

Aquecimento Global e Problemas Fitossanitários

Wagner Bettiol
Emília Hamada
Francislene Angelotti
Alexander Machado Auad
Raquel Ghini

Editores Técnicos

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Meio Ambiente
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Aquecimento Global e Problemas Fitossanitários

*Wagner Bettiol
Emília Hamada
Francislene Angelotti
Alexander Machado Auad
Raquel Ghini*

Editores Técnicos

*Embrapa
Brasília, DF
2017*

Essa publicação pode ser adquirida na:

Embrapa Meio Ambiente

Rodovia SP-340, Km 127,5, Tanquinho Velho
Caixa Postal 69
CEP 13820-000 Jaguariúna, SP
Fone: +55 (19) 3311-2700
Fax: +55 (19) 3311-2640
<https://www.embrapa.br>
SAC: <https://www.embrapa.br/fale-conosco/sac>

Unidade responsável pelo conteúdo e edição
Embrapa Meio Ambiente

Comitê Local de Publicações da Embrapa Meio Ambiente

Presidente

Maria Isabel de Oliveira Penteadó

Secretária-Executiva

Cristina Tiemi Shoyama

Membros

Rodrigo Mendes
Ricardo A. A. Pazianotto
Maria Cristina Tordin
Nilce Chaves Gattaz
Victor Paulo Marques Simão
Marco Antônio Gomes (suplente)
Joel Leandro de Queiroga (suplente)
Vera Lúcia Ferracini (suplente)

Revisão de texto

Capítulos 1, 5 e 16: Newton Luis de Almeida
Capítulos 6, 7 e 12: Sidinei Anuniação Silva
Capítulos 2, 3, 4, 9, 13, 18, 19 e 20: Nilce Chaves Gattaz
Capítulos 8, 10, 11, 14, 15 e 17: Victor Paulo Marques Simão

Normalização bibliográfica

Victor Paulo Marques Simão

Capa, projeto gráfico e editoração eletrônica

Edil Gomes

1ª edição

Publicação digitalizada (2017)

Todos os direitos reservados.

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte,
constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610)

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Meio Ambiente

Aquecimento global e problemas fitossanitários / Wagner Bettiol... [et al.],
editores técnicos. – Brasília, DF: Embrapa, 2017.
488 p. il. color.

ISBN 978-85-7035-713-7

1. Aquecimento global. 2. Mudança climática. 3. Doença de planta. 4. Praga
de planta. I. Bettiol, Wagner. II. Hamada, Emília. II. Angelotti, Francislene. IV.
Aquad, Alexander Machado. V. Ghini, Raquel.

CDD (21.ed.) 634.99

©Embrapa, 2017

■ Autores

Adeney de Freitas Bueno

Engenheiro-agrônomo, doutor em Entomologia, pesquisador da Embrapa Soja, Londrina, PR.

Alessandra Marieli Vacari

Bióloga, doutora em Entomologia, Jaboticabal, SP.

Alexander Machado Auad

Engenheiro-agrônomo, doutor em Entomologia, pesquisador da Embrapa Gado de Leite, Juiz de Fora, MG.

Álvaro Figueredo dos Santos

Engenheiro-agrônomo, doutor, pesquisador da Embrapa Florestas, Colombo, PR.

Ana Rosa Peixoto

Engenheira-agrônoma, doutora em Fitopatologia, professora da Universidade do Estado da Bahia, Juazeiro, BA.

Bruna Magda Favetti

Bióloga, doutora em Agronomia, Londrina, PR.

Bruno Silva Oliveira

Engenheiro-agrícola, mestre em Sensoriamento Remoto, doutorando do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP.

Carlos Alberto Lopes

Engenheiro-agrônomo, doutor em Fitopatologia, pesquisador da Embrapa Hortaliças, Brasília, DF.

Caroline Placidi De Bortoli

Médica veterinária, mestre em Entomologia, doutoranda da Unesp, Jaboticabal, SP.

Celso Garcia Auer

Engenheiro florestal, doutor em Fitopatologia, pesquisador da Embrapa Floresta, Colombo, PR.

Dori Edson Nava

Engenheiro-agrônomo, doutor em Entomologia, pesquisador da Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS.

Elena Charlotte Landau

Bióloga, doutora em Ecologia, pesquisadora da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG.

Elizabeth de Oliveira

Bióloga, doutora em Fitotecnia, pesquisadora da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG.

Emília Hamada

Engenheira agrícola, doutora em Sensoriamento Remoto, pesquisadora da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP.

Fábio Aquino de Albuquerque

Engenheiro-agrônomo, doutor em Entomologia, pesquisador da Embrapa Algodão, Campina Grande, PB.

Flávia Rodrigues Alves Patrício

Engenheira-agrônoma, doutora em Fitopatologia, pesquisadora do Instituto Biológico, Campinas, SP.

Francislene Angelotti

Engenheira-agrônoma, doutora em Fitopatologia, pesquisadora da Embrapa Semiárido, Petrolina, PE.

Gabriela Inés Diez-Rodríguez

Engenheira-agrônoma, doutora em Entomologia, bolsista Capes/Embrapa, Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS.

Gabriela Scheinpflug Brito

Engenheira florestal, mestre em Fitopatologia, professora da Universidade do Contestado, Mafra, SC.

Gabriela Vieira Silva

Bióloga, Engenheira-agrônoma, doutora em Fitossanidade, doutoranda em Entomologia, Universidade Estadual de Londrina (UEL), Londrina, PR.

Juliana Oliveira dos Santos

Técnica ambiental, aluna do Colégio Técnico da Universidade Estadual de Campinas – (Cotuca), Campinas, SP.

Kátia R. Brunelli

Engenheira-agrônoma, doutora em Fitopatologia, coordenadora técnica da Sakata Seed Sudamerica, Bragança Paulista, SP.

Leonardo Rodrigues Barbosa

Engenheiro-agrônomo, doutor em Entomologia, pesquisador da Embrapa Florestas, Colombo, PR.

Lucas da Ressuceição Garrido

Engenheiro-agrônomo, doutor em Fitopatologia, pesquisador da Embrapa Uva e Vinho, Bento Gonçalves, RS.

Marcílio José Thomazini

Engenheiro-agrônomo, doutor em Entomologia, pesquisador da Embrapa Florestas, Colombo, PR.

Marcos Silveira Wrege

Engenheiro-agrônomo, doutor em Produção Vegetal, pesquisador da Embrapa Florestas, Colombo, PR.

Marcy das Graças Fonseca

Engenheira-agrônoma, doutora em Entomologia, Juiz de Fora, MG.

Natália Franco Taketani

Professora da Universidade São Francisco, Campinas, SP.

Orcial Ceolin Bortolotto

Engenheiro-agrônomo, doutor em Entomologia, professor da Universidade Estadual de Guarapuava, Guarapuava, PR.

Raquel Ghini

Engenheira-agrônoma, doutora em Fitopatologia, pesquisadora da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP.

Regiane Cristina Oliveira de Freitas Bueno

Engenheira-agrônoma, doutora em Entomologia, professora da Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp, Botucatu, SP.

Ricardo Antonio Polanczyk

Engenheiro-agrônomo, doutor em Entomologia, professor da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Unesp, Jaboticabal, SP.

Ricardo Gioria

Engenheiro-agrônomo, doutor em Fitopatologia, pesquisador da Sakata Seed Sudamerica, Bragança Paulista, SP.

Rodrigo Gouvêa Taketani

Microbiologista e Imunologista, doutor em microbiologia, pós-doutorando da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP.

Rodrigo Mendes

Engenheiro-agrônomo, doutor em Genética e Melhoramento de Plantas, pesquisador da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP.

Rogério Teixeira Duarte

Engenheiro-agrônomo, doutor em Entomologia, professor da Universidade de Araraquara, Araraquara, SP.

Romulo F. Kobori

Engenheiro-agrônomo, doutor em Fitopatologia, diretor da Sakata Seed Sudamerica, Bragança Paulista, SP.

Sergio Antonio De Bortoli

Engenheiro-agrônomo, doutor em Entomologia, professor da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Unesp, Jaboticabal, SP.

Sulimar Munira Caparoci Nogueira

Engenheira agrícola, mestre em Sensoriamento Remoto, doutoranda do INPE, São José dos Campos, SP.

Tiago Teixeira Resende

Engenheiro-agrônomo, mestre em Biologia Animal, técnico da Embrapa Gado de Leite, Juiz de Fora, MG.

Wagner Bettiol

Engenheiro-agrônomo, doutor em Fitopatologia, pesquisador da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP.

■ Apresentação

Desde o início da Revolução Industrial, as concentrações médias de dióxido de carbono, metano e óxido nitroso na atmosfera aumentaram 40%, 150% e 20%, respectivamente. A concentração atual de dióxido de carbono atmosférico está em torno de 400 ppm e as previsões indicam que no ano 2100 deve alcançar 650 ppm, de acordo com o *Intergovernmental Panel on Climate Change* - IPCC. O acúmulo desses gases resulta em mudanças no clima e traz sérias consequências para o planeta e as diferentes formas de vida. Dentre os efeitos sobre o clima do planeta, destaca-se o aumento de temperatura global média, o qual poderá impactar a produção agrícola.

As doenças e pragas são diretamente afetadas pelas condições ambientais e sua dinâmica é de grande importância, tanto para os agroecossistemas, como para os ecossistemas naturais. Assim, há necessidade de se conhecer e entender os efeitos das mudanças climáticas sobre as doenças e pragas agrícolas. Nesse sentido, a Embrapa Meio Ambiente foi pioneira no País, tendo iniciado os primeiros estudos em 2004, com projeto financiado pela FAPESP - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, posteriormente coordenou o ambicioso projeto “Impactos das mudanças climáticas globais sobre problemas fitossanitários – Climapest”, financiado pela Embrapa.

O objetivo geral desse projeto foi o de avaliar o impacto das mudanças climáticas sobre doenças, pragas e plantas invasoras de importantes culturas para o agronegócio brasileiro, visando ao desenvolvimento de alternativas de adaptação para o controle dos problemas fitossanitários predominantes nos cenários climáticos futuros. Diversos resultados relevantes foram obtidos, relativos aos possíveis efeitos do aquecimento global sobre os problemas fitossanitários. Este livro relata esses avanços e discute como o aquecimento global afetará a ocorrência de pragas e doenças e, conseqüentemente, poderá afetar um dos componentes da produtividade da agricultura brasileira.

Neste livro são apresentadas e discutidas projeções de variáveis climáticas de interesse agrícola para o Brasil ao longo do século 21; as interações das mudanças climáticas e os problemas fitossanitários; a Fitopatologia e a Entomologia nos cenários de aquecimento global; o efeito do aquecimento global sobre doenças de plantas, na quebra de resistência genética, na comunidade microbiana do solo, nas ferrugens do café, do milho e do eucalipto, no cancro-bacteriano da videira; e sobre pragas de oleaginosas, cana-de-açúcar, pastagens, pessegueiro, algodoeiro, eucalipto e mogno. Assim, é com enorme satisfação que a Embrapa Meio Ambiente publica esta obra como parte das comemorações pelos seus 35 anos de fundação!

Marcelo A. B. Morandi
Chefe-Geral
Embrapa Meio Ambiente

■ Sumário

1. Mudanças climáticas e problemas fitossanitários	11
2. Projeções de variáveis climáticas de interesse agrícola para o Brasil ao longo do século 21	17
3. Metodologia de mapeamento para avaliação de impactos das mudanças climáticas sobre problemas fitossanitários	53
4. A fitopatologia nos cenários de aquecimento global.....	68
5. A entomologia nos cenários das mudanças climáticas	93
6. Como o aumento da temperatura interfere nas doenças de plantas?	116
7. Efeito do deficit hídrico sobre a ocorrência de doenças de plantas	144
8. Influência do aquecimento global na quebra de resistência genética a doenças em hortaliças	159
9. Efeito do aquecimento global sobre a comunidade microbiana do solo	177
10. Efeito das mudanças climáticas sobre a ferrugem do cafeeiro	204
11. Impacto das mudanças climáticas sobre a distribuição geográfica das ferrugens do milho	221
12. Impacto potencial das mudanças climáticas sobre a distribuição geográfica do cancro-bacteriano da videira no Brasil	243
13. Influência das mudanças climáticas nas zonas de ocorrência da ferrugem do eucalipto na região Sul do Brasil.....	262
14. Efeitos do aquecimento global sobre pragas de oleaginosas	280
15. Efeito do aquecimento global sobre as pragas da cana-de-açúcar	348
16. Efeito do aquecimento global sobre pragas das pastagens.....	380
17. Impacto potencial das mudanças climáticas sobre a distribuição geográfica do curuquerê e do ácaro-vermelho-do-algodoeiro nas regiões Nordeste e Centro-Oeste e no Estado do Tocantins.....	410
18. Influência das mudanças climáticas nas zonas de ocorrência do percevejo-bronzeado do eucalipto	440
19. Impacto potencial das mudanças climáticas sobre a distribuição geográfica de insetos-praga na cultura do pessegueiro.....	453
20. Influência das mudanças climáticas nas regiões de ocorrência de <i>Hypsipyla grandella</i> do mogno no Brasil	477

Mudanças climáticas e problemas fitossanitários

Wagner Bettiol, Emília Hamada, Francislene Angelotti,
Alexander Machado Auad e Raquel Ghini

A concentração de gases de efeito estufa na atmosfera atingiu níveis sem precedentes nos últimos 800 mil anos (LÜTHI et al., 2008). Desde o início da Revolução Industrial em 1750, a concentração média global de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera aumentou 40%, o metano aumentou 150% e o óxido nítrico, 20%. A concentração atual de CO₂ atmosférico está em torno de 400 ppm e as previsões indicam que no ano 2100 deve alcançar 650 ppm (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2014).

O acúmulo desses gases em taxas alarmantes, resultando nas mudanças climáticas, está causando sérias consequências para o planeta e as diferentes formas de vida (CHEN et al., 2011; INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2014). Dentre os efeitos no clima do planeta, destaca-se o aumento de temperatura, também denominado “aquecimento global”. Cada uma das três últimas décadas tem sido sucessivamente mais quente na superfície da Terra do que qualquer década anterior desde 1850. No Hemisfério Norte, 1983-2012 foi provavelmente a normal climatológica mais quente dos últimos 1.400 anos. O número de dias e noites frias diminuiu e de dias e noites quentes aumentou em escala global (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2014). Nos últimos três anos (2014, 2015 e

2016), foram registrados recordes consecutivos de anomalias de temperatura superficial global em relação a 1951-1980 (Figura 1) (ESTADOS UNIDOS, 2017).

