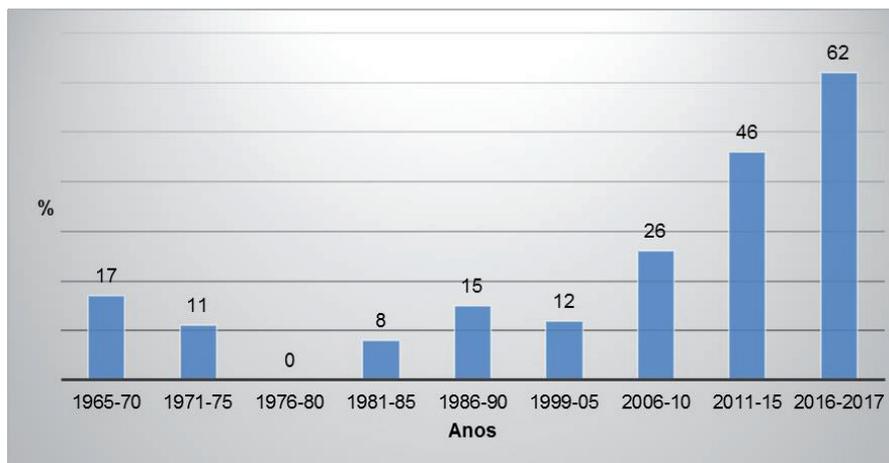


Figura 5. Percentual de cultivares de tipo de crescimento indeterminado recomendados/ protegidos no Brasil em diferentes períodos. Fonte: Adaptado de Embrapa (1991a, 1991b), Brasil (2017).

No início e durante os anos 2000, com a expansão da cultura do milho de segunda safra, a possibilidade de antecipação da semeadura da soja e uso de cultivares de ciclo mais precoces, principalmente nos estados do Paraná, São Paulo e Sudoeste dos estados do MS e MT, possibilitariam o cultivo do milho em uma época mais segura. Os principais produtores do milho de segunda safra, procuravam por cultivares de soja que tivessem

maior adaptação a estas condições e neste sentido, as cultivares com hábito de crescimento indeterminado, seriam as mais favorecidas, por apresentar um maior desenvolvimento em condições de dias curtos. A entrada de empresas multinacionais no negócio de soja, proporcionaram um novo fluxo de germoplasma norte americano para o Brasil, principalmente com linhagens de grupo de maturidade entre 5 e 6, sendo resultantes destas introduções nos programas de melhoramento no Paraná e em São Paulo, cultivares indeterminadas como NK spring, NK 412113 – V-MAX (Alliprandini et al., 2002a, 2002b), e em Goiás a M-SOY6101 (Penariol, 2000), as quais cresceram rapidamente na preferência dos Agricultores que faziam segunda safra de milho, ocupando grande parte do mercado de cultivares de soja nestas regiões.

Além do hábito de crescimento, outra mudança importante pode ser observada nas regiões de cultivo de soja e potencializada nas áreas de cultivo de segunda safra de milho. Os produtores passaram a adquirir materiais mais precoces no intuito de antecipar a colheita de soja. Esta situação pode ser verificada na **Figura 6**, onde o número de materiais precoces, disponibilizados ao mercado pelas empresas obtentoras aumentou com o decorrer dos anos, sendo que no Sul, os grupos de maturidade 5.4 a 6.4, demonstraram ser os materiais mais adaptados para plantio de soja antecedendo o milho. Um capítulo à parte pode ser descrito ante ao fato da demora da aprovação da legalidade da soja transgênica resistente ao Glifosato no Brasil, onde a invasão de sementes ilegais provenientes da Argentina, principalmente no sul do país, ocasionou grandes prejuízos a indústria sementeira nacional com impacto negativo também na pesquisa de novas cultivares. Segundo Fuckey (2009), esse crescimento da ‘pirataria’, se deu em detrimento das sementes de soja convencional

produzidas de forma legal, fato que teve impacto significativo nas instituições de pesquisa, públicas e privadas, e nas empresas multiplicadoras de sementes (Fuck, 2009).

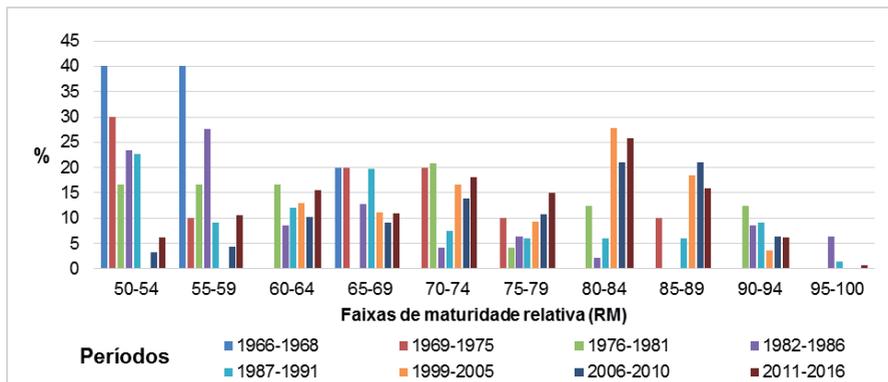


Figura 6. Grupos de maturidade relativa de soja recomendados/protegidos no Brasil em diferentes períodos. Fonte: Adaptado de Embrapa (1991a, 1991b), Brasil (2017).

No Centro-Oeste, considerando-se o Sudoeste Goiano, os grupos 6.7 a 7.9 foram os que mais cresceram, com uma forte tendência para o uso de tipos de Crescimento Indeterminado. No Mato Grosso, grupos de maturidade entre 8.0 a 8.5 são os preferenciais para a o cultivo do milho após a colheita da soja, sendo em sua grande maioria na atualidade, de tipo de crescimento determinado. A utilização de dessecantes também foi incrementada, uma vez que o produtor consegue antecipar sua colheita em vários dias com a aplicação destes produtos. No entanto, no início dos anos 2000, uma importante mudança na cultura da soja estava para acontecer que beneficiou sobremaneira o cultivo do milho de segunda safra no Brasil. Segundo Godoy e Mayer (2014) dentre as práticas de manejo para o controle de doenças na cultura da soja, destaca-se a utilização de fungicidas.

Os primeiros fungicidas aplicados na parte aérea tiveram como alvo biológico o fungo causador do oídio (*Erysiphe diffusa*), após surto epidêmico em 1996/1997, e posteriormente, as doenças de final de ciclo (*Septoria glycines* e *Cercospora kikuchii*), principalmente em função do cultivo intensivo e da ausência de rotação de culturas. A intensificação da utilização de fungicidas ocorreu após a entrada da ferrugem-asiática (*Phakopsora pachyrhizi*) no Brasil, em 2001, sendo essa doença o principal alvo, atualmente. Neste caso, o aumento do custo com produtos de moléculas mais complexas e dependentes de eficiência de aplicações sequenciais fizeram com que os produtores optassem por cultivares de soja de ciclo mais curtos, mesmo que um pouco menos produtivos, favorecendo o plantio do milho de segunda safra.

Melhoramento de soja como cultura antecessora ao milho de segunda safra

Estabelecer um programa de melhoramento genético de sucesso é uma tarefa complexa e envolve várias questões intrínsecas a todos os fatores da cadeia produtiva. A obtenção de cultivares de soja adaptadas e estáveis, requer um amplo conhecimento de fatores genéticos, ambientais e de mercado, para o qual recursos e estratégias devem ser direcionadas de modo que o sucesso possa ser alcançado.

No Brasil desde as primeiras introduções de germoplasma de soja, a prioridade dos melhoristas sempre foi a obtenção de cultivares adaptadas, estáveis e resistentes às principais pragas e doenças que ocorriam na região alvo. Os produtores por seu lado, sempre procuraram maximizar seu lucro, testando e adotando novas cultivares, técnicas de cultivo e máquinas mais modernas de acordo com as suas necessidades e capacidade

financeira. Neste ponto a soja tornou-se a principal cultura de verão no país para produção de grãos. Com o advento e crescimento do milho de segunda safra, tornando-se em área muito superior ao milho de verão, técnicas eficientes e cultivares de milho e de soja semeadas em sucessão, fizeram parte de um sistema bem mais complexo e a condução da lavoura passou a exigir um planejamento baseado na interação das duas culturas e do ambiente em que elas são conduzidas (**Figura 7**).

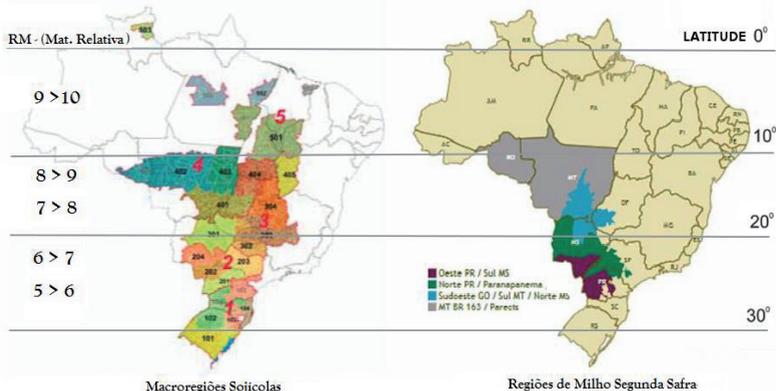


Figura 7. Mapa de áreas comuns de produção de soja e milho de segunda safra no Brasil. Fonte: Adaptado de Alliprandini et al. (1998); Kaster e Farias (2012); Agroceres (2015).

Germoplasma

A busca por um germoplasma que atenda a estas exigências passou a ser direcionada pelo mercado, onde as cultivares de menor ciclo de maturação seriam os mais favoráveis para que a cultura do milho de segunda safra pudesse ser implantada em épocas que oferecessem os menores riscos a períodos de seca e geada, sendo esta última mais preocupante nos Estados do Paraná, Sul do Mato Grosso do Sul e São Paulo. A escolha do grupo de maturidade relativa (Alliprandini, 2005; Alliprandini

et al., 2009) das cultivares de soja, para a semeadura de verão em áreas onde adota-se a cultura do milho como segunda safra, é uma das mais importantes decisões que o agricultor deve tomar para se ter sucesso no sistema de sucessão de culturas. Consequentemente os programas de melhoramento devem ter especial atenção para com a região alvo e para tendências de mercado, observando-se esta característica.

No Brasil estes grupos de maturidade variam principalmente de 5.0 a 8.9, sendo que variações além desta faixa de maturidade são menos comuns. Para as regiões onde ocorre a segunda safra de milho no Centro-Sul, genótipos de Grupo de Maturidade de Grupo 5.0 tardios até grupo 6.4, são os que atualmente ocupam o maior mercado, aliando precocidade e estabilidade. Nas regiões do Centro-Oeste, cultivares de Grupos variando entre 6.7 a 7.9 são os mais semeados, dependendo da região em questão (**Figura 7**). No Centro-Sul, quase a totalidade das cultivares são de tipo de crescimento indeterminado, pois permitem o plantio antecipado de setembro a início de outubro, condicionando uma boa altura de plantas e conseqüente número de nós produtivos com grande quantidade de vagens por planta. No Centro-Oeste, onde cultivava-se o milho de segunda safra, em regiões tradicionalmente ocupadas por materiais de tipo de crescimento determinado e período juvenil longo (P JL), a adoção por materiais de tipo indeterminado tem aumentado ao longo dos anos, juntamente com a redução do número de dias para a colheita em relação aos materiais mais antigos. Adiciona-se o fato de que algumas cultivares indeterminados lançados inicialmente para o Centro-Sul do país, apresentaram boas produtividades e hoje são cultivados em vários locais nesta região.

A alteração da época de semeadura da soja no Centro-Sul, além de favorecer cultivares de tipo de crescimento indeterminado, provocou alterações na exposição do germoplasma a temperaturas mais frias durante a germinação e desenvolvimento inicial. Isto indica a necessidade de uma maior atenção dos programas de melhoramento e empresas de sementes quanto à qualidade das sementes e doenças favorecidas por estas condições. Um exemplo disto é o aumento da importância da antracnose e de doenças radiculares por causa das condições de solos compactados aliados a temperaturas mais baixas, como a fitóftora, causada por *Phytophthora sojae*. Esta doença tem aumentado de importância, principalmente na região do Oeste do Paraná em anos onde as chuvas pesadas iniciais com encharcamento do solo e temperaturas mais baixas tem favorecido o patógeno.

As condições de colheita influenciam sobremaneira a qualidade de grãos. Com o passar dos anos, com a antecipação de semeadura no Centro-Sul e a adoção de cultivares precoces, seja pelo cultivo de milho de segunda safra ou pela ocorrência de Ferrugem Asiática, houve uma antecipação no período de colheita da soja e principalmente nas regiões de cultivo de milho para segunda safra. Este fato faz que o período de colheita da soja ocorra em uma época de temperaturas mais elevadas e de chuvas mais abundantes do que nas colheitas mais tardias do no passado. Neste caso a seleção de linhagens e cultivares com melhor qualidade de grãos e menor deiscência de vagens são altamente desejáveis.

Métodos de melhoramento

O melhoramento tradicional de soja no Brasil pelas empresas de melhoramento caracteriza-se basicamente pela escolha dos parentais, hibridação, condução das populações segregantes, principalmente em Bulk por SSD (Single Seed descend), SPD (Single Pod descend) e variantes destes métodos. Nas gerações avançadas acima de F₂, são sacadas plantas fenotipicamente desejáveis, onde na geração seguinte, ocorre a abertura de progênies para seleção avaliando-se entre outras características fenotípicas a produtividade de grãos. Estas progênies são testadas em crescentes números de ambientes e por uma sequência de anos, que permitem selecionar os genótipos mais produtivos e estáveis para a região alvo.

O aumento dos investimentos em Biotecnologia, transformou a maneira de trabalho dos melhoristas, aumentando a acurácia e eficiência de seleção, principalmente com a utilização de marcadores moleculares para as características de interesse comerciais. A utilização da seleção assistida por marcadores (MAS) possibilita uma seleção de características baseados no genótipo do indivíduo, com eficiência e reduzindo a área necessária com a eliminação de genes desfavoráveis em gerações mais precoces, podendo também orientar programas de retrocruzamentos. Exemplos de sucesso desta tecnologia na soja podem ser verificadas pela seleção de linhagens resistentes a doenças importantes em áreas de cultivo do milho de segunda safra, como fitóftora e nematoide de cisto da soja (*Heterodera glycines Ichinohe*) e para qualidade de grãos e sementes (Tripathi; Khare, 2016) , sendo que outro exemplo mais recente de sucesso desta aplicação em soja, foi o emprego de MAS na seleção de linhagens para lançamento e introdução da tecnologia transgênica Intacta® pela Monsanto no Brasil. Esta tecnologia, além de facilitar o

controle de ervas e insetos, também proporcionou um aumento de produtividade (Brookes; Barfoot, 2016; Goffi et al., 2017) em relação aos materiais do passado, demonstrando que técnicas modernas ligadas ao manuseio do DNA, podem também gerar produtos que possibilitem uma melhor adaptação as condições da soja como antecessora do cultivo de milho de segunda safra.

Recentemente, estudos e a introdução da seleção genômica por GWS (Genome Wide Selection), levam em conta a obtenção de modelos e estratégias de melhoramento que resultem na seleção de genótipos adaptados e produtivos para determinada região, considerando características importantes e de heranças mais complexas (Hwang et al., 2014; Zhang et al., 2016) e no caso da soja, para regiões onde cultiva-se o milho de segunda safra, a introdução de parâmetros de seleção inerentes a este sistema de produção é de extrema importância, uma vez que os requisitos básicos de cultivares para áreas onde não se cultiva o milho com semeadura após a colheita de soja, podem não ser os mesmos.

Considerações finais

A cultura da soja foi responsável por um grande crescimento econômico e desenvolvimento regional em várias regiões do Brasil. Ao invés de competir em área com a cultura do milho, nas áreas onde havia uma oportunidade para a realização de duas safras no ano, ela passou a fazer parte de um sistema, que além de aproveitar os recursos de uso da terra e equipamentos da propriedade, veio a contribuir para a garantia de uma maior lucratividade e preservação de recursos naturais. Grande parte dos agricultores buscou se adaptar a esta nova modalidade, tornando imprescindível o suporte da pesquisa e de cultivares e híbridos de milho que melhor se adaptassem a estas condições

para que as duas culturas se sucedam de maneira a maximizar a produtividade de cada uma delas. No entanto, poucas informações inerentes ao sistema soja-milho de segunda safra como um todo existe na literatura, especialmente no tocante às melhores combinações de genótipos, épocas de semeadura, adubação equilibrada na sequência de culturas e interações entre pragas, plantas daninhas e doenças. O desafio de interações do tipo genótipos x ambientes para as duas culturas, aliado às expectativas de mercado e preços dos produtos neste sistema, é com certeza um diferencial que, bem explorado, levará ao sucesso do produtor e das empresas que apresentarem as melhores soluções.

Agradecimentos

Ao colega Renato Passini, pelo auxílio na confecção de gráficos e tabelas.

Referências

AGROCERES. **Guia de híbridos**. São Paulo, 2015. 25 p.

ALLIPRANDINI, L. F. **Estudo dos efeitos ambientais, estabilidade, adaptabilidade e ganho genético em linhagens de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) no Estado do Paraná**. 1992. 122 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 1992.

ALLIPRANDINI, L. F. Proposta de nova classificação das cultivares de soja segundo grupos de maturação. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 27., 2005, Cornélio Procópio. **Resumos...** Londrina: Embrapa Soja, 2005. p. 116-123. (Embrapa Soja. Documentos, 265).

ALLIPRANDINI, L. F.; ABATTI, C.; BERTAGNOLLI, P. F.; CAVASSIM, J. E.; GABE, H. L.; KUREK, A.; MATSUMOTO, M. N.; OLIVEIRA, M. A. R. de; PITOL, C.; PRADO, L. C.; STECKLING, C. Understanding soybean maturity groups in Brazil: environment, cultivar classification, and stability. **Crop Science**, Madison, v. 49, n. 3, p. 801-808, 2009.

ALLIPRANDINI, L. F.; DUARTE, A. P.; KANTHACK, R. A. D. Genetic gain in commercial maize in summer and autumn-winter crops in the Paranapanema river valley-Brazil-1992 to 1997 (*Zea mays* L.). **Maydica**, Bergamo, v. 43, p. 55-64, 1998.

ALLIPRANDINI, L. F.; KRENSKI, A.; GABE, H. L. Cultivar de soja V-MAX nas condições do sul do Brasil e Mato Grosso do Sul. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 24., 2002, São Pedro, SP. **Resumos...** Londrina: Embrapa Soja, 2002a. p. 58. (Embrapa Soja. Documentos, 185).

ALLIPRANDINI, L. F.; KRENSKI, A.; GABE, H. L. Spring: um cultivar de super-precoce para o sul do Brasil. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 24., 2002, São Pedro, SP. **Resumos...** Londrina: Embrapa Soja, 2002b. p. 57. (Embrapa Soja. Documentos, 185).

ALLIPRANDINI, L. F.; TOLEDO, J. F. F. de; FONSECA JÚNIOR, N. S.; KIHLE, R. A. de S.; ALMEIDA, L. A. de. Ganho genético em soja no Estado do Paraná via melhoramento, no período de 1985/86 a 1989/90. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 28, n. 4, p. 489-497, abr.1993.

AVIANI, D. de M.; HIDALGO, J. A. F. **Proteção de cultivares no Brasil**. Brasília, DF: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2011.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Descrição de cultivares de soja**. Brasília, DF, 2017. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/protECAo-de-cultivar/publicacoes/descricoes-de-cultivares-de-soja.xls/view>>. Acesso em: 12 jun. 2018.

BROOKES, G.; BARFOOT, P. Global income and production impacts of using GM crop technology 1996-2014. **GM Crops & Food**, v. 7, n. 1, p. 38-77, 2016.

BRUNINI, O. Probabilidade de cultivo do milho “safrinha” no Estado de São Paulo. In: SEMINÁRIO SOBRE A CULTURA DO MILHO “SAFRINHA”, 4., 1997, Assis. **Anais**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1997. p. 37-55.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Grãos - série histórica**. Brasília, DF, 2018. Disponível em: <<https://portaldeinformacoes.conab.gov.br/index.php/safra-serie-historica-dashboard>>. Acesso em: 6 maio 2018.

CROSBIE, T. M.; EATHINGTON, S. R.; JOHNSON, G. R.; EDWARDS, M.; REITER, R.; STARK, S.; MOHANTY, R. G.; OYERVIDES, M.; BUEHLER, R. E.; WALKER, A. K.; DOBERT, R.; DELANNAY, X.; PERSHING, J. C.; HALL, M. A.; LAMKEY, K. R. Plant breeding: past, present, and future. In: LAMKEY, K. R.; LEE, M. (Ed.). **Plant breeding: the Arnel R. Hallauer international symposium**. Oxford: Blackwell Publishing, 2006. p. 3-50.

CURTIS, D. F.; TANNER, J. W.; LUZZI, B. M.; HUME, D. J. Agronomic and phenological differences of soybean isolines differing in maturity and growth habit. **Crop Science**, Madison, v. 40, n. 6, p. 1624-1629, 2000.

DEMARIA, I. C.; DUARTE, A. P. Sistemas de preparo do solo e sucessão de culturas para implantação e desenvolvimento do milho "safrinha". In: SEMINÁRIO SOBRE A CULTURA DO MILHO "SAFRINHA", 4., 1997, Assis. **Anais...** Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1997. p. 71-80.

DERPSCH, R. Histórico, requisitos, importância e outras considerações sobre plantio direto no Brasil. In: TORRADO, P. V.; ALOISI, R. R. (Coord.). **Plantio direto no Brasil**. Piracicaba: Fundação Cargill, 1984.

DESTRO, D.; CARPENTIERI-PÍPOLO, V.; KIIHL, R. A. de S.; ALMEIDA, L. A. de. Photoperiodism and genetic control of the long juvenile period in soybean: a review. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Londrina, v. 1, n. 1, p. 72-92, mar. 2001.

DIAS, H. de S.; BALHESTERO, J. A. V.; VETULIO, D.; GUTIERREZ, L. de S. D. Época da semeadura do milho "safrinha" em função da colheita da soja. In: SEMINÁRIO SOBRE A CULTURA DO MILHO "SAFRINHA", 4., 1997, Assis. **Anais**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1997. p. 57-60.

DUARTE, A. P.; SAWAZAKI, E.; ALLIPRANDINI, L. F. Ensaio de milho "Safrinha" no Vale do Paranapanema. In: SEMINÁRIO SOBRE A CULTURA DO MILHO "SAFRINHA", 1., 1993, Assis. **Anais**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1993. p. 15-18.

DUARTE, A. P.; ALLIPRANDINI, L. F.; SAWAZAKI, E.; KANTHACK, R. A. D.; YUKI, V. A.; FANTIN, G. M.; DUDIENAS, C.; ITO, M. F. Avaliação de cultivares e densidade populacional em milho "safrinha" no Vale do Paranapanema. In: SEMINÁRIO SOBRE A CULTURA DO MILHO "SAFRINHA", 2., 1994, Assis. **Anais**. Campinas: Instituto Agrônômico de Campinas, 1994. p. 49-58.

DUARTE, A. P.; ALLIPRANDINI, L. F.; SAWAZAKI, E.; KANTHACK, R. A. D. Avaliação de cultivares de milho "Safrinha" no vale do Paranapanema. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 20., 1994, Goiânia. **Resumos**. Sete Lagoas: Associação Brasileira de Milho e Sorgo; Goiânia: Universidade Federal de Goiânia, 1994. p. 91.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Soja. **Programa Nacional de Pesquisa de Soja**: versão 3. Londrina, 1988. 104 p. (EMBRAPA-CNPSO. Documentos, 31).

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. CNPSoja. In: ALMEIDA, L. A.; CASTER, M.; KIHIL, R. A. S. **Caracterização das cultivares de soja recomendadas no Brasil para o ano agrícola de 1991/92**. [S.l.: s.n.], 1991a.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. CNPSoja. In: ALMEIDA, L. A.; CASTER, M.; KIHIL, R. A. S. **Informações complementares das cultivares de soja recomendadas no Brasil para o ano agrícola de 1991/92**. [S.l.: s.n.], 1991b.

FOLEY, T. C.; ORF, J. H.; LAMBERT, J. W. Performance of related determinate and indeterminate soybean lines. **Crop Science**, Madison, v. 26, n. 1, p. 5-8, 1986.

FUCK, M. P. **A co-evolução tecnológica e institucional na organização da pesquisa agrícola no Brasil e na Argentina.** 2009. 107 f. Tese (Doutorado em Política Científica e Tecnológica) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.

GEPTS, P.; HANCOCK, J. The future of plant breeding. **Crop Science**, Madison, v. 46, n. 4, p. 1630-1634, 2006.

GERAGE, A. C.; BIANCO, R.; CARNEIRO, G. E. S. Milho "Safrinha" no Paraná. In: SEMINÁRIO SOBRE A CULTURA DO MILHO "SAFRINHA", 1., 1993, Assis. **Anais.** Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1993. p. 1-4.

GODOY, C. V.; MEYER, M. C. Resistência a fungicidas na cultura da soja. **Informativo Meridional**, Londrina, v. 14, n. 51, p. 5, set. 2014.

GOFFI, M.; TIRONI, S. P.; RADÜNZ, A. L.; TRAMONTIN, M. A. Produtividade e retorno econômico da cultura da soja com tecnologia intacta®. **Agrarian Academy**, Goiânia, v. 4, n. 7, p. 380-391, 2017.

HIROMOTO, D. M.; VELLO, N. A. The genetic base of Brazilian soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) cultivars. **Revista Brasileira de Genética**, Ribeirão Preto, v. 9, n. 2, p. 295-306, 1986.

HWANG, E.-Y.; SONG, Q.; JIA, G.; SPECHT, J. E.; HYTEN, D.; COSTA, J.; CREGAN, P. B. A genome-wide association study of seed protein and oil content in soybean. **BMC Genomics**, v. 15, n. 1, p. 1-12, 2014.

KASTER, M.; FARIAS, J. R. B. **Regionalização dos testes de valor de cultivo e uso e da indicação de cultivares de soja: terceira aproximação**. Londrina: Embrapa Soja, 2012.

KILGORE-NORQUEST, L.; SNELLER, C. H. Effect of stem termination on soybean traits in southern US production systems. **Crop Science**, Madison, v. 40, n. 1, p. 83-90, 2000.

MIYASAKA S.; MEDINA, J. C. (Ed.). **A soja no Brasil**. Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos, 1981.

PENARIOL, A. Soja: cultivares no lugar certo. **Informações Agrônomicas**, Piracicaba, v. 90, p. 13-14, 2000.

PRADO, L. C.; ALLIPRANDINI, L. F. O melhoramento genético de soja. **Informativo Pioneer**, Santa Cruz do Sul, v. 10, n. 22, p. 6-7, 2006.

RAMALHO, M. A. P. Genetic improvement and agribusiness in Brazil. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Londrina, v. 4, n. 2, p. 127-134, 2004.

ROESSING, A. C.; GUEDES, L. C. A. Aspectos econômicos do complexo soja: sua participação na economia brasileira e evolução na região do Brasil Central. In: ARANTES, N. E.; SOUZA, P. I. M. (Ed.). **Cultura da soja nos cerrados**. Piracicaba: POTAFOS, 1993. p. 1-69.

SANS, L. M. A.; AVELLAR, G. de; FARIA, C. M. de. Aptidão dos diferentes ambientes edafoclimáticos do Estado de Goiás para plantio de milho safrinha. In: SEMINÁRIO SOBRE A CULTURA

DO MILHO SAFRINHA, 4., 1997, Assis. **Anais...** Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 1997. p. 21-30.

SARTORI, J. S. Determinantes genético fisiológicos e elementos de manejo na escolha de cultivares de milho" safrinha". In: SEMINÁRIO SOBRE A CULTURA DO MILHO SAFRINHA, 4., 1997, Assis. **Anais...** Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 1997.

SOUSA, E. L. L. de. O agribusiness da soja. In: CURSO DE COMERCIALIZAÇÃO DE COMMODITIES AGROPECUÁRIAS, 6., 1995, Piracicaba. **Curso...** Piracicaba: FEALQ, 1995. p. 83-96.

SPEHAR, C. R.; MONTEIRO, P. M. F. de O.; ZUFFO, N. L. Melhoramento genético da soja na região centro-oeste. In: SIMPOSIO SOBRE CULTURA DA SOJA NOS CERRADOS, 1992, Uberaba, MG. **Cultura da soja nos cerrados.** Piracicaba: POTAFOS, 1993. p. 229-253.

TOLEDO, J. F. F. de; OLIVEIRA, M. F. de; ARIAS, C. A. A.; TRILLER, C.; MIRANDA, Z. F. S.; SOUZA, R. F. de. Variabilidade no florescimento em linhas avançadas de soja sob diversos fotoperíodos. **Revista Brasileira de Genética**, Ribeirão Preto, v. 18. n. 3, p. 100, set. 1995. Suplemento. Resumo apresentado na 41o. Congresso Nacional de Genética, Caxambu, MG, 1995.

TERASAWA, F.; TERASAWA, J. M.; TERASAWA, M. M. FT Sementes and the expansion of soybeans in Brazil. In: SILVA, F. L. da; BORÉM, A.; SEDIYAMA, T.; LUDKE, W. H. (Ed.). **Soybean breeding.** Cham: Springer, 2017. p. 17-27.

TOLEDO, J. F. F.; ALMEIDA, L. A.; KIIHL, R. A.; MENOSSO, O. G. Ganho genético em soja no Estado do Paraná, via melhoramento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 25, n. 1, p. 89-94, 1990.

TRIPATHI, N.; KHARE, D. Molecular approaches for genetic improvement of seed quality and characterization of genetic diversity in soybean: a critical review. **Biotechnology Letters**, Dordrecht, v. 38, n. 10, p. 1645-1654, 2016.

TSUNECHIRO, A.; ARIAS, E. R. A. Perspectivas de rentabilidade do milho “safrinha” nas principais regiões produtoras. In: SEMINÁRIO SOBRE A CULTURA DO MILHO SAFRINHA, 4., 1997, Assis. **Anais...** Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1997. p. 15-20.

VAVILOV, N. I. **The origin, variation, immunity and breeding of cultivated plants**. New York: Ronald Press Company, c1951. 364 p.

VAZ, R. H. M. A evolução do milho “Safrinha” na região do Médio Vale do Parapanema. In: SEMINÁRIO SOBRE A CULTURA DO MILHO “SAFRINHA”, 1., 1993, Assis. **Anais**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1993. p. 5-8.

ZHANG, J.; SONG, Q.; CREGAN, P. B.; JIANG, G. L. Genome-wide association study, genomic prediction and marker-assisted selection for seed weight in soybean (*Glycine max*). **Theoretical and Applied Genetics**, New York, v. 129, n. 1, p. 117-130, 2016.

Capítulo 25

Estratégias de Manejo de *Dalbulus maidis*, para Controle de Enfezamentos e Virose na Cultura do Milho

Charles Martins de Oliveira
Elizabeth de Oliveira Sábato

Introdução

O milho (*Zea mays* L.) é um dos cereais mais produzidos no mundo. No Brasil, é uma das commodities agrícolas de maior importância, sendo a segunda em volume de produção, atrás apenas da soja (Acompanhamento..., 2018).

Um dos fatores limitantes da produção de milho na América Latina, e também no Brasil, é a cigarrinha-do-milho, *Dalbulus maidis* (DeLong; Wolcott) (Hemiptera: Cicadellidae). Seus danos diretos à cultura, pela sucção contínua de seiva, são quase sempre negligenciáveis (Bushing; Burton, 1974; Waquil, 1997). Contudo, *D. maidis* causa prejuízos econômicos à cultura do milho por ser vetor de três fitopatógenos importantes: o vírus da risca do milho (*Maize rayado fino virus* - MRFV), *Spiroplasma kunkelli* (Whitcomb et al., 1986) (*corn stunt spiroplasma* - CSS) e um fitoplasma (*maize bushy stunt phytoplasma* - MBSP) (Nault, 1980, 1990), esses dois últimos responsáveis pelas doenças conhecidas como enfezamento pálido e enfezamento vermelho, respectivamente.

Os enfezamentos são doenças sistêmicas que afetam a fisiologia, a nutrição, o desenvolvimento e a produção das plantas de milho, podendo reduzir de forma expressiva a produção de sementes. Em geral, as espigas das plantas com enfezamentos são pequenas, e apresentam grãos esparsos. Nas últimas safras, diversas regiões do país têm experimentado enormes prejuízos provocados pela alta incidência e severidade dessas doenças. Embora surtos epidêmicos dessas doenças no Brasil não seja um fato recente, a ampla distribuição geográfica e a magnitude dos prejuízos registrados recentemente suscitam a tomada de medidas para convivência e a redução dos danos causados pelos enfezamentos.

Neste capítulo serão abordados aspectos relativos ao reconhecimento e à bioceologia do inseto-vetor (*D. maidis*), sintomatologia e danos dos enfezamentos em milho e as principais estratégias que podem ser adotadas para o manejo das doenças com foco no inseto-vetor.

A cigarrinha-do-milho *Dalbulus maidis*

Biologia

A cigarrinha-do-milho é uma espécie tipicamente estrategista “r” (espécie que se adapta rapidamente a novos ambientes, apresenta curto tempo de geração, altas taxas de crescimento e corpo pequeno). Apresenta, dentre as espécies de *Dalbulus*, o mais rápido período de desenvolvimento de ovo a adulto, a maior fecundidade, e é capaz de produzir, no mínimo, duas gerações durante o ciclo do milho, havendo um crescimento significativo da primeira para a segunda geração (Nault; Madden, 1985; Madden et al., 1986; Nault, 1990; Todd et al., 1991). Em cultivos de

milho de primavera/verão realizados na região Sudeste do Brasil, entre setembro/outubro e abril/maio, estima-se que *D. maidis* possa produzir de cinco a seis gerações (Waquil et al., 1999).

Dalbulus maidis apresenta período embrionário que pode variar de cinco a oito dias, em temperaturas entre 23 e 26 °C (Davis, 1966; Marín, 1987; Waquil et al., 1999). Os ovos apresentam coloração branca, córion transparente, e medem cerca de 1,3 mm (Marín, 1987). As fêmeas inserem individualmente os ovos nos tecidos das plantas formando linhas paralelas às nervuras da folha. Os ovos podem ser depositados isoladamente, em pares, ou em grupos de cinco ou seis (Heady; Nault, 1984; Heady et al., 1985; Marín, 1987).

Esta espécie apresenta cinco instares. A duração dos estádios ninfais é fortemente influenciada pela temperatura ou pelo genótipo do milho utilizado. Em estudos realizados em temperatura de aproximadamente 23 °C os estádios ninfais tiveram duração total de 12,5 dias com 2,0, 2,0, 2,5 3,0, 3,0 dias para cada um dos cinco instares, respectivamente (Marín, 1987). Em estudos realizados no Brasil com seis híbridos de milho, em temperatura de cerca de 26 °C, a duração do período ninfal variou de 24,5 a 27,1 dias (Zurita et al., 2000). Em temperaturas de 10 °C, o estágio ninfal leva cerca de 115 dias para se completar; por outro lado, em temperaturas próximas de 26 a 27 °C, esse período é de aproximadamente 14 a 16 dias (Tsai, 1988; Waquil et al., 1999).

Os adultos da cigarrinha-do-milho são insetos diminutos, com cerca de 3,7 a 4,3 mm de comprimento. Apresentam coloração amarela-palha, sendo as fêmeas maiores que os machos. Os adultos possuem duas manchas circulares negras bem marcadas

na coroa, o que permite diferenciá-los de outras cigarrinhas comumente encontradas na cultura do milho (Marín, 1987; Oliveira, 1996; Triplehorn; Nault, 1985) (**Figura 1A**). Localizam-se nos ponteiros, principalmente no interior do cartucho das plantas, e são mais ativos que as ninfas (Marín, 1987). A identificação exata da espécie só é possível por meio da observação da genitália masculina, auxiliada pela forma do sétimo esternito da fêmea (Barnes, 1954; Triplehorn; Nault, 1985) (**Figura 1B-G**). A longevidade dos adultos é muito variável dentro de uma mesma população de cigarrinhas (Waquil et al., 1999). Em estudos de laboratório, a longevidade média de adultos, mantidos entre 26 e 27 °C, pode variar de 51,4 a 77,5 dias (Tsai, 1988; Waquil et al., 1999). Nas populações estudadas por Waquil et al. (1999), e mantidas a 26 °C, observaram-se indivíduos que viveram menos de 20 dias e outros cuja longevidade foi superior a 110 dias. Longevidades menores foram registradas por Marín (1987), sendo de 16,3 dias para machos e de 42,1 dias para fêmeas, em temperatura de cerca de 23 °C. *Dalbulus maidis* apresenta um período de pré-oviposição de 8,5 dias e o período de oviposição é de 29,6 dias (Marín, 1987). A fecundidade pode variar de 128,7 a 611,1 ovos por fêmea, em temperatura de cerca de 23 °C (Marín, 1987) e 27 °C (Tsai, 1988), respectivamente. Machos e fêmeas têm maior longevidade em temperaturas mais baixas (≈ 15 °C) e menor em temperaturas mais elevadas (≈ 32 °C). Fêmeas virgens têm longevidade de 1,6 (≈ 15 °C) a 2,7 (≈ 32 °C) vezes maior que fêmeas fecundadas (Tsai, 1988).

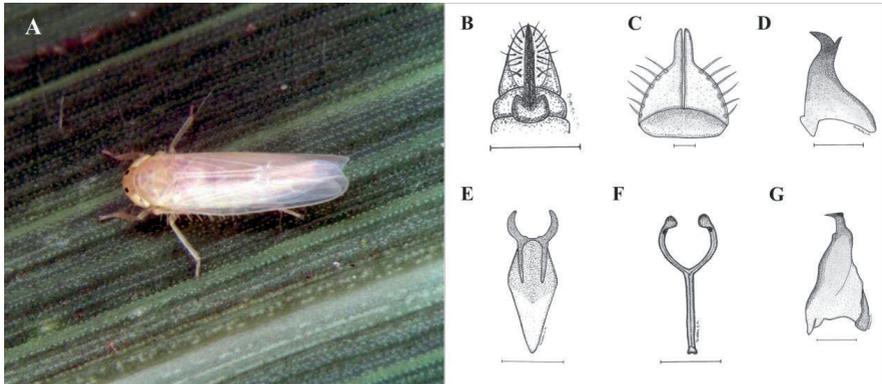


Figura 1. Adulto da cigarrinha-do-milho, *Dalbulus maidis* (A) e caracteres utilizados na identificação taxonômica. Fêmea: ovipositor em vista ventral mostrando sétimo esternito abdominal (B). Genitália masculina: placa genital em vista ventral (C); edeago em vista lateral e dorsal (D e E); conectivo em vista dorsal (F); estilo em vista dorsal (G). Linhas: 1,0 mm (B) e 0,1 mm (C-G).

Comportamento

Dinâmica populacional

Dalbulus maidis é uma espécie que não apresenta diapausa, assim, principalmente em regiões tropicais e subtropicais, onde as temperaturas médias são mais elevadas, a cigarrinha pode se desenvolver continuamente durante o todo o ano, dependendo exclusivamente da disponibilidade de alimento.

Estudos da dinâmica populacional da cigarrinha-do-milho no Brasil já foram conduzidos nas regiões Sudeste, Centro-Oeste e Nordeste, e têm demonstrado que, de maneira geral, *D. maidis* pode ser coletada continuamente durante todo o ano (Waquil, 1997; Ávila; Arce, 2008; Oliveira et al., 2013a; Oliveira et al., 2015a; Meneses, 2015). Picos populacionais na região Sudeste (Sete

Lagoas-MG) foram registrados entre fevereiro e abril (Waquil et al., 1999, Oliveira et al., 2015a), em São Paulo (Piracicaba/SP) em novembro e dezembro e entre fevereiro e maio (Oliveira et al., 2013a) e na região Centro-Oeste (Dourados/MS e Ponta Porã/MS) em julho e agosto e em julho e dezembro (Ávila; Arce, 2008). No Nordeste (Teresina/PI) em plantios realizados durante o período chuvoso (fevereiro) e durante a estação seca (julho) observou-se que o número médio de *D. maidis* coletadas por armadilha foi cerca de 14 vezes maior nos plantios realizados a partir de julho sob irrigação (Meneses, 2015).

Esses estudos sobre a dinâmica populacional de *D. maidis* sugerem que, de maneira geral, as populações da cigarrinha-do-milho podem ocorrer em milho em qualquer época do ano. Entretanto, independentemente da região do país, há um aumento populacional do inseto em cultivos tardios, sejam eles de milho safrinha, ou plantios irrigados de inverno. Esse fenômeno, provavelmente, ocorre devido a dois fatores: 1) durante o verão, as condições climáticas são favoráveis ao desenvolvimento do inseto e permitem que gradativamente, ao longo das gerações, que podem ser de cinco a seis no período de setembro/outubro e abril/maio (Waquil et al., 1999), a população da cigarrinha aumente de forma contínua; 2) chamado de “efeito de concentração” (Oliveira et al., 2015a), esse fenômeno ocorre em função da colheita da safra de verão ou da senescência do milho no campo, forçando as populações de *D. maidis* a abandonarem esses cultivos de milho senescentes e, por meio da migração (Oliveira et al., 2013a), a buscar milho jovem (milho safrinha ou plantios de outono/inverno). Em muitos casos, como a disponibilidade de campos com plântulas de milho, a partir de fevereiro/março, é relativamente menor que os campos recém-colhidos da safra de verão e, como a população da cigarrinha

umenta consideravelmente no decorrer do verão, há uma concentração das populações de *D. maidis* nos plantios tardios. Esse comportamento talvez seja uma das explicações para a ocorrência de surtos epidêmicos de enfezamentos que ocorrem no milho em algumas regiões do país, que geralmente são mais comuns no milho safrinha (Oliveira et al., 2002b). Esses surtos podem ser função do efeito de concentração de cigarrinhas em milho tardio, condições ambientais favoráveis, e do fato de que as populações migrantes de *D. maidis* podem apresentar taxas de infectividade com mollicutes relativamente altas (Oliveira et al., 2002a; Oliveira et al., 2015a).

Sobrevivência na entressafra do milho

Existem evidências que a migração a longas distâncias é uma das estratégias de sobrevivência de *D. maidis* na entressafra do milho (Oliveira et al., 2013a). Estudos realizados no Mato Grosso do Sul registraram o aparecimento súbito de adultos de *D. maidis* em áreas de pastagem onde o milho não era cultivado há muito tempo, e que se encontravam distantes de outras áreas com milho (> 20 Km). Observaram-se também picos de cigarrinhas nos meses de julho e agosto quando não havia milho na região, sugerindo que essas cigarrinhas tenham migrado após a colheita do milho safrinha de outras regiões do país e que, muitas vezes, ficam distantes centenas de quilômetros. Essa hipótese concorda com estudos de Taylor et al. (1993) e Larsen et al. (1992).

Outro indício de migração são dados genéticos a respeito das populações de *D. maidis* (Oliveira et al., 2007, 2013a) que mostraram que as populações de cigarrinhas de diversas regiões do país ou aquelas coletadas em uma mesma região em áreas, fases do ciclo do cultivo de milho ou época do ano diferentes são geneticamente muito similares. Esses resultados reforçam

a hipótese de uma estratégia migratória para *D. maidis*. A migração tende a aumentar o fluxo gênico entre as populações, contribuindo para a manutenção da variabilidade genética e falta de correlação entre a genética e a origem geográfica das populações (Hoole et al., 1999).

Porém, já se observou também que as plantas voluntárias de milho, ou seja, plantas que nascem espontaneamente nas áreas de cultivo, provenientes de grãos que caem no solo durante a colheita, parecem ser importantes na manutenção de populações de *D. maidis* durante a entressafra. Grande número de cigarrinhas pode ser observado nessas plantas durante a entressafra do milho (Oliveira et al., 2013a).

Assim, é possível que *D. maidis* utilize uma estratégia mista para a sua sobrevivência durante a entressafra do milho (Oliveira et al., 2013a):

Estratégia 1: onde o milho é cultivado sazonalmente, em áreas isoladas, a migração de longa distância parece ser um componente importante da bioecologia de *D. maidis*. As populações dessa cigarrinha abandonam os campos senescentes e, por meio de voos migratórios, buscam novas áreas de plantio.

Estratégia 2: em áreas onde o milho é cultivado ao longo do ano, com a irrigação, ou onde as plantas de milho espontâneas estão disponíveis durante a entressafra, populações de *D. maidis* permanecem localmente na área e, provavelmente, representam a principal fonte de insetos para a colonização de novos campos de milho que serão plantados nessas áreas.

Distribuição geográfica

A cigarrinha-do-milho distribuiu-se no continente americano desde os EUA até regiões temperadas na Argentina. No Brasil, tem sido observado que, entre as espécies pertencentes ao gênero *Dalbulus*, ocorre apenas *D. maidis*. Em levantamentos realizados em 27 municípios brasileiros, pertencentes a dez estados e a quatro regiões da Federação, com latitudes entre 5 e 28° S e elevações entre 16 e 1.628 m, *D. maidis* foi a única espécie do gênero *Dalbulus* encontrada, e representou em média 74% dos cicadélídeos coletados no milho (Oliveira et al., 2004). Em estudos realizados no Mato Grosso do Sul e em São Paulo, utilizando-se cartões adesivos amarelos, entre 1997 e 2000, foram coletados 14.435 espécimes do gênero *Dalbulus*, sendo todos esses espécimes pertencentes à espécie *D. maidis* (Oliveira et al., 2013a). Levando-se em consideração todos os estudos realizados até o momento com *D. maidis*, essa espécie já foi registrada em 145 municípios brasileiros em 18 estados de todas as regiões do Brasil (RO, AL, BA, CE, MA, PA, PE, PI, RN, SE, MG, SP, RJ, GO, MS, PR, SC e RS) e no Distrito Federal (Mendes, 1938; Costa, 1957; Silva et al., 1968; Costa et al., 1971; Waquil, 1997; Oliveira et al., 1998, 2002a, 2003, 2004, 2007, 2013b; Bastos et al., 2003; Frizzas et al., 2003; Cruz et al., 2008; Martins et al., 2008; Ávila; Arce; 2008; Silva, 2008; Silva et al., 2009; Cambuzzi et al., 2013; Justiniano et al., 2014; Bortoluzzo et al., 2017).

Características da transmissão de fitopatógenos por *D. maidis*

A relação de *D. maidis* e os mollicutes (fitoplasma e espiroplasma) e vírus (MRFV) é do tipo persistente e propagativa (Nault et al., 1980; Nault; Knoke, 1981; Markham; Alivizatos, 1983; Alivizatos; Markham, 1986b; Tsai; Falk, 1988; Legrand; Power, 1994). Assim, uma vez que o inseto adquire os fitopatógenos em plantas

infectadas, esses passam para a hemolinfa através do epitélio do sistema digestivo, e se multiplicam em quase todos os órgãos do vetor, principalmente nas glândulas salivares, de onde são inoculados nas plantas, durante a alimentação.

Os períodos de tempo para a aquisição, latência, inoculação e retenção no vetor são dependentes da temperatura e variáveis para os fitopatógenos. O fitoplasma pode ser adquirido após 2 h de alimentação de *D. maidis* em planta infectada (Legrand; Power, 1994); o período latente varia de 22-28 dias (Nault, 1980); a inoculação se dá a partir de 0,5 h de alimentação (Legrand; Power, 1994); e a retenção no vetor pode variar de 29-48 dias (Moya-Raygoza; Nault, 1998). O espiroplasma pode ser adquirido por *D. maidis* a partir de 1 h de alimentação em planta infectada (Alivizatos; Markham, 1986a); o período latente pode variar de 17-23 dias (Nault, 1980); a inoculação ocorre após 1 h de alimentação (Markham; Alivizatos, 1983); e a retenção no vetor é de aproximadamente 42 dias (Alivizatos; Markham, 1986a; Alivizatos; Markham, 1986b). Para MRFV, observa-se um período mínimo de alimentação de 6 h em planta infectada para a aquisição do vírus (Paniagua; Gámez, 1976); o período latente varia de 8-22 dias (Gonzales; Gámez, 1974); o tempo mínimo de alimentação para a inoculação é de 8 h (Paniagua; Gámez, 1976); e *D. maidis* pode reter a infectividade por até 20 dias (Bradfute et al., 1980). Para os três fitopatógenos não há evidência de transmissão transovariana (Gonzales; Gámez, 1974; Alivizatos; Markham, 1986a), e geralmente as ninfas os adquirem com maior eficiência do que os adultos (Nault et al., 1980; Moya-Raygoza; Nault, 1998). As fêmeas são mais eficientes na transmissão desses patógenos (Gonzales; Gámez, 1974, Alivizatos; Markham, 1986a; Moya-Raygoza; Nault, 1998) e a taxa de transmissão decresce com a

idade do vetor (Nault; Bradfute, 1979; Markham; Alivizatos, 1983; Moya-Raygoza; Nault, 1998).

Os enfezamentos do milho

Dois microrganismos da classe Mollicutes, comumente denominados mollicutes, são os agentes causais das doenças do milho denominadas enfezamentos: *Spiroplasma kunkelii* (Mollicutes-Spiroplasmataceae) (Whitcomb et al., 1986) e Maize bushy stunt fitoplasma (MBS-fitoplasma) (Bedendo et al., 1997). Esses microrganismos, geralmente referidos apenas por espiroplasma e por fitoplasma, são procariontes sem parede celular (Bascopé-Quintanilla, 1977; Nault, 1980).

Sintomas dos enfezamentos

Os sintomas dos enfezamentos manifestam-se caracteristicamente, e em maior intensidade, na fase de produção das plantas de milho, podendo se manifestar antes, ou na fase de florescimento, quando as plantas são cultivadas em vasos (Costa et al., 1971; Bascopé-Quintanilla, 1977; Nault, 1980; Oliveira et al., 1998, 2015b; Massola Júnior et al., 1999).

O sintoma que permite identificação inequívoca do enfezamento-pálido caracteriza-se por manchas cloróticas e independentes, produzidas na base das folhas que, posteriormente, coalescem e formam bandas grandes; os entrenós se desenvolvem menos e a planta tem a altura reduzida (“fica enfezada”); (**Figura 2**).



Figura 2. Sintomas de enfezamento pálido.

Entretanto, a planta afetada por essa doença pode apresentar altura aparentemente normal, presença ou ausência dessas manchas cloróticas características, e folhas avermelhadas. O enfezamento-vermelho caracteriza-se pela maior intensidade da cor vermelha, que chega a ser púrpura nas folhas mais velhas, e por abundante perfilhamento nas axilas foliares e na base das plantas (Bascope-Quintanilla, 1977) (**Figura 3**). Entretanto, os sintomas de enfezamentos observados em cultivares de milho melhoradas para a produção de grãos são, em geral, menos drásticos com relação à altura de plantas e ausência de perfilhamento, quando comparados aos sintomas descritos por esses autores. Em geral, essas cultivares de milho apresentam folhas avermelhadas, mas algumas delas apresentam apenas

descolorações cloróticas, e secam precocemente (Oliveira et al., 1998, 2005).



Figura 3. Sintomas de enfezamento vermelho.

Tanto em plantas submetidas à inoculação com mollicutes, em condições controladas, quanto em plantas doentes, no campo, é possível notar descolorações entre as nervuras secundárias das folhas, que podem, ou não, tornar-se avermelhadas, posteriormente. Não é possível diferenciar visualmente entre os dois tipos de enfezamento, exceto quando presentes os sintomas foliares característicos e inequívocos da infecção com

espiroplasma (enfezamento-pálido), que são as estrias cloróticas, tendendo ao branco, irregulares, que se estendem da base em direção ao ápice das folhas. Além disso, as plantas de milho podem ser simultaneamente infectadas com espiroplasma e com fitoplasma (Oliveira et al., 2007, 2015a). Frequentemente, no campo, a planta doente apresenta apenas folhas avermelhadas, marcadamente nas margens e na parte apical, e clorose entre as nervuras secundárias. As margens das folhas podem secar. As espigas das plantas de milho com enfezamento são menores que as espigas de plantas saudáveis. As plantas com enfezamento podem apresentar também proliferação de espigas pequenas. As espigas pequenas, das plantas doentes, podem apresentar grãos esparsos, grãos pequenos, grãos chochos. A redução no tamanho das espigas e na produção de grãos é variável, dependendo do nível de resistência da cultivar e da idade da planta infectada, sendo maior quando as plantas são infectadas nos estágios iniciais de desenvolvimento. Redução no comprimento dos internódios e na altura das plantas de milho infectadas é comum.

Danos

O enfezamento pode reduzir em 70% a produção de grãos da planta doente, em relação à planta saudável, em cultivar de milho susceptível. A redução total na produção de uma área cultivada será sempre diretamente proporcional à incidência de plantas com enfezamento (Massola Júnior et al., 1999; Sabato et al., 2013; Oliveira et al., 2013c). Em geral, em lavouras com alta incidência de enfezamentos, observa-se grande variação na altura das plantas e no tamanho das espigas. A avaliação da ocorrência dessas doenças no milho safrinha 2000, no Estado do Paraná, mostrou incidência de plantas com sintomas variando de 6,2 a 49,9%, com média de 20,7% (Oliveira et al., 2002b). Entretanto,

não é rara a ocorrência dessas doenças em níveis de incidência superiores a 70% causando danos expressivos em lavouras com mais de 100 ha, como tem sido diversas vezes observado em várias regiões e localidades, a exemplo de Quirinópolis, GO (safrinha 1997), Paraguaçu, SP (safra 2001/2002) (Oliveira, dados não publicados), do sudoeste de Santa Catarina e do norte do Rio Grande do Sul (safra 2005/2006) (Sabato et al., 2008). Na safra 1994/1995, foi registrado um surto epidêmico dessas doenças, em alta incidência na cultura do milho, atingindo muitas lavouras, na região sudoeste de Goiás e no Triângulo Mineiro (Oliveira et al., 1998), e outro, de mesma proporção, na safrinha 2015, nas regiões de Luís Eduardo Magalhães (BA), no sudoeste de Goiás, no Triângulo Mineiro e noroeste de Minas Gerais.

Estratégias para o manejo da cigarrinha e dos enfezamentos

Vários fatores influenciam a incidência dos enfezamentos, como a taxa de infectividade das populações de cigarrinhas *D. maidis*, o nível de resistência da cultivar de milho, e a temperatura ambiente. A variação nas datas de semeadura proporciona coincidência entre plantas em fase de produção e em estádios iniciais de desenvolvimento, permitindo a migração das cigarrinhas, a ocorrência de vários ciclos dessas doenças, e a concentração das cigarrinhas e dos mollicutes nas lavouras mais tardias, incluindo a safrinha. Esses efeitos podem ser acentuados nas regiões quentes e em localidades em que se cultiva milho irrigado, com obtenção de mais de uma safra ao ano.

As medidas a serem adotadas para evitar, ou pelo menos minimizar, danos por enfezamentos na produção de lavouras de milho requerem a análise do risco de incidência dessas doenças

em níveis altos e da possibilidade de se evitar práticas que as favoreçam. As medidas de controle podem focar o inseto-vetor ou podem ser voltadas para escapar da doença.

O tratamento das sementes de milho com inseticidas específicos, registrados no Ministério da Agricultura para controle da cigarrinha *D. maidis* pode contribuir para reduzir a população desse inseto-vetor nos primeiros trinta dias de desenvolvimento da lavoura e, em alguns casos, reduzir o nível de incidência dessas doenças. Entretanto, considerando-se que esta cigarrinha necessita alimentar-se da plântula de milho para ser morta pelo efeito do inseticida sistêmico, ela pode transmitir os molicutes para a plântula antes de morrer. Além disso, em situações em que nesta lavoura jovem ocorre entrada contínua de cigarrinhas infectantes com molicutes, provenientes de lavouras adultas próximas, a eficácia do tratamento das sementes com inseticidas para controlar as cigarrinhas e, em consequência, controlar os enfezamentos, pode ser baixa.

Como os enfezamentos são doenças que necessitam de um período de tempo relativamente longo para que os patógenos se multipliquem e causem danos, quanto mais tardia for a infecção das plantas menores serão os prejuízos causados. Diante dessa informação uma possibilidade de manejo para essas doenças seria a pulverizações de inseticidas visando controlar a população de cigarrinhas dando proteção às plantas de milho em sua fase inicial (primeiros 30-40 dias). Pulverizações com inseticida no final do ciclo das plantas poderiam reduzir a propagação do inóculo dos molicutes, pois reduziriam a população de cigarrinhas migrantes que colonizam plântulas de novas áreas disseminando as doenças. Hoje existem pelo menos

5 produtos (neonicotinoides e piretroides) registrado no MAPA para pulverização em milho visando ao controle de *D. maidis*.

Em áreas irrigadas por pivô, a pulverização de produto inseticida à base do fungo *Beauveria* (que necessita de ambiente com umidade relativa alta), registrado para controle da cigarrinha, é uma medida que visa a redução populacional do vetor principalmente para safras subsequentes.

Uma alternativa para escapar dessas doenças, ao menos em regiões onde o inverno é frio, com temperaturas baixas, inadequadas para o desenvolvimento da cigarrinha e dos mollicutes, é evitar a semeadura tardia do milho. As lavouras semeadas tardiamente, incluindo as semeaduras da safrinha, estão mais expostas à alta incidência do inseto-vetor dos mollicutes e, em consequência, da alta incidência desses patógenos, particularmente quando as cigarrinhas que migram para essas lavouras tardias provêm de lavouras com alta incidência de enfezamentos.

A utilização de cultivares de milho com resistência genética aos enfezamentos pode minimizar danos por essas doenças. É recomendável diversificar as cultivares para evitar possível seleção de variantes desses patógenos e causar quebra da resistência.

Outro ponto importante é o papel desempenhado pelas plantas voluntárias de milho (tigueras). As plantas voluntárias são capazes de abrigar uma grande quantidade de cigarrinhas e devido a um número reduzido de plantas em relação a uma lavoura comercial elas passam a multiplicar e concentrar o inóculo dos patógenos. É possível que a taxa de infectividade da população de cigarrinhas seja bastante elevada tornando as

tigueras um dos principais focos de disseminação de molicutes para lavouras comerciais recém-plantadas. Assim, a eliminação sistemática das plantas voluntárias pode ter efeitos positivos no manejo dos enfezamentos.

Considerações finais

Nenhuma medida de controle tomada de forma isolada é eficiente para o manejo dos enfezamentos e, embora o controle do inseto-vetor seja importante do ponto de vista da minimização dos danos, tão ou mais importante é estar atento à presença da doença e ao nível em que a mesma se encontra nas regiões produtoras de milho. Assim, para se obter maior eficiência no controle, principalmente em áreas e em períodos de maior risco, é recomendável utilizar simultaneamente todas as medidas recomendadas, como semear mais de uma cultivar de milho, tratar as sementes e pulverizar com inseticidas para controlar a cigarrinha (nas fases iniciais e finais da cultura), sincronizar a semeadura com o período de semeadura adotado para a maioria das lavouras na região. Além disso, deve-se evitar deixar na área plantas de milho voluntárias (“tiguera”), que preservam os molicutes e as cigarrinhas. Ressalta-se a importância de todos os produtores adotarem simultaneamente essas práticas recomendadas para o manejo da cigarrinha e para o manejo dos enfezamentos, para garantir sucesso no controle eficiente dessas pragas.

Referências

ACOMPANHAMENTO DA SAFRA BRASILEIRA [DE] GRÃOS: safra 2017/18: nono levantamento. Brasília, DF: Conab, v. 5, n. 9, jun. 2018. 178 p.

ALIVIZATOS, A. S.; MARKHAM, P. G. Acquisition and transmission of corn stunt spiroplasma by its leafhopper vector *Dalbulus maidis*. **Annals of Applied Biology**, Warwick, v. 108, p. 535-544, 1986a.

ALIVIZATOS, A. S.; MARKHAM, P. G. Multiplication of corn stunt spiroplasma in *Dalbulus maidis* and transmission *in vitro*, following injection. **Annals of Applied Biology**, Warwick, v. 108, p. 545-554, 1986b.

ÁVILA, C. J.; ARCE, C. C. M. Flutuação populacional da cigarrinha-do-milho em duas localidades do Mato Grosso do Sul. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, p. 1129-1132, 2008.

BARNES, D. **Biología, ecología, y distribución de las chicharritas, *Dalbulus elimatus* (Ball) y *Dalbulus maidis* (Del. & W.)**. Mexico: Secretaria de Agricultura y Ganaderia, Oficina de Estudios Especiales, 1954. 112 p. (Folleto Técnico, 11).

BASCOPE-QUINTANILLA, J. B. **Agente causal de la llamada "raza mesa central" del achaparramiento del maíz**. 1977. 55 f. Dissertação (Mestrado) - Escuela Nacional de Agricultura, Colégio de Postgraduados, Chapingo, México, 1977.

BASTOS, C. S.; GALVÃO, J. C. C.; PICANÇO, M. C.; CECON, P. R.; PEREIRA, P. R. G. Incidência de insetos fitófagos e de predadores no

milho e no feijão cultivados em sistema exclusivo e consorciado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 3, p. 391-397, 2003.

BEDENDO, I. P.; DAVIS, R. E.; DALLY, E. L. Molecular evidence for the presence of maize bushy stunt phytoplasma in corn in Brazil. **Plant Disease**, Saint Paul, v. 81, p. 957, 1997.

BORTOLUZZO, Z. F.; GOMES, P. S.; PUKER, A.; OLIVEIRA, C. M.; ESTEVES, B. S. Diversidade de cigarrinhas (Hemiptera: Cicadellidae) associadas à cultura do milho na região norte do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRONOMIA, 30., 2017, Fortaleza. **Segurança hídrica: um desafio para os engenheiros agrônomos do Brasil: [anais]**. Fortaleza: AEAC: CONFAEAB, 2017.

BRADFUTE, O. E.; NAULT, L. R.; GORDON, D. T.; ROBERTSON, D. C.; TOLER, R. W.; BOOTHROYD, C. W. Identification of maize rayado fino virus in the United States. **Plant Disease**, Saint Paul, v. 64, p. 50-53, 1980.

BUSHING, R. W.; BURTON, V. E. Leafhoppers damage to silage corn in California. **Journal of Economic Entomology**, College Park, v. 67, p. 656-658, 1974.

CAMBRUZZI, A. J.; SCHAINHUK, L.; VIGOLO, J.; BETEMPS, D. L. Levantamento de espécies de cigarrinhas-das-pastagens (Hemiptera: Cercopidae) no município de Laranjeiras do Sul, Paraná. **Anais do SEPE-Seminário de Ensino, Pesquisa e Extensão da UFFS**, Chapecó, v. 3, p. 1-2, 2013.

COSTA, A. S. Alguns insetos e ácaros usados na transmissão de moléstias de vírus das plantas. **Bragantia**, Campinas, v. 16, p. 15-21, 1957.

COSTA, A. S.; KITAJIMA, E. W.; ARRUDA, S. C. Moléstias de vírus e de micoplasma no milho em São Paulo. **Revista da Sociedade Brasileira de Fitopatologia**, Piracicaba, v. 4, n. 4, p. 39-41, 1971.

CRUZ, I.; ALVARENGA, R. C.; GONTIJO NETO, M. M.; VIANA, P. A. Monitoramento de pragas e de inimigos naturais de lagartas de *Spodoptera frugiperda* em área de plantio integrado de milho braquiária. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 27.; SIMPOSIO BRASILEIRO SOBRE A LAGARTA-DO-CARTUCHO, SPODOPTERA FRUGIPERDA, 3.; WORKSHOP SOBRE MANEJO E ETIOLOGIA DA MANCHA BRANCA DO MILHO, 2008, Londrina. **Agroenergia, produção de alimentos e mudanças climáticas: desafios para milho e sorgo: trabalhos e palestras**. [Londrina]: IAPAR; [Sete Lagoas]: Embrapa Milho e Sorgo, 2008. 1 CD-ROM.

DAVIS, R. Biology of the leafhopper *Dalbulus maidis* at selected temperatures. **Journal of Economic Entomology**, College Park, v. 59, p. 766, 1966.

FRIZZAS, M. R.; OMOTO, C.; SILVEIRA NETO, S.; MORAES, R. C. B. Avaliação da comunidade de insetos durante o ciclo da cultura do milho em diferentes agroecossistemas. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 2, n. 2, p. 9-24, 2003.

GONZALES, V.; GÁMEZ, R. Algunos factores que afectan la transmisión del virus del rayado fino del maíz por *Dalbulus maidis* DeLong & Wolcott. **Turrialba**, San Jose, v. 24, n. 1, p. 51-57, 1974.

HEADY, S. E.; MADDEN, L. V.; NAULT, L. R. Oviposition behavior of *Dalbulus* leafhoppers (Homoptera: Cicadellidae). **Annals of the**

Entomological Society of America, College Park, v. 78, p. 723-727, 1985.

HEADY, S. E.; NAULT, L. R. Leafhopper egg microfilaments (Homoptera: Cicadellidae). **Annals of the Entomological Society of America**, College Park, v. 77, p. 610-615, 1984.

HOOLE, J. C.; JOICE, D. A.; PULLIN, A. S. Estimates of gene flow between populations of the swallowtail butterfly, *Papilio machaon* in Broadland, UK and implications for conservations. **Biological Conservation**, Essex, v. 89, p. 293-299, 1999.

JUSTINIANO, W.; FERNANDES, M. G.; VIANA, C. L. T. P. Diversity, composition and population dynamics of arthropods in the genetically modified soybeans Roundup Ready® RR1 (GT 40-3-2) and Intacta RR2 PRO®(MON87701 x MON89788). **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 6, p. 33-44, 2014.

LARSEN, K. J.; NAULT, L. R.; MOYA-RAYAGOSA, G. Overwintering biology of *Dalbulus* leafhoppers (Homoptera: Cicadellidae): adult population and drought hardiness. **Environmental Entomology**, College Park, v. 21, p. 566-577, 1992.

LEGRAND, A. I.; POWER, A. G. Inoculation and acquisition of maize bushy stunt mycoplasma by its leafhopper vector *Dalbulus maidis*. **Annals of Applied Biology**, Warwick, v. 125, p. 115-122, 1994.

MADDEN, L. V.; NAULT, L. R.; HEADY, S. E.; STYER, W. E. Effect of temperature on the population dynamics of three *Dalbulus* leafhoppers species. **Annals of Applied Biology**, Warwick, v. 108, p. 475-485, 1986.

MARÍN, R. Biología y comportamiento de *Dalbulus maidis* (Homoptera-Cicadellidae). **Revista Peruana de Entomología**, Lima, v. 30, p. 113-117, 1987.

MARKHAM, P. G.; ALIVIZATOS, A. S. The transmission of corn stunt spiroplasma by natural and experimental vectors. In: INTERNATIONAL MAIZE VIRUS DISEASE COLLOQUIUM AND WORKSHOP, 1982, Wooster, Ohio. **Proceedings**. Wooster: Ohio Agricultural Research and Development Center, 1983. p. 56-61.

MARTINS, G. M.; TOSCANO, L. C.; TOMQUELSKI, G. V.; MARUYAMA, W. I. Eficiência de inseticidas no controle de *Dalbulus maidis* (Hemiptera: Cicadellidae) na cultura do milho. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 21, p. 196-200, 2008.

MASSOLA JÚNIOR, N. S.; BEDENDO, I.; AMORIM, L.; LOPES, J. R. S. Quantificação de danos causados pelo enfezamento vermelho e enfezamento pálido do milho em condições de campo. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, DF, v. 24, p. 136-142, 1999.

MENDES, L. O. T. Observações sobre alguns insetos coletados sobre algodoeiro durante os anos de 1936 e 1937. **Journal de Agronomia**, Piracicaba, v. 1, p. 149-163, 1938.

MENESES, A. R. **Dinâmica populacional de *Dalbulus maidis* (DeLong & Wolcott) (Hemiptera: Cicadellidae) e seus parasitoides em cultivos de milho no nordeste brasileiro**. 2015. 88 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2015.

MOYA-RAYGOZA, G.; NAULT, L. R. Transmission biology of maize bushy stunt phytoplasma by the corn leafhopper (Homoptera:

Cicadellidae). **Annals of the Entomological Society of America**, College Park, v. 91, p. 668-676, 1998.

NAULT, L. R. Evolution of insect pest: maize and leafhopper, a case study. **Maydica**, Bergamo, v. 35, p. 165-175, 1990.

NAULT, L. R. Mayze bushy stunt and corn stunt: a comparison of disease symptoms, pathogens host ranges, and vectors. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 70, p. 659-662, 1980.

NAULT, L. R.; DELONG, D. M. Evidence for co-evolution of leafhoppers in the genus *Dalbulus* (Cicadellidae: Homoptera) with maize and its ancestors. **Annals of the Entomological Society of America**, College Park, v. 73, p. 349-353, 1980.

NAULT, L. R.; GINGERY, R. E.; GORDON, D. T. Leafhopper transmission and host range of maize rayado fino virus. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 70, p. 709-712, 1980.

NAULT, L. R.; KNOKE, J. K. Maize vectors. In: GORDON, D. T.; KNOKE, J. K.; SCOTT, G. E. (Ed.). **Virus and viruslike diseases of maize in the United States**. Wooster: Ohio Agricultural Research and Development Center, 1981. p. 77-84. (Southern Cooperative Series Bulletin, 247).

NAULT, L. R.; MADDEN, L. V. Ecological strategies of *Dalbulus* leafhoppers. **Ecological Entomology**, Oxford, v. 10, p. 57-63, 1985.

NAULT, L. R.; BRADFUTE, O. E. Corn stunt: involvement of a complex of leafhopper-borne pathogens. In: MARAMOROSCH, K.; HARRIS, K. F. (Ed.). **Leafhopper vectors and plant disease agents**. New York: Academic Press, 1979. p. 561-586.

OLIVEIRA, C. M. **Variação morfológica entre populações de *Dalbulus maidis* (DeLong & Wolcott, 1923) (Hemiptera: Cicadellidae) de algumas localidades do Brasil.** 1996. 69 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1996.

OLIVEIRA, C. M.; LOPES, J. R. S. Cigarrinha-do-milho: aspectos taxonômicos e ecológicos, sobrevivência na entressafra. In: OLIVEIRA, E.; OLIVEIRA, C. M. (Ed.). **Doenças em milho: mollicutes, vírus, vetores e mancha por Phaeosphaeria.** Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p. 61-88.

OLIVEIRA, C. M.; LOPES, J. R. S.; CAMARGO, L. E. A.; FUNGARO, M. H. P.; NAULT, L. R. Genetic diversity in populations of *Dalbulus maidis* (DeLong and Wolcott) (Hemiptera: Cicadellidae) from distant localities in Brazil assessed by RAPD-PCR markers. **Environmental Entomology**, College Park, v. 36, p. 204-212, 2007.

OLIVEIRA, C. M.; LOPES, J. R. S.; DIAS, C. T. S.; NAULT, L. R. Influence of latitude and elevation on polymorphism among populations of the corn leafhopper, *Dalbulus maidis* (DeLong & Wolcott) (Hemiptera: Cicadellidae), in Brazil. **Environmental Entomology**, College Park, v. 33, p. 1192-1199, 2004.

OLIVEIRA, C. M.; LOPES, J. R.; NAULT, L. R. Survival strategies of *Dalbulus maidis* during maize off season in Brazil. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, Dordrecht, v. 147, n. 2, p. 141-153, 2013a.

OLIVEIRA, C. M.; MOLINA, R. M. S.; ALBRES, R. S.; LOPES, J. R. S. Disseminação de mollicutes do milho a longas distâncias

por *Dalbulus maidis* (Hemiptera: Cicadellidae). **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, DF, v. 27, p. 91-95, 2002a.

OLIVEIRA, C. M.; OLIVEIRA, E.; SOUZA, I. R. P.; ALVES, E.; DOLEZAL, W.; PARADELL, S.; REMEZ-LENICOV, A. M. M.; FRIZZAS, M. R. Abundance and species richness of leafhoppers and planthoppers (Hemiptera: Cicadellidae and Delphacidae) in Brazilian maize crops. **Florida Entomologist**, Gainesville, v. 96, p. 1470-1481, 2013b.

OLIVEIRA, E. D.; RESENDE, R. D. O.; GIMÉNEZ PECCI, M. D. L. P.; LAGUNA, I. G.; HERRERA, P.; CRUZ, I. Incidência de viroses e enfezamentos e estimativa de perdas causadas por mollicutes em milho no Paraná. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 38, p. 19-25, 2003.

OLIVEIRA, E. de; LANDAU, E. C.; SOUSA, S. M. de. Simultaneous transmission of phytoplasma and Spiroplasma by *Dalbulus maidis* leafhopper and symptoms of infected maize. **Phytopathogenic Mollicutes**, New Delhi, v. 5, S99-S100, 2015b.

OLIVEIRA, E.; CARVALHO, R. V.; DUARTE, A. P.; ANDRADE, R. A.; RESENDE, R. O.; OLIVEIRA, C. M.; RECCO, P. C. Mollicutes e vírus em milho na safrinha e na safra de verão. **Revista Brasileira de Milho Sorgo**, Sete Lagoas, v. 1, n. 2, p. 38-46, 2002b.

OLIVEIRA, E.; GAMA, E. E. G.; TEIXEIRA, F. F.; OLIVEIRA, A. C.; SILVA, A. R. Genetic control of maize resistance to corn stunt Spiroplasma. **Phytopathogenic Mollicutes**, New Delhi, v. 3, n. 2, p. 68-71, 2013c.

OLIVEIRA, E.; OLIVEIRA, C. M.; MAGALHÃES, P. C.; ANDRADE, C. T. L.; HOGENHOUT, S. A. Spiroplasma and phytoplasma infection reduce kernel production, and nutrient and water contents of several but not all maize cultivars. **Maydica**, Bergamo, v. 50, p. 171-178, 2005.

OLIVEIRA, E.; SANTOS, J. C.; MAGALHÃES, P. C.; CRUZ, I. Maize bushy stunt phytoplasma transmission by *Dalbulus maidis* is affect by spiroplasma acquisition and environmental conditions. **Bulletin of Insectology**, Bologna, v. 60, p. 229-230, 2007.

OLIVEIRA, E.; TERNES, S.; VILAMIU, R.; LANDAU, E. C.; OLIVEIRA, C. M. Abundance of the insect vector of two different mollicutes plant pathogens in the vegetative maize cycle. **Phytopathogenic Mollicutes**, New Delhi, v. 5, p. 117-118, 2015a.

OLIVEIRA, E.; WAQUIL, J. M.; FERNANDES, F. T.; PAIVA, E.; RESENDE, R. O.; KITAJIMA, E. W. "Enfezamento Pálido" e "Enfezamento Vermelho" na cultura do milho no Brasil Central. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, DF, v. 23, p. 45-47, 1998.

PANIAGUA, R.; GÁMEZ, R. El virus del rayado fino del maiz: estudios adicionales sobre la relación del virus y su insecto vector. **Turrialba**, San Jose, v. 26, p. 39-43, 1976.

SABATO, E. O.; LANDAU, E. C.; COELHO, A. M. Effect of the corn stunt spiroplasma disease on maize production. **Acta Phytopathologica Sinica**, v. 43, p. 203-204, 2013. Suplemento. Edição dos abstracts do 10º International Congress of Plant Pathology, Beijing, 2013.

SABATO, E.; SOUZA, I. R. P.; ALVES, E.; OLIVEIRA, C. M. Incidência do inseto-vetor de molícutes e de enfezamentos em milho. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, n. 34, p. S95, 2008. Trabalho apresentado no 31º Congresso Paulista de Fitopatologia, 2008, Campinas.

Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/69974/1/Incidencia-inseto.pdf>>. Acesso em: 19 dez. 2016.

SILVA, A. G. A.; GONÇALVES, C. R.; GALVÃO, D. M.; GONÇALVES, A. J. L.; GOMES, J.; SILVA, M. N.; SIMONI, L. **Quarto catálogo dos insetos que vivem nas plantas do Brasil seus parasitos e predadores**. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, 1968. 622 p. Parte 2, tomo 1.

SILVA, A. H.; TOSCANO, L. C.; MARUYAMA, W. I.; PEREIRA, M. F. A.; CARDOSO, S. D. M. Controle de *Dalbulus maidis* (Hemiptera: Cicadellidae) Delong & Wolcott (1923) por *Beauveria bassiana* na cultura do milho. **Boletín de Sanidad Vegetal - Plagas**, Madrid, v. 35, p. 657-664, 2009.

SILVA, R. F. da. **Ação e doses dos inseticidas lufenuron e lambdacialotrina no controle de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: noctuidae)**. 2008. 69 f. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2008.

TAYLOR, R. A. J.; NAULT, L. R.; STYER, W. E. Experimental analysis of flight activity of three *Dalbulus* leafhoppers (Homoptera: Auchenorrhyncha) in relation to migration. **Annals of the Entomological Society of America**, College Park, v. 86, p. 655-667, 1993.

TODD, J. L.; MADDEN, L. V.; NAULT, L. R. Comparative growth and spatial distribution of *Dalbulus* leafhoppers populations (Homoptera: Cicadellidae) in relation to maize phenology. **Environmental Entomology**, College Park, v. 20, p. 556-564, 1991.

TRIPLEHORN, B. W.; NAULT, L. R. Phylogenetic classification of the genus *Dalbulus* (Homoptera: Cicadellidae), and notes on the phylogeny of the Macrostelini. **Annals of the Entomological Society of America**, College Park, v. 78, p. 291-315, 1985.

TSAI, J. H. Bionomics of *Dalbulus maidis* (DeLong & Wolcott): a vector of mollicutes and virus (Homoptera: Cicadellidae). In: MARAMOROSCH, K.; RAYCHAUDHURI, S. P. (Ed.). **Mycoplasma diseases of crops: basic and applied aspects**. New York: Springer-Verlag, 1988. p. 209-221.

TSAI, J. H.; FALK, B. W. Tropical maize pathogens and their associated insect vectors. In: HARRIS, K. F. (Ed.). **Advances in disease vector research**. New York: Springer-Verlag, 1988. p. 177-201.

WAQUIL, J. M. Amostragem e abundância de cigarrinhas e danos de *Dalbulus maidis* (DeLong e Wolcott) (Homoptera: Cicadellidae) em plântulas de milho. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, Jaboticabal, v. 26, p. 27-33, 1997.

WAQUIL, J. M.; VIANA, P. A.; CRUZ, I.; SANTOS, J. P. Aspectos da biologia da cigarrinha-do-milho, *Dalbulus maidis* (DeLong & Wolcott) (Homoptera: Cicadellidae). **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, Jaboticabal, v. 28, p. 413-420, 1999.

WHITCOMB, R. F.; CHEN, T. A.; WILLIAMSON, D. L.; LIAO, C.; TRULLY, J. G.; BOVÉ, J. M.; MOUCHES, C.; ROSE, D. L.; COAN, M. E.; CLARK, T. B. *Spiroplasma kunkelii* sp. Nov.: characterization of the etiological agent of corn stunt disease. **International Journal of Systematic Bacteriology**, v. 36, p. 170-178, 1986.

ZURITA, Y. A.; ANJOS, N.; WAQUIL, J. M. Aspectos biológicos de *Dalbulus maidis* (DeLong & Wolcott) (Hemiptera: Cicadellidae) em Híbridos de Milho (*Zea mays* L.). **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, Jaboticabal, v. 29, p. 347-352, 2000.

Capítulo 26

Panorama de Vinte anos de Milho Transgênico nos Estados Unidos

Analiza Piovesan Alves

James Bing

Nicholas P. Storer

Introdução

Um dos maiores desafios da produção agrícola está relacionado ao controle de insetos e doenças, especialmente quando pragas apresentam uma taxa de multiplicação elevada, e quando o controle químico é dificultado por causa do seu hábito, acarretando em níveis de controle insuficientes. Nestes casos, perdas em produtividade e gastos associados ao controle delas são geralmente elevados. O desenvolvimento e comercialização de culturas transgênicas expressando proteínas inseticidas conferindo proteção contra insetos e/ou genes que conferem tolerância a herbicidas revolucionaram a agricultura nos últimos 20 anos. O desenvolvimento de biotecnologias para o controle de insetos foi permitido pela identificação e caracterização de proteínas inseticidas *Bacillus thuringiensis* e avanços na transformação de plantas e engenharia genética (Castagnola; Jurat-Fuentes, 2012), superando as barreiras técnicas associadas à maioria dos agentes de controle químico (Fischhoff, 1996).