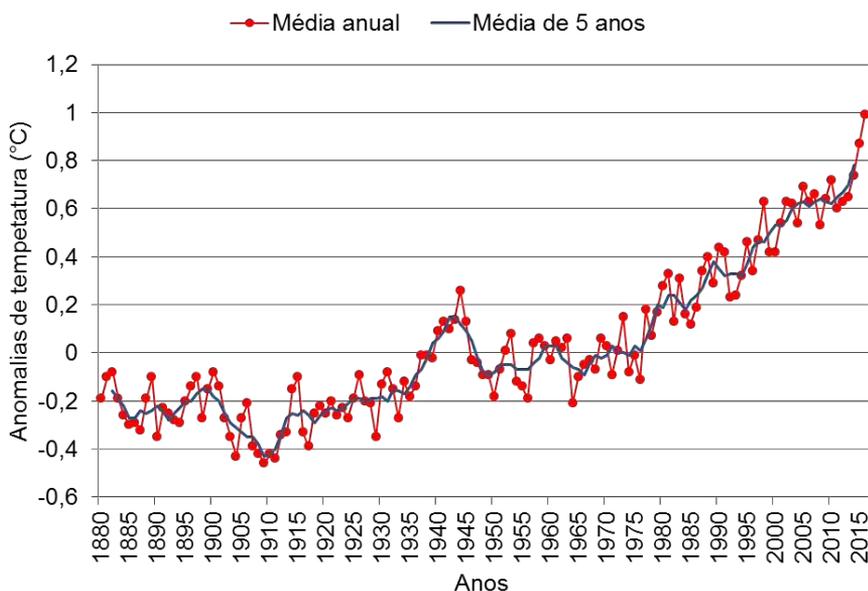


Figura 1. Anomalias de temperatura superficial global em relação a 1951-1980 .
Fonte: Estados Unidos (2017).

Todas essas anomalias registradas devem continuar ocorrendo, já que a limitação das alterações climáticas vai exigir reduções substanciais e sustentadas de emissões de gases de efeito estufa. A temperatura da superfície do planeta provavelmente vai exceder 1,5°C em relação a 1850-1900 para os cenários RCP4.5, RCP6.0 e RCP8.5 (*Representative Concentration Pathways*, em que RCP2.6 é um cenário futuro de baixas emissões de gases de efeito estufa; RCP4.5 e RCP6.0 são cenários intermediários e RCP8.5 caracteriza-se pela alta emissão). Estima-se que esse aumento será maior que 2°C para RCP6.0 e RCP8.5. Para RCP2.6 é estimado um aumento menor (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2014).

A segurança alimentar é potencialmente afetada pelas mudanças climáticas, em todos os seus aspectos, como, por exemplo, capacidade do agricultor em produzir alimento, disponibilidade de armazenamento e sistema de distribuição, acesso físico e econômico ao alimento, estabilidade de fornecimento e de preços e qualidade nutricional (SAVARY et al., 2017). Segundo a FAO (2016), os impactos já são alarmantes e a humanidade deve encarar o duplo desafio de erradicar a fome e a pobreza e estabilizar o clima global antes que seja tarde. Os efeitos das mudanças climáticas sobre a produção agrícola e pecuária deverão ser intensificados com o tempo. Assim, ações de mitigação e adaptação necessitam ser tomadas o quanto antes. Entretanto, para adoção destas medidas, é necessária a geração de conhecimento sobre os possíveis impactos na produção agrícola, e, em particular, na ocorrência de problemas fitossanitários. Os problemas fitossanitários podem interferir no fornecimento de alimentos, afetando diretamente a economia. Além disso, muitos fitopatógenos produzem micotoxinas e outros compostos que causam sérios problemas de saúde humana e animal, sendo uma das preocupações relacionadas com as mudanças climáticas. Esses compostos se tornam importantes principalmente nos países onde as condições de armazenamento e controle em pós-colheita não são adequadas ou são limitadas (CHAKRABORTY, 2013; PATERSON; LIMA, 2010).

As doenças e pragas também são de grande importância para os ecossistemas naturais. Entretanto, são limitados os estudos dos efeitos das mudanças climáticas nesses ecossistemas e, principalmente, os possíveis efeitos sobre as pragas e doenças que ocorrem naturalmente nesses ambientes. Apesar disso, os problemas fitossanitários poderão alterar a estrutura e o funcionamento das comunidades que fornecem diversos serviços ambientais e consequentemente incrementar os efeitos das mudanças climáticas no ambiente e na produção de alimentos (CHAKRABORTY, 2013).

O ambiente tem efeito direto na ocorrência de pragas e doenças e é esperado que as mudanças no clima causem alterações na sua ocorrência e intensidade. Áreas até então livres de determinados patógenos e/ou pragas poderão, no clima futuro, apresentar potencial risco de ocorrência. Nesse sentido, os estudos que preveem os impactos decorrentes da introdução e disseminação de uma praga e/ou doença, permitirão a implementação das ações de defesa sanitária, tanto preventiva, como de controle, gerando conhecimento para garantir a segurança alimentar.

Os microrganismos fitopatogênicos e as pragas estão entre os primeiros organismos a evidenciar os efeitos das mudanças climáticas devido às numerosas populações, facilidade de multiplicação e dispersão e o curto tempo entre gerações (SCHERM et al., 2000). Bebber et al. (2014) demonstraram que o aumento da temperatura causou a disseminação de centenas de pragas e patógenos em direção aos Polos na velocidade de $2,7 \pm 0,8 \text{ km ano}^{-1}$, desde 1960, mas com variação significativa entre alguns grupos taxonômicos. Com esses resultados, os autores concluíram que as tendências latitudinais positivas observadas em muitos táxons suportam a hipótese de que as mudanças climáticas dirigem o movimento de pragas e patógenos.

No Brasil, o primeiro livro sobre mudanças climáticas e doenças de plantas foi publicado por Ghini (2005). O livro apresenta uma revisão sobre o assunto e discute a importância da realização de trabalhos de pesquisa nas condições ambientes brasileiras. O segundo e o terceiro livros publicados por Ghini e Hamada (2008) e Ghini et al. (2011), respectivamente, utilizam os mapas climáticos dos cenários futuros disponibilizados pelo IPCC para discutir os efeitos das mudanças climáticas sobre doenças de importantes culturas no Brasil. Ghini e Hamada (2008), posteriormente, foi traduzido para a língua inglesa (GHINI; HAMADA, 2014), ampliando o acesso a leitores de outros países. Ghini et al. (2011) apresentam um breve

histórico sobre a publicação dos livros e sobre a abordagem do assunto em eventos no Brasil.

Apesar da grande importância, nenhum livro foi dedicado ao efeito das mudanças climáticas sobre pragas e plantas daninhas. No presente livro, oito capítulos tratam dos efeitos do aquecimento global sobre pragas (Capítulos 5, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19 e 20).

O avanço no conhecimento sobre os possíveis impactos das mudanças climáticas em problemas fitossanitários, nas diferentes culturas já estudadas, revelou a importância do trabalho em rede e sinalizou a necessidade de novos estudos. A complexidade da interação entre patógenos/pragas, plantas e ambiente demonstra que não há como esgotar o assunto, e algumas respostas para a defesa fitossanitária precisarão de novos estudos. O aumento do conhecimento sobre as interações permitirá o desenvolvimento de novas estratégias para o manejo integrado de pragas e doenças.

Referências

BEBBER, D. P.; HOLMES, T.; GURR, S. J. The global spread of crop pests and pathogens. **Global Ecology and Biogeography**, v. 23, n. 12, p. 1398-1407, 2014.

CHAKRABORTY, S. Migrate or evolve: options for plant pathogens under climate change. **Global Change Biology**, v. 9, p. 1985-2000, 2013.

CHEN, I. C.; HILL, J. K.; OHLEMÜLLER, R.; ROY, D. B.; THOMAS, C. D. Rapid range shifts of species associated with high levels of climate warming. **Science**, v. 333, n. 6045, p. 1024-1026, 2011.

ESTADOS UNIDOS. National Aeronautics and Space Administration. **Global climate change: vital signs of the planet**. Disponível em: <<http://climate.nasa.gov/>>. Acesso em: 26 jan. 2017.

FAO. **The state of food and agriculture: climate change, agriculture and food security**. Roma. 2016. Disponível em: <www.fao.org/3/a-i6030e.pdf>. Acesso em: 5 abr. 2017.

GHINI, R. **Mudanças climáticas globais e doenças de plantas**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2005. 104 p.

GHINI, R.; BETTIOL, W.; HAMADA, E. Diseases in tropical and plantation crops as affected by climate changes: current knowledge and perspectives. **Plant Pathology**, v. 60, n. 1, p. 122-132, 2011.

GHINI, R.; HAMADA, E. (Ed.). **Climate change**: impacts on plant diseases in Brazil. Brasília, DF: Embrapa, 2014. Ebook.

GHINI, R.; HAMADA, E. (Ed.). **Mudanças climáticas**: impactos sobre doenças de plantas no Brasil. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. 331 p.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Fifth assessment report**. Geneva, 2014. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/report/ar5/>>. Acesso em: 25 mar. 2017.

LÜTHI, D.; FLOCH, M. L.; BEREITER, B.; BLUNIER, T.; BARNOLA, J. M.; SIEGENTHALER, U.; RAYNAUD, D.; JOUZEL, J.; FISCHER, H.; KAWAMURA, K.; STOCKER, T. F. High-resolution carbon dioxide concentration record 650,000–800,000 years before present. **Nature**, v. 453, n. 7193, p. 379-382, 2008.

PATERSON, R. R. M.; LIMA, N. How will climate change affect mycotoxins in food? **Food Research International**, v. 43, n. 7, p. 1902-1914, 2010.

SAVARY, S.; BREGAGLIO, S.; WILLOCQUET, L.; GUSTAFSON, D.; D'CROZ, D. M.; SPARKS, A.; CASTILLA, N.; DJURLE, A.; ALLINNE, C.; SHARMA, M.; ROSSI, V.; AMORIM, L.; BERGAMIN, A.; YUEN, J.; ESKER, P.; MCROBERTS, N.; AVELINO, J.; DUVEILLER, E.; KOO, J.; GARRETT, K. Crop health and its global impacts on the components of food security. **Food Security**, v. 9, n. 2, p. 311-327, 2017.

SCHERM, H.; SUTHERST, R. W.; HARRINGTON, R.; INGRAM, J. S. I. Global networking for assessment of impacts of global change on plant pests. **Environmental Pollution**, v. 108, n. 3, p. 333-341, 2000.

Projeções de variáveis climáticas de interesse agrícola para o Brasil ao longo do século 21

Emília Hamada, Raquel Ghini e Bruno Silva Oliveira

Introdução

O Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) é composto por centenas de cientistas de todo o mundo de diversas áreas do conhecimento. Desde 1990, o IPCC é responsável pela produção e divulgação, de forma periódica, dos relatórios de avaliação, que visam fornecer uma visão clara e atualizada sobre o estado atual do conhecimento científico relevante para a mudança climática.

Segundo o IPCC (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2013), é extremamente provável (95% a 100% de probabilidade) que a influência antrópica seja a causa dominante do aquecimento observado desde meados do século 20, tendo os gases de efeito estufa concorrido para o provável (66% a 100% de probabilidade) aquecimento médio da superfície global de 0,5°C a 1,3°C no período de 1951-2010, com a contribuição de outras forçantes antrópicas.

Para o clima futuro, o IPCC (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2013) considera provável o aumento das temperaturas médias da superfície no planeta de 0,3°C a 1,7°C para o período de 2081-2100, comparado a 1986-2005, no cenário mais otimista, de baixa emissão de gases de efeito estufa e de 2,6°C a 4,8°C no cenário mais pessimista ou de alta emissão.

Essas projeções climáticas vêm sendo apresentadas nos Relatórios de Avaliação do IPCC e, com o desenvolvimento dos modelos climáticos globais, as projeções estão se tornando mais confiáveis à medida que aumenta a compreensão de como o clima está mudando em termos espaciais e de tempo. Segundo o IPCC (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2007, 2013), isso foi possibilitado graças à melhoria das análises dos dados, à ampliação de numerosos conjuntos de dados, à análise mais ampla da cobertura vegetal, à melhor compreensão das incertezas e à maior variedade de medições, apesar da cobertura dos dados em algumas regiões do planeta ser ainda limitada.

Neste capítulo são abordadas a modelagem do clima e os cenários climáticos, a metodologia descrita e empregada para a obtenção de mapas de projeções climáticas e apresentadas as previsões das variáveis climáticas de interesse agrícola para o Brasil, com base nas projeções do Quarto Relatório de Avaliação (AR4) do IPCC (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2007).

Modelagem do clima e cenários climáticos

Um dos aspectos mais relevantes nos estudos dos efeitos das mudanças climáticas são os modelos climáticos, utilizados como uma ferramenta de pesquisa para estudar e simular o clima para diversas aplicações. Os modelos climáticos são baseados em princípios físicos bem estabelecidos e descrevem características do clima recente e mudanças do clima passado e, com considerável confiança, fornecem boas estimativas quantitativas da mudança do clima futuro (RANDALL et al., 2007).

As projeções de clima são derivadas de modelos climáticos globais (MCG) ou regionais (MCR). As simulações numéricas usadas no IPCC-AR4 (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE

CHANGE, 2007) para definir os cenários do clima futuro da Terra têm resolução típica de 100 km, e o primeiro impacto da baixa resolução é na definição da condição de contorno na superfície em termos de topografia, da definição das regiões cobertas por água (oceano, lagos, rios) e da cobertura vegetal (DIAS; DIAS, 2007). Em função das incertezas regionais dos cenários climáticos globais, segundo esses autores, várias iniciativas têm levado à produção de cenários mais detalhados, por meio do processo de enfoque em escalas maiores, permitidos por MCRs que utilizam os cenários de baixa resolução como condições de contorno. No entanto, concluem que sem chegar a resoluções bem menores que 10 km, dificilmente esses cenários de maior resolução terão reduzido as incertezas nos resultados. Também é preciso observar que o desempenho de um MCR depende substancialmente do desempenho do MCG original, pois se esse MCG não simular bem os processos importantes em pequena escala, então o MCR não conseguirá capturar corretamente o clima em maior resolução (BETTS et al., 2011).