As primeiras tentativas de transformação em milho se iniciaram em na década de 1980. Porém, somente em 1996 foi obtido a transformação na cultura com sucesso, através do cultivo de embriões imaturos com *Agrobacterium tumefaciens* (Ishida et al., 1996). Até hoje, a maioria dos produtos biotecnológicos comercializados em milho são produtos de tolerância a herbicida (HT) e resistente a insetos (IR). Outras áreas em que produtos biotecnológicos foram comercializados incluem output traits (ex. modificação da qualidade do grão), agronomic traits (características agrônômicas, ex. rendimento, seca, e manejo de fertilidade), e melhoramento na produção de sementes (ex. sistemas de esterilidade masculina).

Os primeiros produtos biotecnológicos de milho com tolerância a herbicida foram comercializados na segunda metade da década de 1990, e apresentavam tolerância a glifosato (eventos GA21, NK603) e glufosinato de amônia (evento T25), enquanto que todos os produtos atualmente comercializados com característica de resistência a insetos expressam proteínas inseticidas da bactéria *Bacillus thuringiensis* (Bt) (Federici, 2002). Estas proteínas podem ser produzidas durante a fase de crescimento da bactéria (proteínas Vip, produzidas na fase vegetativa) (Estruch et al., 1996), ou na fase de esporulação (Hannay; Fitz-James, 1955) e de crescimento exponencial tardio (proteínas cristal (Cry) e citolíticas (Cyt)) (Salamitou et al., 1996). Proteínas Bt produzem uma grande variedade de toxinas, são altamente tóxicas a certas espécies de insetos, porém com especificidade muito alta, e têm pouco ou nenhum efeito sobre os seres humanos, insetos benéficos e outros organismos não alvo (Knowles 1994). Além disso, proteínas Bt têm uma longa história de uso seguro via aplicações foliares desde os anos 1930 (Shelton et al., 2002), comumente utilizado em produção orgânica. Em plantas transgênicas, elas

são protegidas contra o ataque de insetos através da expressão de genes de proteínas Bt e seu acúmulo nos tecidos vegetais. Além da especificidade, este modo de 'delivery' exige que os insetos se alimentem das plantas para gerar toxicidade, minimizando a exposição à fauna não alvo, enquanto permitindo o controle de pragas de mais difícil controle, como as brocas e àquelas que se alimentam das raízes (Castagnola; Juat-Fuentes, 2012).

O ano de 2018 representa o 23º ano de comercialização de culturas biotecnológicas, hoje cultivadas em mais de 190 milhões de hectares em 28 países. A área plantada de culturas transgênicas cresceu mais de 100 vezes desde a sua primeira comercialização em 1996 (James, 2015). O rápido crescimento da sua adoção mundialmente, na maioria dos casos substituindo materiais convencionais, reflete seu valor junto ao setor agrícola. Recentemente, Klumper e Qaim (2014) reportaram que o uso de culturas geneticamente modificadas (GM) refletiu em mais de 20% de aumento em produtividade quando comparadas com culturas não GM, reduziu o uso de pesticidas em 36.9%, e aumentou a lucratividade de produtores em 68.2%. Nos Estados Unidos, a área plantada em milho atingiu aproximadamente 34 milhões de hectares representando 93.4% do total de milho plantado. No Brasil a estimativa é de 16 milhões de hectares plantados, correspondendo a 88.9% do total (James, 2017). Em 2012, o benefício econômico de milho transgênico para o produtor foi estimado em US\$ 6.7 bilhões globalmente (Brookes; Barfoot, 2014), ganhos estes advindos pela proteção do potencial produtivo da cultura por tecnologias visando resistência a insetos (RI). Adicionalmente, estima-se que houve um acréscimo na produção mundial de milho de 230 milhões de toneladas durante o período de 1996-2012, e que 96% desse incremento estão atribuídos a benefícios advindos de tecnologias de

resistência de insetos (Brookes; Barfoot, 2014). Por outro lado, o maior benefício de tecnologias de tolerância a herbicida vem do aumento na eficiência e simplicidade no controle de daninhas. Entretanto, benefícios em produtividade têm sido observados em algumas regiões. É importante ressaltar que o custo de acesso a biotecnologias por agricultores é estimado em apenas 23% do valor total dos ganhos (Brookes; Barfoot, 2014).

Neste capítulo será abordado o processo de desenvolvimento de culturas transgênicas, bem como uma descrição dos produtos desenvolvidos e comercializados na cultura do milho. Serão discutidos os componentes relacionados a análise de risco, requerimentos governamentais e iniciativas implementadas para preservação das tecnologias, bem como casos de perda de tecnologias. Também faremos uma elaboração de tecnologias futuras que poderão contribuir para a sustentabilidade da agricultura.

Desenvolvimento de culturas transgênicas

O processo de desenvolvimento de biotecnologias é bastante complexo, demorado, requer uma grande quantidade de recursos, e passa por uma série de etapas, que podem ser divididas em duas fases: (1) identificação de características desejáveis que possam ser incorporadas em diferentes culturas, e produção/seleção do evento a ser comercializado, e (2) avaliação de segurança do produto em que se busca autorização para comercialização (**Figura 1**) (Privalle et al., 2012). Na primeira fase, o gene de interesse é isolado, células vegetais são transformadas, plantas são regeneradas, um processo de seleção de eventos é implementado, incluindo avaliações de eficácia e impacto agrônômico, entre outras, até que o evento destinado

a comercialização é identificado. Na segunda fase uma série de estudos são realizados para avaliação de segurança humana, animal, e ao meio ambiente, além de análise de composição e expressão, para a aferição/demonstração de que o produto seja tão seguros quanto as culturas convencionais, para que então seja submetido o processo para a autorização de comercialização (Privalle et al., 2012). O custo estimado para produção de um material GM é estimado em US\$ 136 milhões (McDougall, 2011).

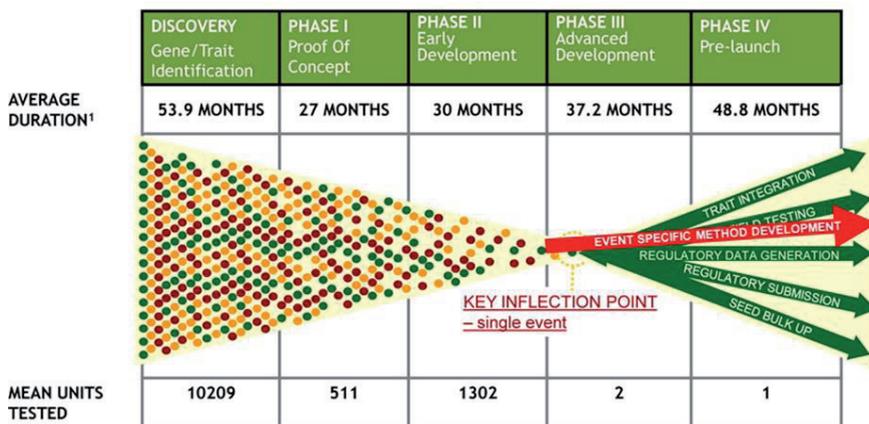


Figura 1. Processo de desenvolvimento de produtos agrícolas geneticamente modificados.

Primeira geração de eventos de milho transgênicos (1996 – 2002)

A primeira geração de milho transgênico comercializado foi composta de eventos simples, expressando somente uma proteína Bt ou gene de HT. Dentre os eventos Bt, com resistência a insetos, encontram-se Bt11 (Cry1Ab), MON810 (Cry1Ab), e TC1507(Cry1F) (Tabela 1). Estes eventos foram desenvolvidos para resistência contra pragas Lepidópteras, primeiramente focados em *Ostrinia nubilalis* (Hubner), uma praga específica da América

do Norte e Europa, e *Diatraea grandiosella*. A eficácia desses eventos contra estas pragas se mantém excelente na América do Norte até os dias de hoje. Entretanto, o desenvolvimento de resistência de populações de *S. frugiperda* foi documentado em Porto Rico (Velez et al., 2013) e subseqüentemente relatado no estado da Flórida, bem como no Brasil e Argentina (Huang et al., 2014; Santos-Amaya et al., 2016, 2017; Chandrasena et al., 2018).

Dentre os eventos de milho com tolerância a herbicida encontram-se T25 (tolerância a glufosinato), GA21 (tolerância a glufosinato), e NK603 (tolerância a glifosato) (**Tabela 1**).

Segunda geração de eventos de milho transgênicos (2003 – 2007)

A segunda geração de milho transgênico comercializado foi composta de eventos simples e estaqueados (combinação de eventos IR e HT). O foco de desenvolvimento de produtos nesta fase consistiu em prover controle de pragas de raiz, e o estaqueamento de eventos tolerantes a herbicidas com resistência de insetos Lepidópteros e de pragas de raiz (amplo espectro), provendo ao agricultor o controle completo, via semente, de insetos e daninhas. Uma série de eventos simples focados no controle de *Diabrotica* ssp., denominados corn rootworm (CRW), foram registrados entre 2003 e 2007: MON863 (Cry3Bb), seguido de DAS-59122-7 (Cry34/35Ab), MON88017 (Cry3Bb), e MIR604 (mCry3A) (**Tabela 1**). Subseqüentemente, uma série de produtos combinando eventos IR e HT se tornou comercialmente disponível (**Tabela 2**). Relatos de problemas com performance de tecnologias expressando proteínas Cry3 foram registrados, e casos de resistência de populações de *D. virgifera virgifera* a Cry3Bb1 continuam a se expandir (Gassmann et al., 2014; Oswald et al., 2011).

Tabela 1. Eventos milho Bt e HT simples registrados e comercialmente disponíveis no mercado Americano.

Nome Comercial	Evento ^a	Ativo(s)	Alvo primário + HT ^b	Ano de Registro ^c
Agrisure CB/LL	Bt11	Cry1Ab + PAT	corn borer + <i>glufosinato</i>	1996
Yieldgard CornBorer	MON810	Cry1Ab	corn borer	1996
Agrisure GT	GA21	<i>EPSPS</i>	<i>glifosato</i>	1998
Roundup Ready 2	NK603	<i>EPSPS</i>	<i>glifosato</i>	2000
Herculex I or CB	TC1507	Cry1Fa2 + PAT	corn borer + <i>glufosinato</i>	2002
YieldgardRootworm	MON863	Cry3Bb1	rootworm	2003
Herculex CRW	DAS-59122-7	Cry34Ab1/ Cry35Ab1 + PAT	rootworm + <i>glufosinato</i>	2006
Yieldgard VT Rootworm	MON88017	Cry3Bb1 + <i>EPSPS</i>	rootworm + <i>glifosato</i>	2006
Agrisure RW	MIR604	mCry3A	rootworm	2007
Yieldgard VT Pro	MON89034	Cry1A.105 + Cry2Ab2	corn borer & outros Leps	2008
Viptera	MIR162	Vip3A	Leps amplo espectro, exceto corn borer	2010
Agrisure Duracade	5307	eCry3.1Ab	rootworm	2013
(Parte do Qrome)	DP-4114	Cry1F + Cry34Ab1/ Cry35Ab1 + PAT	corn borer + rootworm + <i>glufosinato</i>	2013

Fonte: adaptado de DiFonzo et al. (2018).

Tabela 2. Eventos milho Bt e HT simples, estaqueados, e piramidados registrados e comercialmente disponíveis no mercado Americano. Disponibilidade de versões com refúgio em bloco ou integrado incluídos.

Nome Comercial	Eventos	Ativos	HT ¹		% Refúgio (Corn Belt) ²
			GT, RR2	LL	
AcreMax	MON810 x TC1507	Cry1Ab, Cry1F	x	x	5% in bag
AcreMax CRW	DAS-59122-7	Cry34/35Ab1	x	x	10% in bag
AcreMax1	TC1507 x DAS-59122-7	Cry1F, Cry34/35Ab1	x	x	10% in bag 20% ECB
AcreMax Leptra	MON810 x TC1507 x MIR162	Cry1Ab, Cry1F, Vip3A	x	x	5% in bag
AcreMax TRIsect	MON810 x TC1507 x MIR604	Cry1Ab, Cry1F, mCry3A	x	x	10% in bag
AcreMax Xtra	MON810 x TC1507 x DAS-59122-7	Cry1Ab, Cry1F, Cry34/35Ab1	x	x	10% in bag
AcreMax Xtreme	MON810 x TC1507 x MIR604 x DAS-59122-7	Cry1Ab, Cry1F, mCry3A, Cry34/35Ab1	x	x	5% in bag
Agrisure3010, e 3010A	BT11	Cry1Ab	x	x	20%
Agrisure3000GT e 3011A	BT11 x MIR604	Cry1Ab, mCry3A	x	x	20%
Agrisure Viptera3110	BT11 x MIR162	Cry1Ab, Vip3A	x	x	20%
Agrisure Viptera3111	BT11 x MIR162 x MIR604	Cry1Ab, Vip3A, mCry3A	x	x	20%
Agrisure 3120 EZRefuge	BT11 x TC1507	Cry1Ab, Cry1F	Depende do híbrido;		5% in bag
Agrisure 3122 EZRefuge	BT11 x TC1507 x MIR604 x DAS-59122-7	Cry1Ab, Cry1F, mCry3A, Cry34/35Ab1	verificar linguagem de códigos na sacaria:		5% in bag
Agrisure Viptera 3220 EZRefuge	BT11 x TC1507 x MIR162	Cry1Ab, Cry1F Vip3A	EZ0 (GT), ou		5% in bag
Agrisure Duracade 5122 EZRefuge	BT11 x TC1507 x MIR604 x 5307	Cry1Ab, Cry1F, mCry3A, eCry3.1Ab	EZ1(GT LL)		5% in bag
Agrisure Duracade 5222 EZRefuge	BT11 x TC1507 x MIR162 x MIR604 x 5307	Cry1Ab, Cry1F, Vip3A, mCry3A, eCry3.1Ab			5% in bag
Herculex I	TC1507	Cry1F	x	x	20%
Herculex RW	DAS-59122-7	Cry34/35Ab1	x	x	20%
Herculex XTRA	TC1507 x DAS-59122-7	Cry1F, Cry34/35Ab1	x	x	20%
Intrasect	MON810 x TC1507	Cry1Ab, Cry1F	x	x	5%
Intrasect TRIsect	MON810 x TC1507 x MIR604	Cry1Ab, Cry1F, mCry3A	x	x	20%
Intrasect Xtra	MON810 x TC1507 x DAS-59122-7	Cry1Ab, Cry1F, Cry34/35Ab1	x	x	20%

Tabela 2 cont. Eventos milho Bt e HT simples, estaqueados, e piramidados registrados e comercialmente disponíveis no mercado Americano. Disponibilidade de versões com refúgio em bloco ou integrado incluídos.

Nome Comercial	Eventos	Ativos	HT ¹		% Refúgio (Corn Belt) ²
Intrasect Xtreme	MON810 x TC1507 x MIR604 x DAS-59122-7	Cry1Ab, Cry1F, mCry3A, Cry34/35Ab1	x	x	5%
Leptra	MON810 x TC1507 x MIR162	Cry1Ab, Cry1F, Vip3A	x	x	5%
PowerCore ^a	MON89034x	Cry1A.105,	x	x	^a 5%
PowerCore Refuge Advanced ^b	TC1507	Cry2Ab2, Cry1F			^b 5% in bag
QROME	DP4114 x MON810 x MIR604	Cry1Ab, Cry1F, mCry3A, Cry34/35Ab1	x	x	5% in bag
SmartStax ^a	MON89034 x	Cry1A.105,	x	x	^a 5%
Smartstax Refuge Advanced ^b	TC1507 x	Cry2Ab2, Cry1F,			^b 5% in bag
SmartStax RIB Complete ^b	MON89017 x DAS-59122-7	Cry3Bb1, Cry34/35Ab1			
Trecepta ^a	MON89034 x	Cry1A.105,	x		^a 5%
Trecepta RIBComplete ^b	MIR162	Cry2Ab2, Vip3A			^b 5% in bag
TRIssect	TC1507 x MIR604	Cry1F, mCry3A	x	x	20%
VT Double PRO ^a	MON89034	Cry1A.105,	x		^a 5%
VT Double PRORIB Complete ^b		Cry2Ab2			^b 5% in bag
VT Triple PRO ^c	MON89034 x	Cry1A.105,	x		^c 20%
VT Triple PRORIB Complete ^d	MON89017	Cry2Ab2, Cry3Bb1			^d 10% in bag
YieldgardCorn Borer	MON810	Cry1Ab	x		20%
Yieldgard Rootworm (YGRW)	MON89017	Cry3Bb1	x		20%
Yieldgard VTtriple	MON810 x MON89017	Cry1Ab, Cry3Bb1	x		20%

¹Abreviações de HT: GT/RR2 = tolerância a glifosato, LL = tolerância a glufosinato. ²referencias ‘in bag’ indicam produtos com opções de refúgio integrado, disponíveis comercialmente somente na região do Corn Belt. Referencias sem a indicação de ‘in bag’ indicam produtos que requerem implementação de refúgio estruturado (em bloco ou faixas). Fonte: adaptado de DiFonzo et al. (2018).

Terceira geração de eventos de milho transgênicos (2009 – 2014)

No final da década de 2000 ocorreu o desenvolvimento e comercialização de eventos adicionais para controle de pragas de raiz, eventos com melhor performance no controle de pragas da espiga, bem como de eventos piramidados (via estaqueamento molecular, or por cruzamento genético) (**Tabelas 1 e 2**). Nesta geração, o primeiro material de estaqueamento molecular de genes Bt a ser registrado foi o evento MON89034 (em 2008), com o objetivo de aumento de espectro no controle de Lepidópteros, bem como melhor manejo de resistência de pragas. Logo em seguida deu-se o registro do evento MIR162 (em 2010), sendo o primeiro evento expressando proteínas Vip (Vip3A), apresentando controle superior a pragas da espiga (*S. frugiperda* e *H. Zea*), sendo atualmente amplamente utilizado para aumento de spectrum de controle de Lepidópteros e no manejo de resistência de pragas. Além destes, os eventos 5307 (para controle de CRW), DP4114 (estaque molecular de Cry1F, Cry34/35, e o gene *pat* (glufosinato)), e DAS-40278-9 (que confere tolerância a herbicidas 2,4-D e FOP), também foram registrados neste período. Subsequentemente, registro de produtos em diversas combinações de eventos foram feitos (**Tabela 2**). Apesar da grande quantidade de produtos disponíveis comercialmente (**Tabela 2**), eles se compõem de um número relativamente baixo de eventos, dos quais a grande maioria se encontra no mercado desde 2010.

Análise de risco associado ao uso de culturas Bt

Conformemencionadoacima,amaioria dos produtos transgênicos foram inicialmente lançados ao mercado com um único ativo (modo de ação) contra a(s) praga(as) alvo. A adoção intensiva e

extensiva de biotecnologias gerou preocupações com relação a potencial evolução de resistência em populações de insetos-alvo por causa da pressão seletiva exercida com o uso difundido delas (Tabashnik, 1994; Gould, 1998; Shelton et al., 2002; Ferré; Van Rie, 2002). Visando reduzir este risco, a agência de proteção ambiental Americana (Environmental Protection Agency, U.S. EPA) solicitou que uma análise de risco de resistência, com a exigência que estratégias de refúgio para milho Bt fossem definidas antes da safra de 1999 (United States Environmental Protection Agency, 1998). Desde então, programas de manejo de resistência de insetos (MRI) baseados na implementação de áreas de refúgio foram implementados com o intuito de preservar os benefícios das culturas Bt aos agricultores, meio ambiente, e à sociedade, baseado na premissa que a manutenção da suscetibilidade de insetos às proteínas seria um "bem público" (United States Environmental Protection Agency, 2001). Os programas de MRI foram estabelecidos principalmente no conceito de alta dose + refúgio (Gould, 1998), no qual assume-se que as pragas alvo são altamente sensíveis às culturas Bt exibindo mortalidade quase completa ("dose alta"). De tal modo, previa-se que a mortalidade de insetos heterozigotos para alelos de resistência (descendentes do cruzamento de insetos suscetíveis com resistentes) seria maior ou igual a 95%. Modelos matemáticos foram realizados e mostraram que quando acoplada a uma pequena área de plantas hospedeiras que não produzem a proteína Bt (o "refúgio") onde os indivíduos suscetíveis podem sobreviver, a resistência poderia ser retardada significativamente, desde que quaisquer insetos resistentes (raros) provenientes da área Bt se acasalarem com insetos suscetíveis do refúgio (Comins, 1977; Alstad; Andow, 1995). Como a progênie desses acasalamentos é composta por insetos heterozigotos, espera-se que eles sejam mortos pela cultura Bt. Assim, a taxa de multiplicação dos alelos de resistência

é reduzida, e a evolução de resistência na população se torna muito lenta (Gould, 1998). A partir de 2001, áreas de refúgio de 20% foram impostas à produtores da área central de produção de milho (‘corn belt’) para promover a durabilidade dos Bts. No sul dos Estados Unidos, onde o algodão Bt também é cultivado, o tamanho de áreas de refúgio para milho foi estabelecido em 50%. Em contrapartida, não existem regulamentações exigidas para manejo de resistência de plantas daninhas.

O manejo de resistência de insetos baseado na estratégia de [refúgio + alta dose] pode ser extremamente efetivo em teoria, mas exige que várias suposições sejam mantidas na prática (Tabashnik et al., 2008). Entre elas, que (1) as pragas-alvo sejam altamente sensíveis à proteína Bt, de forma que a “alta dose” seja alcançada e a resistência seja funcionalmente recessiva; (2) os alelos de resistência sejam inicialmente raros em populações-alvo de pragas; e (3) a grande maioria dos produtores cumpra os requisitos de refúgio. As duas primeiras suposições dependem da biologia e da genética da espécie de inseto, e não são alteradas uma vez que o evento comercial seja estabelecido (ativo e dose definidos). Por exemplo, eventos de milho Bt que expressam Cry1Ab e Cry1F são considerados de alta dose contra a praga alvo primária, *O. nubilalis*. O desempenho desses eventos em *O. nubilalis* se mantém excepcional, mesmo depois de 20 anos de cultivo extensivo nos Estados Unidos. Entretanto, outras pragas importantes, como *Helicoverpa zea*, são inerentemente menos sensíveis a essas proteínas (United States Environmental Protection Agency, 2001). Da mesma forma, *Diabrotica* spp. não são altamente sensíveis às proteínas Cry3 e Cry34Ab1 / Cry35Ab1 (Storer et al., 2006; Hibbard et al., 2010). Em tais casos, não é esperado que a resistência seja funcionalmente recessiva, e espera-se que a eficácia do refúgio seja menor (Coram et al.,

2016). Além disso, os alelos de resistência nem sempre são tão raros quanto supostos no conceito [refúgio + alta dose] (na ordem de 0,1% ou menos), de forma que a frequência de indivíduos homocigotos resistentes em uma população, na ausência de pressão de seleção, seja da ordem de 1 em um milhão. Entretanto, em muitos casos essa suposição se mostrou válida (Carrière et al., 2010).

Adicionalmente, a adoção de áreas de refúgio pelos produtores tem sido um desafio, por causa da potencial redução de produtividade nessas áreas, consideradas ‘desprotegidas’, e à complexidade logística de sua implementação. Nos Estados Unidos e no Canadá, onde o plantio de refúgio é obrigatório, a adesão dos produtores varia entre 65% e 85%, dependendo da tecnologia e da cultura (Smith; Smith, 2014). Em outros países, onde o plantio de refúgio não é exigido pelo governo, acredita-se que a adesão dos produtores seja muito menor. Documentação de casos de desenvolvimento de resistência de populações de pragas em campo, causando impacto econômico, foram observadas em situações em que as premissas da estratégia de [alta dose + refúgio] não foram atendidas (Tabashnik et al., 2014).

Reconhecendo os desafios associados à adoção de áreas de refúgio pelos produtores, além do risco de perda de tecnologias pela evolução de resistência em populações de pragas, produtos piramidados e/ou com o componente de refúgio integrado (no saco) foram desenvolvidos para comercialização. A piramidação (combinação de dois ou mais modos de ação contra uma mesma praga) diminui a probabilidade de desenvolvimento de resistência em populações de pragas a qualquer uma delas (Roush, 1998; Storer et al., 2010). A única exceção seria no caso de uma porção da população ser resistente a ambos ativos, onde esses insetos

sobreviveriam à exposição. Em razão do efeito de “morte redundante” de eventos piramidados, a possibilidade de redução de áreas de refúgio foi viabilizada, enquanto simultaneamente reduzindo o risco de resistência quando comparados com produtos simples (com um modo de ação) com o maior refúgio (Roush, 1988). A piramidação permitiu a redução de áreas de refúgio de 20% a 5% na região do cinturão de milho central, e de 50% a 20% no sul dos Estados Unidos, dependendo do produto. Além disso, a piramidação também viabilizou, em alguns casos, a implementação de refúgio integrado, no qual uma porcentagem de refúgio (pré-determinada pela USEPA) é fornecida misturada com a semente Bt (sementes Bt e não Bt no mesmo saco). Tais produtos garantem a implementação de áreas de refúgio, eliminando a responsabilidade do produtor de fazê-lo, trazendo novamente conveniência no plantio da cultura. Nos Estados Unidos, produtos de milho Bt piramidados incluindo refúgio integrado foram aprovados pela primeira vez para uso comercial em 2011 (United States Environmental Protection Agency, 2015). (**Tabela 2**). Vale ressaltar que produtos comerciais com esta característica contém pelo menos dois modos de ação distintos (e efetivos) contra as principais pragas chave das tecnologias, e embasamento científico (baseado em estudos sobre a interação específica do(s) inseto(s)-praga com a tecnologia (combinação de modos de ação em questão)) demonstrando o seu benefício na redução do risco de resistência (Prasifka et al., 2013; Rule et al., 2014).

Entretanto, produtos de milho Bt com refúgio integrado nem sempre são a melhor solução para manejo de resistência (Onstad et al., 2011; IRAC International Plant Biotechnology Committee, 2013; Brévault et al., 2015). Do ponto de vista comercial, produtos que exijam uma proporção elevada de sementes não

Bt provavelmente teriam baixa aceitação pelos produtores em razão do impacto de dano de pragas causados nas plantas não Bt. No componente técnico, caso a movimentação de insetos entre plantas Bt e não Bt ocorra, a “alta dose” pode ser comprometida e os alelos de resistência podem deixar de ser funcionalmente recessivos. Por exemplo, caso insetos se estabeleçam em plantas de refúgio e subsequentemente se movam a plantas Bt, aqueles que são heterozigotos (para alelos de resistência) podem sofrer uma exposição subletal às proteínas Bt, enquanto aqueles que são homozigotos suscetíveis morreriam. Alternativamente, insetos heterozigotos que inicialmente se alimentem de plantas Bt podem ter maior capacidade de recuperação de intoxicação por Bt (quando comparados a suscetíveis) se mudarem para plantas não Bt. Além disso, o movimento larval entre as plantas reduz a porção da população de insetos que não sofre seleção. Portanto, o equilíbrio entre a garantia de estabelecimento de áreas de refúgio (via refúgio integrado) e sua eficácia difere para diferentes pragas, eventos e culturas (IRAC International Plant Biotechnology Committee, 2013; Crespo et al., 2016). A tendência para produtos piramidados e com refúgio integrado tem sido significativa. Uma análise das aprovações de registro da EPA para culturas Bt (United States Environmental Protection Agency, 2015) revela que nenhum produto com modo de ação novo foi desenvolvido para uso comercial desde 2006, enquanto pelo menos 21 produtos piramidados foram registrados para uso comercial em milho e algodão (**Figura 2**) de refúgio integrado no Corn Belt dos Estados Unidos, e antecipa-se que esta tendência será mantida nos próximos anos.

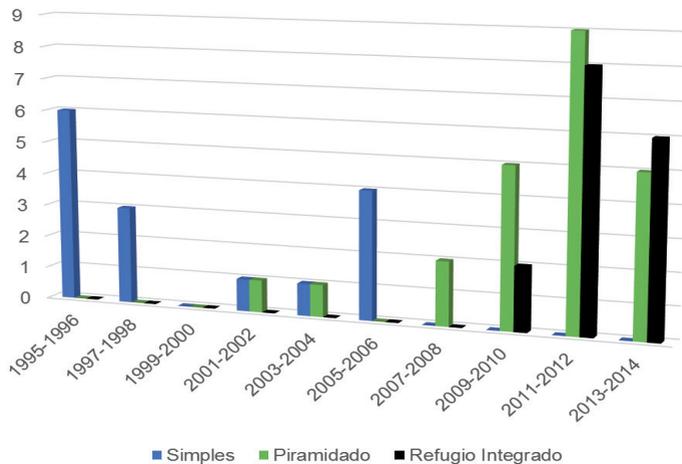


Figura 2. Registros comerciais da US EPA para culturas GM de milho com resistência a insetos, desde 1995, classificados como produtos de modo único de ação (simples), piramidado, ou com refúgio integrado (incluem produtos simples e piramidados). Fonte: United States Environmental Protection Agency (2015) 1998).

Visão futura

Ferramentas biotecnológicas alternativas vêm sendo testadas para desenvolvimento de novas tecnologias visando o controle de pragas, produção animal, e saúde humana. Dentre elas destacando-se o uso de RNA de interferência (RNAi), e técnicas de mutagênese dirigida.

RNAi é um mecanismo de defesa natural que protege as células contra patógenos endógenos e exógenos, através da regulação de expressão de proteínas (Bellés, 2010). No mecanismo celular de RNAi a própria sequência genética é usada para desativá-lo. Resumidamente, o processo de RNAi é desencadeado em

vários organismos, incluindo animais, plantas e fungos, pela clivagem de RNA de cadeia dupla (dsRNAs) em moléculas menores (siRNA), que têm como alvo RNA mensageiro (mRNA) complementar (Dykxhoorn et al., 2003; Hannon, 2002). Esses siRNAs são então incorporados em um complexo silenciador (RISC) (Nykanen et al., 2001), levando à clivagem endonucleolítica do mRNA complementar, impedindo a síntese de proteína (Elbashir et al., 2001; Hannon, 2003). Recentes avanços em pesquisa agrícola levaram ao desenvolvimento e registro de varias culturas utilizando essa ferramenta, em países distintos (Center for Environmental Risk Assessment, 2012), incluindo produtos com resistência a vírus, e produtos visando melhor qualidade e/ou valor nutricional (Auer; Frederick, 2009; Center for Environmental Risk Assessment, 2012). Recentes estudos identificaram a eficácia de dsRNA no controle de *D. virgifera virgifera* via exposição oral, levando a mortalidade no estágio larval (Baum et al., 2007; Bolognesi et al., 2012; Hu et al., 2016; Niu et al., 2017). O primeiro evento com base nesta tecnologia, MON87411, expressa o dsRNA DvSnf7, o gene Bt Cry3Bb1, e o gene *cp4 epsps*, que confere tolerância a herbicida glifosato, e está em processo de registro nos Estados Unidos.

Genome editing, ou edição de genoma, é o processo pelo qual mutações precisas e direcionadas na sequência no DNA de células e organismos vivos são realizadas. Nos últimos 10 anos, novas técnicas de mutagênese dirigida foram introduzidas no melhoramento de plantas (Jung et al., 2017), como por exemplo EXZACT™ (Shukla et al., 2009), TALENs (Joung; Sandler, 2013) e CRISPR/Cas (Sandler; Joung, 2014). Brevemente, no sistema CRISPR/Cas o DNA é precisamente clivado por uma enzima nuclease no local onde se deseja criar a mutação. O DNA é reconstituído pelo sistema de reparo celular, e pequenos

fragmentos de DNA podem ser inseridos no local alvo (Jung et al., 2017; Council for Agricultural Science and Technology, 2018). Avanços recentes em biologia molecular tornaram a edição de genoma uma importante ferramenta pesquisa, viabilizando avanços significativos em biologia básica e aplicada. Diante dos desafios estimados por causa da projeção de crescimento da população global, bem como os desafios que mudanças climáticas representam para a agricultura, a atenção deste tipo de tecnologia como ferramenta para a agricultura e pecuária está aumentando. Uma revisão incluindo o processo genome editing, bem como os tipos de edição, como o processo se pode ser usado com o melhoramento genético tradicional e engenharia genética convencional, e suas possíveis limitações foram descritos pelo Council for Agricultural Science and Technology (2018).

Considerações finais

O desenvolvimento e comercialização de culturas transgênicas expressando proteínas inseticidas conferindo proteção contra insetos e/ou genes que conferem tolerância a herbicidas revolucionaram a agricultura nos últimos 20 anos. Comodidade, aumento de produtividade, redução no uso de pesticidas, melhoria na qualidade de grãos, e lucratividade são alguns dos benefícios trazidos aos produtores. O desenvolvimento de biotecnologias é um processo complexo, demorado e custoso. Nos 23 anos da história da biotecnologia nos Estados Unidos, 3 eventos HT e 10 eventos RI foram registrados com sucesso nos primeiros 8 anos, e a grande maioria dos produtos registrados são compostos de combinações deles em diferentes configurações.

A contínua expressão de proteínas Bt em plantas transgênicas e sua alta adoção impõem alta pressão de seleção nas populações

de pragas, aumentando o risco de evolução da resistência. O risco se intensifica em condições de adoção extensiva e intensiva de uma mesma tecnologia, alta densidade populacional de pragas, presença de múltiplas gerações de praga no ano, bem como à presença das mesmas tecnologias em diferentes culturas. Além disso, a baixa adoção de refúgio e a falta de implementação do manejo integrado de pragas colocam as biotecnologias em risco. É importante ressaltar que o ambiente tem um papel fundamental neste contexto. O inverno rigoroso nos Estados Unidos viabiliza somente uma safra da cultura do milho na região onde mais se planta a cultura (Corn Belt). Adicionalmente, a presença de um período de baixa temperatura impõe uma 'pausa' no desenvolvimento de pragas, além de causar uma redução significativa na população de pragas, reduzindo o número de ciclos de praga por ano, e sincronizando as gerações. Portanto, áreas tropicais como o Brasil apresentam um risco de desenvolvimento de resistência significativamente maior que nos Estados Unidos. Fatores que contribuem para o risco elevado incluem a alta pressão de pragas, várias gerações por ano, práticas agrícolas locais (ciclos de culturas múltiplas por ano), presença de tecnologias iguais em diferentes culturas, baixa adoção de refúgio recomendado (ou sua baixa efetividade para manejo de resistência por causa das aplicações de inseticidas), e falta de implementação de manejo integrado de pragas (MIP).

Novas ferramentas estão sendo utilizadas para o desenvolvimento de tecnologias novas e alternativas para uso agrícolas. O uso de edição do genoma em melhoramento genético e animal tem o potencial de contribuir substancialmente para o bem-estar e sustentabilidade humana. O sucesso da implementação de esforços usando esta tecnologia na agricultura será beneficiado

pelo estabelecimento de regulamentações com embasamento científico, e que promovem inovação e transparência.

As empresas do setor biotecnológico continuarão a enfrentar os desafios custo elevado e a complexidade para trazer novas tecnologias ao mercado. Entretanto, o sucesso comprovado do milho transgênico e o rápido desenvolvimento de novas tecnologias certamente resultarão no desenvolvimento contínuo de novas e melhores tecnologias para enfrentar os desafios da agricultura, dos consumidores e do mundo em crescimento.

Referências

BORGHI, E.; CRUSCIOL, C. A. C.; MATEUS, G. P.; NASCENTE, A. S.; MARTINS, P. O. Intercropping time of corn and palisadegrass or guineagrass affecting grain yield and forage production. **Crop Science**, Madison, v. 53, p. 629-636, 2013.

ALSTAD, D.; ANDOW, D. Managing the evolution of insect resistance to transgenic plants. **Science**, Washington, v. 268, p. 1894-1896, 1995.

AUER, C.; FREDERICK, R. Crop improvement using small RNAs: applications and predictive ecological risk assessments. **Trends in Biotechnology**, Amsterdam, v. 27, p. 644-651, 2009.

BAUM, J.; BOGAERT, T.; CLINTON, W.; HECK, G.; FELDMANN, P.; ILAGAN, O.; JOHNSON, S.; PLAETINCK, G.; MUNYIKWA, T.; PLEAU, M.; VAUGHN, T.; ROBERTS, J. Control of coleopteran insect pests through RNA interference. **Nature Biotechnology**, New York, v. 25, p. 1322-1326, 2007.

BELLÉS, X. Beyond Drosophila: RNAi in vivo and functional genomics in insects. **Annual Review of Entomology**, Stamford, v. 55, p. 111-128, 2010.

BOLOGNESI, R.; RAMASESHADRI, P.; ANDERSON, J.; BACHMAN, P.; CLINTON, W.; FLANNAGAN, R.; ILAGAN, O.; LAWRENCE, C.; LEVINE, S.; MOAR, W.; MUELLER, G.; TAN, J.; UFFMAN, J.; WIGGINS, J.; HECK, G.; SEGERS, G. Characterizing the mechanism of action of double-stranded RNA activity against western corn rootworm (*Diabrotica virgifera virgifera* LeConte). **PlosOne**, San Francisco, v. 7, n. 10, p. 1-11, 2012.

BRÉVAULT, T.; TABASHNIK, B.; CARRIÈRE, Y. Seed mixture increases dominance of resistance to Bt cotton in *Helicoverpa zea*. **Scientific Reports** v. 5, p. 9807, 2015.

BROOKES, G.; BARFOOT, P. Economic impact of GM crops: the global income and production effects 1996-2012. **GM Crops & Food**, v. 5, n. 1, p. 65-75, 2014.

CARRIÈRE, Y.; CROWDER, D.; TABASHNIK, B. Evolutionary ecology of insect adaptation to Bt crops. **Evolutionary Applications**, v. 3, p. 561-573, 2010.

CASTAGNOLA, A. S.; JURAT-FUENTES, J. L. Bt crops: past and future. In: SANSINENA, E. (Ed.). **Bacillus thuringiensis biotechnology**. New York: Springer, 2012. p. 283-304.

CHANDRASENA, D. I.; SIGNORINI, A. M.; ABRATTI, G.; STORER, N. P.; OLACIREGUI, A. M. L.; ALVES, A. P.; PILCHER, C. D. Characterization of field-evolved resistance to *Bacillus thuringiensis*-derived Cry1F -endotoxin in *Spodoptera frugiperda*

populations from Argentina. **Pest Management Science**, Sussex, v. 74, p. 746-754, 2018.

CENTER FOR ENVIRONMENTAL RISK ASSESSMENT. **GM Crop Database**. Washington: ILSI Research Foundation, 2012. Disponível em: <<http://cera-gmc.org/GMCropDatabase>>. Acesso em: 13 maio 2018.

CORAM, T.; BING, J.; STORER, N. Biotech maize: industry development and impact. In: JONES, H. D. (Ed.). **Biotechnology of major cereals**. Wallingford: CABI, 2016. p. 10-47.

COUNCIL FOR AGRICULTURAL SCIENCE AND TECHNOLOGY. **Genome editing in agriculture**: methods, applications, and governance. Ames, 2018. (The Need for Agricultural Innovation to Sustainably Fed the World by 2050, n. 60).

CRESPO, A. L. B.; ALVES, A. P.; Wang, Y.; Hong, B.; Flexner, J. L.; Catchot, A.; Buntin, D.; Cook, D. Survival of corn earworm (Lepidoptera: Noctuidae) on Bt maize and cross-pollinated refuge ears from seed blends. **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v. 109, p. 288-298, 2016.

COMINS, H. The development of insecticide resistance in the presence of migration. **Journal of Theoretical Biology**, London, v. 64, p. 177-197, 1977.

DIFONZO, C.; PORTER, P.; TILMON, K. The handy Bt trait table for U.S. corn production. Texas: Texas A&M University, 2018. Disponível em: <<https://lubbock.tamu.edu/files/2018/01/BtTraitTableJan2018.pdf>>. Acesso em: 19 jun. 2018.

DYKXHOORN, D. M.; NOVINA, C. D.; SHARP, P. A. Killing the messenger: short RNAs that silence gene expression. **Nature Reviews**, London, v. 4, p. 457-467, 2003.

ELBASHIR, S. M.; LENDECKEL, W.; TUSCHI, T. RNA interference is mediated by 21- and 22-nucleotide RNAs. **Genes Development**, Cold Spring Harbor, v. 15, p. 188-200, 2001.