Considerando a extensão continental do Brasil, ainda assim os MCGs certamente oferecem informações de grande utilidade sobre mudanças do clima, contribuindo para antever as características gerais do clima futuro e constituindo-se em uma importante informação para estudos de impactos de mudanças climáticas em pequena escala, a médio e longo prazo para o País (MARENGO, 2007). Por outro lado, se forem conseguidos bons ajustes entre os métodos aplicáveis aos cenários de mudança do clima resultantes de MCGs para projeções de escopo regional ou local, os MCRs seriam úteis para estudos sobre os impactos da mudança do clima em áreas como gerenciamento de recursos hídricos, ecossistemas, atividades agrícolas e mesmo a favorabilidade à ocorrência de doenças (MARENGO, 2007).

Desde o Terceiro Relatório do IPCC (HOUGHTON et al., 2001), considerável melhoria no conhecimento dos processos do clima

foi sendo incorporada aos modelos climáticos; em função disso, a complexidade e a confiabilidade desses modelos também aumentaram ao longo das últimas décadas. Na Figura 1, pode-se observar o desenvolvimento dos modelos climáticos associado ao aumento de componentes acoplados considerados nos modelos ao longo das divulgações dos Relatórios de Avaliação pelo IPCC e na Figura 2, o aumento da resolução espacial ou do detalhamento da informação das projeções dos modelos.

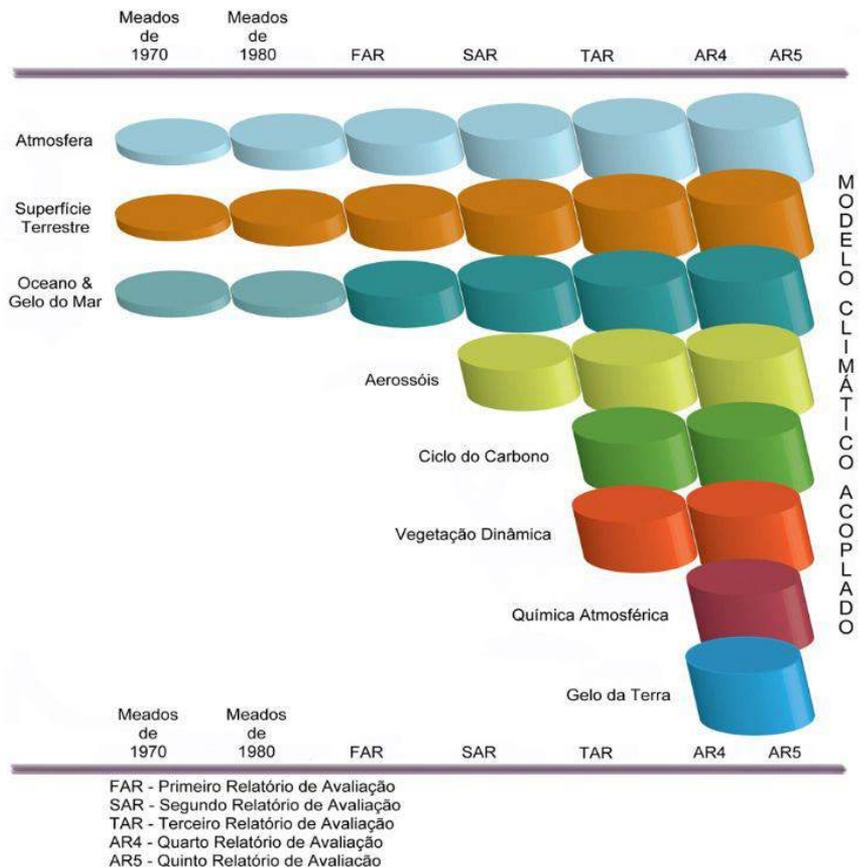


Figura 1. Desenvolvimento de modelos climáticos ao longo dos últimos 35 anos, com evolução dos componentes acoplados aos modelos ao longo do tempo. Fonte: Adaptado de Cubasch et al. (2013).

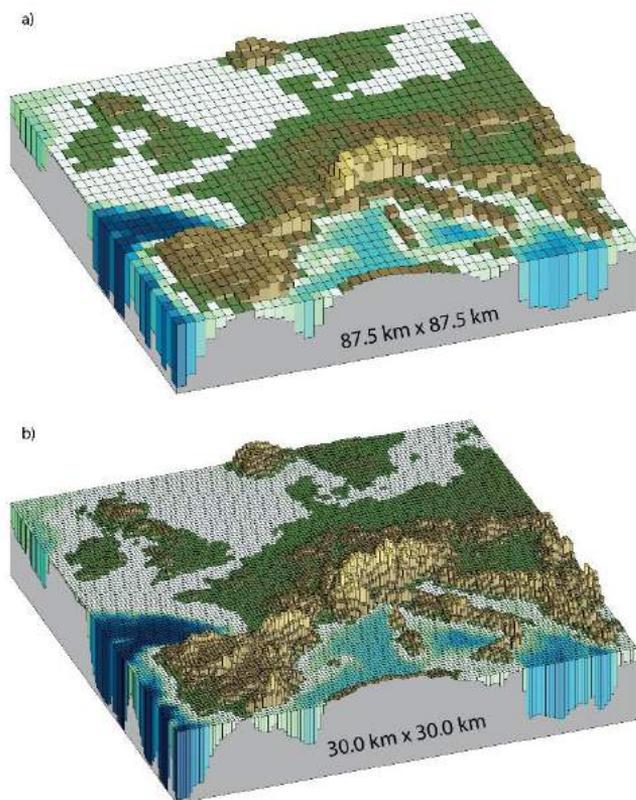


Figura 2. Ilustração da topografia europeia na resolução espacial considerada nos atuais modelos de alta resolução (a) 87,5 km X 87,5 km, e (b) em modelos de muita alta resolução (30,0 X 30,0 km) atualmente em teste.

Fonte: Adaptado de Cubasch et al. (2013).

As projeções das mudanças do clima apresentadas no IPCC-AR4 são resultados de um grande número de simulações realizadas por uma gama de MCGs, que juntamente com as informações adicionais obtidas de dados observados, fornecem uma base quantitativa para estimar as probabilidades de muitos aspectos das mudanças do clima no futuro.

No entanto, nenhum modelo pode prever com certeza um evento climático futuro (BETTS et al., 2011), cujas “incertezas” decorrem do desconhecimento das emissões futuras de gases de efeito es-

tufa, na variabilidade natural do tempo e clima e nas incertezas da modelagem. Assim, ao invés de fazer previsões sobre as emissões futuras, foi estabelecido um conjunto de cenários climáticos. Os cenários são representações plausíveis das emissões futuras de substâncias ativas do ponto de vista radiativo (gases de efeito estufa) ou que possuam a característica de afetar outros constituintes com ação radiativa, como por exemplo, o dióxido de enxofre que forma os aerossóis de sulfato (JONES et al., 2004).

Os cenários de emissão de gases de efeito estufa, conhecidos como SRES (*Special Report on Emissions Scenarios*), utilizados no IPCC-AR4, foram definidos baseando-se em possíveis descrições do desenvolvimento socioeconômico, tecnológico, crescimento populacional, preocupação com o ambiente e diferenças regionais, variando do cenário mais otimista ao mais pessimista (NAKICENOVIC, 2000). Por exemplo, adotar um cenário de baixas emissões ou otimista (B1) supõe um futuro tendendo à estabilização das emissões de efeito estufa e que a concentração atmosférica de CO₂ será, no final deste século, em torno de 550 ppmv ou 0,055%; enquanto que para o cenário de altas emissões ou pessimista (A2), com manutenção dos padrões de emissões observados nas últimas décadas, implicaria em chegar à concentração de 1000 ppmv de CO₂ atmosférico, cerca de três vezes maior que as concentrações atuais (NAKICENOVIC, 2000).

O Quinto Relatório (AR5) do IPCC (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2013) introduz novos cenários denominados RCPs (*Representative Concentration Pathways*), que levam em conta os impactos das emissões relativos a alteração no balanço de radiação no sistema terrestre, que vão do cenário mais otimista (2.6) ao mais pessimista (8.5), associados aos cenários de emissão do IPCC-AR4.

Metodologia de mapeamento das projeções da modelagem climática

As mudanças do clima no futuro devem afetar de forma distinta os diferentes setores, e seus impactos devem ser estudados em cada situação particular. Os estudos de impacto de mudanças do clima, em geral, têm como ponto de partida a seleção de um conjunto de projeções climáticas futuras para área de interesse.

Nesta proposta metodológica, foram utilizadas as projeções climáticas do IPCC-AR4, que reúne simulações mensais de diversos modelos climáticos para cada cenário de emissão de gases de efeito estufa, ano a ano. Em função do objetivo de aplicação da base de dados climáticos para fins agrícolas, foram definidos dois cenários extremos, o B1, mais otimista e o A2, mais pessimista; e para esses cenários, as projeções dos modelos foram integradas em períodos de 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100. A fim de permitir uma avaliação das alterações do clima, foi definido como comparativo ou período de referência, a normal climatológica de 1961-1990 do CRU (*Climate Research Unit*), estabelecida na *School of Environmental Sciences* da Universidade de East Anglia, Reino Unido. Esses dados climáticos são de alta resolução espacial para o globo, e mais detalhes sobre essa base de dados podem ser encontrados em Mitchell et al. (2004) e a descrição dos métodos utilizados na produção desses dados em Mitchell e Jones (2005). Os períodos abrangidos pela base de dados climáticos são apresentados esquematicamente na Figura 3.

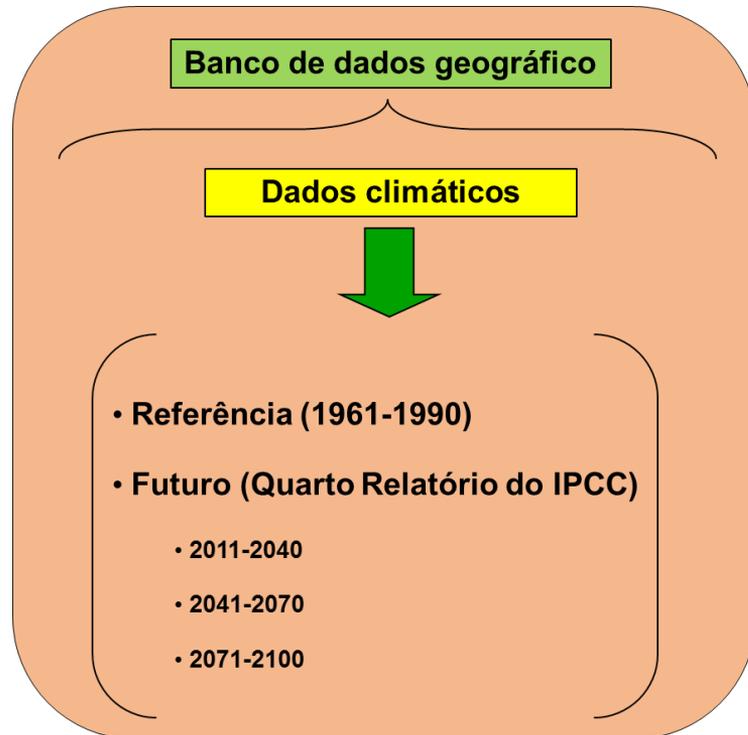


Figura 3. Períodos de tempo abrangidos pelo banco de dados de projeções retrospectivas (*hindcasts*) e futuras de modelos climáticos.

Cada centro de pesquisa climática desenvolve seus modelos de forma distinta em muitos aspectos, como por exemplo, a representação da física do modelo ou a resolução da grade. Considerando a área de estudo, foram selecionados 15 MCGs, cujas principais características estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Características dos modelos climáticos globais do IPCC-AR4 adotados, com abrangência para o continente sul-americano.

Modelo	Instituição e País	Resolução (graus X graus de latitude- longitude)	Número de linhas e colunas
BCCR-BCM2.0	Bjerknes Centre for Climate Research, Noruega	2,81252 X ~2,7904	32 x 26
CMCG3.1.T47	Canadian Centre for Climate Modelling & Analysis, Canadá	3,75 X ~3,711	24 x 20
CNRM-CM3	Météo-France, França	2,81252 X ~2,7904	32 x 26
CSIRO-Mk3.0	CSIRO Atmospheric Research, Austrália	1,875 X 1,865	48 x 39
ECHO-G	Meteorological Institute of the University of Bonn, Alemanha/Coréia	3,75 X ~3,711	24 x 20
GFDL-CM2.0	US Dept. of Commerce / NOAA / Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, EUA	2,5 X 2,0	36 x 37
GISS-ER	Goddard Institute for Space Shuttles, EUA	5,0 X 4,0	18 x 19
UKMO-HadCM3	Hadley Centre for Climate Prediction and Research / Met Office, Reino Unido	3,75 X 2,5	24 x 30
UKMO-HadGEM1	Hadley Centre for Climate Prediction and Research / Met Office, Reino Unido	1,875 X 1,25	48 x 59
INM-CM3.0	Institute for Numerical Mathematics, Rússia	5,0 X 4,0	18 x 18
MIROC3.2.medres	Center for Climate System Research, Japão	2,81252 X ~2,7904	32 x 26
ECHAM5	Max Planck Institute for Meteorology, Alemanha	1,875 X ~1,8652	48 x 39
MRI-CMCG2.3.2	Meteorological Research Institute, Japão	2,81252 X ~2,7904	32 x 26
CCSM3	National Center for Atmospheric Research, EUA	1,40625 X ~1,4007	64 x 52
PCM	National Center for Atmospheric Research, EUA	2,81252 X ~2,7904	32 x 26

Fonte: Adaptado de IPCC (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2007).

Como variáveis climáticas de interesse agrícola foram definidas a temperatura média do ar ($^{\circ}\text{C}$), a precipitação pluviométrica (mm dia^{-1}), a temperatura máxima do ar ($^{\circ}\text{C}$), a temperatura mínima do ar ($^{\circ}\text{C}$) e a umidade relativa do ar (%), médias mensais.

Embora no IPCC-AR4 sejam disponibilizados dados projetados de mais de 20 MCGs, nem todos contêm informações sobre o mesmo conjunto de variáveis e cenários climáticos. Assim, para este estudo, foram considerados 15 modelos para as variáveis de temperatura média e precipitação pluvial, no cenário A2 e 14 modelos no cenário B1; três modelos para temperatura máxima e mínima, nos cenários A2 e B1; e sete modelos para umidade relativa e período de molhamento foliar. A umidade relativa não é diretamente disponibilizada pelo IPCC-AR4. Foi obtida utilizando-se a fórmula de Tetens (1930 citado por MURRAY, 1967), a partir das projeções de pressão atmosférica ao nível do mar e umidade específica do ar, disponíveis no IPCC-AR4 e de altitude, utilizando dados do sensor SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), da base de dados do projeto TOPODATA (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, 2017). Essas informações consolidadas estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Disponibilidade de projeções das variáveis climáticas consideradas nos modelos climáticos globais do IPCC-AR4 selecionados para estudos de impacto de interesse agrícola.

Modelo	Temperatura média do ar e precipitação pluviométrica	Temperatura máxima do ar e temperatura mínima do ar	Pressão atmosférica ao nível do mar e umidade específica do ar
BCCR-BCM2.0	X		X
CMCG3.1.T47	X		X
CNRM-CM3	X		X
CSIRO-Mk3.0	X	X	
ECHO-G	X		
GFDL-CM2.0	X		
GISS-ER	X		X
UKMO-HadCM3	X		
UKMO-HadGEM1	X		
INM-CM3.0	X	X	X
MIROC3.2.medres	X	X	X
ECHAM5	X		
MRI-CMCG2.3.2	X		X
CCSM3	X		
PCM	X		

Uma operação de correção de viés das projeções originais dos modelos foi realizada, obtendo-se o que denominamos de “futuro corrigido” (Figura 4). Essa correção busca minimizar os efeitos de vieses mensurados, para cada variável, pela divergência entre os valores observados e as correspondentes projeções retrospectivas dos modelos. Para tanto, foram estruturadas as bases do período de referência de 1961-1990, das projeções dos MCGs para os denominados de “experimentos do século XX” ou 20C3M, que contêm projeções retrospectivas do período de 1961-1990, chamado de “presente simulado”; e, por fim, das projeções dos MGCs para os períodos futuros, chamado de “futuro projetado”. A partir dessas bases de dados, foi obtido o assim denominado “futuro corrigido”,

realizando a adição do “presente observado” e o resultado da operação de subtração do “futuro projetado” e “presente simulado”. As considerações do clima futuro, a seguir, serão baseadas nas informações do “futuro corrigido”.

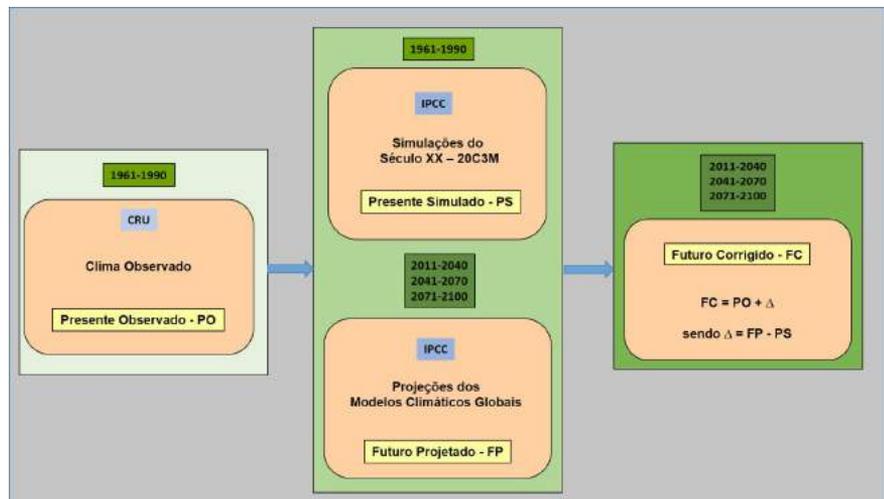


Figura 4. Bases de dados consideradas na operação de correção de viés das projeções climáticas originais dos modelos climáticos globais para obtenção das projeções do clima projetado do futuro ou “futuro corrigido”.

Em função do grande volume de dados, foi utilizado um sistema computacional de gerenciamento dos dados climáticos, baseado no sistema gerenciador de banco de dados Firebird v2.0 (FIREBIRD FOUNDATION INCORPORATED, 2006), usando a linguagem Object Pascal do software Delphi (BORLAND SOFTWARE CORPORATION, 2002) e a ferramenta de manipulação dos dados IBEExpert (HK-SOFTWARE, 2001). Esse sistema permitiu: i) a entrada dos dados no formato “grib”, disponível no AR4; ii) realizou a conversão dos dados para o Sistema Internacional de Unidades das variáveis climáticas, quando necessário; iii) fez a incorporação das informações de coordenadas geográficas para cada modelo; iv) realizou operações aritméticas básicas (média de 30 anos)

dos períodos de 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100, para cada modelo disponível de cada variável climática; e v) gerou a saída das informações no formato ajustado para ser utilizado como dado de entrada no software Surfer (GOLDEN SOFTWARE, 2002), programa de mapeamento de superfície. O formato ajustado das informações de saída é a padronização delas para uma mesma resolução espacial, utilizando métodos de interpolação específicos para cada variável climática (para a variável precipitação foi utilizada o método do inverso do quadrado da distância e para outras variáveis de krigagem ou triangulação) e um recorte para os limites geográficos da América do Sul. Desta forma, os dados foram padronizados por interpolação para a resolução espacial de 0,5° X 0,5° de latitude e longitude (a mesma dos dados do clima de referência), adotando-a como técnica de “downscaling”, com reamostragem dos dados para a resolução espacial desejada.

Posteriormente, os dados interpolados foram utilizados como dados de entrada do software SIG Idrisi 32 (EASTMAN, 2001), permitindo a elaboração de diversos procedimentos automatizados disponíveis em suas Macros de programação, a fim de aumentar a velocidade e eficiência nas diversas etapas de elaboração dos mapas. No SIG as informações foram convertidas do formato vetorial para o formato matricial. A seguir, foi feito o recorte das informações para a área do Brasil, desconsiderando os outros países da América do Sul e o oceano. O banco de dados geográficos do SIG possibilitou a elaboração dos mapas climáticos do País com acabamentos gráficos de classes, legenda e cores.

Clima projetado para o Brasil: variáveis climáticas de interesse agrícola

As projeções climáticas consideram não somente a alteração dos valores de temperatura, mas também alterações esperadas para outras variáveis climáticas (precipitação, umidade, ventos, etc.), embora se considere que as projeções de temperatura sejam as mais confiáveis.

Os mapas das projeções das variáveis climáticas médias mensais de temperatura média do ar (°C), precipitação pluvial média diária (mm dia⁻¹), temperatura máxima do ar (°C), temperatura mínima do ar (°C) e umidade relativa do ar (%) são apresentados nas Figuras 5 a 19. As projeções indicam alterações nessas variáveis no futuro, em geral, com aumentos na temperatura média, temperatura máxima e temperatura mínima do ar e diminuição da umidade relativa do ar, variando em grandeza entre as regiões do País e ao longo dos meses do ano.

Já as projeções de precipitação pluvial indicam variação quanto aos padrões de aumentos e diminuições entre as regiões do Brasil e nos meses do ano, em função da variação das projeções dos diferentes MCGs, que não apresentam consistência quanto ao seu comportamento. Observa-se grande incerteza das projeções de precipitação para um mesmo local devido à falta de consistência entre as projeções de modelos individuais. As Figuras 20 e 21 apresentam as tendências das anomalias (diferenças) de projeções de precipitação de 15 MCGs para o Brasil para o período de 2071-2100, do cenário A2, comparado ao período de referência de 1961-1990. Considerando-se a média para o País, as projeções são de anomalias positivas nos meses de novembro a abril e anomalias negativas de maio a outubro, apresentando comportamento sazonal. Na Figura 22 pode-se observar que na média anual de anomalia de precipitação a região Nordeste e parte da região Norte se destacam com anomalias

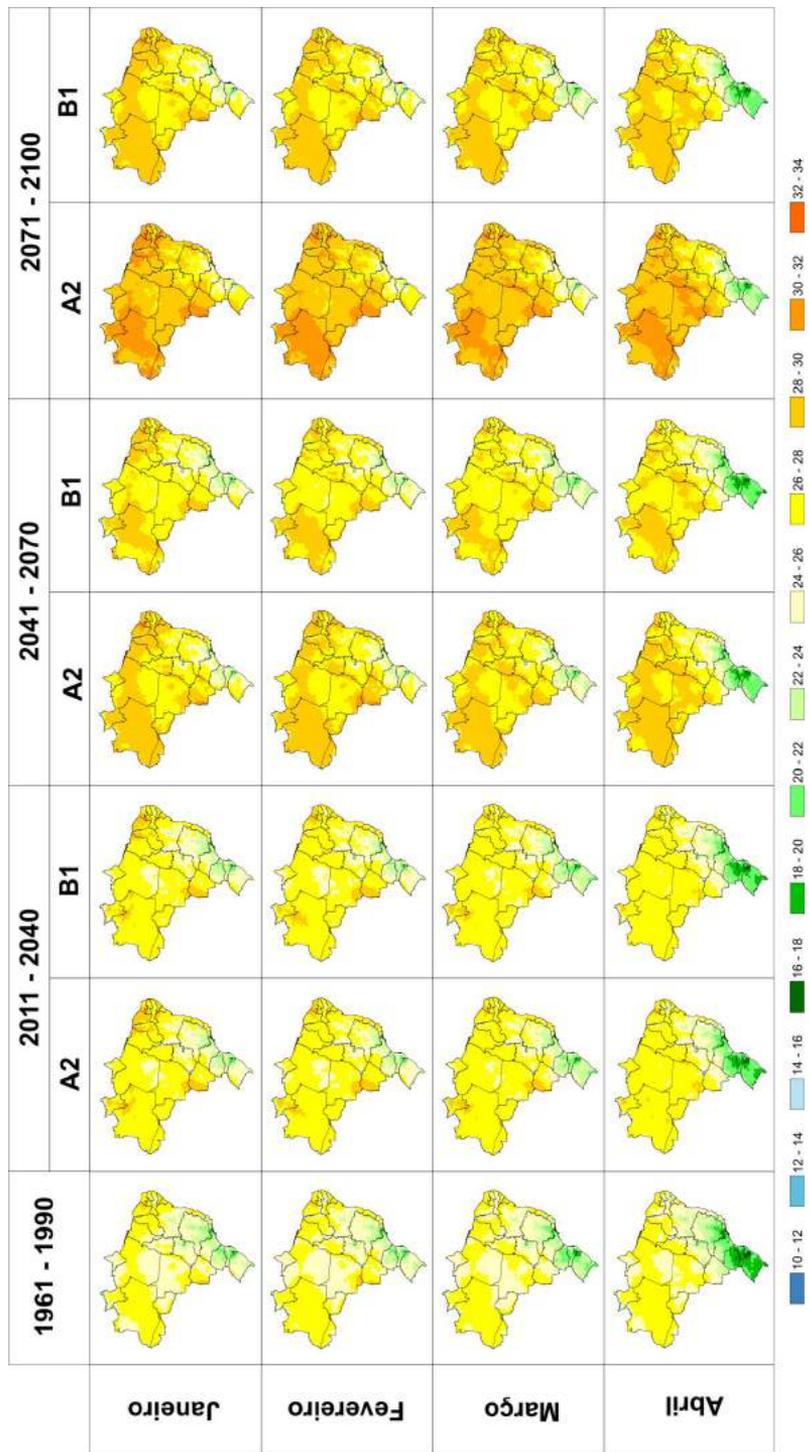


Figura 5. Temperatura média do ar (°C) de janeiro a abril para o clima observado de referência de 1961-1990 e o clima projetado de 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100, cenários A2 e B1, da média de modelos climáticos globais do Quarto Relatório do IPCC.

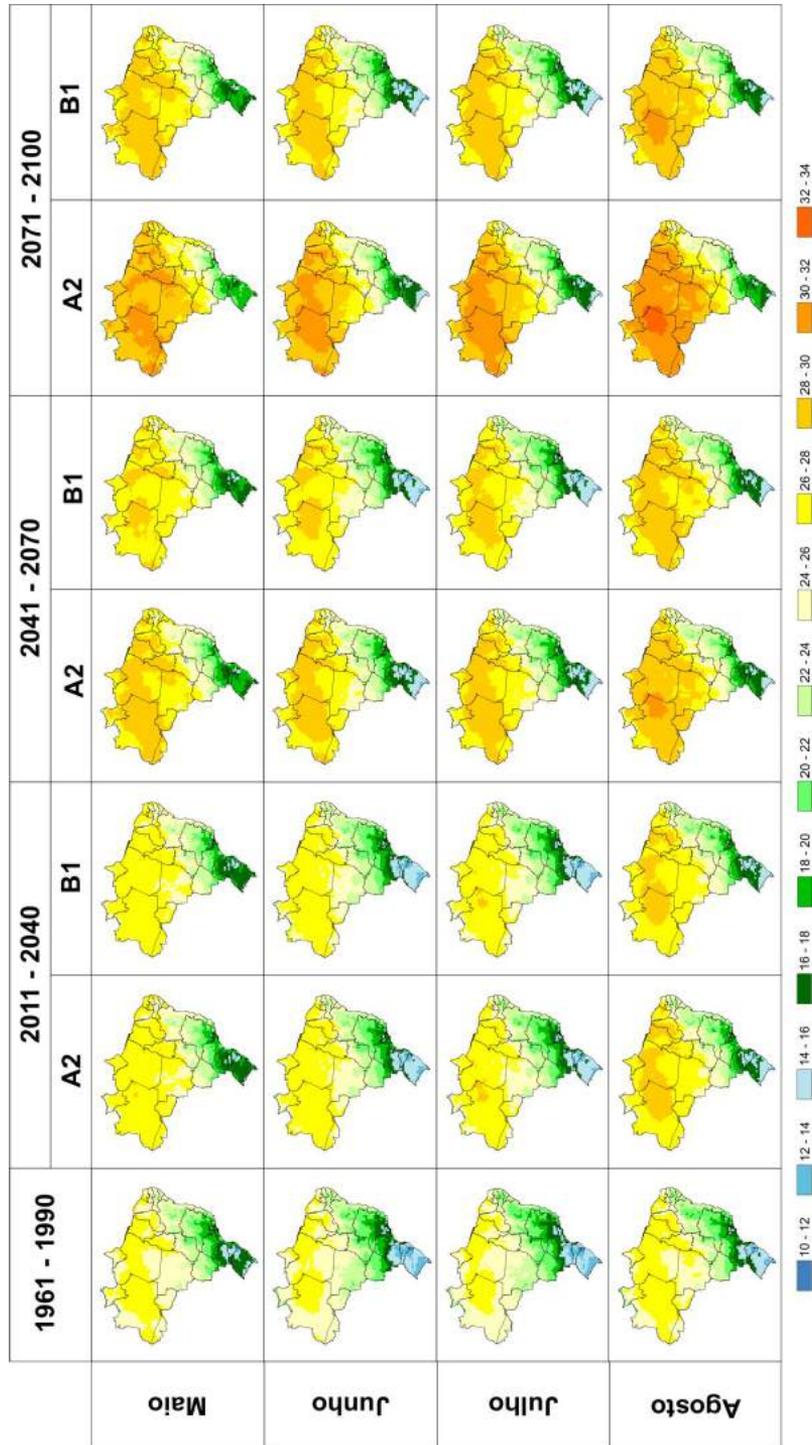


Figura 6. Temperatura média do ar (°C) de maio a agosto para o clima observado de referência de 1961-1990 e o clima projetado de 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100, cenários A2 e B1, da média de modelos climáticos globais do Quarto Relatório do IPCC.