ESTRUCH, J. J.; WARREN, G. W.; Mullins, M. A.; Nye, G. J.; Craig, J. A.; Koziel, M. G. Vip3A, a novel *Bacillus thuringiensis* vegetative insecticidal protein with a wide spectrum of activities against lepidopteran insects. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, v. 93, p. 5389-5394, 1996.

FEDERICI, B. A. Case study: Bt crops: a novel mode of insect control. In: ATHERTON, K.T. **Genetically modified crops: assessing safety**. London: Taylor & Francis, 2002. p. 164-200.

FERRÉ, J.; VAN RIE, J. Biochemistry and genetics of insect resistance to *Bacillus thuringiensis*. **Annual Review of Entomology**, Stamford, v. 47, p. 501-533, 2002.

FISCHHOFF, D. A. Insect-resistant crop plants. In: Persley, G. J. (ed.). **Biotechnology and integrated pest management**. Wallingford: CAB International, 1996. p. 214-227.

GASSMANN, A.; PETZOLD-MAXWELL, J.; CLIFTON, E.; DUNBAR, M.; HOFFMANN, A.; INGBER, D.; KEWESHAN, R. Field-evolved resistance by western corn rootworm to multiple *Bacillus thuringiensis* toxins in transgenic maize. **Proceedings of the**

National Academy of Sciences of the United States of America, Washington, v. 111, p. 5141-5146, 2014.

GOULD, F. Sustainability of transgenic insecticidal cultivars: integrating pest genetics and ecology. **Annual Reviews of Entomology**, Stamford, v. 43, p. 701-726, 1998.

KLUMPER, W.; QAIM, M. A meta-analysis of the impacts of genetically modified crops. **PlosOne**, San Francisco, v. 9, n. 11, p. 1-7, 2014.

HANNAY, C. L.; FITZ-JAMES, P. The protein crystals of *Bacillus thuringiensis* Berliner. **Canadian Journal of Microbiology**, Ottawa, v. 1, p. 694-710, 1955.

HANNON, G. J. RNA interference. **Nature**, London, v. 418, p. 244-251, 2002.

HANNON, G. J. RNA interference (RNAi) and MicroRNAs. In: COOPER, D. (Ed.). **Nature encyclopedia of the human genome**. Chichester: John Wiley & Sons, 2003. p. 100-108.

HIBBARD, B.; CLARK, T.; ELLERSIECK, M.; MEIHLS, L.; EL KHISHEN, A.; KASTER, V.; STEINER, H.; KURTZ, R. Mortality of western corn rootworm larvae on MIR604 transgenic maize roots: field survivorship has no significant impact on survivorship of F1 progeny on MIRr604. **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v. 103, p. 2187-2196, 2010.

HU, X.; RICHTMAN, N. M.; ZHAO, J.-Z.; DUNCAN, K. E.; NIU, X.; PROCYK, L. A.; ONEAL, M. A.; KERNODLE, B. M.; STEIMEL, J. P.; CRANE, V. C.; SANDAHL, G.; RITLAND, J. L.; HOWARD, R. J.;

PRESNAIL, J. K.; LU, A. L.; WU, G. Discovery of midgut genes for the RNA interference control of corn rootworm. **Scientific Reports**, v. 6, n. 30542, p. 1-12, 2016.

HUANG, F.; QURESHI, J. A.; MEAGHER, R. L.; REISIG, D. D.; HEAD, G.P.; ANDOW, D. A.; NI, X.; KERNS, D.; BUNTIN, D. G.; NIU, Y.; YANG, F.; DANGAL, V. Cry1F resistance in Fall Armyworm *Spodoptera frugiperda*: single gene versus pyramided Bt maize. **PlosOne**, San Francisco, v. 9, n. 1, p. 1-10, 2014.

INTERNATIONAL LIFE SCIENCES INSTITUTE. **An evaluation of insect resistance management in Bt field corn**: a science-based framework for risk assessment and risk management. Washington, 1998.

IRAC INTERNATIONAL PLANT BIOTECHNOLOGY COMMITTEE. **IRAC position on seed blends for IRM**. [S.l.], 2013. Disponível em: <<http://www.irc-online.org/documents/seed-blends-for-irm/?ext=pdf>>. Acesso em: 15 maio 2018.

INTERNATIONAL SERVICE FOR THE ACQUISITION OF AGRIBIOTECH APPLICATIONS. **GM approval database**. Ithaca, 2015. Disponível em: <www.isaaa.org/gmapprovaldatabase/>. Acesso em: 10 jun. 2018.

ISHIDA, Y.; SAITO, H.; OHTA, S.; HIEI, Y.; KOMARI, T.; KUMASHIRO, T. High efficiency of transformation of maize (*Zea mays* L.) mediated by *Agrobacterium tumefaciens*. **Nature Biotechnology**, New York, v. 14, p. 745-750, 1996.

JAMES, C. **Global status of commercialized biotech/GM crops for 2014**. Ithaca: International Service for the Acquisition of Agri-Biotech Applications, 2014. (ISAAA. Brief, 49).

JAMES, C. **20th anniversary of the global commercialization of biotech crops (1996 to 2015) and biotech crop highlights in 2015**. Ithaca: International Service for the Acquisition of Agri-Biotech Applications, 2015. (ISAAA. Brief, 51).

JAMES, C. **Global status of commercialized biotech/GM crops for 2017: biotech crops adoption surges as economic benefits accumulate in 22 years**. Ithaca: International Service for the Acquisition of Agri-Biotech Applications, 2017. (ISAAA. Brief, 53).

JUNG, C.; CAPISTRANO-GOSSMANN, G.; BRAATZ, J.; SASHIDHAR, N.; MELZER, S. Recent developments in genome editing and applications in plant breeding. **Plant Breeding**, Berlin, v. 137, p. 1-9, 2017.

JOUNG, J.; SANDLER, J. TALENs: a widely applicable technology for targeted genome editing. **Nature Reviews Molecular Cell Biology**, London, v. 14, p. 49-55, 2013.

KNOWLES, B. H. Mechanism of action of *Bacillus thuringiensis* insecticidal d-endotoxins. **Advances in Insect Physiology**, San Diego, v. 24, p. 275-308, 1994.

NIU, X.; KASSA, A.; HU, X.; ROBESON, J.; McMAHON, M.; RICHTMAN, N. M.; STEIMEL J. P.; KERNODLE, B. M.; CRANE, V. C.; SANDAHL, G.; RITLAND, J. L.; PRESNAIL, J. K.; LU, A. L.; WU, G. Control of western corn rootworm (*Diabrotica virgifera*

virgifera) reproduction through plant-mediated RNA interference. **Scientific Reports**, v. 7, n. 12591, p. 1-13, 2017.

NYKANEN, A.; HALEY, B.; ZAMORE, P. D. ATP requirements and small interfering RNA structure in the RNA interference pathway. **Cell**, Cambridge, v. 107, p. 309-321, 2001.

McDOUGALL, P. **The cost and time involved in the discovery, development and authorisation of a new plant biotechnology derived trait**. 2011. Disponível em: <<http://www.croplife.org/PhillipsMcDougallStudy>>. Acesso em: 28 maio 2018.

ONSTAD, D.; MITCHELL, P.; HURLEY, T.; LUNDGREN, J.; PORTER, R.; KRUPKE, C.; SPENCER, J.; DIFONZO, C.; BAUTE, T.; HELLMICH, R.; BUSCHMAN, L.; HUTCHISON, W.; TOOKER, J. Seeds of change: corn seed mixtures for resistance management and integrated pest management. **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v. 104, p. 343-352, 2011.

OSWALD, K.; FRENCH, B.; NIELSON, C.; BAGLEY, M. Selection for Cry3Bb1 resistance in a genetically diverse population of non-diapausing western corn rootworms (Coeloptera:Chrysomelidae). **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v. 104, p. 1038-1044, 2011.

PRASIFKA, P.; RULE, D.; STORER, N.; NOLTING, S.; HENDRIX, W. Evaluation of corn hybrids expressing Cry34Ab1/Cry35Ab1 and Cry3BbL against the western corn rootworm (Coleoptera: Chrysomelidae). **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v. 106, p. 823-829, 2013.

PRIVALLE, L. S.; CHEN, J.; CLAPPER, G.; HUNST, P.; SPIEGELHALTER, F.; ZHONG, C. X. Development of an agricultural biotechnology crop product: testing from discovery to commercialization. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 60, p. 10179-10187, 2012.

ROUSH, R. Two-toxin strategies for management of insecticidal transgenic crops: can pyramiding succeed where pesticide mixtures have not? **Philosophical Transactions of the Royal Society of London B**, London, v. 353, p. 1777-1786, 1998.

RULE, D.; NOLTING, S.; PRASIFKA, P.; STORER, N.; HOPKINS, B.; SCHERDER, E.; SIEBERT, M.; HENDRIX, W. Efficacy of pyramided Bt proteins Cry1F, Cry1A.105, and cry2Ab2 expressed in Smartstax corn hybrids against lepidopteran insect pests in the northern United States. **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v. 107, p. 403-409, 2014.

SALAMITOU, S.; AGAISSE, H.; BRAVO, A.; LERECLUS, D. Genetic analysis of *cryIIIa* gene expression in *Bacillus thuringiensis*. **Microbiology**, Reading, v. 142, p. 2049-2055, 1996.

SANTOS-AMAYA, O. F.; TAVARES, C. S.; MONTEIRO, H. M.; TEIXEIRA, T. P. M.; GUEDES, R. N. C.; ALVES, A. P.; PEREIRA, E. J. G. Genetic basis of Cry1F resistance in two Brazilian populations of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*. **Crop Protection**, Surrey, v. 81, p. 154-162, 2016.

SANTOS-AMAYA, O. F.; TAVARES, C. S.; RODRIGUES, J. V. C.; SOUZA, T. C.; RODRIGUES-SILVA, N.; GUEDES, R. N. C.; ALVES, A. P.; PEREIRA, E. J. G. Magnitude and allele frequency of Cry1F resistance in field populations of the fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae)

in Brazil. **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v. 110, p. 1770-1778, 2017.

SHELTON, A. M.; ZHAO, J.-Z.; ROUSH, R.T. Economic, ecological, food safety, and social consequences of the deployment of Bt transgenic plants. **Annual Review of Entomology**, Stamford, v. 47, p. 845-881, 2002.

SANDLER, J.; JOUNG, J. CRISPR-Cas systems for editing, regulating and targeting genomes. **Nature Biotechnology**, New York, v. 32, p. 347-355, 2014.

SHUKLA, V.; DOYON, Y.; MILLER, J.; DEKELVER, R.; MOEHLE, E.; WORDEN, S.; MITCHELL, J.; ARNOLD, N.; GOPALAN, S.; MENG, X.; CHOI, V.; ROCK, J.; WU, Y.; KATIBAH, G.; ZHIFANG, G.; MCCASKILL, D.; SIMPSON, M.; BLAKESLEE, B.; GREENWALT, S.; BUTLER, H.; HINKLEY, S.; ZHANG, L.; REBAR, E.; GREGORY, P.; Urnov, F. Precise genome modification in the crop species *Zea mays* using zinc-finger nucleases. **Nature**, London, v. 459, p. 437-441, 2009.

SMITH, M.; SMITH, A. **Insect Resistance Management (IRM) compliance assurance program report for corn borer-protected Bt corn, corn rootworm-protected Bt corn and corn borer/corn rootworm-protected stacked Bt corn**. [S.I.]: Agricultural Biotechnology Stewardship Technical Committee, 2014.

STORER, N.; BABCOCK, J.; EDWARDS, J. Field measures of western corn rootworm (Coleoptera : Chrysomelidae) mortality caused by Cry34/35Ab1 proteins expressed in maize event 59122 and implications for trait durability. **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v. 99, p. 1381-1387, 2006.

STORER, N.; BABCOCK, J.; SCHLENZ, M.; MEADE, T.; THOMPSON, G.; BING, J.; HUCKABA, R. Discovery and characterization of field resistance to Bt maize: *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in Puerto Rico. **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v. 103, p. 1031-1038, 2010.

TABASHNIK, B.; CUSHING, N.; FINSON, N.; JOHNSON, M. Field development of resistance to *Bacillus thuringiensis* in diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae). **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v. 83, p. 1671-1676, 1990.

TABASHNIK, B.; GASSMANN, A.; CROWDER, D.; CARRIERE, Y. Insect resistance to Bt crops: evidence versus theory. **Nature Biotechnology**, New York, v. 26, p. 199-202, 2008.

TABASHNIK, B. E. Evolution of resistance to *Bacillus thuringiensis*. **Annual Review of Entomology**, Stamford, v. 39, p. 47-79, 1994.

TABASHNIK, B.; MOTA-SANCHEZ, D.; WHALON, M.; HOLLINGWORTH, R.; CARRIÈRE, Y. Defining terms for proactive management of resistance to Bt crops and pesticides. **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v. 107, p. 496-507, 2014.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Bt plant-pesticide resistance management**. Washington, 1998. Disponível em: <<http://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/20000TQB.PDF?Dockey=20000TQB.PDF>>. Acesso em: 23 maio 2018.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Biopesticides registration action document: *Bacillus thuringiensis* (*Bt*) plant-incorporated protectants**. Washington, 2001. Disponível

em: <https://www3.epa.gov/pesticides/chem_search/reg_actions/pip/bt_brad.htm>. Acesso em: 23 maio 2018.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Current and previously registered section 3 Plant-Incorporated Protectant (PIP) registrations.** Washington, 2015. Disponível em: <<http://www2.epa.gov/ingredients-used-pesticide-products/current-previously-registered-section-3-plant-incorporated>>. Acesso em: 22 maio 2018.

VELEZ, A.; SPENCER, T.; ALVES, A. P.; MOELLENBECK, D.; MEAGHER, R.; CHIRAKKAL, H.; SEIGFRIED, B. Inheritance of Cry1F resistance, cross-resistance and frequency of resistant alleles in *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). **Bulletin Entomology Research** v. 103, p. 700-713, 2013.

Capítulo 27

Milho e Sorgo na Era da Agricultura Funcional

Luiz Roberto Guimarães Guilherme

Guilherme Lopes

Ana Paula Branco Corguinha

Cynthia de Oliveira

Fabio Aurélio Dias Martins

Patriciani Estela Cipriano

Ana Stella Freire Gonçalves

Introdução

A expressão “Agricultura Funcional” trata de um novo conceito na produção mundial de alimentos e tem sido vista como uma nova era no desenvolvimento da agricultura, a qual irá demandar um grande esforço interdisciplinar de pesquisa, desenvolvimento e inovação (P,D&I) de diversas áreas da pesquisa mundial. Diversos fatores estão envolvidos neste conceito (**Figura 1**), os quais conectam a agricultura à sociedade (Yu;Tian, 2018).

O fornecimento de quantidades suficientes de alimentos para atender à demanda mundial da população é um desafio e, na agricultura moderna, além da quantidade, a qualidade nutricional desses alimentos deve ser levada em consideração, uma vez que o principal motivo de desordens nutricionais em humanos é o consumo de alimentos com baixo teor nutritivo, particularmente no que diz respeito a micronutrientes (Cakmak et al., 2017a). Os produtos de origem animal apresentam, via de regra, maiores teores de nutrientes cujas carências têm sido cada vez mais frequentes no mundo (por exemplo, ferro e zinco). Esses

alimentos, porém, são de alto custo, o que os torna inacessíveis para as populações carentes. Assim, a base da alimentação de boa parte da população mundial é de produtos de origem vegetal, com baixo valor nutricional e baixa biodisponibilidade (Welch; Graham, 2004).



Figura 1. Fatores envolvidos no âmbito da agricultura funcional. Adaptado de: Yu e Tian (2018).

Atualmente, cerca de 90% dos países apresentam algum tipo de má nutrição em sua população (Development Initiatives, 2017), seja ela pela fome, propriamente dita, ou pela chamada fome oculta, a qual é caracterizada pelo consumo de produtos com baixo valor nutricional, acarretando em deficiência de nutrientes. Segundo a Organização Mundial da Saúde (World Health Organization, 2016), cerca de 500 milhões de adultos estavam desnutridos, enquanto 1 bilhão de pessoas estavam com

sobrepeso ou obesas no ano de 2014. Essa desnutrição causada pela fome e/ou fome oculta - definida como a coexistência de má nutrição, excesso de peso, obesidade ou doenças relacionadas à dieta -, dentro das populações ao longo da vida, é um dos maiores problemas da humanidade nos dias de hoje e erradicá-la tornou-se um problema mundial (World Health Organization, 2016).

As deficiências nutricionais são responsáveis por distúrbios no metabolismo, os quais causam apatia, perda de peso, letargia, além de provocar suscetibilidade a doenças (FAO, 2000). Dentre as mais preocupantes, encontram-se as deficiências de ferro (Fe), zinco (Zn), iodo (I), selênio (Se) e vitamina A (Allen et al., 2006). Tais deficiências, em especial as deficiências de Zn, Fe e vitamina A, são destacadas em crianças de países em desenvolvimento (Figura 2).

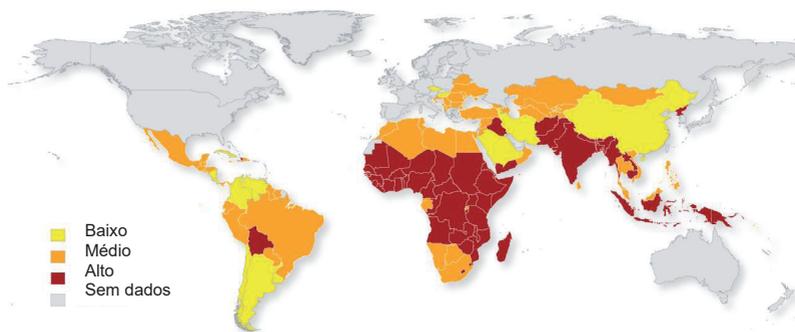


Figura 2. Mapa de severidade de deficiência dos micronutrientes mais comuns - zinco, ferro e vitamina A entre crianças menores que 5 anos. Fonte: Bouis (2016).

O ferro (Fe) é componente da hemoglobina e, por consequência da sua atuação no organismo humano, sua deficiência é responsável

por, pelo menos, 50% dos casos de anemia no mundo, sendo a maioria desses relatados em países em desenvolvimento (World Health Organization, 2014). A anemia atinge, principalmente, crianças, causando retardamento das funções mentais e motoras. Em mulheres grávidas, a anemia potencializa o risco de nascimento de bebês prematuros, tornando-os mais vulneráveis a problemas de saúde (Clark, 2008).

O zinco (Zn) faz parte de diversas proteínas, além de estar envolvido no crescimento e diferenciação celular e na síntese de DNA e RNA (Mayer et al., 2008). Cerca de um terço da população mundial é portador de deficiência de Zn, em especial as populações de países em desenvolvimento, afetando principalmente crianças menores que 5 anos e mulheres grávidas. Essa deficiência acarreta danos ao sistema imune, às funções cerebrais e ao crescimento físico, além de estar envolvida em infecções respiratórias, malária e diarreia (Cakmak et al., 2010).

O iodo (I) tem papel importante na síntese dos hormônios da tireoide e sua ingestão inadequada causa aumento anormal desta glândula, o que é conhecido como bócio. Além disso, sua deficiência é capaz de causar distúrbios no desenvolvimento físico, aborto espontâneo em mulheres grávidas e mortalidade infantil (Cakmak et al., 2017b). Segundo esses autores, problemas com deficiência de iodo atingem não somente os países em desenvolvimento, mas também os países desenvolvidos, sendo a Europa o continente com maior incidência.

O selênio (Se) participa de processos metabólicos como crescimento, fertilidade e prevenção de doenças crônicas, além de possuir atividade anti-inflamatória e antiviral (Broadley et al., 2010). Segundo White e Broadley (2005), cerca de

15% da população mundial apresenta deficiência em Se, a qual pode causar doenças como cardiopatias, infertilidade e enfraquecimento do sistema imune (Fordyce, 2007).

A vitamina A desempenha papel fundamental no sistema imunológico e na manutenção da visão e atua como barreira contra infecções, além de ser importante no crescimento e desenvolvimento ósseo. A cegueira noturna é um sintoma precoce da deficiência de vitamina A e o prolongamento dessa causa alterações no revestimento ocular, levando à cegueira irreversível (Mayer et al., 2008). Estima-se que cerca de 30% das crianças com idade menor que cinco anos são deficientes em vitamina A e que 2% das mortes dessas são atribuídas a deficiência de vitamina A (Stevens et al., 2015).

Diante desse problema nutricional, a Agenda 2030 preconiza, em um dos dezessete objetivos do desenvolvimento sustentável, o combate à fome, buscando alcançar a segurança alimentar, melhorar a nutrição e promover uma agricultura sustentável (United Nations Organization, 2015). Para isso, é necessário o uso de estratégias que permitam o fornecimento de alimentos em quantidade e com qualidade a toda população mundial.

Programas de educação alimentar, diversificação da dieta, suplementação alimentar e fortificação dos alimentos pela indústria têm sido alternativas para alimentação saudável. Contudo, boa parte da população não tem acesso a esses programas, por apresentarem alto custo ou ainda depender de mudanças nos costumes alimentares. Além disso, quando se trata de populações rurais, o alimento muitas vezes é produzido pela própria família e produtos industrializados são de acesso limitado (Wahlqvist; Wattanapenpaiboon, 2002). Ainda, vale a

pena mencionar que estudos apontam que o uso de suplementos alimentares contendo micronutrientes essenciais à população apresenta eficiência incerta em razão das formas químicas em que esses micronutrientes estão presentes nos suplementos, as quais podem fazer com que a biodisponibilidade desses elementos essenciais seja baixa para o organismo humano (Lopes et al., 2017). É nesse contexto que a biofortificação de alimentos vem como uma estratégia promissora, sendo um fator primordial para o sucesso dessa nova era da agricultura: a *agricultura funcional*. Essa estratégia consiste no enriquecimento nutricional das partes comestíveis das culturas agrícolas através do uso de práticas agronômicas e genéticas. O melhoramento genético convencional e aplicação de biotecnologia, como a transgenia, caracterizam a chamada biofortificação genética, enquanto que o uso de técnicas agrícolas, como aplicação de fertilizantes via foliar ou no solo, caracteriza a biofortificação agronômica (White; Broadley, 2005). As plantas apresentam grande variação genética na habilidade de absorver e acumular nutrientes (Hirschi, 2009) e essas características podem ser usadas para aumentar os teores dos nutrientes em partes comestíveis (White; Broadley, 2005). Entretanto, é necessário manter quantidades suficientes de nutrientes disponíveis no solo, a fim de melhorar o *status* nutricional na planta, especialmente das partes comestíveis. Em virtude disso, a biofortificação agronômica, através das práticas agrícolas, como fertilização e rotação de culturas, é uma importante ferramenta para aumentar o teor dos nutrientes nas plantas (Zhao; Shewry, 2011). Além disso, essa estratégia é vantajosa pelo fato de não exigir mudanças de comportamento dos consumidores e não alterar aparência, gosto, textura ou forma de preparo do alimento.

Relevância de milho e sorgo na alimentação humana e animal

Milho

O milho é produzido em quase todos os continentes. Sua importância econômica advém de suas diversas possibilidades de utilização, desde a alimentação animal até a indústria de alta tecnologia, como a produção de filmes e embalagens biodegradáveis. O milho é um alimento energético para as dietas humana e animal, em razão da predominância de carboidratos e lipídeos. Entretanto, a proteína presente nesse cereal possui qualidade inferior à de outras fontes vegetais e animais (Paes, 2006).

Diferentes tipos de milho são cultivados em todo o mundo, sendo a cor dos grãos a diferença mais importante entre eles. Grande quantidade do milho cultivado nos Estados Unidos é amarelo, enquanto populações da África, América Central e do sul dos Estados Unidos preferem o milho branco. Na indústria de rações animais, a predominância é do milho de cor amarela (National Chamber of Milling, 2008).

Na África, o milho amarelo não é preferido pela população, uma vez que ele é associado a programas de ajuda alimentar e seu consumo é voltado para reduzir a fome em populações carentes. Além da preferência pelo milho branco por parte dos africanos, o consumo dele faz parte da tradição desta população. Isso acarreta em menor consumo de β -caroteno e β -criptoxantina, carotenoides precursores da vitamina A, presentes em maiores concentrações nos milhos amarelo e laranja (Doebley, 2004).

Dentre os tipos de milho cultivados, o mais popular é milho geneticamente modificado (GM), para o qual ainda não houve comprovação de variações nutricionais em relação ao convencional, não afetando a tecnologia ou política de consumo (Nestel et al., 2006; Bouis; Welch, 2010). Nos Estados Unidos, cerca de 85% da safra é transgênica. Inicialmente, os países europeus e africanos proibiram o plantio deste tipo de milho, mas os benefícios trazidos por ele têm promovido o aumento do seu cultivo. Desde 2011, o milho GM já é cultivado em 14 países (James, 2011) e em 2012, 26 variedades de milho GM foram autorizadas para importação pela União Europeia, totalizando uma importação de 30 milhões de toneladas (GMO Compass, 2014). Ainda Segundo a GMO Compass (2014), o milho MON810 foi amplamente cultivado em países europeus (~90.000 hectares), especialmente em regiões com altos níveis de infestação da broca do milho. A produção de milho vem aumentando nos últimos anos, sendo que os Estados Unidos, a China e o Brasil são os maiores produtores. A **Tabela 1** apresenta os volumes de milho produzidos, em milhões de toneladas, por diferentes países nos anos de 2012 e da recente safra de 2017/2018, para comparação (FAO, 2012; Statista, 2018).

Tabela 1. Produção de milho, em milhões de toneladas, registradas por diferentes países nos anos de 2012 e 2017/2018.

País	Produção de milho em 2012 (Adaptado de Ranum et al., 2014)	Produção de milho em 2017/2018 (Statista, 2018)
Estados Unidos	274	370
China	208	215
Brasil	71	94
México	22	26
Argentina	21	36
Índia	21	27
Ucrânia	21	24
Indonésia	19	11
França	16	-
Canadá	12	14
África do Sul	12	13

Aproximadamente 70% da produção mundial de milho é destinada à alimentação animal, chegando este percentual a atingir até 85% em países desenvolvidos. Neste sentido, apenas 15% da produção mundial de milho é destinada ao consumo humano, de forma direta (Paes, 2006). Contudo, vale ressaltar que mesmo que a maior parte do milho seja usada para alimentação animal, os nutrientes contidos no cereal irão atingir os humanos de forma indireta, pela cadeia trófica. De acordo com dados da USDA, o milho tem sido usado nos últimos 30 anos nos Estados Unidos para alimentação animal, seguido pelo consumo humano e produção de álcool (**Tabela 2**). Entretanto, a partir de 2010, houve um aumento significativo no consumo de milho para produção de combustíveis. As estimativas indicam que 40% da produção

de milho tem sido usada, nos últimos anos, para produzir etanol (Ranum et al., 2014).

Tabela 2. Uso doméstico de milho nos Estados Unidos, de 1980 a 2013, em bilhões de bushels*. Fonte: Ranum et al. (2014).

Uso do milho	1980	1990	2000	2010	2013
Ração animal e resíduos	4,16	4,75	5,73	4,79	5,00
Alimentos, sementes e industrial	0,81	1,08	1,15	1,25	1,46
Produção de etanol	0,02	0,42	0,83	5,00	5,00
Total	4,99	6,25	7,71	11,04	11,46

* 1 bushel de milho = 25,4 kg.

O álcool produzido a partir do milho é destinado à produção de xarope e bebidas alcoólicas e os resíduos gerados a partir da sua moagem, os chamados grãos secos destilados, são destinados à produção de ração animal (Ranum et al., 2014).

Para alimentação humana, os principais produtos obtidos do milho são farinha, farinha pré-cozida, massa seca ou farinha de milho e cereais matinais. Além disso, há misturas com outros ingredientes, como a mistura de milho e soja, usada para alimentação de lactantes (Dale; Niernberger, 1982). Estima-se que o consumo de milho pela população em países onde este é considerado uma fonte importante de alimento é acima de 50 g/pessoa/dia. Na região africana, esse consumo varia de 52 a

328 g/pessoa/dia, enquanto este consumo na região do Pacífico Ocidental é de valores inferiores a 50 g (Ranum et al., 2014).

Sorgo

O sorgo (*Sorghum bicolor* L.) é o quinto cereal mais importante do mundo, sendo superado apenas por trigo, arroz, milho e cevada, em área plantada e volume de produção. É cultivado em áreas com condições ambientais muito secas e/ou muito quentes, onde a produção de outros cereais é antieconômica (Awika; Rooney, 2004). Foi domesticado, tanto para consumo humano quanto animal, na África, entre 3.000 e 5.000 anos atrás e, posteriormente, difundido para a Índia e a China. Mais de 35% do sorgo é cultivado diretamente para consumo humano e o restante é usado, principalmente, na alimentação animal (Awika; Rooney, 2004). Seu valor nutricional varia muito entre as cultivares, sendo, porém, semelhante ao do milho. O amido é o principal componente do grão e encontra-se no endosperma, seguido pelas proteínas, as quais concentram-se, principalmente, no gérmen e no endosperma (Queiroz et al., 2011).

A cultura do sorgo é muito eficiente no uso da água e de nutrientes do solo e, portanto, apresenta menor custo de produção quando comparado ao milho, sendo comercializado também por um valor mais baixo no mercado (Fialho et al., 2002; Lopes, 2004). Esse fato coloca o sorgo em uma posição de destaque entre outros cereais, vislumbrando a possibilidade de redução dos custos com matéria-prima na indústria alimentícia de biscoito e massas (Queiroz et al., 2012).

Por suas peculiaridades no sistema de produção, há estimativas de que o sorgo tem servido como alimento básico de mais de

500 milhões de pessoas que vivem essencialmente em países em desenvolvimento, principalmente na África e na Ásia (Mutisya et al., 2009), chegando a suprir 70% da ingestão calórica diária (Dicko et al., 2006; Mutisya et al., 2009; Awika; Rooney, 2004). Na Ásia, os principais países consumidores de sorgo são a China e a Índia, que respondem por praticamente 90% do total (FAO, 1995).

O sorgo produzido no Brasil é destinado, principalmente, ao consumo animal, sendo pequeno o uso para consumo humano (Duarte, 2003). Assim, sua produção visa basicamente suprir as demandas das indústrias de rações (Dykes et al., 2005).

Nas décadas de 80 e 90, estudos no Brasil mostraram que diversos tipos de farinhas mistas, incluindo “sorgo+trigo”, poderiam ser utilizadas na panificação, com pouca alteração na qualidade do produto. Na ocasião, a Embrapa Milho e Sorgo, em parceria com a Embrapa Agroindústria de Alimentos, chegou a desenvolver uma linha de pesquisa com o objetivo de identificar e avaliar genótipos de sorgo que pudessem atender a esse mercado (Queiroz et al., 2009).

O interesse no uso do sorgo como alimento humano tem crescido, uma vez que ele é considerado um potencial substituto do trigo na produção de alimentos para celíacos, por não conter glúten (Dicko et al., 2005; Rooney, 2007). Pesquisas demonstram que o sorgo integral é, além de fonte de carboidratos, fonte de fibras e dos chamados compostos bioativos (ácidos fenólicos e antocianinas), amido resistente e minerais (Awika; Rooney, 2004; Kamatha et al., 2004; Dicko et al., 2006).

Biofortificação da cultura agrícola do milho

No cenário contemporâneo, está bem estabelecido que a biofortificação é uma estratégia agrícola promissora e econômica para melhorar o estado nutricional de populações desnutridas em todo o mundo. A obtenção de cultivares de milho biofortificados se dá por meio do manejo agrônomico, melhoramento convencional e engenharia genética, sendo o melhoramento convencional o mais utilizado, por causa do baixo custo e rapidez na obtenção de resultados favoráveis.

Base alimentar em muitos países, o milho é uma das culturas alvo dos programas de biofortificação em virtude da sua essencialidade na produção de centenas de produtos que são consumidos em todo o mundo, sobretudo por grupos vulneráveis às deficiências de micronutrientes e com limitações de acesso a dietas, suplementos e alimentos comercialmente fortificados (Saltzman et al., 2013). Dessa forma, há vários programas de biofortificação da cultura agrícola do milho em todo o mundo, dentre os quais muitos já lançaram as cultivares biofortificadas para que os seus grãos cheguem à população, e outros nos quais as pesquisas ainda estão sendo realizadas, como demonstrado na **Tabela 3**.

Tabela 3. Programas de biofortificação da cultura agrícola do milho com provitamina A, ferro, zinco, iodo e selênio

Alvo do Programa	Fase em que se encontra	Grupo de pesquisa responsável	Local	Referência	Tipo de Biofortificação
Provitamina A-carotenoides precursores de vitamina A ($15 \mu\text{g g}^{-1}$)	Acessível à população	HarvestPlus (coordenado pelo Instituto Internacional de Pesquisa em Políticas Alimentares – IFPRI e pelo Centro Internacional de Agricultura Tropical- CIAT)	África (Zâmbia e Nigéria)	Bouis e Saltzman (2017); Gannon et al. (2014); Saltzman et al. (2013).	Genética
Provitamina A-carotenoides precursores de vitamina A ($15 \mu\text{g g}^{-1}$)	Acessível à população	International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT), como parte do projeto de biofortificação do milho do HarvestPlus		Rios (2018); Nutti e Carvalho (2016); Vergútz et al. (2016); Nutti e Carvalho (2015); Nutti (2015); Guimarães et al. (2015); Perera et al. (2015); (BRS 4104...., 2013); Nutti et al. (2007).	Genética
Provitamina A-carotenoides precursores de vitamina A ($15 \mu\text{g g}^{-1}$)	Acessível à população (até $9 \mu\text{g g}^{-1}$ grãos de milho em base seca, em relação a $4,5 \mu\text{g g}^{-1}$ por grama de milho em base seca das cultivares convencionais).	Harvest Plus (Coordenado pelo Centro Internacional de Agricultura Tropical- CIAT e Embrapa) Rede BioFORT (Embrapa)	Brasil Rio Grande do Sul, São Paulo, Maranhão, Piauí e Sergipe,		
	Pesquisa	Líderes do grupo: Paulo Evaristo Oliveira Guimarães e Maria Cristina Dias Paes (Embrapa Milho e Sorgo)			

Tabela 3 cont. Programas de biofortificação da cultura agrícola do milho com provitamina A, ferro, zinco, iodo e selênio

Alvo do Programa	Fase em que se encontra	Grupo de pesquisa responsável	Local	Referência	Tipo de Biofortificação
Provitamina A	Pesquisa	Instituto de Investigação Agronômica (IIA)	Angola, África	Mejia et al. (2017); Bansode e Kumar (2015); HarvestPlus (2014); Bouis et al. (2013).	Genética
Provitamina A	Pesquisa	National Institute for Agriculture Research (INRAB)	Benin, África	Mejia et al. (2017); Bansode e Kumar (2015); HarvestPlus (2014); Bouis et al. (2013).	Genética
Provitamina A	Acessível à população	Council for Scientific & Industrial Research (CSIR)	Gana, África	Mejia et al. (2017); Bansode e Kumar (2015); HarvestPlus (2014); Bouis et al. (2013).	Genética
Provitamina A	Acessível à população	National Cereals Research Institute (NCRI), International Institute of Tropical Agriculture (IITA)	Nigéria, África	Mejia et al. (2017); Bansode e Kumar (2015); HarvestPlus (2014); Bouis et al. (2013).	Genética
Provitamina A	Pesquisa	Rwanda Agricultural Board (RAB)	Ruanda, África	Mejia et al. (2017); Bansode e Kumar (2015); HarvestPlus (2014); Bouis et al. (2013).	Genética
Provitamina A	Pesquisa	National Agricultural Research Organization (NARO)	Uganda, África	Mejia et al. (2017); Bansode e Kumar (2015); HarvestPlus (2014); Bouis et al. (2013).	Genética

Tabela 3 cont. Programas de biofortificação da cultura agrícola do milho com provitamina A, ferro, zinco, iodo e selênio

Alvo do Programa	Fase em que se encontra	Grupo de pesquisa responsável	Local	Referência	Tipo de Biofortificação
β-caroteno e outros carotenoides, incluindo misturas complexas de hydroxycarotenoides e cetocarotenoides	Pesquisa	Universidade de Lleida, Espanha e Instituto Catalão de Pesquisa e Estudos Avançados, Barcelona, Espanha – Líderes do Grupo: Changfu Zhu e Teresa Capell.	Lleida, Espanha, Europa	Zhu et al. 2008.	Genética
Zinco	Pesquisa	International Center Tropical Agriculture (CIAT), Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA).	Colômbia, América Latina	Mejia et al. (2017); Bansode e Kumar (2015); HarvestPlus (2014); Bouis et al. (2013).	Genética e Agronômica
Zinco	Pesquisa	Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal (CENTA)	El Salvador, América Latina	Mejia et al. (2017); Bansode e Kumar (2015); HarvestPlus (2014); Bouis et al. (2013).	Genética e Agronômica
Zinco	Pesquisa	Agricultural Science & Tech Institute (ICTA)	Guatemala, América Latina	Mejia et al. (2017); Bansode e Kumar (2015); HarvestPlus (2014); Bouis et al. (2013).	Genética e Agronômica
Zinco	Pesquisa	Catholic Relief Services (CRS), Agricultural Branch	Haiti, América Latina	Mejia et al. (2017); Bansode e Kumar (2015); HarvestPlus (2014); Bouis et al. (2013).	Genética e Agronômica
Zinco	Pesquisa	International Center Tropical Agriculture (CIAT), Zamorani Agricultural School, Dirección de Ciencia & Tecnología Agropecuaria (DICTA)	Honduras, América Latina	Mejia et al. (2017); Bansode e Kumar (2015); HarvestPlus (2014); Bouis et al. (2013).	Genética e Agronômica

Tabela 3 cont. Programas de biofortificação da cultura agrícola do milho com provitamina A, ferro, zinco, iodo e selênio

Alvo do Programa	Fase em que se encontra	Grupo de pesquisa responsável	Local	Referência	Tipo de Biofortificação
Zinco	Pesquisa	Internacional Maize & Wheat Improvement Center (CIMMYT)	México, América Latina	Mejia et al. (2017); Bansode e Kumar (2015); HarvestPlus (2014); Bouis et al. (2013).	Genética e Agronômica
Zinco	Pesquisa	Nicaragua Institute Agricultural Technology (INTA)	Nicarágua, América Latina	Mejia et al. (2017); Bansode e Kumar (2015); HarvestPlus (2014); Bouis et al. (2013).	Genética e Agronômica
Zinco	Pesquisa	Agricultural Research Institute of Panama (IDIAP)	Panamá, América Latina	Mejia et al. (2017); Bansode e Kumar (2015); HarvestPlus (2014); Bouis et al. (2013).	Genética e Agronômica
Zinco	Pesquisa	National Institute for Agricultural Research (INERA)	República Democrática do Congo, África	Mejia et al. (2017); Bansode e Kumar (2015); HarvestPlus (2014); Bouis et al. (2013).	Genética e Agronômica
Ferro, zinco*, selênio e iodo	Pesquisa	Universidade Federal de Lavras (UFLA), Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia Segurança de Solo e de Alimento – Líder do Grupo: Luiz Roberto Guimarães Guilherme *Parceria com o HarvestZinc – Líder Geral: Ismail Cakmak; Líder no Brasil: Luiz Roberto Guimarães Guilherme	Minas Gerais, Brasil, América Latina	Vergütz et al. (2016); Cakmak et al., 2017a, 2017b	Agronômica

Tabela 3 cont. Programas de biofortificação da cultura agrícola do milho com provitamina A, ferro, zinco, iodo e selênio

Alvo do Programa	Fase em que se encontra	Grupo de pesquisa responsável	Local	Referência	Tipo de Biofortificação
Selênio	Pesquisa	Universidade Federal do Mato Grosso (UFMT) – Líder do Grupo: Milton Ferreira de Moraes	Mato Grosso, Brasil, América Latina	Vergütz et al. (2016)	Agronômica
Iodo	Pesquisa	Faculty of Engineering and Natural Sciences, Sabanci University, Istanbul, Turquia Harvest Zinc – Líder Geral: Ismail Cakmak	Turquia, Eurásia (Europa, Ásia)	Cakmak et al. (2017b)	Agronômica

* ppm = mg kg⁻¹ ou µg kg⁻¹

Os programas de biofortificação de milho têm maior enfoque nas variedades com altos níveis de provitamina A (**Tabela 4**), visto a ampla variação genética já identificada para tal característica (Cardoso et al., 2009). Variedades ricas em ferro (Fe) e zinco (Zn) são “prioridade secundária” até que uma maior variação genética seja identificada para a condução dos estudos específicos com estes nutrientes. Contudo, ressalta-se que a biofortificação agrônômica deve ser adotada em sintonia com a biofortificação genética, pois, se os teores dos nutrientes nos solos são baixos, fica difícil avaliar apenas a capacidade de cada genótipo em acumular mais um nutriente de interesse sem aplicá-lo via solo ou foliar. Assim, quando aliada ao melhoramento genético, a aplicação de fertilizantes (manejo agrônômico) é uma estratégia que pode ser utilizada para gerar culturas com teores adequados de Fe, Zn e Se.