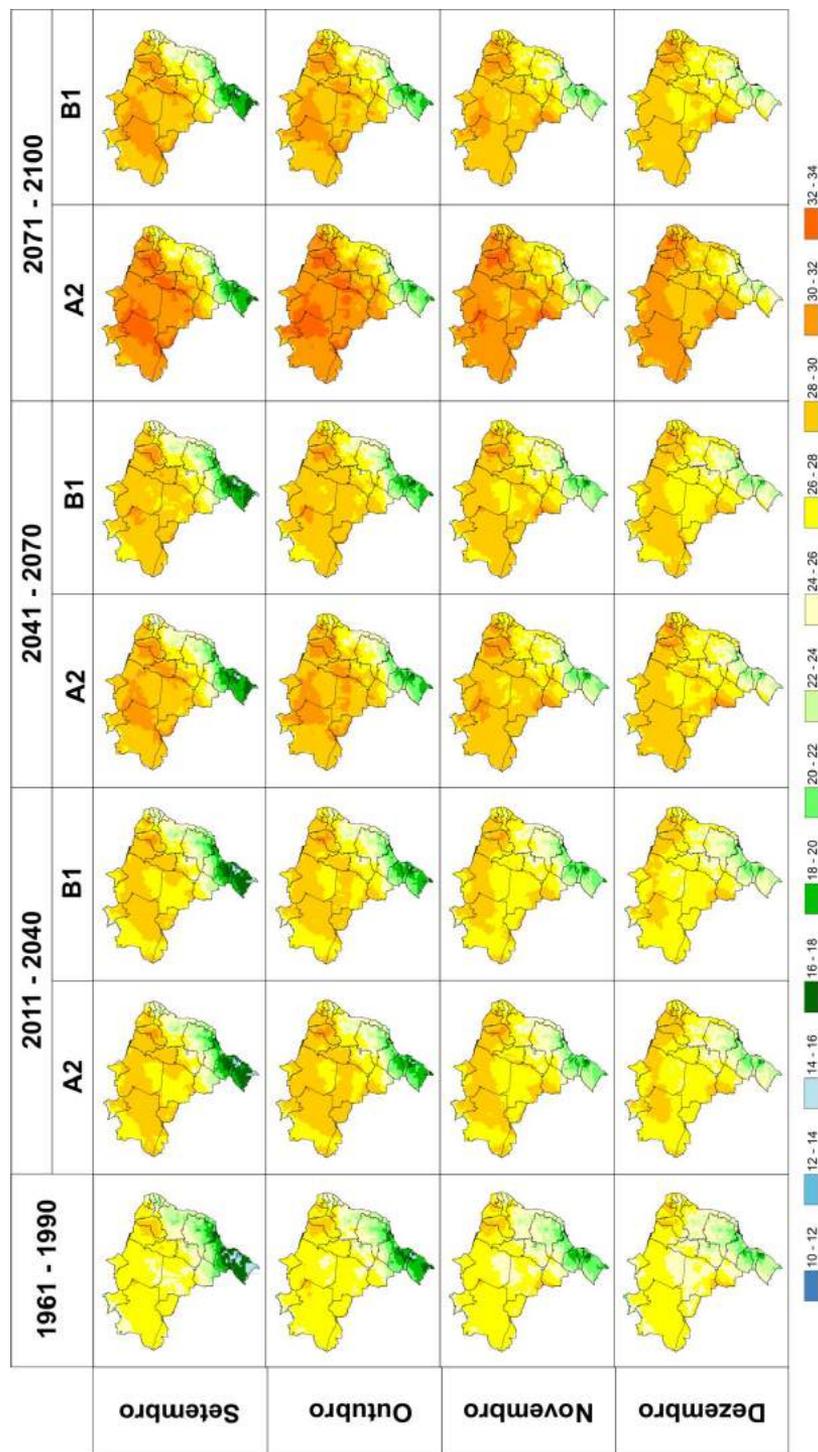


Figura 7. Temperatura média do ar (°C) de setembro a dezembro para o clima observado de referência de 1961-1990 e o clima projetado de 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100, cenários A2 e B1, da média de modelos climáticos globais do Quarto Relatório do IPCC.

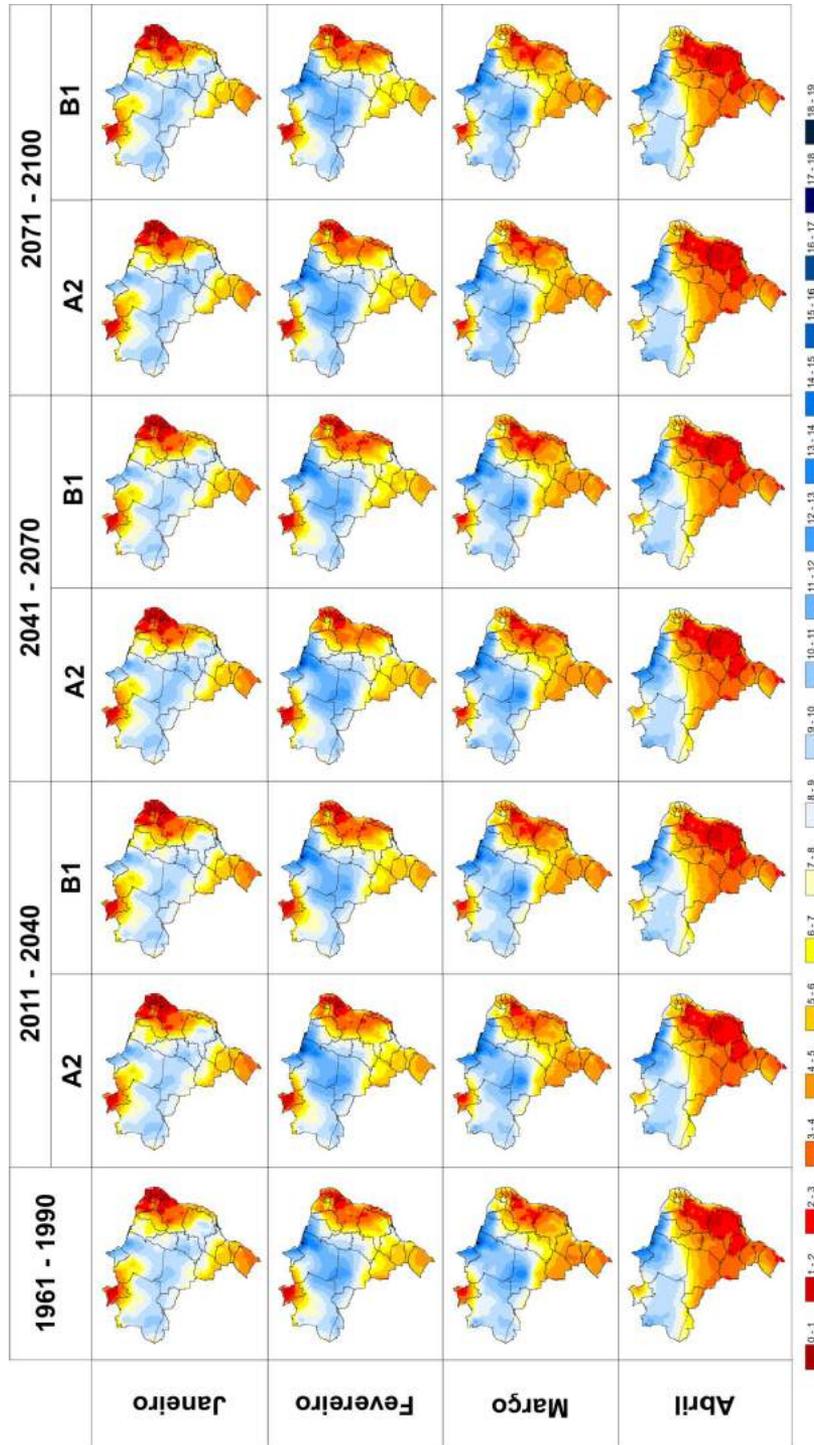


Figura 8. Precipitação pluviométrica média diária (mm dia⁻¹) de janeiro a abril para o clima observado de referência de 1961-1990 e o clima projetado de 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100, cenários A2 e B1, da média de modelos climáticos globais do Quarto Relatório do IPCC.

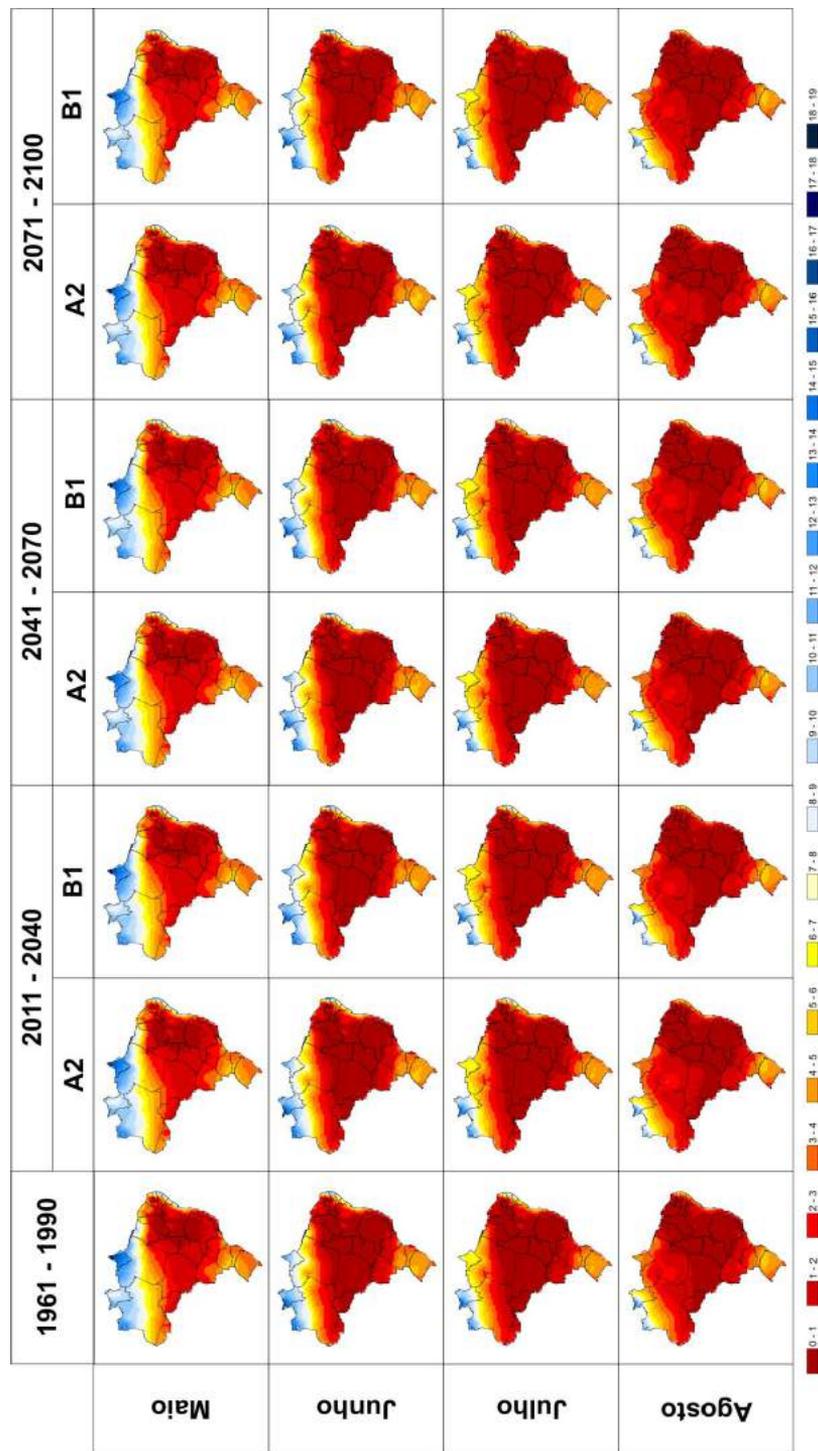


Figura 9. Precipitação pluviométrica média diária (mm dia⁻¹) de maio a agosto para o clima observado de referência de 1961-1990 e o clima projetado de 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100, cenários A2 e B1, da média de modelos climáticos globais do Quarto Relatório do IPCC.

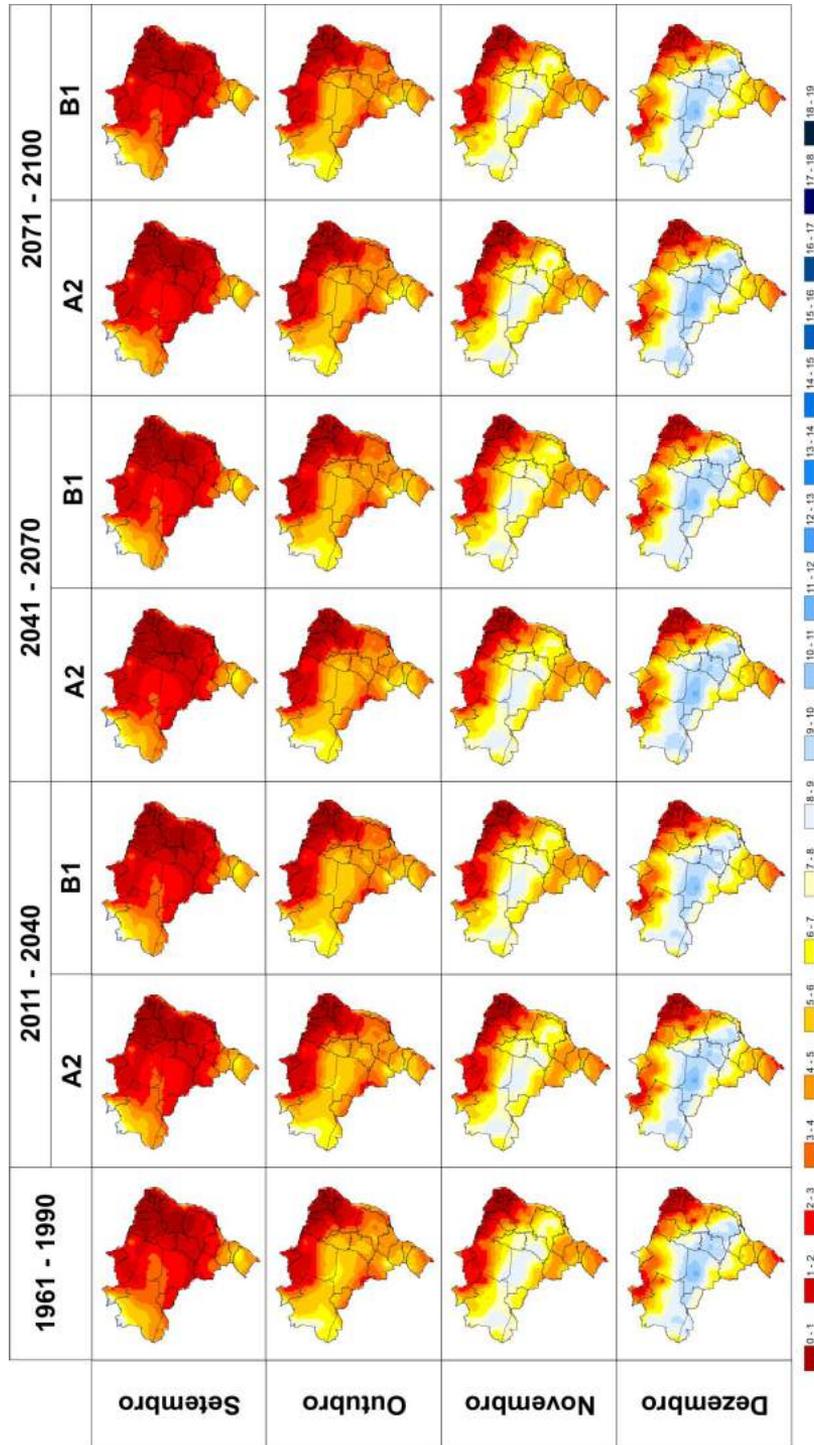


Figura 10. Precipitação pluviométrica média diária (mm dia^{-1}) de setembro a dezembro para o clima observado de referência de 1961-1990 e o clima projetado de 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100, cenários A2 e B1, da média de modelos climáticos globais do Quarto Relatório do IPCC.

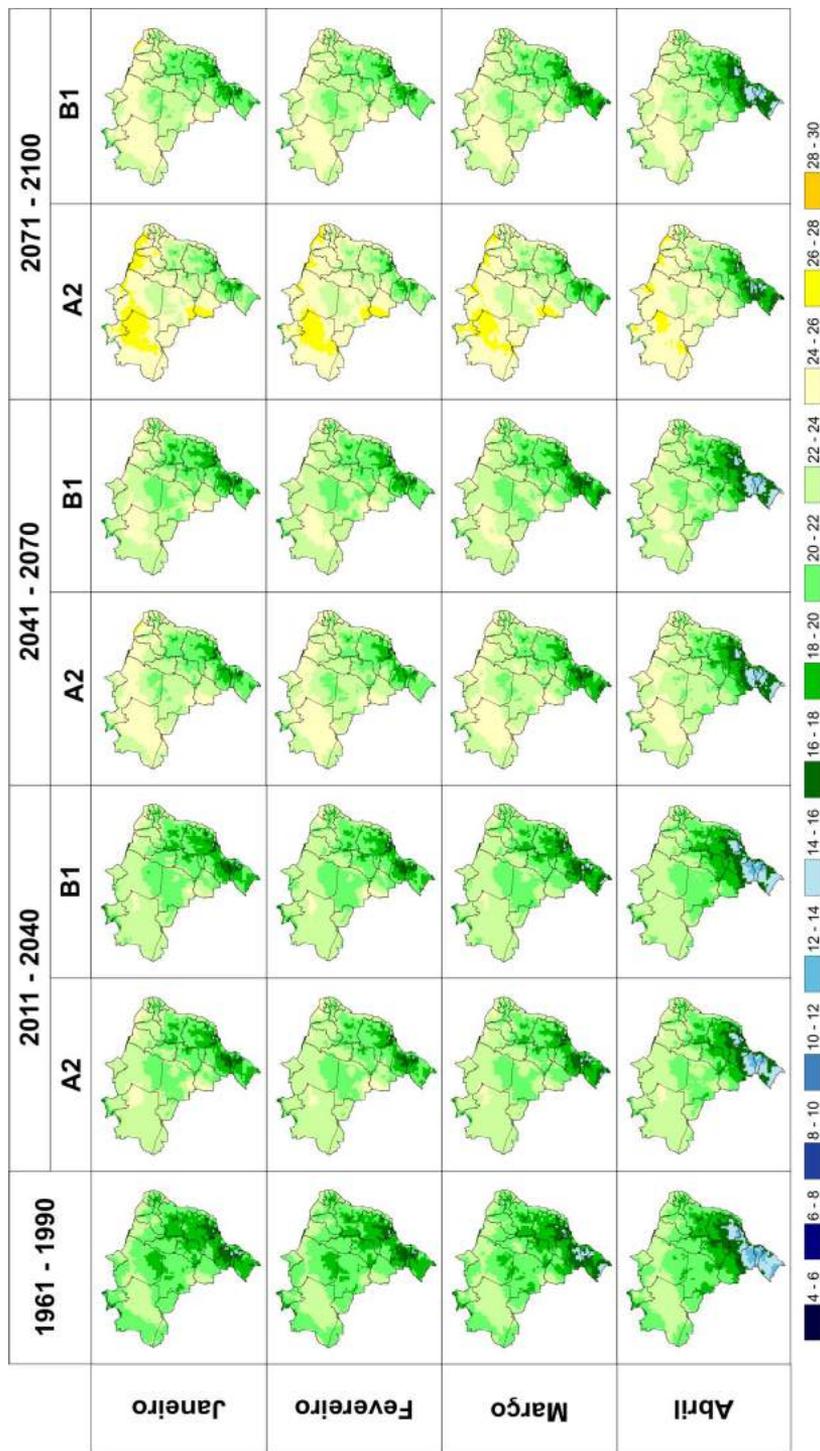


Figura 11. Temperatura mínima do ar (°C) de janeiro a abril para o clima observado de referência de 1961-1990 e o clima projetado de 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100, cenários A2 e B1, da média de modelos climáticos globais do Quarto Relatório do IPCC.

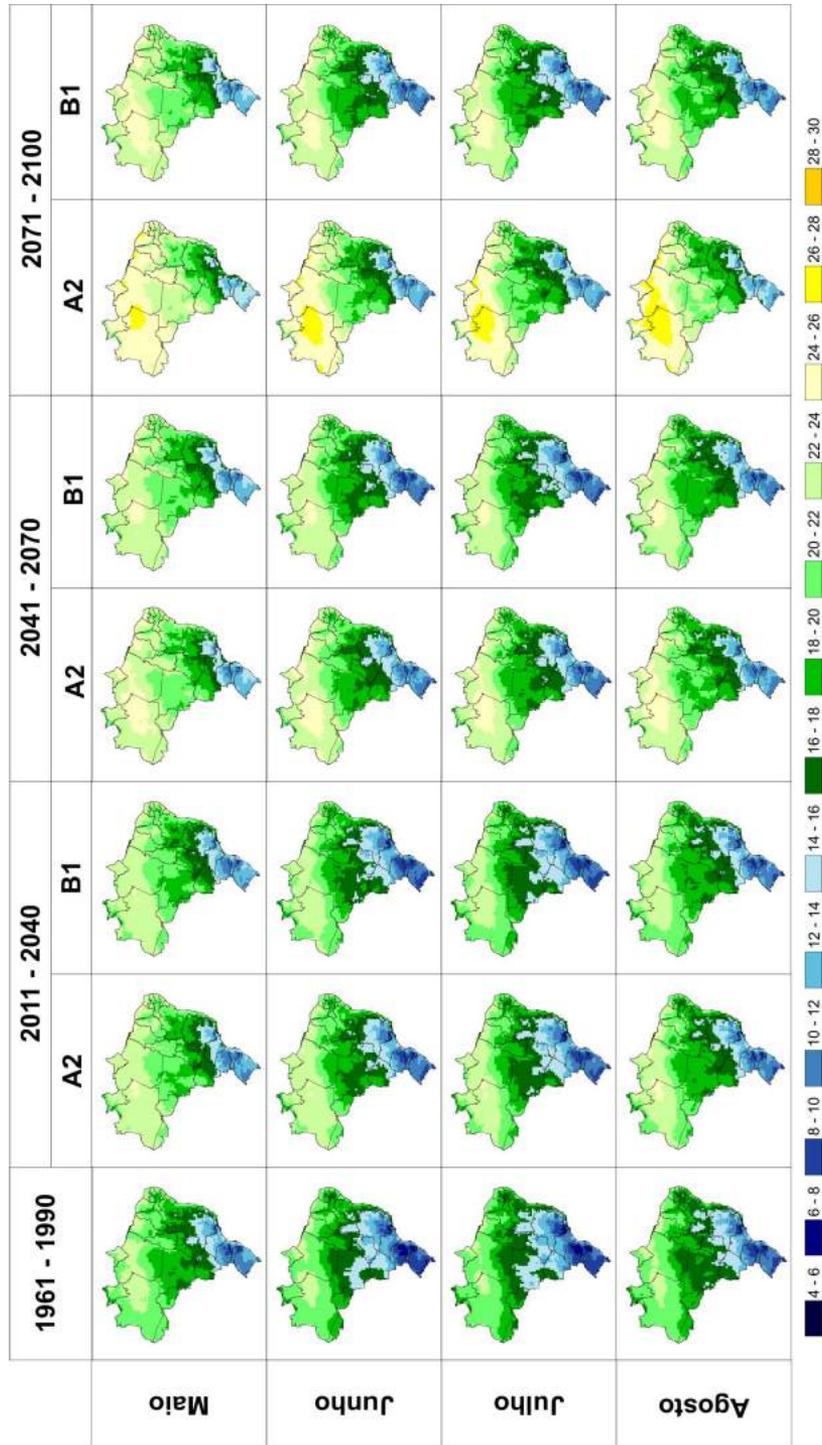


Figura 12. Temperatura média do ar (°C) de maio a agosto para o clima observado de referência de 1961-1990 e o clima projetado de 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100, cenários A2 e B1, da média de modelos climáticos globais do Quarto Relatório do IPCC.

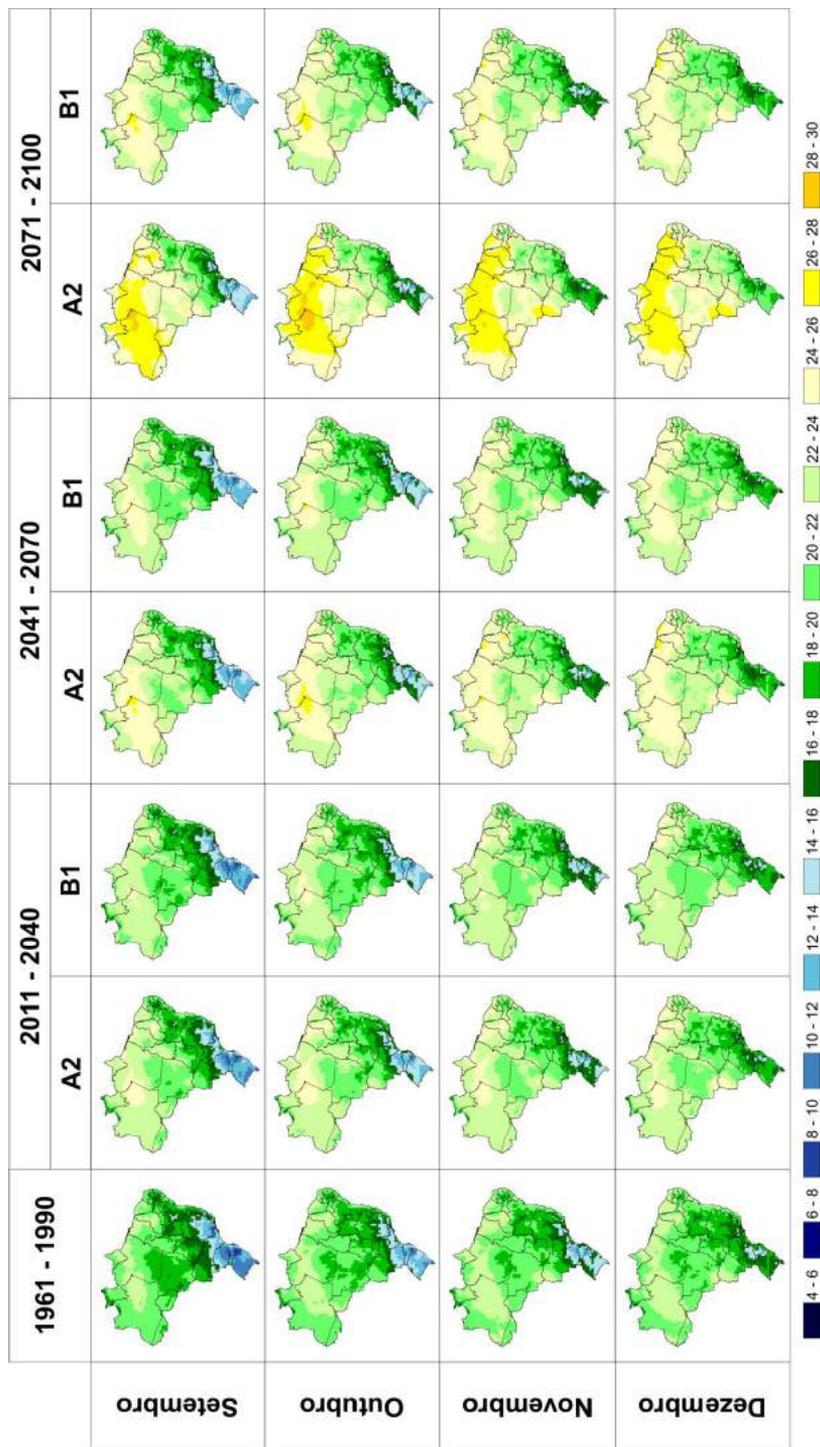


Figura 13. Temperatura mínima do ar (°C) de setembro a dezembro para o clima observado de referência de 1961-1990 e o clima projetado de 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100, cenários A2 e B1, da média de modelos climáticos globais do Quarto Relatório do IPCC.