Os trabalhos com biofortificação na cultura do milho iniciaram-se na Etiópia, um dos países africanos com os maiores registros de desnutrição. No Brasil, esses estudos tiveram início em 2006, como parte do programa HarvestPlus e, posteriormente, Rede BioFort, coordenados pela Embrapa. Em 2013, a cultivar de milho amarelo BRS 4104, com quatro vezes mais provitamina A, foi disponibilizada comercialmente pela Embrapa Milho e Sorgo, fato de grande relevância, dado que a vitamina A é responsável nos humanos pela manutenção de uma boa visão, pele saudável e bom funcionamento dos sistemas imunológico e reprodutor (BRS 4104..., 2013). O milho BRS 4104 apresenta concentração de carotenoides precursores da vitamina A entre 6 e 8 microgramas por grama de grãos, enquanto o milho comum possui entre 2,5 e 4 microgramas (BioFort, 2018).

Tabela 4. Teor de vitamina A em grãos de diferentes genótipos de milho.

Genótipos	Teor de vitamina A*
CMS	13,1
WP2 amarelo	13,7
CMS 102	13,7
BRS Caatingueiro	15,2
BR São Francisco	15,4
541093-1	57,8
541332	58,0
BRS 1001	59,6
BR 400 Superdoce	62,8
540727-1	65,2

*valores calculados em atividade equivalente de retinol (RAE) por 100 g de milho. 1 RAE = 12 µg de betacaroteno e 24 µg de carotenoides provitamínicos. Fonte: Adaptado de Cardoso et al. (2009).

Um estudo de eficácia com milho biofortificado rico em provitamina A (milho alaranjado), conduzido na Zâmbia, com crianças de 5 a 7 anos de idade, mostrou que, após três meses de consumo dele, os estoques totais da vitamina A aumentaram significativamente nas crianças que consumiram o milho, quando comparadas com o grupo controle, aumentando as reservas totais da vitamina no organismo de forma tão eficaz quanto à suplementação (Gannon et al., 2014). A inclusão de sementes de milho alaranjado no Programa de Apoio de Insumos para Agricultores do governo da Zâmbia facilitou o seu acesso por famílias vulneráveis. O programa fornece no mínimo 50% de subsídio para sementes de milho e fertilizantes a agricultores de baixa renda, além de estimular o cultivo do cereal biofortificado, com a criação de mercados para a produção excedente (Bouis; Saltzman, 2017).

Contudo, estudos realizados no Quênia reportaram que a maioria dos consumidores preferem adquirir o milho branco ao milho alaranjado e que apenas comprariam o último, caso o preço estivesse abaixo do convencional (De Groote, 2011), o que não deve diferir muito no restante do mundo.

Outro produto biofortificado já presente no mercado é o milho com proteína de qualidade (“quality protein maize” - QPM), que contém aminoácidos essenciais (lisina e triptofano) por causa da incorporação do gene mutante opaco-2 (o_2). As linhagens convertidas a QPM possuem teores de lisina e triptofano até 50% mais elevados do que as cultivares convencionais (Saldivar; Rooney, 1994). Em estudo realizado com milho QPM em crianças que apresentavam desnutrição, observou-se que, quando comparada ao milho comum, a ingestão do milho QPM proporcionou aumentos de 9% na altura e 12% a mais de peso (Gunaratna et al., 2010).

Na ausência de variação genética para a composição de nutrientes nas plantas, a engenharia genética é uma estratégia utilizada para a biofortificação. Hoje, seus principais alvos são os incrementos de: 1) antocianinas, que estão presentes na camada de aleurona e na maioria dos casos são desprezadas durante o processamento do cereal; 2) licopeno, que por ser solúvel em gordura é mal absorvido pelo organismo; 3) vitamina E, que além de beneficiar a saúde humana, pode garantir uma vida útil mais longa aos alimentos (proteção contra estresse oxidativo) e maior produtividade; 4) vitamina B; 5) ácidos graxos essenciais; 6) Fe, 7) Zn; e, 8) Ca.

No que diz respeito ao incremento de minerais, a biofortificação vem trabalhando na expressão de proteínas recombinantes,

que permitem o armazenamento de minerais de uma forma mais biodisponível, como por exemplo, a expressão de ferritina (proteína que armazena Fe), que permite um aumento de três vezes mais Fe em sementes de milho (Diola et al., 2011).

Em razão das colheitas sucessivas e intensas, os micronutrientes vêm sendo progressivamente retirados do solo em quantidades elevadas, sendo estas taxas de extração, em certos casos, superiores às de sua reposição ao solo. Solos deficientes apresentam uma produtividade limitada e baixa qualidade nutricional dos alimentos, com reflexos diretos na nutrição e na saúde humana (Hurst et al., 2013). Atualmente, em um cenário onde mais de dois bilhões de pessoas no mundo sofrem de deficiências nutricionais, sobretudo em países de baixa e média renda, como na África, a utilização da biofortificação agrônômica se torna uma prática viável e sustentável. Na África Subsaariana, 75% das terras aráveis apresentam problemas de fertilidade do solo (Toenniessen et al., 2008), afetados por deficiências de N, P, K, S, Ca, Mg, Zn, Fe, Cu, Mn, Mo e B (Vanlauwe et al., 2015).

Até o momento, a biofortificação agrônômica para a cultura do milho tem sido mais efetiva com Zn e Se (Cakmak, 2014). Na Finlândia, a adição de Se aos fertilizantes NPK (15 mg Se kg⁻¹) aumentou em 15 vezes o conteúdo de Se do produto cerealífero, o que garantiu um maior consumo de Se pela população (Alfthan et al., 2015). Outros autores, com estudos conduzidos no Malawi, observaram relações lineares entre a adubação com Se e as suas concentrações nos grãos de milho, mostrando que a aplicação de aproximadamente 5 g Se ha⁻¹ poderia aumentar a ingestão dietética média em 0,04 mg Se/dia, considerando uma dieta à base de milho. Embora o Se não seja um nutriente essencial para

o crescimento das plantas, ele contribui para a dieta e o correto funcionamento do metabolismo humano (Chilimba et al., 2012).

Com relação ao Zn, além do aumento da produtividade, a utilização de fertilizantes enriquecidos com o nutriente resulta em melhor desempenho e crescimento das mudas provenientes de sementes tratadas, além de apresentar resiliência ao estresse ambiental, produzindo impactos positivos na produtividade da próxima safra.

Contudo, a eficácia de aplicação de fertilizantes minerais visando incrementar o teor nutricional do milho é influenciada não apenas pelo tipo de fertilizante, mas também pelo método de aplicação. Aliado a isso, boas condições do solo (químicas – destaque para N e P, físicas e biológicas) que aumentem a disponibilidade de micronutrientes são essenciais para que as plantas expressem o seu máximo potencial.

Quando a adubação com micronutrientes é realizada via foliar, geralmente há uma maior absorção de nutrientes e alocação para as partes comestíveis, posto que a imobilização no solo é evitada (Lawson et al., 2015). Entretanto, a combinação via solo e foliar é frequentemente o método mais eficaz (Phattarakul et al., 2012; Cakmak, 2010) (**Figura 3**). Tal afirmação é corroborada pelos resultados encontrados por Gonçalves (2017), que utilizando a adubação foliar com sulfato de Zn (2 kg ha^{-1}) no estágio V5, aliado a um solo com altos teores do micronutriente, observou uma maior translocação dele para os grãos, atingindo 17% a mais de concentração de Zn no grão ($27,6 \text{ mg kg}^{-1}$), quando comparado ao tratamento controle.

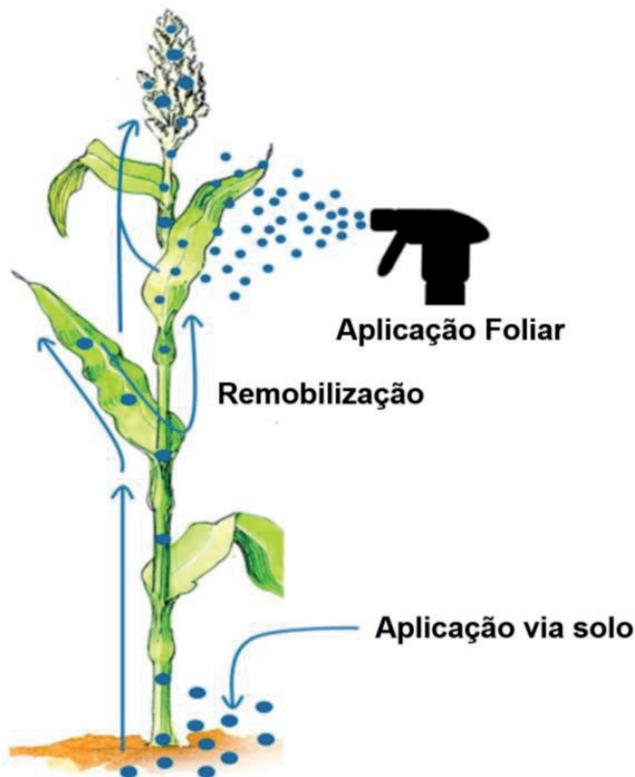


Figura 3. Biofortificação agrônômica via solo e foliar. Fonte: Adaptado de Valença et al. (2017).

Também, experimentos conduzidos em dez países da África, utilizando fertilizantes enriquecidos com Zn, constataram que a aplicação de Zn nos solos aumentou a sua concentração em grãos de milho em 23% e que, quando aplicado via foliar, os acréscimos chegaram a 30%. A partir desses resultados, foi possível aumentar em 5% a quantidade de Zn absorvível na dieta pelos humanos, reduzindo em 15% os chamados DALYs (anos de vida perdidos), em razão da deficiência de Zn (Joy et al., 2015).

Visando otimizar as condições do solo, sobretudo em regiões com acesso limitado a fertilizantes enriquecidos com micronutrientes, o chamado Manejo Integrado da Fertilidade do Solo é uma técnica viável, aliando o uso de fertilizantes minerais, insumos orgânicos e germoplasma melhorado (Vanlauwe et al., 2010). Tal manejo visa contribuir para aumentar a disponibilidade e o conteúdo de micronutrientes do solo, favorecendo a estratégia de biofortificação.

Segundo relatos de Manzeke et al. (2014), as aplicações conjuntas de esterco bovino e serapilheira, com fertilizante enriquecido com Zn, resultaram em maiores produtividades de grãos de milho, bem como maior concentração de Zn no grão. A aplicação continuada de matéria orgânica no solo, além de aumentar o conteúdo total de Zn nele, aumenta a proporção de Zn lábil - forma prontamente disponível para a absorção pelas plantas (Santos et al., 2010; Manzeke et al., 2014), aliviando a escassez de micronutrientes.

Vale ressaltar que, embora a biofortificação de plantas seja alcançada com sucesso, a biodisponibilidade dos micronutrientes no intestino humano muitas vezes é dificultada por componentes antinutrientes, como fitato, taninos, oxalato, fibras e hemaglutininas (Welch; Graham, 2004; Holme et al., 2012). Pensando nisso, em 2009 foi lançada na China, pela Origin Agritech, a variedade biofortificada BVLA430101, rica em fitase, que consegue promover a degradação do ácido fítico. A fitase é utilizada como um aditivo na alimentação animal para degradar o ácido fítico e, conseqüentemente, aumentar a absorção de fósforo (P) em animais (Odarda, 2010).

Atualmente, embora a fortificação e a suplementação alimentar sejam as estratégias mais utilizadas para aliviar as deficiências de Zn, Se e provitamina A entre os seres humanos, a biofortificação da cultura do milho é considerada uma solução eficaz e de curto prazo para aumentar a disponibilidade desses nutrientes, maximizando a sua ingestão regular diária, sobretudo em famílias de baixa renda e para populações subnutridas. Além disso, a adoção da estratégia permite o compartilhamento internacional do germoplasma a custos recorrentes baixos; e, uma vez implantado, o sistema de cultivo biofortificado é altamente sustentável. As variedades melhoradas nutricionalmente continuarão a ser cultivadas e consumidas ano após ano, mesmo sem apoios governamentais (Graham; Welch, 1996; Graham et al., 2001).

Contudo, para que haja uma aceitação e adoção dessas cultivares, é necessário que elas atendam alguns critérios, além de serem altamente nutritivas, como: segurança alimentar, rendimento, eficiência da produção e valor econômico agregado. É preciso ainda uma conscientização maior sobre os benefícios das culturas biofortificadas. O milho alaranjado, por exemplo, está disponível em países da África, contudo há uma maior preferência cultural por milho branco para consumo humano. A informação ao consumidor de que novas variedades nutricionalmente melhoradas estão disponíveis é importante para evitar percepções errôneas de que seus alimentos foram alterados impropriamente.

Recentemente, a nova linha de biotecnologia baseada no princípio da edição do genoma - CRISPR (repetições palindrômicas curtas e em intervalos regulares) - tem vindo à tona (Gaj et al., 2013; Jankele; Svoboda, 2014), e os indícios apontam para uma

revolução da maneira como pensamos em melhorar as culturas alimentares visando melhorar o estado nutricional global.

De uma forma geral, podemos dizer que sem fundos suficientes para acelerar a multiplicação de sementes e outros custos de arranque, os países em desenvolvimento ficam limitados à expansão dos acessos de forma eficiente para atender à demanda. Portanto, uma maneira mais efetiva de viabilizar esse processo seria se parceiros privados e não governamentais introduzissem as variedades nutritivas em suas operações, atingindo um público maior. Nove bilhões de pessoas em 2050 significam dois bilhões de pessoas a mais, não apenas para alimentar, e sim para nutrir (Sprenger, 2015).

Biofortificação da cultura agrícola do sorgo

O sorgo é o quinto cereal mais consumido no mundo, sendo utilizado principalmente na fabricação de rações, embora atenção mais recente tem sido dada ao seu potencial como alimento em razão dos aspectos nutricionais (livre de glúten, alto teor de bioativos) e qualidades agronômicas (tolerante ao calor e à seca) (Yousif et al., 2012). Como um grão integral, esse cereal tem o nível mais alto de antioxidantes quando comparado com outros cereais como arroz, milho e trigo (Ragaei et al., 2006). Após o milheto, o sorgo é a segunda fonte mais barata de energia e micronutrientes, sendo que uma vasta maioria da população na África e na Índia Central depende do sorgo para suas necessidades energéticas e de micronutrientes (Parthasarathy Rao et al., 2006).

Vale ressaltar que os alimentos de origem vegetal são a parte mais importante da dieta na maioria dos países em desenvolvimento (Tucker, 2003). Em muitos desses países - que representam

mais da metade da população mundial -, a desnutrição com micronutrientes, causada principalmente pela ingestão de alimentos deficientes em vitaminas e minerais biodisponíveis, pode causar cegueira e anemia (mesmo a morte), especialmente entre mulheres em idade reprodutiva, mulheres grávidas e lactantes e crianças (Welch; Graham, 2004).

Neste contexto, a biofortificação, quando possível, tem sido vista como a solução mais econômica e sustentável para combater as deficiências de micronutrientes, particularmente nos países em desenvolvimento de regiões áridas tropicais e subtropicais. A ingestão de micronutrientes via alimentos biofortificados é de forma contínua, sem custo adicional para o consumidor (Ashok Kumar et al., 2013) e, por isso, uma estratégia econômica e sustentável. Interesse generalizado está sendo mostrado na biofortificação de sorgo pelo aumento de micronutrientes minerais (especialmente Fe e Zn) em grãos (Ashok Kumar et al., 2009). Os programas de biofortificação de sorgo e seus objetivos estão destacados na Tabela 5.

Além dos alvos de pesquisa relatados na **Tabela 5**, duas abordagens diferentes para a biofortificação proteica do sorgo têm sido utilizadas, mutação induzida quimicamente e engenharia genética (Taylor; Taylor, 2011). Na década de 1970, o sorgo com alto teor de lisina foi obtido por mutagênese química de uma linhagem normal, sem tanino, P721N (Guiragossian et al., 1978).

Conforme demonstrado na **Tabela 5**, embora existam vários projetos de biofortificação de sorgo em andamento em todo o mundo, o Instituto Internacional de Pesquisas de Culturas para os Trópicos Semi-Áridos (ICRISAT) possui destaque nesse cenário, liderando projetos para aumentar os níveis de ferro e

zinco em sorgo através de melhoramento convencional (Rai et al., 2012; Ashok Kumar et al., 2013). Outro projeto de destaque nesse âmbito é o Africa Biofortified Sorghum, liderado pela Africa Harvest Foundation, no Quênia, o qual utiliza abordagens de engenharia genética para aumentar substancialmente o conteúdo de provitamina A, melhorando o conteúdo proteico de lisina e digestibilidade proteica, além de melhorar a biodisponibilidade mineral, reduzindo os níveis de fitato em sorgo (Taylor et al., 2014).

Tabela 5. Programas de biofortificação da cultura agrícola do sorgo com provitamina A, ferro, zinco e selênio

Alvo do Programa	Fase em que se Encontra	Grupo de Pesquisa Responsável	Local	Referência	Tipo de Biofortificação
Ferro (10 – 65 ppm*) e zinco (10 – 45 ppm*)	Pesquisa	Indian Council of Medical Research (ICMR), State Agricultural Universities (SAU)	Índia, Ásia	Neeraja et al. (2017)	Genética e Agronômica
Ferro (12 – 68 ppm*) e zinco (11 – 44 ppm*)	Pesquisa	ICAR-Indian Institute of Millets Research (IIMR)	Índia, Ásia	Hariprasanna et al. (2014); Neeraja et al. (2017); Mishra, et al. (2015).	Genética e Agronômica
Ferro (20 – 70 ppm*) e zinco (13 – 47 ppm*)	Pesquisa	International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics (ICRISAT)	Índia, Ásia	Bouis e Saltzman (2017); Neeraja et al. (2017).	Genética
Ferro e zinco	Pesquisa	HarvestPlus e International Center for Tropical Agriculture (CIAT)	Colômbia, América Latina	(Ashok Kumar et al. (2013); Bouis e Saltzman (2017).	Genética
Ferro	Pesquisa	National Cereals Research Institute (NCRI), International Institute of Tropical Agriculture (IITA)	Nigéria, África	Mejia et al. (2017); Bansode e Kumar (2015); HarvestPlus (2014); Bouis et al. (2013).	Genética
Ferro (129 ppm*)	Acessível à população	International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics (ICRISAT)	Nigéria, África	Neeraja et al. (2017).	Genética
Zinco	Pesquisa	Universidade Federal de Viçosa (UFV) e Embrapa Milho e Sorgo	Minas Gerais, Brasil, América Latina	Almeida Filho et al. (2016).	Genética
Zinco	Pesquisa	Regional Agricultural Research Station (RARS)	Índia, Ásia	Naseeruddin et al. (2018)	Genética e Agronômica

* ppm = mg kg⁻¹ ou µg kg⁻¹

No futuro, com o desenvolvimento de sorgo biofortificado e de alimentos funcionais produzidos por ele, ricos em compostos bioativos e nutracêuticos, haverá um foco crescente no conteúdo

de determinados micronutrientes e em compostos fenólicos e em suas ações fisiológicas. Isto tem importantes implicações para a avaliação da qualidade e gestão do sorgo (Taylor; Duodu, 2017).

Considerações finais

As culturas agrícolas de milho e sorgo são de extrema importância no mundo, sendo usadas para alimentação animal e humana, mesmo que indiretamente. Dessa forma, aumentar os teores de nutrientes essenciais nesses produtos por meio de estratégias de biofortificação é de suma importância visando a produção de alimentos funcionais, com melhor valor nutricional. Essa ideia de se preocupar, além da quantidade produzida, também com a qualidade nutricional dos produtos agrícolas cultivados tem sido referida como *agricultura funcional* e trata de um conceito moderno na produção mundial de alimentos e de uma tendência que se reafirma como uma exigência futura no comércio de alimentos.

Estudos envolvendo a biofortificação - genética e agrônômica - de milho e sorgo são existentes, mas, ainda, incipientes quando comparados com aqueles reportados para outras culturas de cereais, como arroz e trigo. Uma pesquisa usando as expressões “biofortification of maize” e “biofortification of sorghum”, realizada na plataforma “Web of Science”, no dia 17/07/2018, constatou 198 trabalhos publicados no primeiro caso (biofortificação de milho) e apenas 31 no segundo (biofortificação de sorgo). Quando se adicionou a palavra “Brazil” nas buscas, foram encontrados apenas quatro trabalhos envolvendo a biofortificação de milho e nenhum trabalho com sorgo.

De acordo com o exposto, e tendo em vista a importância econômica e social das culturas de milho e sorgo no Brasil e no mundo, salienta-se a necessidade de se aprimorarem as práticas de manejo visando obter produtos de melhor qualidade nutricional, o que contribuirá para que o conceito de *agricultura funcional* possa trazer ainda mais saúde, qualidade de vida e bem-estar para a sociedade.

Agradecimentos

Os autores agradecem às agências de fomento Fapemig, CNPq e Capes, pelo apoio financeiro recebido para condução das pesquisas com elementos-traço essenciais, dentro da Rede de Pesquisa AgroMetais.

Referências

ALFTHAN, G.; EUROLA, M.; EKHOLM, P.; VENALAINEN, E.; ROOT, T.; KORKALAINEN, K.; HARTIKAINEN, H.; SALMINEN, P.; HIETANIEMI, V.; ASPILA, P.; ARO, A. Effects of nationwide addition of selenium to fertilizers on foods, and animal and human health in Finland: from deficiency to optimal selenium status of the population. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology**, v. 31, p. 142-147, 2015.

ALLEN, L. H.; DE BENOIST, B.; DARY, O.; HURRELL, R. (Ed.). **Guidelines on food fortification with micronutrients**. Geneva: World Health Organization, 2006. Disponível em: <<http://www.who.int/iris/handle/10665/43412>>. Acesso em: 20 maio 2018.

ALMEIDA FILHO, J. E.; TARDIN, F. D.; GUIMARÃES, J. F. R.; RESENDE, M. D. V.; SILVA, F. F.; SIMEONE, M. L.; MENEZES, C.

B.; QUEIROZ, V. A. V. Multi-trait BLUP model indicates sorghum hybrids with genetic potential for agronomic and nutritional traits. **Genetics and Molecular Research**, v. 15, p. 1-9, 2016.

ASHOK KUMAR, A.; REDDY, B. V. S.; RAMAIAH, B.; SAHRAWAT, K. L.; PFEIFFER, W. H. Gene effects and heterosis for grain iron and zinc concentration in sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 146, p. 86-95, 2013.

ASHOK KUMAR, A.; REDDY, B. V. S.; RAMAIAH, B.; SANJANA REDDY, P.; SAHRAWAT, K. L.; UPADHYAYA, H. D. Genetic variability and plant character association of grain Fe and Zn in selected core collections of sorghum germplasm and breeding lines. **e-Journal of the SAT Agricultural Research**, v. 7, 1-4, 2009.

AWIKA, J. M.; ROONEY, L. W. Sorghum phytochemicals and their potential aspects on human health. **Phytochemistry**, Elmsford, v. 65, p. 1199-1221, 2004.

BANSODE, R.; KUMAR, S. Biofortification: a novel tool to reduce micronutrient malnutrition. **Indian Research Journal of Genetics & Biotechnology**, v. 7, p. 205-208, 2015.

BIOFORT. Disponível em: <<https://biofort.com.br/>>. Acesso: 2 jul. 2018.

BOUIS, H. Biofortification of staple food crops: justification, progress, and future activities. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON THE ROLE OF AGRICULTURAL BIOTECHNOLOGIES IN SUSTAINABLE FOOD SYSTEMS AND NUTRITION, 2016, Rome. **Proceedings...** Rome: FAO, 2016.

BOUIS, H. E.; SALTZMAN, A. Improving nutrition through biofortification: a review of evidence from HarvestPlus, 2003 through 2016. **Global Food Security**, v. 12, p. 49-58, 2017.

BOUIS, H. J.; LOW, M.; MCEWAN, S.; TANUMIHARDJ, O. **Biofortification**: evidence and lessons learned linking agriculture and nutrition. Geneva: World Health Organization, 2013.

BOUIS, H. E.; WELCH, R. M. Biofortification: a sustainable agricultural strategy for reducing micronutrient malnutrition in the global south. **Crop Science**, Madison, v. 50, p. S20-S32, 2010. Supplement.

BRS 4104: milho pró-vitamina A: saúde à vista. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2013. 1 folder.

BROADLEY, M. R.; ALCOCK, J.; ALFORD, J.; CARTWRIGHT, P.; FOOT, I.; FAIRWEATHER-TAIT, S. J.; HART, D. J.; HURST, R.; KNOTT, P.; McGRATH, S. P.; MEACHAM, M. C.; NORMAN, K.; MOWAT, H.; SCOTT, P.; STROUD, J. L.; TOVEY, M.; TUCKER, M.; WHITE, P. J.; ZHAO, F. J. Selenium biofortification of high-yielding winter wheat (*Triticum aestivum* L.) by liquid or granular Se fertilization. **Plant and Soil**, The Hague, v. 332, p. 5-18, 2010.

CAKMAK, I. Agronomic biofortification. In: GLOBAL CONFERENCE ON BIOFORTIFICATION2., 2014, Rwanda. **Getting nutritious foods to people**: proceedings. Washington: **International Food Policy Research Institute**, 2014.

CAKMAK, I. Biofortification of cereals with zinc and iron through fertilization strategy. In: WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE,

19., 2010, Brisbane. **Soil solutions for a changing world**. Victoria: Australian Society of Soil Science, 2010.

CAKMAK, I.; KALAYCI, M.; KAYA, Y.; TORUN, A. A.; AYDIN, N.; WANG, Y.; ARISOY, Z.; ERDEM, H.; YAZICI, A.; GOKMEN, O.; OZTURK, L.; HORST, W. J. Biofortification and localization of zinc in wheat grain. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 58, p. 9092-9102, 2010.

CAKMAK, I.; McCLAUGHLIN, M. J.; WHITE, P. Zinc for better crop production and human health. **Plant and Soil**, The Hague, v. 411, p. 1-4, 2017a.

CAKMAK, I.; PROM-U-THAI, C.; GUILHERME, L. R. G.; RASHID, A.; HORA, K. H.; YAZICI, A.; SAVASLI, E.; KALAYCI, M.; TUTUS, Y.; PHUPHONG, P.; RIZWAN, M.; MARTINS, F. A. D.; DINALI, G. S.; OZTURK, L. Iodine biofortification of wheat, rice and maize through fertilizer strategy. **Plant and Soil**, The Hague, v. 418, p. 319-335, 2017b.

CARDOSO, W. S.; PAES, M. C. D.; GALVÃO, J. C. C.; RIOS, S. A.; GUIMARÃES, P. E. O.; SCHAFFERT, R. E.; BORÉM, A. Variabilidade de genótipos de milho quanto à composição de carotenoides nos grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 44, n. 2, p. 164-173, fev. 2009.

CHE, P.; ZHAO, Z.; GLASSMAN, K.; DOLDE, D.; HU, T. X.; JONES, T. J.; GRUIS, D. F.; OBUKOSIA, S.; WAMBUGU, F.; ALBERTSEN, M. C. Elevated vitamin E content improves all-trans -carotene accumulation and stability in biofortified sorghum. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, v. 113, p. 11040-11045, 2016.

CHILIMBA, A. D. C.; YOUNG, S. D.; BLACK, C. R.; MEACHAM, M. C.; LAMMEL, J.; BROADLY, M. R. Agronomic biofortification of maize with selenium (Se) in Malawi. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 125, p. 118-128, 2012.

CLARK, S. F. Iron deficiency anemia. **Nutrition in Clinical Practice**, v. 23, p. 128-141, 2008.

COMMITTEE ON WORLD FOOD SECURITY. **Biofuels and food security**: a report. Rome, 2013.

DALE, E.; NIERNBERGER, F. F. Economic models of dry corn milling: part I-model design and system specifications. **Association of Operative Millers Technical Bulletin**, p. 3994-3402, 1982.

DE GROOTE, H.; KIMENJU, S. C.; MORAWETZ, U. B. Estimating consumer willingness to pay for food quality with experimental auctions: the case of yellow versus fortified maize meal in Kenya. **Agricultural Economics**, Amsterdam, v. 42, p. 1-16, 2011.

DEVELOPMENT INITIATIVES. **Global nutrition report 2017**: nourishing the SDGs. Bristol, 2017. 115 p.

DICKO, M. H.; GRUPPEN, H.; TRAORE, A. S.; VAN BERKEL, W. J. H.; VORAGEN, A. G. J. Evaluation of the effect of germination on phenolic compounds and antioxidant activities in sorghum varieties. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 53, p. 2581-2588, 2005.

DICKO, M. H.; GRUPPEN, H.; TRAORÉ, A. S.; VORAGEN, A. J.; BERKEL, W. Sorghum grain as human food in Africa: relevance

of content of starch and amylase activities. **African Journal of Biotechnology**, v. 5, n. 5, p. 384-395, 2006.

DIOLA, V.; MENDES, G. C.; BORÉM, A. Biotecnologias aplicada à biofortificação do milho. In:

BORÉM, A.; RIOS, S. de A. (Org.). **Milho biofortificado**. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2011. cap. 7, p. 143-174.

DOEBLEY, J. The genetics of maize evolution. **Annual Review of Genetics**, Palo Alto, v. 38, p. 37-59, 2004.

DUARTE, J. de O. **Sorgo**: aspectos econômicos. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2003. 26 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos, 27).

DYKES, L.; ROONEY, L. W.; WANISKA, R. D.; ROONEY, W. L. Phenolic compounds and antioxidant activity of sorghum grains of varying genotypes. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 53, n. 17, p. 6813-6818, 2005.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Sorghum and millets in human nutrition**. Rome, 1995. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/t0818e/T0818E01.htm>>. Acesso em: 12 jul. 2018.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **FAOSTAT**: production. Disponível Rome, 2012. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#home>>. Acesso em: 12 jul. 2018.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Food insecurity**: when people live with hunger and fear starvation. Rome, 2000. 40 p.

FIALHO, E. T.; LIMA, J. A. F.; OLIVEIRA, W.; SILVA, H. O. Substituição do milho pelo sorgo sem tanino em rações de leitões: digestibilidade dos nutrientes e desempenho animal. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 1, n. 1, p. 105-111, 2002.

FORDYCE, F. M. Selenium geochemistry and health. **Ambio**, Stockholm, v. 36, p. 94-97, 2007.

GAJ, T.; CHARLES, A.; GERSBACH, C. A.; BARBAS, C. F. III ZFN, TALEN, and CRISPR/Cas-based methods for genome engineering. **Trends in Biotechnology**, Amsterdam, v. 31, p. 397-405, 2013.

GANNON, B.; KALIWILE, C.; ARSCOTT, S. Biofortified orange maize is as efficacious as a vitamin A supplement in Zambian children even in the presence of high liver reserves of vitamin A: a community-based, randomized placebo-controlled trial. **The American Journal of Clinical Nutrition**, New York, v. 100, p. 1541-1550, 2014.

GMO COMPASS. **Genetically modified food and feed**: the EU regulatory process. European Commission, Health and Consumers. Disponível em: <http://www.gmo-compass.org/eng/regulation/regulatory_process>. Acesso em: 3 mar. 2014.

GONÇALVES, A. S. F. **Avaliação de híbridos de milho visando à biofortificação com zinco**. 2017. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2017.

GRAHAM, R. D.; WELCH, R. M. **Breeding for staple-food crops with high micronutrient density**: Washington: International Food Policy Research Institute, 1996. (Agricultural Strategies for Micronutrients. Working Paper, n. 3).

GRAHAM, R.; WELCH, R.; BOUIS, H. Addressing micronutrient malnutrition through the nutritional quality of staple foods: principles, perspectives, and knowledge gaps. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 70, p. 77-142, 2001.

GUIMARÃES, P. E. de O.; PAES, M. C. D.; SCHAFFERT, R. E.; GUIMARÃES, L. J. M. Maize biofortification in Brazil. In: REUNIÃO DE BIOFORTIFICAÇÃO NO BRASIL, 5., 2015, São Paulo. **Anais...** Brasília, DF: Embrapa; Rio de Janeiro: Embrapa Agroindústria de Alimentos, 2015. p. 186-188.

GUIRAGOSSIAN, V.; CHIBBER, B. A. K.; VAN SCOYOC, S.; JAMBUNATHAN, R.; MERTZ, E. T.; AXTELL, J. D. Characteristics of proteins from normal, high lysine, and high tannin sorghums. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 26, p. 219-223, 1978.

GUNARATNA, N. S.; DE GROOTE, H.; NESTEL, P.; PIXLEY, K. V.; McCABE, G. P. A meta-analysis of community-based studies on quality protein maize. **Food Policy**, Guildford, v. 35, p. 202-210, 2010.

HARIPRASANNA, K.; AGTE, V.; ELANGO VAN, M.; PATIL, J. V. Genetic variability for grain iron and zinc content in cultivars, breeding lines and selected germplasm accessions of sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]. **Indian Journal of Genetics and Plant Breeding**, New Delhi, v. 74, p. 42-49, 2014.

HARTIKAINEN, H.; SALMINEN, P.; HIETANIEMI, V.; ASPILA, P.; ARO, A. Effects of nationwide addition of selenium to fertilizers on foods, and animal and human health in Finland: from deficiency to optimal selenium status of the population. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology**, v. 31, p. 142-147, 2015.

HARVESTPLUS. **Going global**: annual report. Washington, 2014.

HIRSCHI, K. Nutrient biofortification of food crops. **Annual Review of Nutrition**, Palo Alto, v. 29, p. 401-421, 2009.

HOLME, I. B.; DIONISIO, G.; BRINCH-PEDERSEN, H.; WENDT, T.; MADSEN, C. K.; VINCZE, E.; HOLM, P. B. Cisgenic barley with improved phytase activity. **Plant Biotechnology Journal**, Oxford, v. 10, p. 237-247, 2012.

HURST, R.; SIYAME, E. W. P.; YOUNG, S. D.; CHILIMBA, A. D. C.; JOY, E. J. M.; BLACK, C. R.; ANDER, E. L.; WATTS, M. J.; CHILIMA, B.; GONDWE, J.; KANG'OMBE, D.; STEIN, A. J.; FAIRWEATHER-TAIT, S. J.; GIBSON, R. S.; KALIMBIRA, A. A.; BROADLEY, M. R. Soil-type influences human selenium status and underlies widespread selenium deficiency risks in Malawi. **Scientific Reports**, Tokyo, v. 3, p. 1425-1432, 2013.

JAMES, C. **Global status of commercialized biotech/GM crops**: 2011. Ithaca: ISAAA, 2011. (ISAAA Brief n. 44).

JANKELE, R.; SVOBODA, P. TAL effectors: tools for DNA targeting. **Briefings Functional Genomics**, v. 13, p. 409-419, 2014.

JOY, E. J. M.; ANDER, E. L.; YOUNG, S. D.; BLACK, C. R.; WATTS, M. J.; CHILIMBA, A. D. C.; CHILIMA, B.; SIYAME, E. W. P.; KALIMBIRA,

A. A.; HURST, R.; FAIRWEATHER-TAIT, S. J.; STEIN, A. J.; GIBSON, R. S.; WHITE, P. J.; BROADLEY, M. R. Dietary mineral supplies in Africa. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 151, p. 208-229, 2014.

JOY, E. J. M.; STEIN, A. J.; YOUNG, S. D.; ANDER, E. L.; WATTS, M. J.; BROADLEY, M. R. Zinc-enriched fertilisers as a potential public health intervention in Africa. **Plant and Soil**, The Hague, v. 389, p. 1-24, 2015.

KAMATHA, V. G.; CHANDRASHEKARB, A.; RAJINI, P. S. Antiradical properties of sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) flour extracts. **Journal of Cereal Science**, London, v. 40, p. 283-288, 2004.

KHUSH, G. S.; LEE, S.; CHO, J.; JEON, J. Biofortification of crops for reducing malnutrition. **Plant Biotechnology Reports**, v. 6, p. 195-202, 2012.

LAWSON, P. G.; DAUM, D.; CZAUDEMA, R.; MEUSER, H.; HARLING, J. W. Soil versus foliar iodine fertilization as a biofortification strategy for field-grown vegetables. **Frontiers in Plant Science**, v. 6, p. 450-458, 2015.

LIPKIE, T. E.; MOURA, F. F. de; ZHAO, Z.; ALBERTSEN, M. C.; CHE, P.; GLASSMAN, K.; FERRUZZI, M. G. Bioaccessibility of carotenoids from transgenic provitamin A biofortified sorghum. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 61, p. 5764-5771, 2013.

LOPES, A. B. R. C. **Silagem de grãos úmidos de sorgo com alto e baixo tanino para suínos em fase inicial**. 2004. 125 f. Tese

(Doutorado em Zootecnia) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2004.

LOPES, G.; ÁVILA, F. W.; GUILHERME, L. R. G. Selenium behavior in the soil environment and its implication for human health. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 41, p. 605-615, 2017.

MANZEKE, G. M.; MTAMBANENGWE, F.; NEZOMBA, H.; MAPFUMO, P. Zinc fertilization influence on maize productivity and grain nutritional quality under integrated soil fertility management in Zimbabwe. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 166, p. 128-136, 2014.

MAYER, J. E.; PFEIFFER, W. H.; BEYER, P. Biofortified crops to alleviate micronutrient malnutrition. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 11, p. 166-170, 2008.

MEJIA, L. A.; DARY, O.; BOUKERDENNA, H. Global regulatory framework for production and marketing of crops biofortified with vitamins and minerals. **Annals of the New York Academy of Sciences**, New York, v. 1390, p. 47-58, 2017.

MISHRA, J. S.; HARIPRASANNA, K.; RAO, S. S.; PATIL, J. V. Biofortification of post-rainy sorghum (*Sorghum bicolor*) with zinc and iron through fertilization strategy. **Indian Journal of Agricultural Sciences**, New Delhi, v. 85, n. 5, p. 721-724, 2015.

MUTISYA, J.; SUN, C.; ROSENQUIST, S.; BAGUMA, Y.; JANSSON, C. Diurnal oscillation of SBE expression in sorghum endosperm. **Journal of Plant Physiology**, Stuttgart, v. 166, p. 428-434, 2009.

NASEERUDDIN, R.; SUMATHI, V.; PRASAD, T. N. V. K. V.; SUDHAKAR, P.; CHANDRIKA, V.; REDDY, B. R. Unprecedented synergistic effects of nanoscale nutrients on growth, productivity of sweet sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench], and nutrient biofortification. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 66, p. 1075-1084, 2018.

NATIONAL CHAMBER OF MILLING. **Cultivars**: maize. Pretoria, 2008.

NEERAJA, C. N.; RAVINDRA BABU, V.; RAM, S.; HOSSAIN, F.; HARIPRASANNA, K.; RAJPUROHIT, B. S.; PRABHAKAR, T.; LONGVAH, K. S.; PRASAD, J. S.; SANDHU, S.; DATTA, K. Biofortification in cereals: progress and prospects. **Current Science**, Bangalore, v. 113, p. 1050-1057, 2017.

NESTEL, P.; BOUIS, H. E.; MEENAKSHI, J. V.; PFEIFFER, W. Biofortification of staple food crops. **The Journal of Nutrition**, Rockville, v. 136, n. 4, p. 1064-1067, 2006.

NUTTI, M. R. **Progress of publications and communications of the HarvestPlus Project in Brazil**: HarvestPlus agreement. Washington: HarvestPlus, 2015. Final report.

NUTTI, M. R.; CARVALHO, J. L. V. de; RODRIGUES, P. S. M. O progresso das ações de biofortificação no Brasil. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 42, p. 24-27, 2016.

NUTTI, M. R.; CARVALHO, J. L. V. de. How Embrapa is working in food biofortification in Brazil. In: ACADEMIC SYMPOSIUM,

NUTRITION-ORIENTED AGRICULTURE FOR HEALTH, 53., 2015., Beijing. **Proceedings...** Beijing: [s.n.], 2015.

NUTTI, M. R.; WATANABE, E.; CARVALHO, J. L. V. de; BOUIS, H. Biofortification in Brazil: the HarvestPlus Challenge Programme. In: SERAGELDINI, I.; MASOOD, E. (Ed.). **Changing lives**. Alexandria: Bibliotheca Alexandrina, 2007. p. 289-296.

ODARDA, O. E. **Agrichina**: novidades del Sector Agrícola de China. Pequim: [s.n.], 2010.

PAES, M. C. D. **Aspectos físicos, químicos e tecnológicos do grão de milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2006. 6 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 75).

PARTHASARATHY RAO, P.; BIRTHAL, B. S.; REDDY, B. V. S.; RAI, K. N.; RAMESH, S. Diagnostics of sorghum and pearl millet grains-based nutrition in India. **International Sorghum and Millets Newsletter**, v. 47, p. 93-96, 2006.

PERERA, A. F.; NORONHA, A.; BORGES, M. T. Estratégias para a adoção de alimentos biofortificados no combate à desnutrição no sul do Brasil. In: REUNIÃO DE BIOFORTIFICAÇÃO NO BRASIL, 5., 2015, São Paulo. [**Anais...**]. Brasília, DF: Embrapa, 2015. p. 195-198.

PHATTARAKUL, N.; RERKASEM, B.; LI, L. J.; WU, L. H.; ZOU, C. Q.; RAM, H.; SOHU, V. S.; KANG, B. S.; SUREK, H.; KALAYCI, M.; YAZICI, A.; ZHANG, F. S.; CAKMAK, I. Biofortification of rice grain with zinc through zinc fertilization in different countries. **Plant and Soil**, The Hague, v. 361, p. 131-141, 2012.

QUEIROZ, V. A. V.; VIZZOTTO, M.; CARVALHO, C. W. P. de; MARTINO, H. S. D. **O sorgo na alimentação humana**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2009. 18 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 133).

QUEIROZ, V. A. V.; GONÇALVES, A. C. A.; RODRIGUES, J. A. S.; SCHAFFERT, R. E. **Como utilizar grãos de sorgo no preparo de produtos caseiros**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2011. 6 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Comunicado Técnico, 190).

QUEIROZ, V. A. V.; CARNEIRO, H. L.; RODRIGUES, J. A. S.; TARDIN, F. D. **Processo de produção de minipipoca de sorgo com utilização de tratamento hidrotérmico dos grãos**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2012. 6 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 173).

RAGAE, S.; ABDEL-AAL, E. S. M.; NOAMAN, M. Antioxidant activity and nutrient composition of selected cereals for food use. **Food Chemistry**, London, v. 98, p. 32-38, 2006.

RAI, K. N.; GOVINDARAJ, M.; RAO, A. S. Genetic enhancement of grain iron and zinc content in pearl millet. **Quality Assurance and Safety of Crops & Foods**, v. 4, p. 119-125, 2012.

RANUM, P.; PEÑA ROSAS, J. P.; GARCIA CASAL, M. N. Global maize production, utilization, and consumption. **Annals of the New York Academy of Sciences**, New York, v. 1312, n. 1, p. 105-112, 2014.

RIOS, S. **Biofortificação de milho**. Disponível em: <<https://www.grupocultivar.com.br/artigos/biofortificacao-de-milho>>. Acesso em: 17 ago. 2018.

ROONEY, L. W. Food and nutritional quality of sorghum and millet. **INTSORMIL Annual Report**, Lincoln, p. 91-93, 2007.

SALDIVAR, S. O. S.; ROONEY, L. W. Quality protein maize processing and perspectives for industrial utilization. In: LARKINS, B. A.; MERTZ, E. T. (Ed.). **Quality protein maize: 1964-1994**. West Lafayette: Purdue University Press, 1994. p. 89-120.

SALTZMAN, A.; BIROL, E.; BOUIS, H. E.; BOY, E.; MOURA, F. F. de; ISLAM, Y.; PFEIFFER, W. H. Biofortification: progress toward a more nourishing future. **Global Food Security**, v. 2, p. 9-17, 2013.

SANTOS, S.; COSTA, C. A. E.; DUARTE, A. C.; SCHERER, H. W.; SCHNEIDER, R. J.; ESTEVES, V. I.; SANTOS, E. B. H. Influence of different organic amendments on the potential availability of metals from soil: a study on metal fractionation and extraction kinetics by EDTA. **Chemosphere**, Oxford, v. 78, p. 389-396, 2010.

SCHAFFERT, R. E. Desenvolvimento de cultivares de sorgo para o uso na alimentação humana. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 12, n. 144, p. 13-14, 1986.

SPRENGER, T. **Biofortification**: bringing better nutrition to farm families. Wageningen: Technical Centre for Agricultural, 2015.

STATISTA: the statistics portal. **Corn production by country 2017/18**. Disponível em: <<https://www.statista.com/statistics/254292/global-corn-production-by-country/>>. Acesso em: 17 jul. 2018.

STEVENS, G. A.; BENNETT, J. E.; HENNOCO, Q.; LU, Y.; DE-REGIL, L. M.; ROGERS, L.; DANAEI, G.; LI, G.; WHITE, R. A.; FLAXMAN, S. R.; OEHRLE, S. P.; FINUCANE, M. M.; GUERRERO, R.; BHUTTA,

Z. A.; THEN-PAULINO, A.; FAWZI, W.; BLACK, R. E.; EZZATI, M. Trends and mortality effects of vitamin A deficiency in children in 138 low-income and middle-income countries between 1991 and 2013: a pooled analysis of population-based surveys. **The Lancet Global Health**, v. 3, p. e528-e536, 2015.

TAYLOR, J. R. N.; BELTON, P. S.; BETA, T.; DUODU, K. G. Increasing the utilisation of sorghum, millets and pseudocereals: developments in the science of their phenolic phytochemicals, biofortification and protein functionality. **Journal of Cereal Science**, London, v. 59, p. 257-275, 2014.

TAYLOR, J. R. N.; DUODU, G. Sorghum and millets: grain-quality characteristics and management of quality requirements. In: WRIGLEY, C.; BATTERY, I.; MISKELLY, D. **Cereal grains assessing and managing quality**. Amsterdam: Elsevier, 2017.

TAYLOR, J.; TAYLOR, R. N. Protein biofortified sorghum: effect of processing into traditional african food on their protein quality. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 59, p. 2386-2392, 2011.

TOENNIESSEN, G.; ADESINA, A.; DEVRIES, J. Building an alliance for a green revolution in Africa. **Annals of the New York Academy of Sciences**, v. 1136, p. 233-242, 2008.

TUCKER, G. Nutritional enhancement of plants. **Current Opinion in Biotechnology**, v. 14, p. 221-225, 2003.

UNITED NATIONS ORGANIZATION. **Sustainable development goals**. New York, 2015. Disponível em: <<https://sustainabledevelopment.un.org/sdgs>>. Acesso em: 12 jun. 2018.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Economic research service**. Washington, 2014.

VALENÇA, A. W.; BAKE, A.; BROUWER, I. D.; GILLER, K. E. Agronomic biofortification of crops to fight hidden hunger in sub-Saharan Africa. **Global Food Security**, v. 12, p. 8-14, 2017.

VANLAUWE, B.; BATIONO, A.; CHIANU, J.; GILLER, K. E.; MERCKX, R.; MOKWUNYE, U.; OHIOKPEHAI, O.; PYPERS, P.; TABO, R.; SHEPHERD, K. D.; SMALING, E. M. A.; WOOMER, P. L.; SANGINGA, N. Integrated soil fertility management: operational definition and consequences for implementation and dissemination. **Outlook on Agriculture**, Elmsford, v. 39, p. 17-24, 2010.

VANLAUWE, B.; DESCHEEMAER, K.; GILLER, K. E.; HUISING, J.; MERCKX, R.; NZIGUHEBA, G.; WENDT, J.; ZINGORE, S. Integrated soil fertility management in sub-Saharan Africa: unravelling local adaptation. **Soil**, v. 1, p. 491-508, 2015.

VERGÜTZ, L.; LUZ, J. M. R. da; SILVA, M. C. S.; KASUYA, M. C. M. Biofortificação de alimentos: saúde ao alcance de todos. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 42, p. 20-23, 2016.

WAHLQVIST, M. L.; WATTANAPENPAIBOON, N. Can functional foods make a difference to disease prevention and control? In: WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Globalization, diets and noncommunicable diseases**. Genebra, 2002. p. 75-97.

WELCH, R. M.; GRAHAM, R. D. Breeding for micronutrients in staple food crops from a human nutrition perspective. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 55, p. 353-364, 2004.

WHITE, P. J.; BROADLEY, M. R. Biofortifying crops with essential mineral elements. **Trends in Plant Science**, Oxford, v. 10, p. 586-593, 2005.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Global nutrition targets 2025: anaemia policy brief**. Genebra, 2014. 8 p.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **The double burden of malnutrition**. Genebra, 2016. Disponível em: <<http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/255413/WHO-NMH-NHD-17.3-eng.pdf;jsessionid=B2AACB79CC2B5A2C8EBB9AB3F29BA6C3?sequence=1>>. Acesso em: 22 jun. 2018.

YOUSIF, A.; NHEPERA, D.; JOHNSON, S. Influence of sorghum flour addition on flat bread in vitro starch digestibility, antioxidant capacity and consumer acceptability. **Food Chemistry**, London, v. 134, p. 880-887, 2012.

YU, S.; TIAN, L. Breeding major cereal grains through the lens of nutrition sensitivity. **Molecular Plant**, v. 11, p. 23-30, 2018.

ZHAO, F. J.; SHEWRY, P. R. Recent developments in modifying crops and agronomic practice to improve human health. **Food Policy**, Guildford, v. 36, s94-s101, 2011.

ZHU, C.; NAQVI, S.; BREITENBACH, J.; SANFMANN, G.; CHRISTOU, P.; CAPELL, T. Combinatorial genetic transformation generates a library of metabolic phenotypes for the carotenoid pathway in maize. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, v. 105 p. 18232-18237, 2008.

Capítulo 28

Panorama de 10 anos do Milho Transgênico no Brasil

Roberto de Rissi

Introdução

Nos últimos 10, anos a cultura do milho passou por profundas mudanças no Brasil. Nesse período, o Brasil, terceiro maior produtor mundial de milho, depois dos Estados Unidos e da China, se tornou também o segundo maior exportador de milho do mundo. A produção cresceu mais que 90% e a produtividade acima de 50%.

O milho transgênico aprovado pela CTNBio em 2007, e introduzido no mercado na safra 2007/2008, desencadeou uma série de mudanças tecnológicas que impactaram positivamente a produção e produtividade da cultura. O uso de fungicidas se tornou prática rotineira, o uso de híbridos simples aumentou 50%, a qualidade dos plantios e as práticas culturais evoluíram fortemente. Hoje, os híbridos transgênicos ocupam mais de 85% das lavouras brasileiras e sua taxa de adoção está entre as mais altas do mundo. Outra mudança significativa foi o crescimento do milho safrinha, plantado em sucessão à cultura da soja, que hoje é responsável por mais de 70% da produção brasileira de milho.

Neste trabalho serão abordadas as principais contribuições da introdução do milho transgênico na produção e produtividade do milho no Brasil

Contribuições do milho transgênico na evolução da produtividade e produção do milho

Aprovado pela CTNBio em 2007 para comercialização no Brasil, o milho transgênico teve uma forte e rápida aceitação pelos produtores brasileiros, como pode ser observado na **Figura 1**. Em cinco anos os híbridos transgênicos passaram a ocupar mais de 85% da área plantada com milho no Brasil. Isso ocorreu pela alta eficácia dos transgênicos no controle das lagartas, especialmente da lagarta-do-cartucho, e a simplificação do manejo da cultura com a redução do número de aplicações de inseticidas e o melhor uso dos ativos da propriedade.



Figura 1. Taxa de adoção de milho transgênico no Brasil. Fonte: Associação Paulista de Produtores de Sementes e Mudas.

Inicialmente as empresas lançaram no mercado os eventos simples e posteriormente a associação de dois ou mais eventos Bts (**Tabela 1**). As empresas usaram essa estratégia não só para aumentar a eficiência do controle da lagarta-do-cartucho (*Spodoptera frugiperda*), mas, principalmente, para ampliar o espectro de ação contra outras pragas do milho como a lagarta-da-espiga (*Helicoverpa zea*), lagarta-rosca (*Agrotis ipsilon*), lagarta-elasmó (*Elasmopalpus lignosellus*) e broca-da-cana (*Diatraea saccharalis*).

Tabela 1. Aprovações da CTNBio dos principais eventos em milho até 2015.

Mon810 (YieldGard)	Agosto 2007
Bt11 (TL)	Setembro 2007
NK603 (RR2)	Setembro 2008
GA21	Setembro 2008
TC1507 (Herculex)	Dezembro 2008
Mir162 (Viptera)	Setembro 2009
Mon810xNK603	Setembro 2009
Bt11xGA21	Setembro 2009
Mon89034 (VtPro)	Outubro 2009
Mon89034xNK603	Novembro 2010
Mon89017	Dezembro 2010
Mon89034xTC1507xNK603	Dezembro 2010
Mon810xTC1507xNK603	Junho 2011
TC1507xMON810	Agosto 2011
Mon89034xMon88017	Setembro 2011
Bt11xMir162xMir604xGa21	Setembro 2014
TC1507xMon810xMir162	Abril 2015
TC1507xMon810xMir162xNK603	Abril 2015

Fonte: Conselho de Informações sobre Biotecnologia (2017).

Três anos após o lançamento dos híbridos Bts, apareceram os primeiros relatos de quebra de resistência dessas tecnologias. A redução da eficiência da maioria desses eventos no controle da lagarta-do-cartucho foi devida aos seguintes fatores: 1) Número de gerações por ano para completar seu ciclo de vida. Em algumas regiões ela pode ter 9 gerações por ano; 2) Rápida adoção da tecnologia; 3) Eventos de baixa dose com sobrevivência de heterozigotos e 4) Baixa adoção do Manejo Integrado de Pragas (MIP). Apesar da perda da eficiência de várias dessas tecnologias, a adoção dos milhos transgênicos continua bastante alta, trazendo vários benefícios e facilidades aos produtores.

A contribuição dos transgênicos para a produção e produtividade do milho no Brasil foi enorme. Desde seu lançamento em 2007/2008, a produção quase dobrou passando de aproximadamente 51 milhões de toneladas em 2006/2007 para 98 milhões em 2016/17 (**Figura 2**).

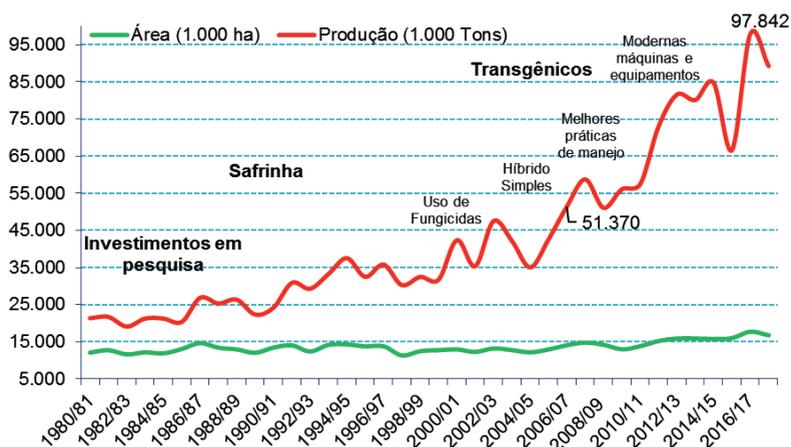


Figura 2. Área e produção de milho no Brasil. Fonte: Conab (2018b).

Nesse mesmo período a produtividade aumentou mais de 50% saindo de 3.655 kg/ha para 5.560 kg ha⁻¹ (**Figura 3**). Isso ocorreu devido não só ao melhor controle dos insetos, mas principalmente ao maior uso de tecnologia. Houve uma rápida adoção de híbridos simples com genética superior, melhor qualidade de plantio, adubação, melhores práticas culturais e maior uso de plantadeiras, colheitadeiras e equipamentos mais modernos.



Figura 3. Produtividade de milho kg ha⁻¹ (Conab, 2018a).

Outra contribuição importante dos híbridos transgênicos foi sua ação sobre os insetos de solos, como a lagarta-roscas e lagarta-elasmos. O controle mais efetivo desses insetos permitiu um melhor estabelecimento da lavoura e um aumento do número de plantas por hectare. A adoção da soja RR também contribuiu para o aumento da produção do milho, uma vez que ela tornou viável o sistema de produção soja/milho safrinha. Assim, todo aumento da área plantada com soja tem levado também a um incremento da área de milho. Esse sistema, soja verão e milho safrinha, tem contribuído também para melhorar a rentabilidade do produtor e a sustentabilidade da agricultura brasileira. Sem

a soja e o milho transgênicos esse sistema de produção, muito provavelmente, não seria possível.

Os milhos transgênicos no Brasil enfrentam sérios desafios que, se não forem rapidamente equacionados, poderão impactar negativamente o sistema de produção soja/milho safrinha. O primeiro deles é em relação ao desenvolvimento de ervas daninhas resistentes ao glifosato. Já temos várias espécies resistentes, e a lista continua crescendo. Certamente isso levará a um aumento no custo de produção e na complexidade do manejo da propriedade. No caso do Brasil onde, a principal área de plantio de milho ocorre em sucessão a cultura da soja, o uso do mesmo herbicida nas duas culturas não é tecnicamente recomendado e deveria ser evitado. A rotação de princípios ativos nas duas culturas é uma prática que precisa ser adotada. Mais grave ainda é o fato de a maioria das empresas de sementes só ofertarem híbridos Bts associados ao milho RR, não dando a opção de escolha ao produtor. Para os híbridos recomendados para safrinha as empresas deveriam dar a opção de escolha com e sem RR.

Outra grande preocupação com o milho RR na safrinha é o milho voluntário ou tiguera na cultura da soja. Ele tem criado uma ponte verde e contribuído fortemente para o aumento da população de pragas que transmitem doenças causadas por viroses e mollicutes, como o enfezamento. Essa doença tem causado redução de mais de 70% na produção e tornado a cultura inviável em algumas regiões. Nos últimos anos, temos observado uma verdadeira explosão na população da cigarrinha-do-milho (*Dalbulus maydis*), que vem rapidamente se espalhando pelas diversas regiões do Brasil.

Sem dúvida alguma, um dos desafios mais preocupantes é em relação à durabilidade dos eventos. Nas condições ambientais brasileiras, os insetos completam várias gerações por ano, acelerando o tempo de desenvolvimento de resistência. É fundamental que os produtores adotem o Manejo Integrado de Pragas (MIP), fazendo monitoramento das lavouras, uso de inseticidas e áreas de refugio.

Referências

BARBOSA, D. B. **Uma introdução à propriedade intelectual: teoria de concorrência, patentes e signos distintivos**. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro: Lumen Juris, 1997.

CÉLERES. **Relatório biotecnologia**: relatório técnico. Uberlândia, 2015. Disponível em: <<http://www.celeres.com.br>>. Acesso em: 12 jun. 2018.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Safras**: grãos: série histórica. Brasília, DF, 2018a. Disponível em: <<https://portaldeinformacoes.conab.gov.br/index.php/safra-serie-historica-dashboard>>. Acesso em: 18 maio 2018.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Safras**: evolução estimativas. Brasília, DF, 2018b. Disponível em: <<https://portaldeinformacoes.conab.gov.br/index.php/safra-evolucao-dashboard>>. Acesso em: 18 jun. 2018.

CONSELHO DE INFORMAÇÕES SOBRE BIOTECNOLOGIA. **Aprovações da CTNBio**. [S.l.], 2017. Disponível em: <<https://www.cib.org.br>>. Acesso em: 13 jun. 2018.

CONSELHO DE INFORMAÇÕES SOBRE BIOTECNOLOGIA. Brasil é responsável por 26% da área plantada com transgênicos no mundo, aponta estudo inédito. Disponível em: <<https://cib.org.br/isaaa-2018/>>. Acesso em: 12 maio 2018.

CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A.; BORGHI, E.; SIMÃO, E. de P. **Quatrocentas e setenta e sete cultivares de milho estão disponíveis no mercado de sementes do Brasil para a safra 2015/16.** Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2015. 28 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos, 184).

DUVICK, D. N. Maize breeding: past, present and future. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 20., 1994, Goiânia. **Centro-oeste; cinturão do milho e sorgo no Brasil: resumos.** Goiânia: EMGOPA, UFG, Emater-GO; Sete Lagoas: ABMS, Embrapa-CNPMS, 1994.

OLIVEIRA, E.; WAQUIL, J. M.; FERNANDES, F. T.; PAIVA, E.; RESENDE, R. O.; KITAJIMA, E. W. "Enfezamento pálido" e "enfezamento vermelho" na cultura do milho no Brasil Central. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, DF, v. 23, p. 45-47, 1998.

SCOTT, G. E.; ROSENKRANZ, E. E.; NELSON, L. R. Yield loss of corn due to corn stunt disease complex. **Agronomy Journal**, Madison, v. 69, p. 92-94, 1977.

Capítulo 29

Manejo de Doenças de Milho no Sistema de Produção de Grãos

Flávio Henrique Vasconcelos de Medeiros

Júlio Carlos Pereira da Silva

Rafaela Araújo Guimarães

Victor Biazzotto Porto

Fernanda Carvalho Lopes de Medeiros

Introdução

O milho não é o grão produzido em maior volume no Brasil, mas é o cultivo de maior importância no sistema de produção integrado. Enquanto a soja é normalmente plantada apenas na primeira safra de produção de grãos em função da alta pressão de doenças como ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*) e perda gradual de eficiência de fungicidas ao longo dos anos, o milho é plantado na primeira, segunda safra ou até mesmo no inverno. O milho também tem diversas aplicações na produção animal pelo consumo na forma de silagem, de grãos e até mesmo aproveitamento da palhada remanescente da colheita de grãos para criação animal. Independentemente da região de produção, as doenças representam um importante fator de redução quantitativa e qualitativa da produção. Portanto, o manejo de doenças é parte indissociável das práticas culturais adotadas na produção de milho no Brasil. Neste capítulo, abordaremos o manejo das diferentes doenças do milho e como os diferentes sistemas de produção nos quais este cultivo está inserido

contribuem para a importância das doenças e a eficiência de seu manejo.

As doenças do milho são causadas por vírus, bactérias, fungos ou nematoides e estes afetam raízes, caule, folhas ou grãos. O modo de parasitismo destes fitopatógenos pode ser biotrófico ou necrotrófico. O conhecimento do agente etiológico, órgão afetado e modo de parasitismo são fundamentais para se determinar a estratégia de manejo a ser adotada. Classificação para as principais doenças do milho encontradas no Brasil foi resumida na **Tabela 1**.

Tendo em vista que enfezamento e nematoides serão temas de outros capítulos desse livro, o foco do manejo que apresentaremos será aquele para doenças fúngicas do milho.

A abordagem de manejo de doenças do milho que adotaremos seguirá os princípios de Whetzel ou os princípios gerais de controle: exclusão, erradicação, proteção, imunização, terapia além de regulação e evasão, levando-se em conta a inserção do milho como cultivo parte do sistema de produção de grãos, com pelo menos duas safras ao ano e nas diferentes fases do ciclo fenológico da planta (**Figura 1**).

Tabela 1. Principais doenças que ocorrem em milho e suas características.

Doença	Agente etiológico	Classificação	Órgão afetado	Parasitismo e sintomas	Disseminação	Sobrevivência
Mosaico-comum	Sugarcane mosaic virus	Vírus da família <i>Potyviridae</i>	Toda planta	Distribuição local nas folhas causando sintomas de mosaico	Transmissão mecânica e afídeos vetores	Plantas hospedeiras como a cana e nos insetos vetores
Enfezamento-pálido	<i>Spiroplasma kunkelii</i>	Mollicutes	Toda planta	Colonização nas folhas causando clorose acentuada na base foliar	Cigarrinha vetor	Plantas volutárias e insetos vetores
Enfezamento-vermelho	<i>Candidatus Phytoplasma asteris</i>	Mollicutes fitoplasmas do grupo I	Toda planta	Colonização nas folhas causando clorose marginal seguida por avermelhamento das pontas das folhas inferiores do cartucho	Cigarrinha vetor	Plantas volutárias e insetos vetores
Mancha-branca	Desconhecido. Constante associação do fungo <i>Phaeosphaeria maydis</i> e bactéria <i>Pantoea ananatis</i>	Provável complexo de microrganismos	Folhas	lesões, inicialmente, circulares, aquosas e verde claras (anarsarcas). Posteriormente, passam a necróticas, de cor palha ou brancas	Vento e água de chuva	Restos de cultura
Ferrugem-comum	<i>Puccinia sorghi</i>	Fungos basidiomicetos da ordem Pucciniales	Folhas	Fungo fitrófico. Colonização pelo crescimento de pústulas elípticas e alongadas de coloração marrom escura	Uredinósporos e teliospóros pelo vento	Plantas volutárias e hospedeiras alternativos como trevo

Tabela 1 cont. Principais doenças que ocorrem em milho e suas características.

Doença	Agente etiológico	Classificação	Órgão afetado	Parasitismo e sintomas	Disseminação	Sobrevivência
Ferrugem-polissora	<i>Puccinia polysora</i>	Fungos basidiomicetos da ordem Pucciniales	Folhas, brácteas da espiga e pendão	Fungo bitrófico. Colônização pelo crescimento no número de pústulas oblongas e alongadas de coloração marrom com pulverulência mais clara	Uredinósporos e teliosporos disseminados pelo vento	Plantas voluntárias e hospedeiras alternativas como o teosinto
Ferrugem-branca ou tropical	<i>Physopella zeae</i>	Fungos basidiomicetos da ordem Uredinales	Folhas	Fungo bitrófico. Colônização pelo crescimento no número de pústulas de formato arredondado a oval, em pequenos grupos, de coloração esbranquiçada a amarelada em ambas a faces da folha	Uredinósporos e teliosporos disseminados pelo vento	Planta voluntárias
Cercosporiose	<i>Cercospora</i> spp.	Fungos ascomi-cetos da ordem Capnodiales	Folhas e brácteas da espiga	Hemibiotróficos causadores de manchas de coloração cinza, predominantemente retangulares	Sementes contaminadas, vento e água de chuva	Restos culturais
Helminthosporiose	<i>Exserohilum turcicum</i>	Fungos ascomi-cetos da ordem Pleosporales	Folhas	Hemibiotróficos causadores de lesões necróticas, elípticas, medindo de 2,5 a 15cm de comprimento	Sementes contaminadas, vento e água de chuva	Restos culturais

Tabela 1 cont. Principais doenças que ocorrem em milho e suas características.

Doença	Agente etiológico	Classificação	Órgão afetado	Parasitismo e sintomas	Disseminação	Sobrevivência
Mancha-de-bipolaris	<i>Bipolaris maydis</i> ; <i>B. zeicola</i>	Fungos ascomi- cetos da ordem Pleosporales	Folhas	Hemibiotróficos. As le- sões causadas pela <i>B.</i> <i>maydis</i> são maiores, predominantemente elípti- cas. <i>B. zeicola</i> são menos agressivas com lesões de coloração palha, for- mato de circular a oval e com formação de anéis concêntricos ou com colo- ração castanho claro nos bordos	Vento e água de chuva	Restos culturais
Antracnose	<i>Colletotrichum</i> <i>graminicola</i>	Fungos Ascomi- cetos da ordem Glomeriales	Folhas	Hemibiotróficos causado- res de lesões de colora- ção marrom escura e for- mato oval a irregular. Nas nervuras, são observadas lesões elípticas de colora- ção marrom avermelhada em formato de "V" inver- tido.	Sementes conta- minadas, vento e água de chuva	Restos culturais
Mancha-de-diplodia	<i>Stenocarpella</i> <i>macrospora</i>	Fungos ascomi- cetos da ordem Dothideales sp.;	Folhas	Fungos necrotróficos cau- sadores de lesões alonga- das, grandes, com peque- no círculo visível contra a luz (ponto de infecção). Presença de picnidios	Sementes conta- minadas, vento e água de chuva	Restos culturais

Tabela 1 cont. Principais doenças que ocorrem em milho e suas características.

Doença	Agente etiológico	Classificação	Órgão afetado	Parasitismo e sintomas	Disseminação	Sobrevivência
Podridão-da-espiga	<i>Stenocarpella Fusarium</i> sp.; <i>Aspergillus</i> sp.; <i>Penicillium</i> sp.	Fungos ascomicetos	Grãos da espiga	Fungos necrotróficos causadores de grãos ardidos. Causam alterações na coloração, tamanho e qualidade dos grãos	Sementes contaminadas, vento e água de chuva	Restos culturais
Podridão-do-colmo	<i>C. graminicola</i> ; <i>Stenocarpella</i> sp.; <i>Fusarium</i> sp.;	Fungos ascomicetos	Colmo	Fungos necrotróficos causadores de lesões escurecidas no colmo com presença de estruturas fungicas. Podem causar tombamento da planta	Sementes contaminadas, vento e água de chuva.	Restos culturais

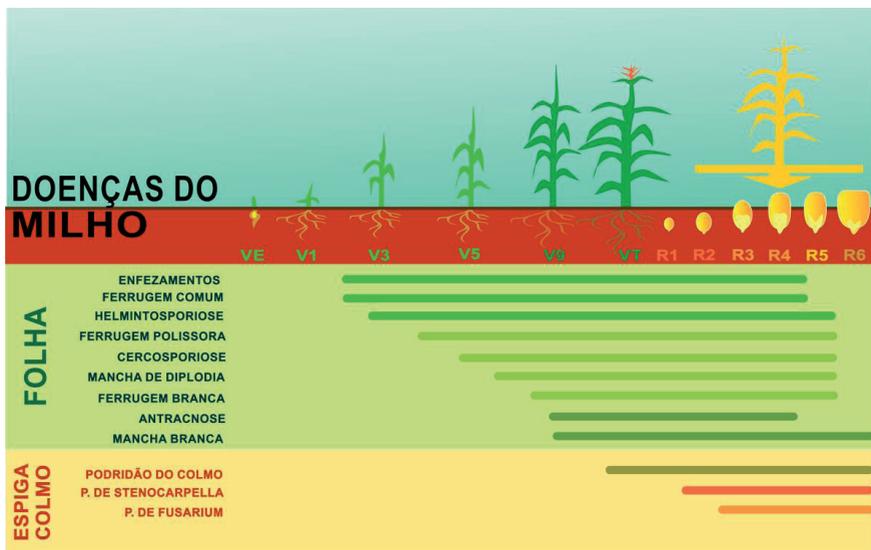


Figura 1. Doenças do milho nas diferentes fases do ciclo da cultura. Adaptado de Paula e Madalóz (2017).

Exclusão

Os princípios de exclusão se referem à prevenção de entrada do patógeno no sistema de produção e, para o sucesso desta prática, o técnico ou produtor deve seguir à risca a legislação em relação às pragas quarentenárias. No caso específico do milho, existem vários patógenos já reportados no mundo que ainda não ocorrem no Brasil, denominadas pragas quarentenárias A1 (Brasil, 2017). Vale ressaltar que por praga o Ministério da Agricultura entende pragas, patógenos e plantas daninhas. Algumas dessas pragas têm chances remotas de entrada no país e outras têm maiores chances. Neste sentido, a Embrapa elaborou uma lista das 20 pragas de maior risco de introdução no país (Embrapa, 2017). Destas, há duas relacionados ao milho: um nematoide, *Ditylenchus destructur*, e uma bactéria, *Pantoea stewarti*, ambos

podem ser disseminados por sementes, portanto, testes de sanidade são imprescindíveis quando se fizer introdução de milho semente de outros países, principalmente dos Estados Unidos. Faz-se muito importante a detecção molecular deste patógeno, tendo em vista que comumente podem ser encontradas outras espécies de *Pantoea* associadas a milho, não apenas saprófitas como *Pantoea agglomerans*, mas também espécie fitopatogênica como *Pantoea ananás* que causa a mancha-branca do milho.

Em relação às pragas quarentenárias, vale salientar também que podem também ser classificadas como quarentenárias A2 e pragas não quarentenárias regulamentadas. As pragas quarentenárias A2 se referem àquelas que já foram relatadas no Brasil, mas não em todos os estados da federação e, portanto, devem ser adotadas medidas para prevenção da disseminação. Já as pragas não quarentenárias regulamentadas são aquelas que já foram relatadas em todos os estados, mas que se deve evitar a associação destes patógenos a sementes ou outros propágulos vegetais, tendo em vista o risco de epidemias das doenças que eles causam, uma vez introduzidos nas áreas. No caso específico de milho, não temos pragas nessas categorias, contudo o produtor pode se antecipar à legislação ou regulamentação de limites de patógenos associados a semente para evitar riscos. Patógenos importantes em milho, sabidamente transmitidos por sementes e que podem causar grandes perdas são *Stenocarpella maydis* e *S. macrospora*. Para o plantio em regiões e épocas muito favoráveis à ocorrência da doença, como o plantio no sul de Minas Gerais no verão, o técnico poderia fazer análise do lote de sementes para evitar ou pelo menos reduzir a introdução deste importante patógeno na área de produção.

De forma semelhante, o técnico pode evitar a entrada do patógeno na área de produção, evitando entrada de maquinário com resíduos de outras áreas. Estes resíduos podem ser solo aderido às rodas (que podem trazer nematoides), sobras de grãos e palhada no interior da colheitadeira (que podem trazer diversos patógenos necrotróficos como *Cercospora* e *Exserohilum*) ou captação de água de irrigação infestada por patógenos (que podem trazer nematoides, bactérias e fungos).

Erradicação

A erradicação se baseia na eliminação do inóculo inicial do patógeno. Tendo em vista o modo de sobrevivência dos patógenos, o inóculo inicial pode vir pela semente, restos culturais, solo, água de irrigação, hospedeiros alternativos (plantas daninhas) ou plantas voluntárias. Portanto, a erradicação se refere à eliminação do inóculo de cada uma dessas possíveis fontes.

Em relação a sementes, não há patógenos regulamentados, ou seja, para comercialização, o produtor de sementes não deve apresentar laudo de análise sanitária de sementes apesar de muitos patógenos de milho serem transmitidos por semente (**Tabela 1**). Talvez a razão pela falta de exigência de laudo seja a crescente adoção do tratamento industrial de sementes, ou seja, as sementes são comercializadas já tratadas com fungicidas e outros defensivos que erradicam os patógenos que eventualmente estejam associados à semente como por exemplo o *Fusarium verticillioides*. O tratamento com fungicida do grupo dos benzimidazóis pode contribuir para erradicação do patógeno de sementes. No entanto, deve-se salientar que vários são os fungos fitopatogênicos insensíveis a fungicidas do grupo

dos benzimidazóis e o máximo de estratégias de manejo devem ser integradas para reduzir ao de forma eficiente a pressão de inóculo do patógeno nas sementes, considerando que a sanidade de sementes ainda representa a melhor estratégia a ser adotada. Uma outra alternativa seria uso do manejo cultural, estudo com rotação entre milho e soja, demonstrou uma diminuição na incidência de *Fusarium verticillioides* em sementes de milho de 18,25% para 9,5% com apenas um ciclo de rotação. Ou seja, pelo menos para campos de produção de sementes de milho, a rotação de culturas deve sempre ser considerada, tendo em vista a importância da transmissão de *F. verticillioides* por semente.

Com advento do plantio direto, vários benefícios podem ser enumerados para o sistema de produção de grãos mas, tendo em vista que a maioria dos patógenos que contribuem para redução da produtividade de milho são necrotróficos e não possuem estruturas de resistência, os restos culturais representam a principal forma de sobrevivência de patógenos como *Stenocarpella maydis* e *S. macrospora*, tanto que em levantamento de sobrevivência destes patógenos em restos culturais de milho cultivado sob plantio convencional e plantio direto, apenas no plantio direto ele foi recuperado. Por outro lado, mesmo com o plantio direto, a rotação de culturas contribui para diversificação da microbiota associada à palhada e redução de sobrevivência de patógenos e deve sempre ser considerada a rotação ou pelo menos sucessão de cultivos quando se considera a produção de milho. Com apenas um ciclo de rotação de milho com soja a viabilidade média dos conídios de *S. maydis* em duas localidades caiu de 89,5% para 63% enquanto o pousio não contribuiu para redução significativa desta viabilidade com 82% de conídios que germinaram (Pinto et al., 2016).

Outra fonte de inóculo pode ser a água de irrigação. Patógenos que produzem estruturas de resistência como clamidósporos de *Fusarium graminearum* ou células bacterianas como *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum* podem ser particularmente danosos e, sob condições favoráveis e irrigação por aspersão, os patógenos podem ser introduzidos sobre as plantas e podem causar danos severos. Nestes casos de contaminação de água por propágulos de fitopatógenos há estratégias de filtração quando se considera a produção de hortaliças, mas no caso da produção de grãos esta estratégia seria inviável em função do volume de água necessário a não ser evitar ao máximo a agitação do curso d'água no momento do bombeamento para evitar que os propágulos sedimentados sejam ressuspensos, aspirados pela tubulação e aspergidos sobre as plantas.

Por fim, a outra forma importante de erradicação do inóculo de fitopatógenos é a eliminação das plantas voluntárias. Após a colheita, sempre há espigas não colhidas ou grãos expelidos pela colhedeira junto com a palha que resultam em germinação e manutenção de patógenos na entressafra. Estas plantas representam uma forma alternativa de sobrevivência não apenas dos fitopatógenos, mas também de pragas em particular a cigarrinha (*Daubulus maidis* Hemiptera: *Cicadelidae*), que tem preocupado mais a cada dia, não apenas pelo seu potencial de dano direto, mas principalmente pela transmissão do enfezamento-vermelho (*Maize bushy stunt*). Nesse contexto, é importante a adoção de medidas que diminuam a presença de plantas voluntárias como uma regulagem correta de colhedeiros. Felizmente, no momento da dessecação em pré-plantio e adicionalmente no momento da aplicação de herbicida pós-emergência, o plantio de soja na safra seguinte, seguindo

uma recomendação de rotação de culturas, o milho seria eliminado com a aplicação de herbicidas graminicidas. Com o advento da tecnologia de resistência a glifosato (RR) em soja, ainda se conseguia eliminar as plantas voluntárias de milho tanto na dessecação quanto na aplicação de herbicida em pós-emergência, mas com o advento desta tecnologia também no milho, nem na dessecação pré-plantio, nem no plantio de soja estas plantas são eliminadas, considerando que o uso do glifosato para manejo de daninhas em pós emergência se tornou um padrão, Portanto, em alta infestação de plantas voluntárias de milho no momento da dessecação ou na aplicação de herbicida pós emergência na soja, faz-se importante o uso de herbicidas graminicidas dos grupos Ariloxi-fenoxi propionatos (FOPs) e Oxima ciclohexanodionas (DIMs) que além de contribuir para a eliminação de plantas de milho tiguera, diminuem a seleção de plantas daninhas resistentes a glifosato. Vale salientar que mais que nunca a rotação de culturas deve ser recomendada para sustentabilidade da produção de milho pois, no plantio de milho sobre milho, não há qualquer opção de eliminação de plantas voluntárias de milho.

Imunização

A imunização é a busca da resistência genética a doenças pelo melhoramento convencional ou transgenia ou a ativação de genes por moléculas eliciadoras bióticas ou abióticas, chamadas de indutoras de resistência, impedindo a pré-penetração, penetração, infecção, colonização ou multiplicação do patógeno. Portanto, existem três tipos de imunizações possíveis, a imunização genética, trabalhada com uso de variedades resistentes ou tolerantes, a qual é intensamente discutida por programas de melhoramento genético, a imunização química,

a qual se dá com uso de fungicidas sistêmico e indutores de resistências que são capazes acumularem produtos tóxicos no tecido vegetal (como compostos fenólicos) e os transportar por toda planta promovendo proteção ampla e resistência sistêmica adquirida (SAR, do inglês *Systemic Acquired Resistance*) por ativação de genes de resistência e a imunização biológica, que é exercida pela presença de microrganismos antagônicos como fungos e bactérias que atuam antecipadamente protegendo a plantas antes da chegada do patógeno.