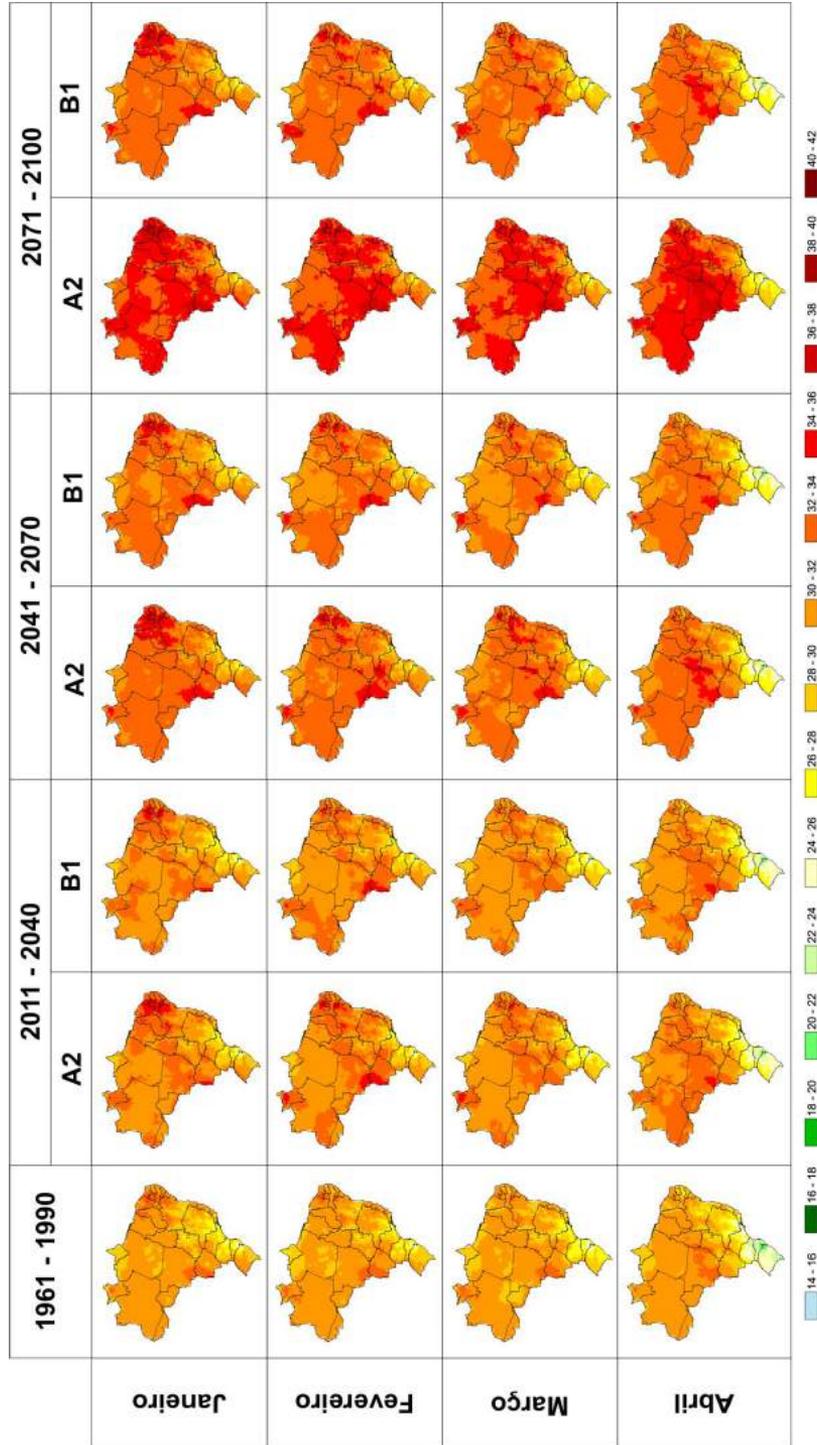


Figura 14. Temperatura máxima do ar (°C) de janeiro a abril para o clima observado de referência de 1961-1990 e o clima projetado de 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100, cenários A2 e B1, da média de modelos climáticos globais do Quarto Relatório do IPCC.

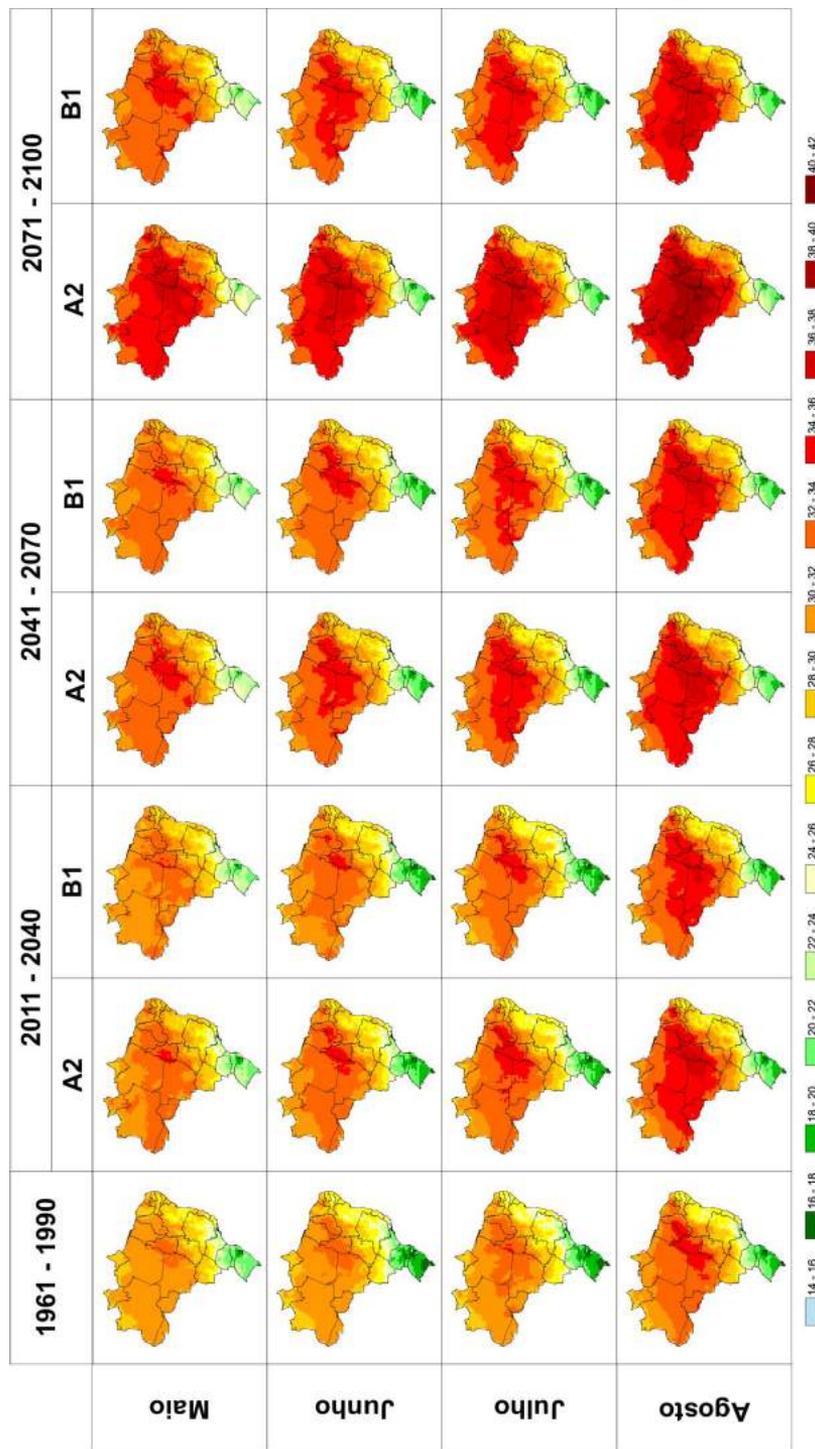


Figura 15. Temperatura máxima do ar (°C) de maio a agosto para o clima observado de referência de 1961-1990 e o clima projetado de 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100, cenários A2 e B1, da média de modelos climáticos globais do Quarto Relatório do IPCC.

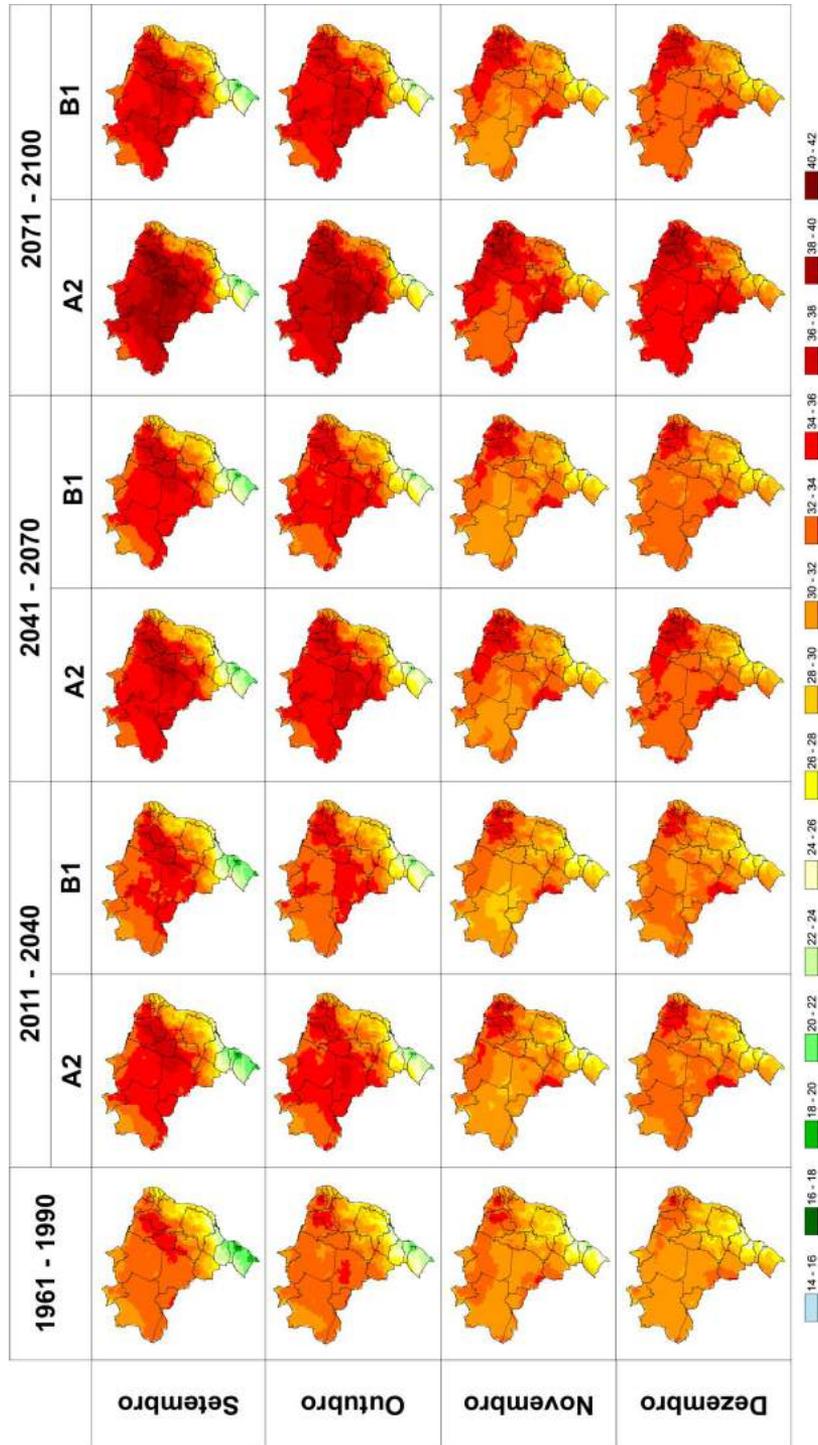


Figura 16. Temperatura máxima do ar (°C) de setembro a dezembro para o clima observado de referência de 1961-1990 e o clima projetado de 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100, cenários A2 e B1, da média de modelos climáticos globais do Quarto Relatório do IPCC.