Assim, estes tipos de imunização agem na cultura de milho atuando no comportamento dos híbridos em relação à resistência a doenças de plantas. No Brasil, segundo comunicado da Embrapa Milho e Sorgo, último dado disponível da safra de 2016/2017, da publicação “Mercado de Sementes de Milho no Brasil Safra 2016/2017” (Pereira Filho; Borghi, 2016) foram utilizados nesta safra 315 cultivares de milho, sendo destes 214 (67,93%) oriundos de tecnologias transgênicas e 101 (32,06%) de híbridos convencionais. A maioria dos materiais utilizado no campo conta com alta tecnologia de cultivo, principalmente de cunho genético que atuam no controle de lagartas, doenças, resistência a glifosato e glufosinato de amônio, onde o principal problema de uso desta tecnologia vem da correta adoção regional dentro do mapeamento edafoclimático.

No total temos 17 empresas (Pionner, Dekalb, Riber KWS, Agroceres, Agroeste, Du Pont, Dow Agrosience, Morgan, Nidera, Santa Helena, Biomatrix, Geneze, Refugio Max, Fepagro, Embrapa e IAPAR) que detêm a maior parte do mercado interno de sementes no Brasil. Sendo que a maioria dos matérias desenvolvidos por essas empresas é de ciclo precoce, como o objetivo de um melhor posicionamento técnico para a segunda

safrá, após a cultura da soja ou mesmo para plantio na primeira safrá, permitindo o plantio de feijão, girassol ou algodão na safrinha. Desta forma, dentre estes 315 materiais, 214 são de ciclo precoce, 82 são de ciclo superprecoce, 10 são de ciclo semiprecoce, 5 hiperprecoce e apenas 4 de ciclo normal. Deste total, 155 híbridos são destinados para produção de grãos, 156 para grãos e silagem e 4 para produção de milho-verde.

Em relação à resistência genética, podemos ter materiais resistentes (ou tolerantes), moderadamente resistentes, moderadamente tolerantes, moderadamente sensíveis, sensíveis e altamente sensíveis associados às doenças mais frequentes no sistema nacional de produção de milho. Os principais patógenos alvo do programa de melhoramento são *Fusarium* ssp. (*Fusarium verticillioides*, *Fusarium graminearum*, *Fusarium proliferatum* e *Fusarium subglutinans*, espécies mais associadas a milho), *Puccinia sorghi* (ferrugem-comum), *Physopella zea* (ferrugem-tropical), *Puccinia polysora* (ferrugem-polisora), *Pantoea ananatis* (mancha-branca), *Exserohilum turcicum* (mancha-de-turcicum), *Stenocarpella maydis* (podridão-de-diplodia), *Stenocarpella macroscopora* (mancha-de-diplodia), *Cercospora zea-maydis* (mancha-de-cercopora), complexo de podridão de colmo (*Colletotrichum graminicola*, *S. maydis*, *F. verticillioides*, *F. graminearum*, *Macrophominia phaseolina* e *Pythium* ssp.) e complexo de grãos ardidos/ sanidade de grãos (*F. verticillioides*, *F. graminearum*, *F. proliferatum*, *F. subglutinans*, *S. maydis*, *Aspergillus flavus* e *Penicillium* spp.). Pode-se observar como ocorre a dinâmica dos níveis de resistência para os híbridos, com o objetivo de desenvolvimento de variedades resistentes (**Tabela 2**). A maioria dos híbridos disponíveis se encaixou entre moderadamente resistente a moderadamente tolerante, seguindo o mesmo comportamento da safrá 2015/2016.

Tabela 2. Doenças de milho e o número de híbridos resistentes a cada uma disponível para safra 2016/2017.

Doenças do milho	Tipo de proteção	Híbridos resistentes no mercado*	Híbridos
<i>Fusarium ssp</i> (<i>Fusarium verticillioides</i> , <i>Fusarium graminearum</i> , <i>Fusarium proliferatum</i> e <i>Fusarium subglutinans</i>)	Germinação/ Escape inicial	46	3 0 F 5 3 , 3 0 K 7 3 Y H R , B G 7 0 3 7 H , P2866H, NS 50 PRO, RB 9108 e GNZ 2005
ferrugem-comum (<i>Puccinia sorghi</i>)	Proteção das folhas	63	3 0 B 3 0 H , 3 0 K 7 3 Y H R , D S 2 5 0 5 P W , MG699PW, NS 70, BM 3066 e GNZ 9501 PRO
ferrugem-tropical (<i>Physopella zaeae</i>)	Proteção das folhas	59	3 0 F 3 5 V Y H R , 3 0 R 5 0 H , B G 7 0 6 0 H R , P3646, NS 56 PRO, BM 709 e BM 709 PRO2
ferrugem-polissora (<i>Puccinia polysora</i>)	Proteção das folhas	55	RS 20, PZ 204, FEPAGRO 22, NS 90 PRO, B G 7 6 4 0 V Y H , 30K73 e 30K73YHR

Tabela 2 cont. Doenças de milho e o número de híbridos resistentes a cada uma disponível para safra 2016/2017.

Doenças do milho	Tipo de proteção	Híbridos resistentes no mercado*	Híbridos
mancha-branca (<i>Pantoea ananatis</i>)	Proteção das folhas	29	3 0 K 7 5 , BG 7 6 4 0 V Y H , P 3 4 3 1 V Y H , P3646YH, NS 92 PRO, PZ 316 e FEPAGRO S 395
mancha-de-turcicum (<i>Exserohilum turcicum</i>)	Proteção das folhas	38	3 0 B 3 0 H , 3 0 K 7 3 Y H R , BG 7 6 4 0 V Y H , P3271H, NS 50 PRO, PZ 242 e GNZ 2004
mancha e podridão-de-diplodia (<i>Stenocarpella macroscopora</i> e <i>S. maydis</i>)	Proteção da folha/colmo	36	RB 9110, GNZ 2004, BRS 1010, R9330PRO2, NS 82, P2830H e BG7032H
mancha-de-cercopora (<i>Cercospora zea-maydis</i>)	Proteção das folhas	45	BRS 1060, BRS 1055, BM 709 PRO2, RB 9308 PRO, BM 709, NS 90 PRO e P3456H

Tabela 2 cont. Doenças de milho e o número de híbridos resistentes a cada uma disponível para safra 2016/2017.

Doenças do milho	Tipo de proteção	Híbridos resistentes no mercado*	Híbridos
podridão-de-colmo (<i>Colletotrichum graminiconia</i> , <i>S. maydis</i> , <i>F. verticillioides</i> , <i>F. graminearum</i> , <i>Macrophominia phaseolina</i> e <i>Pythium</i> ssp)	Proteção do colmo	71	3 0 F 3 5 Y H , B G 7 0 3 2 H , P 3 4 3 1 V Y H , 2B707 PW, NS 50 PRO, BM 709 e RB 9108
Sanidade de grãos (<i>F. verticillioides</i> , <i>F. graminearum</i> , <i>F. proliferatum</i> , <i>F. subglutininas</i> , <i>S. maydis</i> , <i>Aspergillus</i> ssp e <i>Penicillium</i> ssp).	Proteção de grãos	55	RS 20, FEPAGRO S 395, RB 9110 PRO, BM 911, NS 70, 2B707 PW e P2866H
Todas	Ampla		RS 20, FEPAGRO S 395, PZ 316, NS 90 PRO2, NS 90 PRO, NS 70 e NS 82

* A partir de 315 híbridos comerciais.

Fonte: Pereira Filho e Borghi (2016).

Dentre todos os híbridos, apenas 16 dos 315 foram informadas como resistentes a todas as doenças e todas as doenças que ocorrem em milho contribuem para redução de produtividade. Assim, é importante notar a necessidade do uso de mais de um dos princípios como a proteção ou terapia, usando fungicidas principalmente do grupo das estrobilurinas, combinadas com triazóis, conforme discutido a seguir.

Outra linha de imunização seria a utilização do conceito de imunização seria a utilização de indutores de resistência bióticos e abióticos. Neste sentido, ainda há poucos trabalhos nesta linha, principalmente se pensando em uma proposta de manejo integrado, ou seja, que combine o indutor com cultivares resistente a fungicidas.

Dentre os produtos disponíveis no mercado, o indutor de resistência acibenzolar-S-metil e fosfitos são os mais pesquisados. No caso do ASM, duas aplicações do produto em V7 e V10 resultaram em redução significativa da mancha-branca (*Pantoea ananatis*), mas não da helmintosporiose (*Exserohilum turcicum*) do milho (Neumann et al., 2016). Resultados semelhantes foram encontrados com o uso de outro indutor de resistência, o fosfito de potássio em duas aplicações no controle da mancha-branca (Silva et al., 2018).

Proteção

A história de uso de fungicidas em milho em mais larga escala aconteceu nos últimos 10 anos. Nesse período, o melhoramento vegetal teve uma mudança de foco e os híbridos mais produtivos são também aqueles que melhor respondem ao tratamento com fungicidas. De forma geral, fungicidas não garantem maiores

produtividades e sim menores perdas, ou seja, estes híbridos de maior teto produtivo são também susceptíveis a doenças, particularmente quando o híbrido é plantado na época e/ou região de maior precipitação pluviométrica.

No entanto, a pesquisa voltada para a avaliação de fungicidas na proteção de milho já demonstrava algum potencial de controle de doenças como ferrugem-comum (*Puccinia sorghi*) ou cercosporiose (*Cercospora zea-maydis*). Comparando-se épocas de aplicação, a primeira aos 45 dias após o plantio era a que garantia melhores resultados comparada a aplicação mais tardia, 60 dias após o plantio. Além disso, não havia diferença entre uma aplicação mais cedo (45) e aplicações (45 e 60), com o azoxystrobina mostrando efeito protetor de 30 dias (Juliatti et al., 2004).

Com o advento da ferrugem-da-soja (*Phakopsora pachyrhizi*), a adoção de fungicida para controle da doença contribuiu enormemente para redução do custo da proteção de plantas e os fungicidas posicionados para soja a base de triazol e estrobilurinas, isoladamente ou combinados, também contribuíram para redução da severidade da maioria das manchas foliares. Fato este aliado à melhoria de preço da commodity e disponibilidade de híbridos mais produtivos tornou a adoção da proteção de milho com fungicidas uma prática mandatória, principalmente quando se consideram híbridos mais produtivos e posicionados para o plantio em primeira safra ou a safra de maior precipitação pluviométrica.

Com apenas uma aplicação de fungicida (ciproconazole+azoxistrobin, PrioriXtra, Syngenta Proteção de Cultivos), no estádio V8, já se tem em média 600 kg ha⁻¹ a mais

de produtividade quando comparado à testemunha não tratada. Este ganho ainda é acrescido de mais 300 kg ha⁻¹ quando se faz uma segunda aplicação no estádio VT, considerando-se em ambas as situações quatro ensaios e apenas o híbrido DKB390 PRO2 (Guimarães et al., 2016).

No entanto, o incremento em produtividade, ou melhor, a redução de perda de produtividade como resultado da infecção por fitopatógenos é inquestionável quando também se considera outros híbridos tão produtivos quanto o DKB390, como o 30F53 e 2B707, em ensaios conduzidos em diferentes municípios de Minas Gerais (Brito et al., 2013).

Terapia

A terapia em tecidos da planta consiste em métodos que irão eliminar o inóculo inicial e reduzir a taxa de progresso do patógeno pela eliminação ou impedimento da colonização do microrganismo no tecido e a cura do tecido. Geralmente a terapia consiste em métodos físicos como calor e radiação em órgãos infectados ou poda em ramos de plantas perenes. Outro método de terapia seria a aplicação de fungicidas sistêmicos com ação curativa. Apesar de tratamento de sementes com fungicidas eliminar o inoculo inicial recuperando o material infectado, esse método é considerado como erradicante ou ainda um método de exclusão. Dessa maneira, no milho apenas para ferrugem comum no início do desenvolvimento se aplica a terapia pelo uso de químicos. Em campos de produção de sementes onde, em razão do maior valor do produto final, qualquer perda é significativa, quando as condições são favoráveis para o desenvolvimento da ferrugem comum (*Puccinia sorghi*) (temperaturas amenas e muito orvalho). Assim, aplicações foliares de clorotalonil, mancozeb,

propiconazole (Wegulo et al., 1998) ou triazóis e estrubirulinas (Brandão et al., 2003) podem minimizar as perdas de produção e impedir o progresso da doença no início do aparecimento das primeiras pústulas. No entanto, o princípio de terapia em plantas de milho visando a redução da severidade da ferrugem deve ser considerada com o aparecimento das pústulas em plantas jovens, já que o aparecimento da ferrugem no final do ciclo da cultura não causa redução significativa na produção sendo desnecessário o uso de produtos químicos.

Regulação

A regulação como prática de manejo de doenças de plantas diz respeito à fatores relacionados ao sistema de cultivo que contribuam para redução das doenças de plantas como época de semeadura, manejo de irrigação e adubação.

Em relação à época de semeadura, comparando-se duas épocas de semeadura de milho para 2ª safra (fevereiro e março), foi verificado que a maior incidência de doenças foliares aconteceu na primeira época de plantio e que a maior produtividade foi para a segunda época de plantio que apesar de ter havido menor precipitação pluviométrica, houve suplementação de lâmina d'água com 75 mm por mês de irrigação por pivô central, de forma a garantir mesmo fornecimento hídrico para ambos os plantios (Juliatti; Souza, 2005). Deve-se salientar nesse trabalho que não há como dissociar a menor temperatura e molhamento foliar das duas épocas, tendo em vista que a menor temperatura observada no segundo plantio também pode ter contribuído para menor importância das doenças foliares e que não foi feita qualquer aplicação de fungicida, pois na época em que foi realizado o ensaio não havia ainda um consenso quando

ao custo-benefício da adoção do fungicida para o controle de doenças foliares do milho.

Evasão

A prática de manejo de evasão ou escape diz respeito ao plantio de milho em uma região ou época desfavorável à ocorrência de doenças. O plantio logo no início da safra ou até mesmo antecipado com suplementação de irrigação seriam estratégias a serem consideradas para reduzir o impacto das doenças sobre a produção de milho.

Talvez os exemplos mais claros da adoção desta prática de manejo seja o plantio de milho nas regiões áridas brasileiras. Empresas como Monsanto e Syngenta possuem estações experimentais no Nordeste do Brasil onde há baixa precipitação pluviométrica como Petrolina e Aracati, respectivamente, mas onde se dispõe de água para irrigação e com isso se consegue produzir milho durante todo o ano. Apesar interessante do ponto de vista de manejo de doenças, a prática não resulta em boa produtividade de milho em função da ocorrência de dias e noites quentes, o que contribui para o curto ciclo do milho e baixa produtividade. Entretanto, a prática é interessante para produção de sementes com menor custo pela menor necessidade de adoção de defensivos agrícolas, pelo menor tempo para esta produção e pela maior sanidade de sementes em função da baixa umidade de grãos.

Considerações finais

As doenças de plantas contribuem cada vez mais para a redução da produtividade de milho, e o manejo de doenças deve fazer

parte do conjunto de práticas de cultivo visando sustentabilidade da produção, mas com a devida eficiência e viabilidade econômica de implantação no sistema. Há obviamente resposta ao uso de fungicidas, mas essa não deve ser a única prática de manejo adotada até porque dispomos de poucas moléculas no mercado e os riscos de exercer pressão de seleção e perda de eficiência de fungicidas podem acontecer em milho como vem acontecendo no cultivo de soja no Brasil, para diversos patógenos.

Referências

BRANDÃO, A. M.; JULIATTI, F. C.; BRITO, C. H.; GOMES, L. S.; VALE, F. X. do; HAMAWAKI, O.T. Fungicidas e épocas de aplicação no controle da ferrugem comum (*Puccinia sorghi* Schw.) em diferentes híbridos de milho. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 19, p. 43-52, 2003.

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Lista de pragas quarentenárias ausentes e presentes**. Brasília, DF, 2017. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/sanidade-animal-e-vegetal/sanidade-vegetal/arquivos-quarentena/lista-de-pragas-quarentenarias-ausentes-e-presentes.pdf/view>>. Acesso em: 2 jul. 2018.

BRITO, A. H.; VON PINHO, R. G.; PEREIRA, J. L. D. A. R.; BALESTRE, M. Controle químico da cercosporiose, mancha-branca e dos grãos ardidos em milho. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 60, p. 629-635, 2013.

EMBRAPA. **Brasil lista 20 pragas agrícolas mais importantes que ainda não chegaram ao país**. Brasília DF, 2017. Notícias. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/>>

noticia/28666392/brasil-lista-20-pragas-agricolas-mais-importantes-que-ainda-nao-chegaram-ao-pais>. Acesso em: 31 jul. 2018.

GUIMARÃES, R.; ZANOTTO, E.; ZANOTTO, L. A. S.; MACHADO, J. C.; MELO, I. S. de; VON PINHO, R. G.; PINTO, F. A. M. F.; FORTÊS, P. H. O. S.; MEDEIROS, H. N.; MEDEIROS, F. H. V. Effect of integrating fungicide and biocontrol foliar sprays on maize grain yield and fumonisin content. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FITOPATOLOGIA, 49., 2016, Maceió. **Anais...** Maceió: Sociedade Brasileira de Fitopatologia, 2016.

JULIATTI, F. C.; APPELT, C. C. N. S.; BRITO, C. H. de; GOMES, L. S.; BRANDÃO, A. M.; HAMAWAKI, O. T.; MELO, B. de. Controle da feosféria, ferrugem comum e cercosporiose pelo uso da resistência genética, fungicidas e épocas de aplicação na cultura do milho. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 20, p. 45-54, 2004.

JULIATTI, F. C.; SOUZA, R. M. Efeito de épocas de plantio na severidade de doenças foliares e produtividade de híbridos de milho. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 2, p. 103-112, 2005.

NEUMANN, M. M.; SPADOTTO, D. V.; CRESTANI, N.; ACUNHA, J. G. Efeito do indutor de resistência Acibenzolar-S-Methyl (ASM) associado a fungicidas no controle de doenças foliares em milho. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 31., 2016, Bento Gonçalves. **Milho e sorgo: inovações, mercados e segurança alimentar: anais**. Sete Lagoas: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2016. p. 760-764.

PAULA, R. F.; MADALÓZ, J. C. Fatores importantes no desenvolvimento do milho para produção de silagem de planta

inteira. **Blog Agronegócio em Foco**, 14 nov. 2017. Disponível em: <<http://www.pioneersementes.com.br/blog/164/fatores-importantes-no-desenvolvimento-do-milho-para-producao-de-silagem-de-planta-inteira>>. Acesso em: 25 jul. 2018.

PEREIRA FILHO, I. A.; BORGHI, E. **Mercado de sementes de milho no Brasil: safra 2016/2017**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2016. 28 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos, 202).

PINTO, F. M.; MEDEIROS, H. N.; PORTO, V. B.; SILVA, C. S. da; MACHADO, J. da C.; KÖHL, J.; MEDEIROS, F. V. de. Survival of *Stenocarpella* spp. in maize debris and soil suppressiveness. In: MEETING BIOCONTROL AND MICROBIAL ECOLOGY, 2016, Berlin. **Proceedings...** Berlin: [s.n.], 2016. p. 155-159.

SILVA, J. B.; SCHWAN-ESTRADA, K. R.; TESSMANN, D. J.; MOTERLE, L. M.; SILVA, C. R. Controle de doenças foliares de milho com fosfito de potássio. **Scientia Agraria Paranaenses**, Cascavel, v. 17, p. 127-138, 2018.

WEGULO, S. N.; RIVERA-C, J. M.; MARTINSON, C. A.; NUTTER, F. W. Efficacy of fungicide treatments for control of common rust and northern leaf spot in hybrid corn seed production. **Plant Disease**, Saint Paul, v. 82, p. 547-554, 1998.

Capítulo 30

O Sucesso da Agropecuária Brasileira: Alavanca ou Armadilha para o Futuro?

Fernando de Lellis Garcia Bertolucci

Introdução

A agropecuária brasileira é um exemplo de sucesso, reconhecido mundialmente. Nas últimas cinco décadas vantagens comparativas – associadas principalmente à favorabilidade das nossas condições climáticas e à disponibilidade de recursos naturais – foram transformadas em vantagens competitivas sólidas e mensuráveis. Essa transformação tem sido fruto de um trabalho sério e consistente, realizado por muitos atores envolvidos com a questão agropecuária brasileira, tais como universidades, institutos de pesquisa, empresas e agricultores. Esses atores têm conseguido sinergizar as boas condições naturais brasileiras com um formidável desenvolvimento em pesquisa e inovação, que em conjunto com algumas políticas públicas viabilizadoras colocaram o Brasil numa posição de destaque na produção e exportação global de produtos agrícolas.

Os números do setor mostram a importância dessa indústria para o país, contribuindo significativamente para o desenvolvimento econômico, social e ambiental do Brasil. Na safra “2016/2017”,

por exemplo, o país alcançou seu recorde de produção de grãos e forneceu alimentos para mais de 150 países em todos os continentes. A produção de origem animal e vegetal ultrapassa 400 produtos provenientes da agricultura em suas diferentes escalas e tamanhos de unidades produtivas. Como principais benefícios podem-se destacar a geração de empregos e de renda e os preços mais acessíveis dos alimentos aos consumidores brasileiros (Embrapa, 2018). Em 2017, a balança comercial do agronegócio brasileiro registrou superávit de US\$ 81,7 bilhões (Brasil, 2017).

Qualquer que seja o fator de produção avaliado (mão de obra, terra ou capital), observa-se forte incremento da sua produtividade nas últimas décadas: entre 1975 e 2015, a produtividade da mão de obra aumentou 5,4 vezes; a da terra 4,4; e a do capital teve um crescimento de 3,3 vezes (Gasques et al., 2017). Analisando a contribuição de cada um desses fatores, observa-se que a tecnologia é o principal impulsor da evolução da produtividade. Quando se considera o período entre 1975 e 2015, a tecnologia é responsável por 59% do crescimento do valor bruto da produção, enquanto terra e trabalho explicam 25% e 16%, respectivamente (Projeções..., 2017).

No caso do milho, por exemplo, os números são impressionantes. A produção total (1ª e 2ª safras) evoluiu de um patamar de cerca de 30 milhões de toneladas no início de década de 1990, para cerca de 98 milhões de toneladas na safra 2016/17 (Conab, 2018). Enquanto a produção cresceu 3,3 vezes, a produtividade evoluiu de cerca de 1.800 kg/ha em 1990, para os atuais 5.600 kg/ha, ou seja, um aumento de 3,1 vezes (Conab, 2018). Estes números comprovam que a evolução foi basicamente devida à melhor

tecnologia e gestão agrícola, uma vez que a área total plantada aumentou apenas 1,3 vez nos últimos 17 anos.

Os novos desafios

Todavia, os bons resultados e sucesso alcançados até aqui não são garantia de um futuro próspero. Segundo Fine (1998), qualquer vantagem competitiva é temporária e os negócios precisam evoluir continuamente, assim como ocorre com os seres vivos. Na verdade, as dificuldades tendem a aumentar com o tempo, uma vez que os bons resultados de um país ou de um setor estimulam a entrada de novos “jogadores”, o que normalmente acirra a competição, comprimindo as margens de resultado e de lucro. Isso é exatamente o que move a economia, pois com margens mais estreitas os competidores têm que ser mais competentes no uso de todos os recursos. Assim, a sociedade como um todo tende a se aprimorar, transformando-se continuamente para melhor.

Além desta questão conjuntural, inerente à maturidade dos mercados, é importante reconhecer que questões estruturais e peculiares do Brasil impõem um aumento significativo e constante dos nossos custos de produção. Apenas a título de exemplo, se considerarmos a indústria de produtos florestais, estudos indicam que, apesar da incontestável liderança tecnológica mundial do setor brasileiro de árvores plantadas, a produção de madeira ficou significativamente mais cara no país nos últimos anos. Segundo Silva et al. (2017), entre os anos de 2000 e 2015, a inflação do setor florestal brasileiro foi cerca de uma vez e meia a inflação nacional, medida pelo Índice de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA). Neste caso específico, os motivos estão relacionados principalmente ao aumento da competição

por terras e madeira e à estagnação da produtividade dos plantios nacionais, fruto da redução de investimentos governamentais no setor e também dos efeitos das mudanças climáticas.

Levando-se em consideração a agropecuária brasileira, vários desafios importantes precisam ser analisados e considerados nas estratégias de produção, pois estes podem trazer riscos à longevidade do sucesso alcançado até então. Para ilustrar esse ponto, Lopes (2012) analisa alguns desafios e fragilidades da agropecuária brasileira, dos quais destacam-se:

- A logística como um fator-chave para a competitividade, uma vez que uma fração cada vez maior da produção agrícola terá que ser mobilizada via comércio internacional, pois a distribuição da população mundial por região não acompanha a distribuição de terras cultiváveis.
- Estresses tenderão a ser intensificados com as mudanças climáticas globais, levando à necessidade de desenvolvimento de tecnologias para mitigação e adaptação, incluindo zoneamentos e sistemas de produção mais sofisticados e integrados.
- Crescimento das pressões para “descarbonização” das economias
- Crescimento das pressões para redução do consumo de energia, especialmente aquele associado ao desperdício. A agropecuária terá que dar a sua contribuição, especialmente por meio da redução de perdas em pré e pós-colheita e do desenvolvimento de tecnologias mais eficazes para

processamento, transporte, armazenagem e conservação da produção.

- Otimização do uso da água, principalmente levando-se em consideração que a agricultura é responsável por cerca de 70% da água utilizada globalmente.
- Crescimento da produtividade de cereais em declínio, talvez em função de alguns métodos convencionais de produção estarem chegando próximo do seu teto de contribuição.
- Aceleração do processo de urbanização, o que tem aumentado consideravelmente a necessidade de automação na agropecuária, aumento da eficiência e da qualidade de vida dos trabalhadores rurais, avanços na agricultura de precisão, além de um manejo cada vez mais sítio-específico.

Além dos fatores intrínsecos à agropecuária, mais recentemente se observa uma crescente tendência à ruptura tecnológica, que pode levar à substituição extremamente rápida dos sistemas de produção, e até mesmo dos produtos vigentes. Isso já está acontecendo em várias indústrias, segundo o Singularity University (2016), que afirma que o potencial de novos empreendedores inesperadamente alterarem a competitividade de indústrias e gigantes corporativos tradicionais nunca foi tão grande, seguindo o “Modelo 6D das Organizações Exponenciais”. O mais importante, neste caso, é a constatação de que a tecnologia da informação (TI) já chegou à vida real, trazendo transformações em velocidades nunca antes imaginadas em indústrias tradicionais, como energia, automóveis e hospedagem, apenas para citar alguns exemplos. A indústria agropecuária global certamente não está imune a esta revolução, podendo ser

impactada positiva ou negativamente por ela, dependendo das estratégias adotadas pelos vários atores desta cadeia.

Estratégias vencedoras

Diante desse cenário relativamente novo, dinâmico e bastante desafiador, a questão que precisa de respostas urgentes da agropecuária brasileira é: como ela pode se manter competitiva diante de custos crescentes, margens comprimidas, recursos naturais que tendem a ficar mais escassos e rupturas tecnológicas? Obviamente não há uma resposta trivial para esta questão, mas estudos têm sido feitos no sentido de identificar estratégias e comportamentos que têm mais chances de serem vencedores, num mundo em transformação e de grandes desafios. Há muitas instituições estudando o assunto no mundo todo, destacando-se o Massachusetts Institute of Technology (MIT), nos Estados Unidos, e o International Institute for Management Development (IMD), na Suíça. Uma compilação dos resultados das pesquisas realizadas por estas duas instituições, além da experiência prática em gestão da inovação numa grande empresa do agronegócio, propicia a escolha de três estratégias/comportamentos entendidos como fundamentais para manter e ganhar competitividade, diante de um mundo que se caracteriza por volatilidade e incerteza:

Ambidestria: as organizações e os indivíduos vencedores na era do conhecimento, da interconexão em tempo real (e global) e da velocidade exponencial serão aqueles que conseguirem ser “ambidestros” (Paap, 2014): excelentes na rotina (presente) e excelentes na inovação (futuro), ao mesmo tempo e no mesmo “corpo”. Para isso há necessidade de se desenvolver estratégias diferentes para conduzir e medir as ações voltadas para cada uma dessas dimensões.

Proatividade para a mudança contínua: não há como falar de inovação, sem falar de mudança! A questão é que há fatores psicológicos que exercem forte influência para uma organização (ou indivíduo) mudar ou não mudar (Fernandez, 2017). Exemplos desses fatores são: 1) Apego ao investimento já realizado ou apego a continuar fazendo o que sempre foi feito e deu certo. 2) Quando há incerteza (e sempre haverá em relação ao futuro), a dor de uma possível perda (que é a definição de ameaça) é um fator mais relevante para a mudança do que a satisfação com um potencial ganho. O problema é que muitas vezes o processo de investigação para captar e entender as ameaças não está corretamente estruturado, e por isso o processo de mudança acaba por não ser desencadeado. Ou seja, a existência de um bom processo de investigação sobre as ameaças, principalmente as menos óbvias, é essencial para que a proatividade à mudança seja parte do “DNA” da empresa e dos seus colaboradores.

Incerteza como parte do jogo (Katz, 2014): muitos confundem incerteza com risco e este é um grande erro na definição das estratégias de transformação. Risco não é incerteza. Risco é exposição, algo que sempre pode ser mitigado com planos bem definidos e correta execução (Paap, 2014). Se uma organização deseja gerenciar o risco e, ao mesmo tempo, inovar, é necessário que ela trabalhe para reduzir a exposição, ou seja, prever o que fazer se algo der errado. O erro mais comum, que pode inibir os processos de transformação e inovação, e tirar a empresa do jogo da competitividade, é gerenciar o risco pela redução da incerteza.

Consideração final

Os desafios globais e as rupturas tecnológicas, muitas ainda nem sequer descobertas ou imagináveis, podem ser ameaças à competitividade da agropecuária brasileira. Todavia, os nossos produtores e a nossa indústria têm os pilares necessários para transformar essas ameaças em oportunidades, contribuindo para a perenidade do nosso sucesso e para a sustentabilidade do próprio planeta, tornando viável o “produzir mais com menos”. Estimativas indicam que em função do crescimento populacional, em 2050 poderemos ter um déficit mundial da ordem de 200 milhões de hectares de terras produtivas, impactando diretamente a produção de alimentos, fibras e energia. É responsabilidade de todos nós – envolvidos de alguma forma com o uso dos recursos naturais – encontrar saídas para mitigar esses impactos, o que obrigatoriamente passa pelo processo de inovação tecnológica e pela modernização das nossas estratégias de negócio e dos comportamentos empresariais, sem perder a essência e a força das nossas tradições rurais. Os recursos naturais agradecem.

Referências

- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Agrostat**: estatísticas de comércio exterior do agronegócio brasileiro. Brasília, DF, 2017. Disponível em: <<http://indicadores.agricultura.gov.br/agrostat/index.htm>>. Acesso em: 25 jun. 2018.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Série histórica das safras**. Brasília, DF, 2018. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras?start=20>>. Acesso em: 2 jun. 2018.

EMBRAPA. **Visão 2030: o futuro da agricultura brasileira**. Brasília, DF, 2018. 212 p.

FERNANDEZ, R. M. **The psychology of getting things done**. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology, 2017. Aula do curso Global Executive Academy, 3 set. 2014.

FINE, C. H. **Clock speed: winning industry control in the age of temporary advantage**. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology, 1998. 272 p.

GASQUES, J. G.; BACCHI, M. R. P.; BASTOS, E. T. **Impactos do crédito rural sobre variáveis do agronegócio**. Brasília, DF: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2017. Apresentação no Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada - IPEA, 20 mar. 2017.

KATZ, R. **Management of technical professionals in organizations**. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology, 2017. Aula do curso Global Executive Academy, 4-6 set. 2014.

LOPES, M. A. **O novo contexto da pesquisa agropecuária brasileira**. São Paulo: [s.n.], 2012. Apresentação na Federação da Indústrias do Estado de São Paulo, 5 nov. 2012.

PAAP, J. **Building and sustaining the innovative organization: the elements of innovation**. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology, 2017. Aula do curso Global Executive Academy, 24 out. 2014.

PROJEÇÕES do agronegócio: Brasil: 2016/17 a 2026/27: projeções de longo prazo. Brasília, DF: MAPA/SPA, 2017. 103 p.

SILVA, C. A. F.; BUENO, J. M.; NEVES, M. R. **A indústria de celulose e papel no Brasil**. São Paulo: Guia ABTCP Fornecedores e Fabricantes Celulose e Papel, 2017.

SINGULARITY UNIVERSITY. **The 6 Ds of Tech Disruption: a guide to the digital economy**. 2016. Disponível em: <<https://singularityhub.com/2016/11/22/the-6-ds-of-tech-disruption-a-guide-to-the-digital-economy/#sm.0000sbuj8138dcnspui2qc7gn546z>>. Acesso em: 12 maio 2018.

Capítulo 31

Situação Atual da Resistência de Plantas Daninhas a Herbicidas nos Sistemas Agrícolas

Décio Karam

Alexandre Ferreira da Silva

Dionísio Luís Pisa Gazziero

Fernando Storniolo Adegas

Leandro Vargas

Introdução

Um dos fatores que mais afeta o rendimento e a produtividade agrícolas é a ocorrência de agentes bióticos, dentre os quais as plantas daninhas, por causar efeitos diretos na cultura principal, como o alto grau de interferência (ação conjunta da competição e da alelopatia) e efeitos indiretos como o aumento do custo de produção, dificuldade de colheita, depreciação da qualidade do produto além de hospedar pragas e doenças, podendo causar perdas médias na produção na ordem de 36% (Oerke, 2006), estendendo-se em alguns casos a mais de 80% de perda quando as plantas daninhas não são controladas (Zandoná et al., 2018; Agostinetto et al., 2017; Alves et al., 2013; Silva; Pires, 1990).

Nos dias atuais é conhecida a existência de, aproximadamente, 391 mil espécies de plantas, e tão-somente 5 mil são fontes para a alimentação humana (Royal Botanic Gardens, 2016), enquanto 8 mil são consideradas plantas daninhas, e destas apenas 250 são consideradas de importância agrícola, sendo 40% pertencente as famílias Poaceae e Asteraceae (Holm et al., 1979). Para a

realização apropriada do Manejo Integrado de Plantas Daninhas (MIPD), é importante e necessário que seja feita identificação correta das espécies presentes, bem como sua frequência na área, pois cada espécie apresenta distinto potencial para se estabelecer e agressividade específica, o que pode interferir de forma diferente em cada cultura.

A utilização dos herbicidas como ferramenta para o controle químico das plantas daninhas tem sido frequente pelos agricultores, em razão de praticidade, economia e eficiência, quando comparado a outros métodos de controle. Contudo, o uso inapropriado de herbicidas tem provocado a evolução de muitos casos de resistência a tais compostos por diversas espécies de plantas daninhas. Este processo compromete a obtenção de elevados rendimentos nos cultivos agrícolas, ocasionando aumento nos custos de produção e inviabilizando a utilização de determinados herbicidas.

Resistência x tolerância

Muito tem se falado sobre o surgimento de plantas daninhas “resistentes” aos herbicidas. Entretanto, para que possamos acreditar nessa afirmação, devemos antes entender o significado de seleção de plantas daninhas com “resistência” e compará-lo com o significado de seleção de plantas daninhas com “tolerância” aos herbicidas. Para isso, podemos entender a “**resistência**” como sendo: a habilidade adquirida de uma planta daninha de sobreviver e se reproduzir, após a aplicação de um herbicida que, utilizado na dose e estágio vegetativo indicada na bula, controla a população de plantas normais desta mesma espécie; e a “**tolerância**” como sendo: a capacidade que determinadas plantas daninhas possuem de suportar em

determinados estádios vegetativos as doses recomendadas do herbicida, que controlem outras espécies invasoras, sem que as plantas desta espécie sofram alterações no seu crescimento e/ou no seu desenvolvimento. Como exemplo de plantas daninhas tolerantes aos herbicidas temos espécies como trapoeraba (*Commelina* spp.), corda-de-viola (*Ipomoea* spp) erva-quente (*Spermacoce latifolia*) e poaia-branca (*Richardia brasiliensis*), que apresentam níveis diferenciados de **tolerância** aos herbicidas inibidores da enzima EPSPs (glyphosate), enquanto buva (*Conyza* spp.), capim-amargoso (*Digitaria insularis*) e azevém (*Lolium multiflorum*), dentre outras, eram sensíveis e adquiriram resistência ao mesmo grupo herbicida.

O surgimento de plantas daninhas resistentes aos herbicidas sempre está associado às mudanças genéticas que ocorrem na população dessa invasora, em função da seleção causada pela aplicação repetida de um mesmo herbicida ou herbicidas com um mesmo mecanismo de ação. A variabilidade genética está presente nas populações infestantes e, caso um mesmo produto seja sempre utilizado nestas populações, as plantas resistentes sobreviverão e, nos anos subsequentes, aumentarão a frequência destas plantas na população, até que somente ocorram plantas resistentes na área tratada.

Resistência de plantas daninhas a herbicidas

Inicialmente detectada na década de 1950, a resistência de plantas daninhas tem sido cada vez mais reportada mundialmente para os diferentes mecanismos de ação de herbicidas conhecidos. A resistência simples, ou resistência a apenas um mecanismo de ação e a um único herbicida, foi a primeira a ser identificada. Os primeiros casos de seleção da resistência para plantas

daninhas foram identificados em *Daucus carota* e *Commelina duffusa* para o 2,4D, herbicida do grupo das auxinas sintéticas, respectivamente em Ontário, no Canadá, e no Hawaii, Estados Unidos (Switzer, 1957; Hilton, 1957) (**Tabela 1**).

Tabela 1. Ano de introdução de herbicidas e primeiro relato de resistência de plantas daninhas por mecanismos de ação de herbicidas. Fonte: Heap (2018).

Mecanismos de ação dos herbicidas	Ano de introdução no mercado	ano do primeiro relato	País do primeiro relato	Planta daninha
mimetizadores de auxina (auxinas)	1946	1957	Estados Unidos	<i>Commelina difusa</i>
			Canadá	<i>Daucus carota</i>
inibidores da fotossíntese no fotossistema II (ureias, amidas)	1952	1979	Israel	<i>Alopecurus myosuroides</i>
inibidores da fotossíntese no fotossistema II (triazinas)	1953	1984	Estados Unidos	<i>Abutilon theophrasti</i>
inibidores da síntese de lipídios diferentes de inibidores da ACCase-tiocarbamatos	1954	1982	Austrália	<i>Lolium rigidum</i>

Tabela 1 cont. Ano de introdução de herbicidas e primeiro relato de resistência de plantas daninhas por mecanismos de ação de herbicidas. Fonte: Heap (2018).

Mecanismos de ação dos herbicidas	Ano de introdução no mercado	ano do primeiro relato	País do primeiro relato	Planta daninha
inibidores da síntese de carotenoides (alvo desconhecido) - triazoles (FSII)	1955	1993	Bélgica	<i>Poa annua</i>
inibidores da divisão celular - cloroacetamidas (FS II)	1956	1982	Austrália	<i>Lolium rigidum</i>
inibidores da mitose - carbamatos	1959	1982	Austrália	<i>Lolium rigidum</i>
inibidores da formação de microtúbulos - dinitroanilidas	1960	1973	Estados Unidos	<i>Eleusine indica</i>
inibidores da fotossíntese no fotossistema I - bipiridiliuns	1962	1980	Tailândia	<i>Conyza sumatrensis</i>
			Japão	<i>Erigeron phladelphiais</i>
			Japão	<i>Conyza canadensis</i>

Tabela 1 cont. Ano de introdução de herbicidas e primeiro relato de resistência de plantas daninhas por mecanismos de ação de herbicidas. Fonte: Heap (2018).

Mecanismos de ação dos herbicidas	Ano de introdução no mercado	ano do primeiro relato	País do primeiro relato	Planta daninha
inibidores da fotossíntese no fotossistema II-nitrilas, benzo-tiadiazinonas	1964	1995	Estados Unidos	<i>Senecio vulgaris</i>
inibidores da enzima proto-porfirinogênio oxidase (Protox)	1966	2001	Estados Unidos	<i>Amaranthus tuberculatus</i>
inibidores da enzima enol-piruvil-shikimato-fosfato sintase (EPSPs)	1971	1996	Austrália	<i>Lolium rigidum</i>
inibidores da enzima acetil-coenzima A Carboxilase (ACCCase)	1975	1982	Austrália Inglaterra	<i>Lolium rigidum</i> <i>Alopecurus myosuroides</i>
inibidores da síntese de carotenoides na fiteno desaturase (PDS) - piridazinonas	1976	2002	Estados Unidos	<i>Hydrilla verticillata</i>

Tabela 1 cont. Ano de introdução de herbicidas e primeiro relato de resistência de plantas daninhas por mecanismos de ação de herbicidas. Fonte: Heap (2018).

Mecanismos de ação dos herbicidas	Ano de introdução no mercado	ano do primeiro relato	País do primeiro relato	Planta daninha
inibidores da enzima acetolactato sintase (ALS)	1980	1982	Austrália	<i>Lolium rigidum</i>
			Inglaterra	<i>Alopecurus myosuroides</i>
inibidores da enzima glutamina sintetase (glutamina)	1981	2009	Malásia	<i>Eleusine indica</i>
inibidores do transporte de auxinas	1955	-	-	-
Descoplador de fosforilação oxidativa (disruptores de membrana)	1930	-	-	-
Inibidor da DHP (dihidropteroato síntese)	1975	-	-	-

Tabela 1 cont. Ano de introdução de herbicidas e primeiro relato de resistência de plantas daninhas por mecanismos de ação de herbicidas. Fonte: Heap (2018).

Mecanismos de ação dos herbicidas	Ano de introdução no mercado	ano do primeiro relato	País do primeiro relato	Planta daninha
Inibidores da síntese de celulose (parede celular)	1962	2004	Itália	<i>Echinochloa erecta</i>
inibidores da enzima 4-hidroxifenilpiruvato dioxigenase (hppd) - tricetonas	1984	2009	Estados Unidos	<i>Amaranthus palmeri</i> <i>Amaranthus tuberculatus</i>

A partir desta seleção, novos casos de resistência foram reportados sendo que, mundialmente, há relatos de que 495 biótipos já apresentam resistência simples a um único mecanismo de ação. Tais biótipos pertencem a 255 espécies; destas, 148 são dicotiledôneas, comumente chamadas de folhas largas, e 107 são monocotiledôneas, as plantas daninhas de folhas largas (**Figura 1**), sendo estas relatadas em 92 culturas em 72 países (**Figura 2**) (Heap, 2018). Neste contexto, a cultura do trigo é que apresenta maior número de biótipos e espécies de plantas daninhas resistentes (**Figura 3**), e isto pode ser explicado porque essa é a principal cultura plantada no mundo, embora a soja seja a cultura que mais consome herbicida, acumulando mais de 50% das vendas destes produtos.

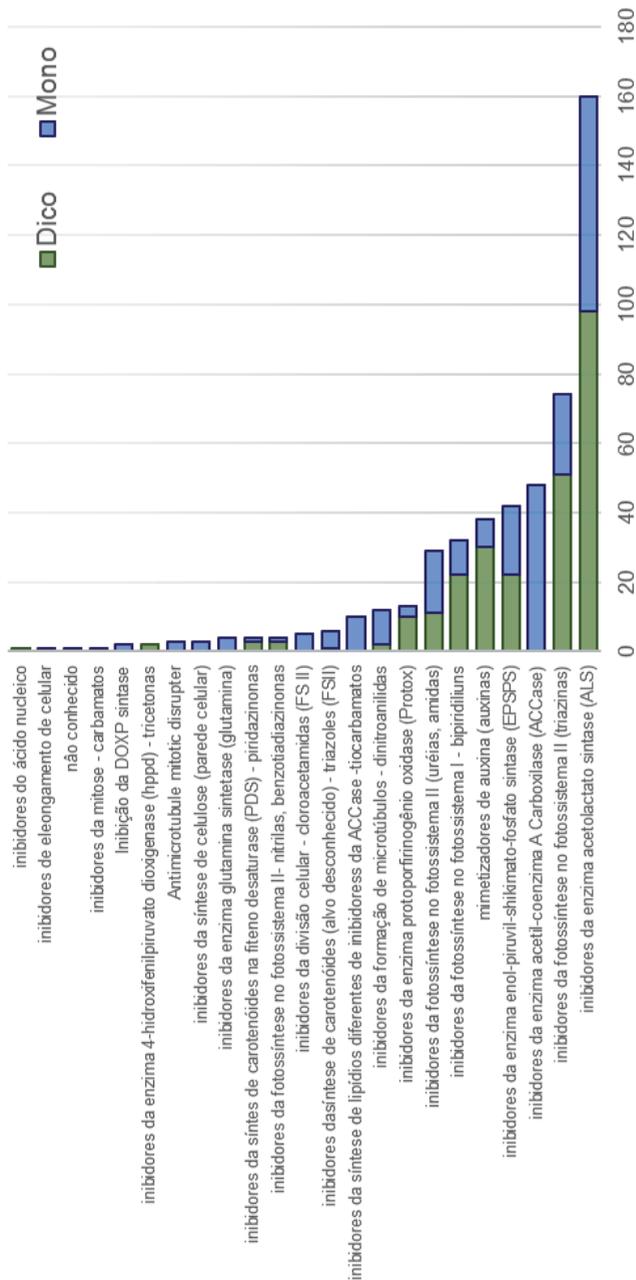


Figura 1. Número de espécies de plantas daninhas resistentes (monocotiledôneas - Mono e dicotiledôneas – Dico) a herbicidas relacionadas por modo de ação. Fonte: Heap (2018).

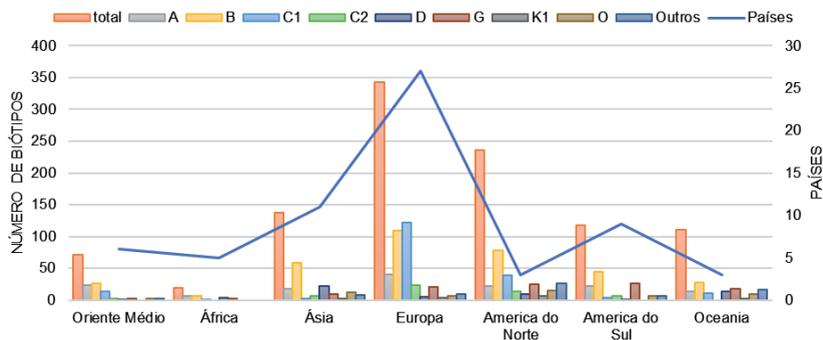


Figura 2. Número de biótipos de plantas daninhas resistentes em diferentes regiões baseado nos mecanismos de ação dos herbicidas. Fonte: Heap (2018).

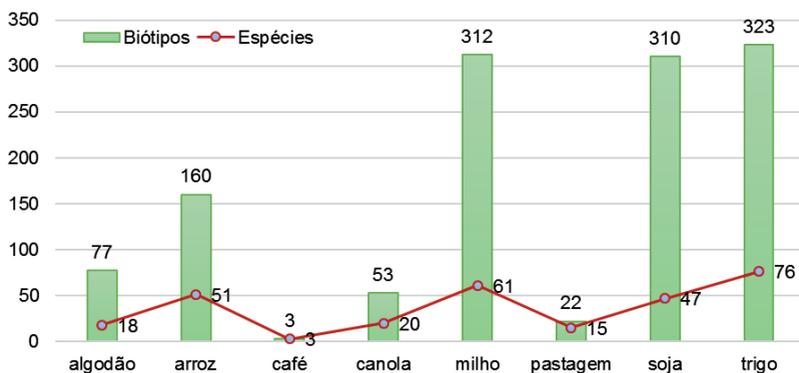


Figura 3. Número de biótipos e espécies de plantas daninhas resistentes a herbicidas relatadas nas principais culturas. Fonte: Heap (2018).

Tipos de resistência

A resistência de plantas daninhas é conhecida de três formas:

1. resistência simples, ou seja, a planta daninha é resistente a herbicidas de um mesmo grupo herbicida (exemplo: imidazolinonas);
2. resistência cruzada que implica a planta daninha ser resistente a dois ou mais herbicidas de um único mecanismo de ação pertencentes a diferentes grupos químicos (exemplo: imidazolinonas e sulfonilureias);
3. resistência múltipla, em que a planta daninha apresenta resistência a dois ou mais herbicidas com diferentes mecanismos de ação (exemplo: imidazolinonas e EPSPs).

A resistência simples tem sido descrita em diferentes herbicidas, e, de acordo com o levantamento de plantas daninhas resistentes, há 495 casos deste tipo de resistência reportados (Heap, 2018). Entretanto, atualmente vários casos de resistência cruzada e múltipla têm sido reportados. Gazziero et al. (2000), em estudo realizado no Brasil, demonstra a resistência cruzada de *Brachiaria plantaginea* a diferentes herbicidas inibidores da ACCase. Avaliando a resistência cruzada de herbicidas do grupo da imidazolinonas, inibidores da enzima ALS, na Malásia, Dilipkumar et al. (2018) comprovaram a existência de resistência cruzada em arroz vermelho (*Oryza sativa*) para os herbicidas imazapyr e imazapic. Resultados comprovando também a resistência cruzada foi obtido por Chiapinotto et al. (2017) para *Cyperus iria* a herbicidas inibidores da enzima ALS dos grupos químicos das imidazolinonas; sulfonilureias; triazolopyrimidinas; e pyrimidinyl(thio)benzoatos. Contudo, a grande problemática da resistência é a múltipla pois pode eliminar, para o produtor rural, vários grupos de herbicidas para manejo da espécie (**Tabela 2**).

Tabela 2. Relação das espécies, dos números de mecanismos de ação que possuem relatos resistência e do maior número de mecanismos resistência identificados em um único biótipo. Fonte: Heap (2018).

Espécies	Mecanismos de ação relatados	Resistência múltipla	País do relato da resistência múltipla
<i>Alopecurus myosuroidis</i>	7	5	Bélgica
<i>Amaranthus hybridus</i>	6	2	Argentina / Estados Unidos
<i>Amaranthus palmeri</i>	6	3	Estados Unidos
<i>Amaranthus retroflexus</i>	5	2	Estados Unidos/ Brasil / China / Alemanha
<i>Amaranthus tuberculatus</i>	6	4	Estados Unidos/ Canadá
<i>Ambrosia artemisifolia</i>	5	3	Estados Unidos
<i>Avena fatua</i>	7	5	Canada Estados Unidos
<i>Conyza canadensis</i>	5	2	Unidos/ Israel / Canadá
<i>Conyza sumatrensis</i>	6	5	Brasil Venezuela /
<i>Echinochloa colona</i>	7	3	Estados Unidos/ Costa Rica

Tabela 2 cont. Relação das espécies, dos números de mecanismos de ação que possuem relatos resistência e do maior número de mecanismos resistência identificados em um único biótipo. Fonte: Heap (2018).

Espécies	Mecanismos de ação relatados	Resistência múltipla	País do relato da resistência múltipla
<i>Echinochloa cruz galli var cruz galli</i>	10	4	Estados Unidos
<i>Eleusine indica</i>	8	4	Malásia
<i>Kochia scoparia</i>	4	4	Estados Unidos
<i>Lolium perene spp. multiflorum</i>	8	4	Estados Unidos
<i>Lolium rigidum</i>	14	7	Austrália
<i>Poa annua</i>	9	5	Austrália
<i>Raphanus raphanistrum</i>	5	4	Austrália
<i>Senecio vernalis</i>	5	5	Israel

Mecanismos de ação

Os herbicidas são classificados de acordo com seu mecanismo de ação, ou seja, onde o herbicida irá atuar para matar a planta daninha. Atualmente são considerados três diferentes classificações dos mecanismos de ação (**Tabela 3**). A introdução de moléculas herbicidas no mercado consumidor com diferentes mecanismos de ação (**Tabela 1**) sofreu uma estagnação a partir de meados da década de 1980, coerente este fato com a introdução da primeira cultivar geneticamente modificada com tolerância ao herbicida glyphosate. Dos 26 mecanismos de ação de herbicidas conhecidos, 23 já ocasionaram seleção plantas daninhas resistentes, relatados para 163 herbicidas comerciais.

Dos herbicidas comercializados, os inibidores da enzima ALS são os produtos que mais selecionaram resistência de plantas daninhas, sendo quase o dobro dos herbicidas inibidores da enzima PPO (**Figura 4**), embora o herbicida que mais tenha sido reportado como selecionador de plantas daninhas resistentes seja a atrazine com 66 espécies relatadas (**Figura 5**).

Resistência no Brasil

Os primeiros casos de resistência de plantas daninhas a herbicidas no Brasil datam da década de 90, com a espécie *Euphorbia heterophylla* aos inibidores da enzima ALS (Gazziero et al., 1998; Vidal; Fleck, 1997), *Bidens pilosa* resistentes a ALS (Ponchio et al., 1996; Christoffoleti et al., 1996; Vidal; Fleck, 1997) e *Brachiaria plantaginea* resistente a herbicidas inibidores da enzima ACCase (Vidal; Fleck, 1997). Atualmente no Brasil já são conhecidas 28 espécies resistentes (**Tabela 4**) de diversas famílias botânicas com resistência a diferentes herbicidas registrados para uso agrícola no país (Heap, 2018). No Estado do Paraná, já foram identificados biótipos de buva, com resistência aos produtos que agem como inibidores da enzima ALS (Santos et al., 2014b), a inibidores da EPSPs (Vargas et al., 2007; Trezzi et al., 2011) e com resistência múltipla a inibidores da EPSPs e ALS (Santos et al., 2014a) A implicação desta resistência é grave, pois o produtor perde dois modos de ação de herbicidas para serem utilizados no manejo desta espécie.

Tabela 3. Grupo de herbicidas por mecanismos de ação em função de três classificações utilizadas mundialmente. Fonte: Heap (2018)

Mecanismos de ação	HRAC	WSSA	AUSSIE	exemplo de herbicida
inibidores da enzima acetolactato sintase (ALS)	B	2	B	chlorsulfuron
inibidores da fotossíntese no fotossistema II (triazinas)	C1	5	C	atrazine
inibidores da enzima acetil-coenzima A Carboxilase (ACCase)	A	1	A	sethoxydim
inibidores da enzima enol-piruvil-shikimato-fosfato sintase (EPSPs)	G	9	M	glyphosate
mimetizadores de auxina (auxinas)	O	4	I	2,4-D
inibidores da fotossíntese no fotossistema I – biperidiliuns	D	22	L	paraquat
inibidores da fotossíntese no fotossistema II (ureias, amidas)	C2	7	C	chlorotoluron
inibidores da enzima protoporfirinogênio oxidase (Protox)	E	14	G	oxyfluorfen
inibidores da formação de microtúbulos – dinitroanilidas	K1	3	D	trifluralin
inibidores da síntese de lipídios diferentes de inibidores da ACCase -tiocarbamatos	N	16, 26, 8	J	triallate
inibidores da síntese de carotenóides (alvo desconhecido) - triazoles (FSII)	F3	11	Q	amitrole
inibidores da divisão celular - cloroacetamidas (FS II)	K3	15	K	butachlor
inibidores da fotossíntese no fotossistema II- nitrilas, benzotiadiazinonas	C3	6	C	bromoxynil
inibidores da síntese de carotenóides na fiteno desaturase (PDS) – piridazinonas	F1	12	F	diflufenican
inibidores da enzima glutamina sintetase (glutamina)	H	10	N	glufosinate-ammonium
inibidores da síntese de celulose (parede celular)	L	18	R	dichlobenil
Antimicrotubule mitotic disrupter	Z	25	Z	flamprop-methyl
inibidores da enzima 4-hidroxiifenilpiruvato dioxygenase (hppd) - tri-cetonas	F2	27	H	isoxaflutole
Inibição da DOXP sintase	F4	13	Q	comazone
inibidores da mitose – carbamatos	K2	23	E	propham
não conhecido	Z	27	Z	endothall
inibidores de alongamento celular	Z	8	Z	difenzoquat
inibidores do ácido nucleico	Z	17	Z	MSMA

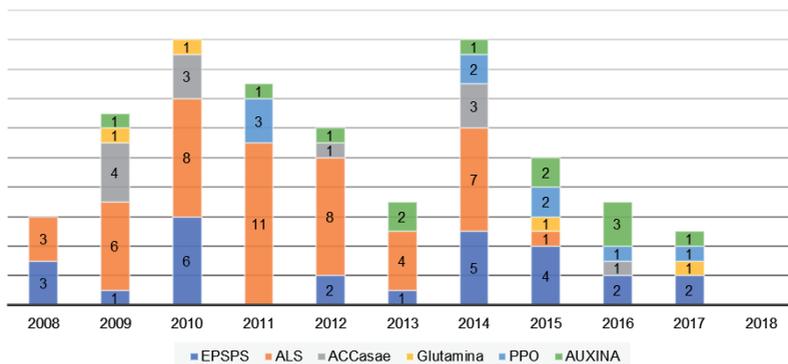


Figura 4. Número de novas espécies relacionadas com resistência a herbicidas. Fonte: Heap (2018).

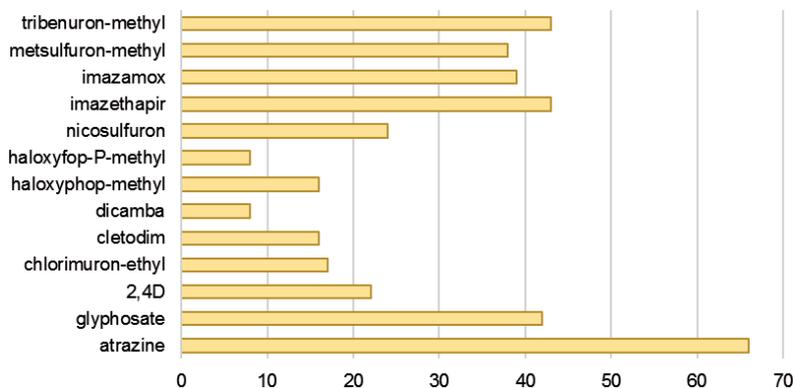


Figura 5. Número de espécies de plantas daninhas resistentes a determinados herbicidas. Fonte: Heap (2018).

Tabela 4. Plantas daninhas resistentes a herbicidas relatadas no Brasil. Fonte: Heap (2018).

Espécie	Ano do relato	Mecanismo de Ação¹
<i>Ageratum conyzoides</i>	2013	Inibidores da ALS (B/2)
<i>Amaranthus palmeri</i>	2015	Inibidores da EPSPs (G/9)
	2016	Inibidores da ALS(B/2) / Inibidores da EPSPs(G/9)
	2011	Inibidores da ALS(B/2) / Inibidores do fotossistema II (C1/5)
<i>Amaranthus retroflexus</i>	2012	Inibidores da ALS(B/2)
	2014	Inibidores da PPO (E/14)
	2011	Inibidores da ALS(B/2) / Inibidores do fotossistema II(C1/5)
<i>Avena fatua</i>	2010	Inibidores da ACCase (A/1)
<i>Bidens pilosa</i>	1993	Inibidores da ALS(B/2)
	2016	Inibidores da ALS (B/2) / Inibidores do fotossistema II(C1/5)
	1996	Inibidores da ALS(B/2)
<i>Bidens subalternans</i>	2006	Inibidores da ALS(B/2) / Inibidores do F II(C1/5)

Tabela 4 cont. Plantas daninhas resistentes a herbicidas relatadas no Brasil. Fonte: Heap (2018).

Espécie	Ano do relato	Mecanismo de Ação¹
<i>Chloris elata</i>	2014	Inibidores da EPSPs(G/9)
<i>Conyza bonariensis</i>	2005	Inibidores da EPSPs(G/9)
<i>Conyza canadensis</i>	2005	Inibidores da EPSPs(G/9)
	2010	Inibidores da EPSPs(G/9)
	2011	Inibidores da ALS(B/2)
	2011	Inibidores da ALS(B/2) / Inibidores da EPSPs(G/9)
	2016	Inibidores do F I (D/22)
<i>Conyza sumatrensis</i>	2017	Inibidores da PPO (E/14)
	2017	Inibidores da ALS (B/2) / Inibidores do F I (D/22) / Inibidores da EPSPs (G/9)
	2017	Inibidores do fotossistema II (C2/7) / Inibidores do F I (D/22) / inibidores da PPO (E/14) / Inibidores da EPSPs(G/9) / Auxinas sintéticas (O/4)
<i>Cyperus difformis</i>	2000	Inibidores da ALS(B/2)
<i>Cyperus iria</i>	2014	Inibidores da ALS(B/2)
<i>Digitaria ciliaris</i>	2002	Inibidores da ACCase (A/1)

Tabela 4 cont. Plantas daninhas resistentes a herbicidas relatadas no Brasil. Fonte: Heap (2018).

Espécie	Ano do relato	Mecanismo de Ação¹
<i>Digitaria insularis</i>	2008	Inibidores da EPSPS (G/9)
	2016	Inibidores da ACCase (A/1)
	1999	Auxinas sintéticas (O/4)
<i>Echinochloa crus-galli</i>	2009	Inibidores da ALS (B/2) / Auxinas sintéticas (O/4)
	2015	ACCCase inhibitors (A/1) / Inibidores da ALS(B/2) / inibidores da celulose (L/26)
<i>Echinochloa crus-pavonis</i>	1999	Auxinas sintéticas (O/4)
<i>Echium plantagineum</i>	2015	Inibidores da ALS (B/2)
	2003	Inibidores da ACCase (A/1)
<i>Eleusine indica</i>	2016	Inibidores da EPSPs (G/9)
	2017	Inibidores da ACCase (A/1) / Inibidores da EPSPs (G/9)
<i>Euphorbia heterophylla</i>	1993	Inibidores da ALS (B/2)
	2004	Inibidores da ALS (B/2) /inibidores da PPO (E/14)

Tabela 4 cont. Plantas daninhas resistentes a herbicidas relatadas no Brasil. Fonte: Heap (2018).

Espécie	Ano do relato	Mecanismo de Ação¹
<i>Fimbristylis miliacea</i>	2001	Inibidores da ALS (B/2)
	2003	Inibidores da EPSPs (G/9)
	2010	Inibidores da ALS (B/2)
<i>Lolium perenne</i> ssp. <i>multiflorum</i>	2010	Inibidores da ACCase (A/1) / Inibidores da EPSPs (G/9)
	2016	Inibidores da ACCase (A/1) / Inibidores da ALS (B/2)
	2017	Inibidores da ALS (B/2) / Inibidores da EPSPs (G/9)
<i>Oryza sativa</i> var. <i>sylvatica</i>	2006	Inibidores da ALS (B/2)
<i>Parthenium hysterophorus</i>	2004	Inibidores da ALS (B/2)
<i>Raphanus raphanistrum</i>	2013	Inibidores da ALS (B/2)
<i>Raphanus sativus</i>	2001	Inibidores da ALS (B/2)

Tabela 4 cont. Plantas daninhas resistentes a herbicidas relatadas no Brasil. Fonte: Heap (2018).

Espécie	Ano do relato	Mecanismo de Ação¹
<i>Sagittaria montevidensis</i>	1999	Inibidores da ALS (B/2)
	2009	Inibidores da ALS (B/2) / Inibidores do F II (C3/6)
<i>Urochloa plantaginea</i> (=<i>Brachiaria plantaginea</i>)	1997	Inibidores da ACCase (A/1)

ALS – acetolactato sintase, EPSPs - 5-eno piruvilshikimate-3-fosfato sintase, F II - fotossistema II, F I – fotossistema, PPO - protoporfirinogênio oxidase, ACCase - Acetil CoA carboxilase.

Resistência ao glyphosate

O glyphosate é o herbicida mais utilizado no manejo de plantas daninhas. O produto é derivado de aminoácidos que inibem a enzima EPSPs precursora da síntese de aminoácidos aromáticos como triptofano, fenilalanina e tirosina. Este herbicida apresenta amplo espectro de controle de plantas daninhas (anuais e perenes), custo relativamente baixo e rápida degradação no ambiente. Com o desenvolvimento de culturas geneticamente modificadas, tolerantes ao glyphosate, o consumo deste herbicida cresceu substancialmente, aumentando a pressão de seleção às plantas daninhas e ampliando a possibilidade do surgimento de plantas invasoras resistentes a este produto. Em áreas de cultivo de soja transgênica, resistente ao glyphosate, o manejo de plantas daninhas com este herbicida passou de uma a duas aplicações anuais para três a quatro aplicações ao ano. Mundialmente, o primeiro caso de resistência ao herbicida glyphosate foi relatado em 1996, com a espécie erva-febra (*Lolium rigidum*) (**Figura 6**). No Brasil, os primeiros relatos de plantas daninhas resistentes ao glyphosate ocorreram em 2002, nos municípios de Tapejara e Capão Bonito (RS). No país, há uma percepção da presença de buva e capim-amargoso resistentes ao herbicida glyphosate, entretanto muitos casos ainda não foram confirmados cientificamente (**Figura 7**). Entretanto, vários autores já têm reportado a resistência de *Digitaria insularis* (capim-amargoso) (Adegas et al., 2010; Carvalho et al., 2011; Ovejero et al., 2017) de *Lolium multiflorum* (azevém) (Roman et al., 2004; Vargas et al., 2005; Dors et al., 2010; Silva, 2012), *Conyza* spp. (buva) (Moreira et al., 2007; Vargas et al., 2007; Lamego; Vidal, 2008; Trezzi et al., 2011).

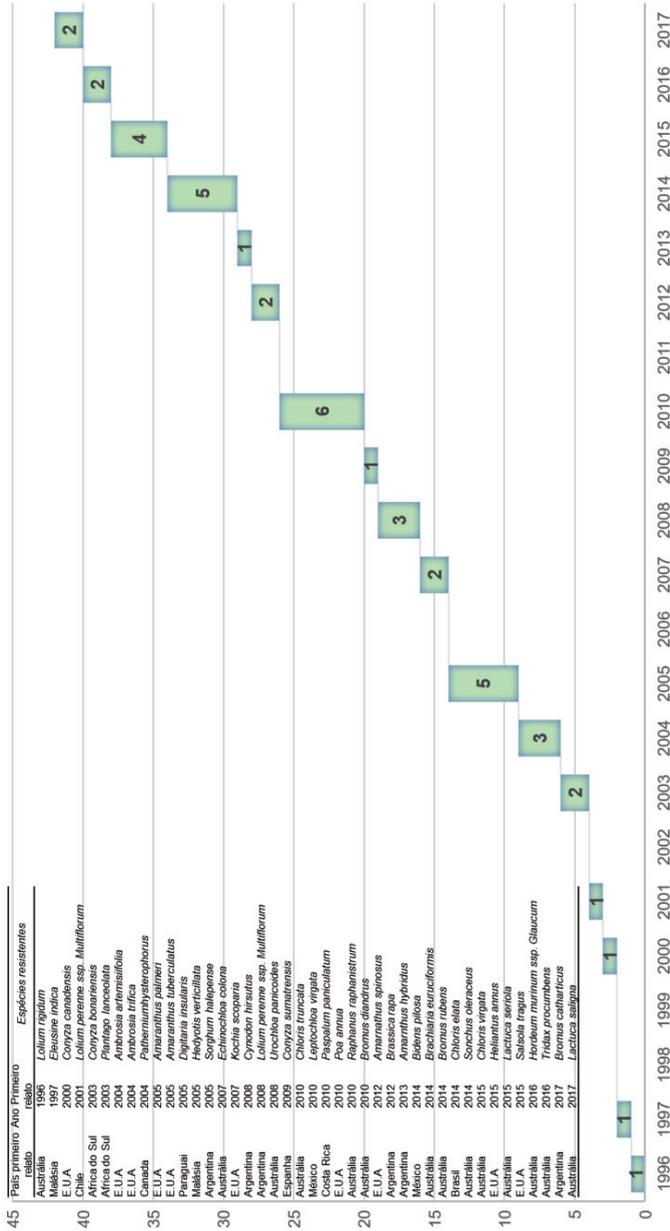


Figura 6. Evolução da seleção de espécies de plantas daninhas aos herbicidas inibidores da enzima EPSPs. Fonte: Heap (2018).

espécies resistentes. Porém, quando se insere uma perda de 5% pela competição imposta por estas plantas os custos passam a alcançar patamares de 9 bilhões (Adegas et al., 2017).

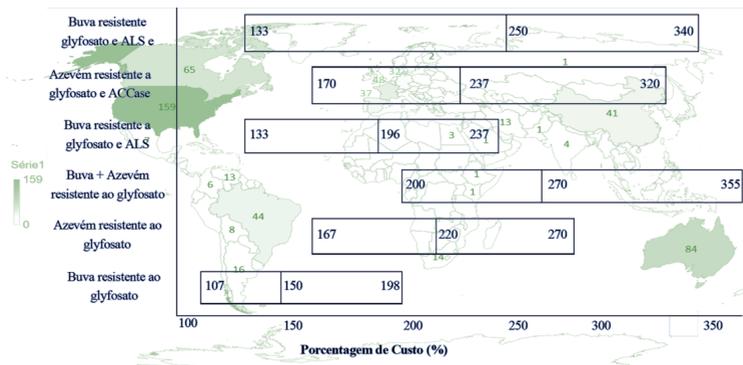


Figura 8. Variação percentual do custo do manejo de plantas daninhas resistentes a herbicidas. Fonte: Vargas et al. (2012).

Manejo da resistência

Quando uma população de plantas daninhas resistentes se estabelece em determinada área, a eficiência do controle, pela utilização de herbicidas, diminui. A identificação correta das espécies daninhas presentes na área se torna de fundamental importância para a adequação do método correto para o manejo a ser utilizado. Para prevenir, ou retardar, o aparecimento de plantas resistentes aos herbicidas são recomendadas as seguintes ações: utilização de rotação de culturas; manejo adequado dos herbicidas; rotação de mecanismos de ação (**Tabela 3**); prevenção da disseminação de sementes, pelo uso de equipamentos limpos; monitoramento da evolução inicial da resistência aos produtos; e controle das plantas daninhas suspeitas de resistência, antes que estas plantas produzam sementes.

Considerações finais

Os dados apresentados relatam a importância da resistência de plantas daninhas a herbicidas para a agricultura mundial e nacional. Os custos da produção estão cada vez mais elevados e a presença de plantas daninhas resistentes aos herbicidas tem contribuído de forma significativa para este fato. O uso de herbicidas alternativos e doses mais elevadas do que as recomendadas para o manejo da resistência é o fator mais importante nestes custos. A expectativa mundial é para o aumento de plantas daninhas resistentes sendo que a resistência múltipla passa a ter cada vez mais importância para os sistemas de produção agrícola. O uso de rotação e sucessão de culturas aliados a cobertura do solo tem contribuído de forma significativa para o manejo de plantas daninhas resistentes. Cada vez mais o produtor terá que fazer uso do manejo integrado de plantas daninhas, utilizando formas não químicas para a sustentabilidade dos sistemas produtivos

Agradecimentos

Aos convênios Embrapa/Bayer e Embrapa/Monsanto pelo suporte financeiro para a realização do levantamento e acompanhamento da resistência de plantas daninhas a herbicidas no Brasil.

Referências

ADEGAS, F. S.; VARGAS, L.; GAZZIERO, D. L. P.; KARAM, D.; SILVA, A. F. da; AGOSTINETTO, D. **Impacto econômico da resistência de plantas daninhas a herbicidas no Brasil**. Londrina: Embrapa Soja, 2017. 11 p. (Embrapa Soja. Circular Técnica, 132).

ADEGAS, F. S.; GAZZIERO, D. L. P.; VOLL, E.; OSIPE, R. Diagnóstico da existência de *Digitaria insularis* resistente ao herbicida glyphosate no sul do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 27., 2010, Ribeirão Preto. **Responsabilidade social e ambiental no manejo de plantas daninhas**. Ribeirão Preto: SBCPD, 2010. p. 761-765.

AGOSTINETTO, D.; SILVA, D. R. O. da; VARGAS, L. Soybean yield loss and economic thresholds due to glyphosate resistant hairy fleabane interference. **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v. 84, p. 1-8, 2017.

ALVES, G. S.; TARTAGLIA, F. L.; ROSA, J. C.; LIMA, P. C.; CARDOSO, G. D.; BELTRÃO, N. E. M. Períodos de interferência das plantas daninhas na cultura do girassol em Rondônia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 3, p. 275-282, 2013.

CARVALHO, L. B.; HIPOLITO, H. C.; TORRALVA, F. G.; ALVES, P. L. C. A.; CHRISTOFFOLETI, P. J. de; PRADO, R. Detection of sourgrass (*Digitaria insularis*) biotypes resistant to glyphosate in Brazil. **Weed Science**, Champaign, v. 59, n. 2, p. 171-176, 2011.

CHIAPINOTTO, D. M.; SCHAEGLER, C. E.; FERNANDES, J. P. S.; ANDRES, A.; LAMEGO, F. L. Cross-resistance of rice flatsedge to ALS-inhibiting herbicides. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 35, p. 1-12, 2017.

CHRISTOFFOLETI, P. J.; PONCHIO, J. A. R.; BERG, E. V. D.; VICTÓRIA FILHO, R. Imidazolinone resistant *Bidens pilosa* biotypes in the Brazilian soybean areas. In: MEETING OF THE WEED SCIENCE

SOCIETY OF AMERICA, 1996, Norfolk. **Abstracts**. Champaing: Weed Science Society of America, 1996. p. 10.

DILIPKUMAR, M.; BURGOS, N. R.; CHUAH, T. S.; ISMAIL, S. Cross-resistance to imazapic and imazapyr in a weedy rice (*Oryza sativa*) biotype found in Malaysia. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 36, p. 1-10, 2018.

DORS, C. A.; CHRISTOFFOLETI, P. J.; SANCHOTENE, D. M.; DIAS, A. C. R.; MANFRON, P. A.; DORNELLES, S. H. B. Suscetibilidade de genótipos de *Lolium multiflorum* ao herbicida glyphosate. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 28, n. 2, p. 401-410, 2010.

GAZZIERO, D. L. P.; BRIGHENTI, A. M.; MACIEL, C. D. G.; CHRISTOFOLLETI, P. J.; ADEGAS, F. S.; VOLL, E. Resistência de amendoim-bravo aos herbicidas inibidores da enzima ALS. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 16, n. 2, p. 117-125, 1998.

GAZZIERO, D. L. P.; CHRISTOFFOLETI, P. J.; BRIGHENTI, A. M.; PRETE, C. E. C.; VOLL, E. Resistência da planta daninha capim-marmelada (*Brachiaria plantaginea*) aos herbicidas inibidores da enzima ACCase na cultura da soja. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 18, n. 1, p. 169-180, 2000.

HEAP, I. **The international survey of herbicide resistant weeds**. Disponível em: <<http://www.weedscience.org>>. Acesso em: 13 ago. 2018.

HILTON, H. W. Herbicide tolerant strains of weeds. In: ANNUAL report. Honolulu: Hawaiian Sugar Planters' Association, 1957. p. 69-72.

HOLM, L.; PANCHO, J. V.; HERBERGER, J. P.; PLUCKNETT, D. L. **A geographical atlas of world weeds**. New York: John Wiley & Sons, 1979. 391 p.

LAMEGO, F. P.; VIDAL, R. A. Resistência ao glyphosate em biótipos de *Conyza bonariensis* e *Conyza canadensis* no Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 26, n. 2, p. 467-471, 2008.

MOREIRA, M. S.; NICOLAI, M.; CARVALHO, S. J. P.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Resistência de *Conyza canadensis* e *C. bonariensis* ao herbicida glyphosate. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 25, n. 1, p. 157-164, 2007.

OERKE, E. C. Crop losses to pests. **Journal of Agricultural Science**, v. 144, p. 31-43, 2006.

OVEJERO, R. F. L.; TAKANO, H. K.; NICOLAI, M.; FERREIRA, A.; MELO, M. S. C.; CAVENAGHI, A. L.; CHRISTOFFOLETI, P. J.; OLIVEIRA JR., R. S. Frequency and dispersal of glyphosate-resistant sourgrass (*Digitaria insularis*) populations across Brazilian agricultural production areas. **Weed Science**, Champaign, v. 65, n. 2, p. 285-294, 2017.

PONCHIO, J. A. R.; CHRISTOFFOLETI, P. J.; MELO, M.; VICTORIA FILHO, R. ALS enzyme assay from *Bidens Pilosa* biotypes of the Brazilian soybean areas to determine the sensitivity to imidazolinone and sulfonyleurea herbicides. In: MEETING OF THE WEED SCIENCE SOCIETY OF AMERICA, 1996, Norfolk. **Abstracts**. Champaign: Weed Science Society of America, 1996.

ROYAL BOTANIC GARDENS. **The state of the world's plants report**. Kew, 2016.

ROMAN, E. S.; VARGAS, L.; RIZZARDI, M. A.; MATTEI, R. W. Resistência de azevém (*Lolium multiflorum*) ao herbicida glyphosate. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 22, n. 2, p. 301-306, 2004.

RUEDEL, L. J. **Cultura do milho**: indicações técnicas para o Rio Grande do Sul. Cruz Alta: Fecotrigo, 1991. 102 p.

SANTOS, G.; OLIVEIRA JR., R. S.; CONSTANTIN, J.; FRANCISCHINI, A. C.; OSIPE, J. B. Multiple resistance of *Conyza sumatrensis* to chlorimuronethyl and to glyphosate. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 32, n. 2, p. 409-416, 2014a.

SANTOS, F. M.; VARGAS, L.; CHRISTOFFOLETI, P. J.; AGOSTINETTO, D.; MARIANI, F.; DAL MAGRO, T. Differential susceptibility of biotypes of *Conyza sumatrensis* to chlorimuron-ethyl herbicide. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 32, n. 2, p. 427-435, 2014b.

SILVA, J. M. B. V. da. **Distribuição geográfica de biótipos de azevém resistente a herbicidas no Estado do Rio Grande do Sul**. 2012. 29 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2012.

SILVA, J. B.; PIRES, N. M. Controle de plantas daninhas para a cultura do milho. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 14, n. 164, p. 17-20, 1990.

SWITZER, C. M. The existence of 2,4-D-resistant strains of wild carrot. In: NORTHEASTERN WEED CONTROL CONFERENCE, 11., 1957, Riverhead. **Proceedings...** Riverhead: Northeastern Weed Science Society, 1957. p. 315-318.

TREZZI, M. M.; VIDAL, R. A.; XAVIER, E.; ROSIN, D.; BALBINOT JÚNIOR, A. A.; PRATES, M. A. Resistência ao glyphosate em biótipos de buva (*Conyza* spp.) das regiões oeste e sudoeste do Paraná. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 29, p. 1113-1120, 2011. Número especial.

VARGAS, L.; AGOSTINETO D.; GAZZIERO D. L. P.; KARAM, D. Resistência de plantas daninhas: batalhas perdidas, custos e o desafio do manejo. **Revista Plantio Direto, Passo Fundo**, v. 21, n. 131, p. 11-20, set./out. 2012.

VARGAS, L.; BIANCHI, M. A.; RIZZARDI, M. A.; AGOSTINETTO, D.; DAL MAGRO, T. Buva (*Conyza bonariensis*) resistente ao glyphosate na região sul do Brasil. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 25, n. 3, p. 573-578, 2007.

VARGAS, L.; ROMAN, E. S.; RIZZARDI, M. A.; SILVA, V. C. Alteração das características biológicas dos biótipos de azevém (*Lolium multiflorum*) ocasionada pela resistência ao herbicida glyphosate. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 23, n. 1, p. 153-160, 2005.

VIDAL, R. A.; FLECK, N. G. Three weed species with confirmed resistance to herbicides in Brazil. In: MEETING OF THE WEED SCIENCE SOCIETY OF AMERICA, 1997, Norfolk. **Abstracts**. Champaing: Weed Science Society of America, 1997. p. 100.

ZANDONÁ, R. R.; AGOSTINETTO, D.; SILVA, B. M.; RUCHEL, Q.; FRAGA, D. S. Interference periods in soybean crop as affected by emergence times of weeds. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 36, p. 1-11, 2018.



PROMOÇÃO



REALIZAÇÃO



PATROCÍNIO DIAMANTE



PATROCÍNIO PRATA

MONSANTO



ORGANIZAÇÃO