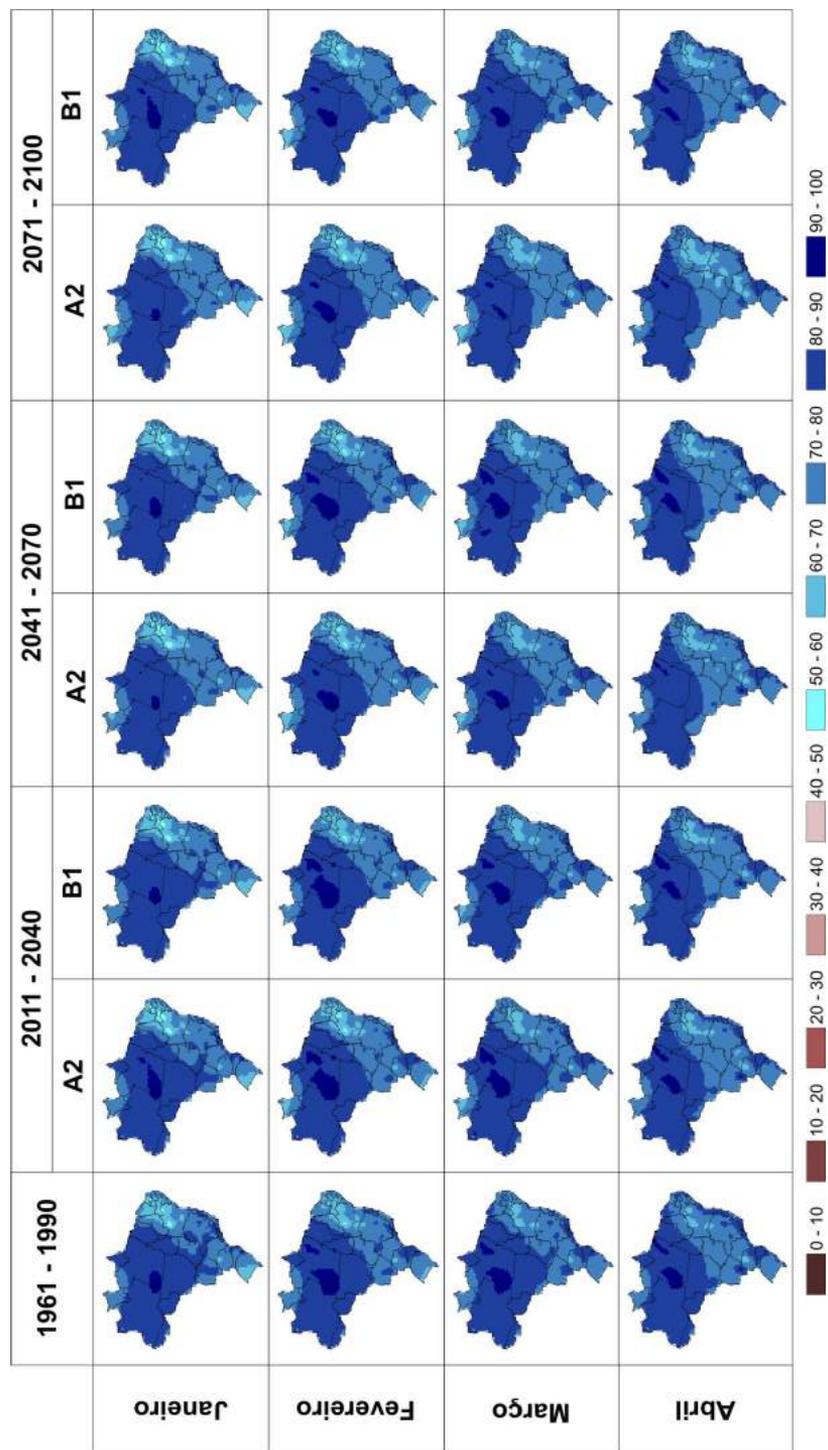


Figura 17. Umidade relativa do ar (%) de janeiro a abril para o clima observado de referência de 1961-1990 e o clima projetado de 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100, cenários A2 e B1, da média de modelos climáticos globais do Quarto Relatório do IPCC.

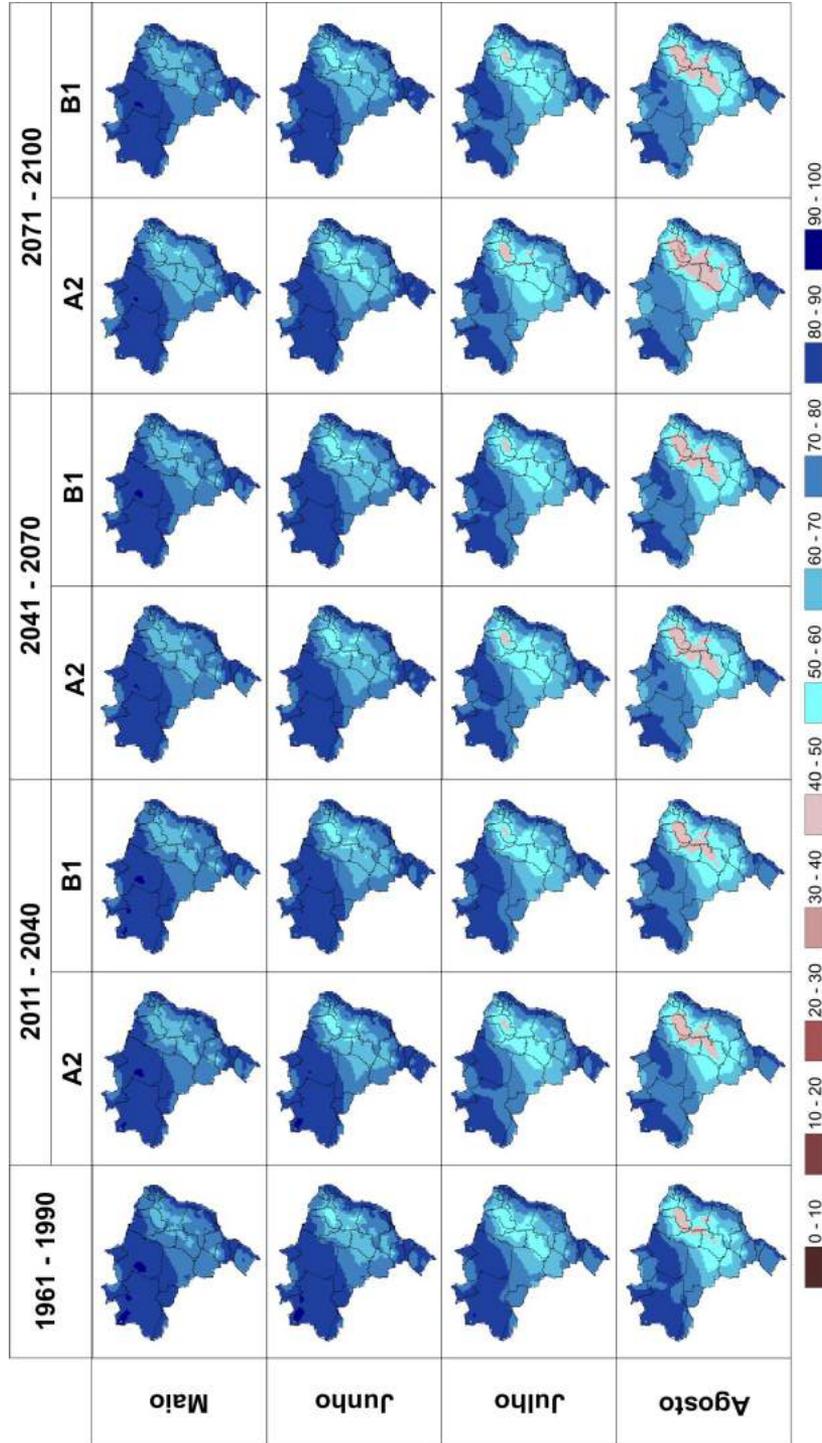


Figura 18. Umidade relativa do ar (%) de maio a agosto para o clima observado de referência de 1961-1990 e o clima projetado de 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100, cenários A2 e B1, da média de modelos climáticos globais do Quarto Relatório do IPCC.

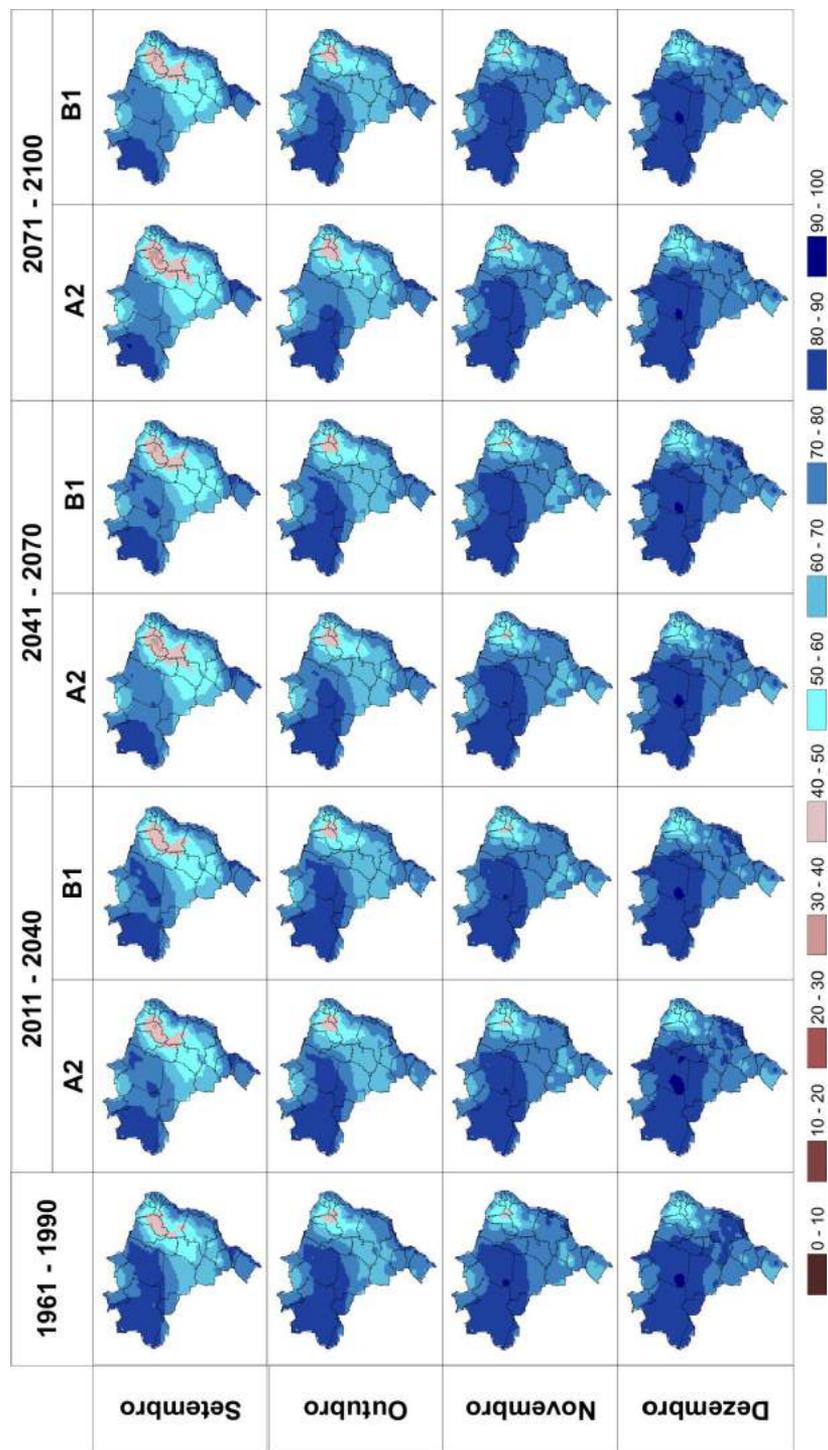


Figura 19. Umidade relativa do ar (%) de setembro a dezembro para o clima observado de referência de 1961-1990 e o clima projetado de 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100, cenários A2 e B1, da média de modelos climáticos globais do Quarto Relatório do IPCC.

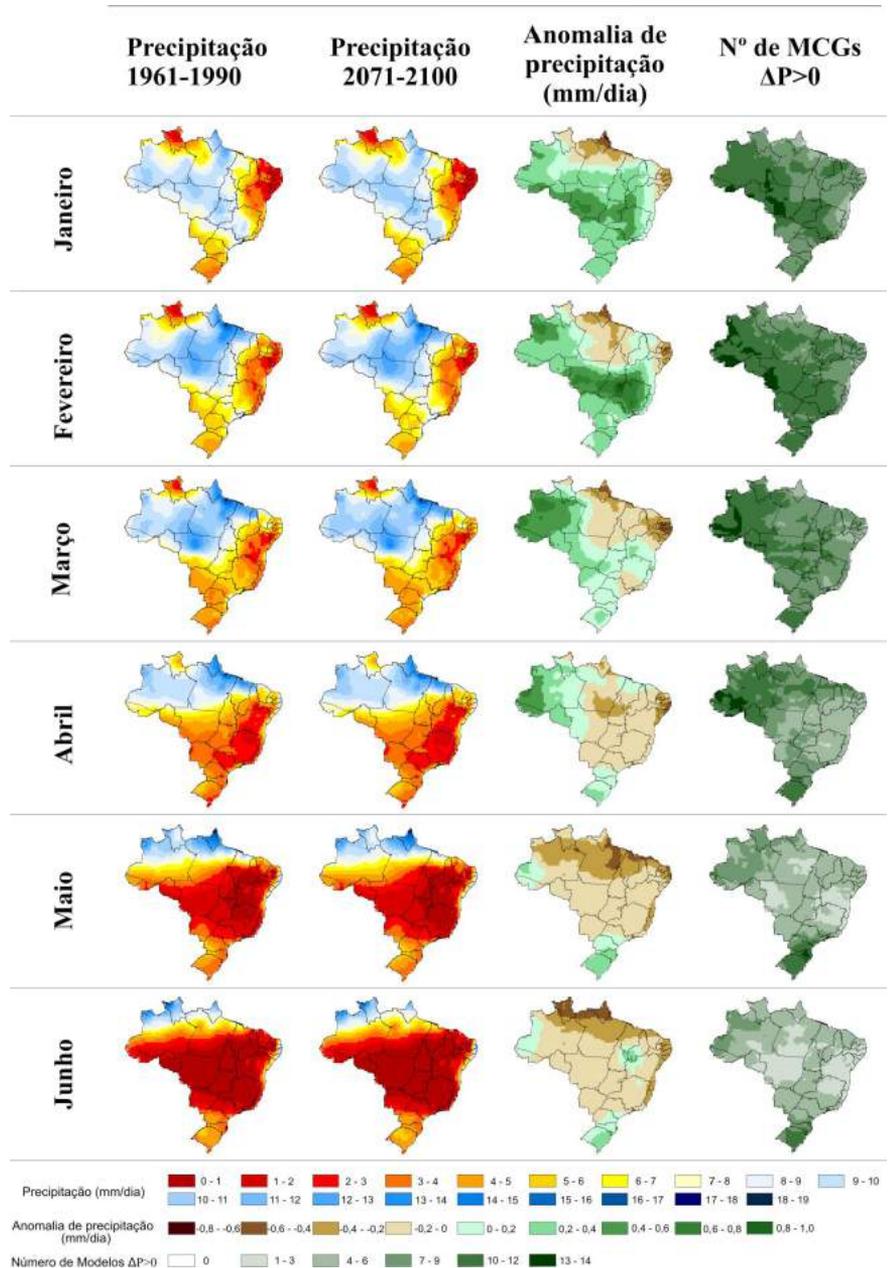


Figura 20. Precipitação pluviométrica média diária (mm dia⁻¹), anomalia (mm dia⁻¹) e número de MCGs que projetam anomalias positivas de janeiro a junho para o clima observado de referência de 1961-1990 e o clima projetado de 2071-2100, cenário A2, da média de modelos climáticos globais do Quarto Relatório do IPCC.

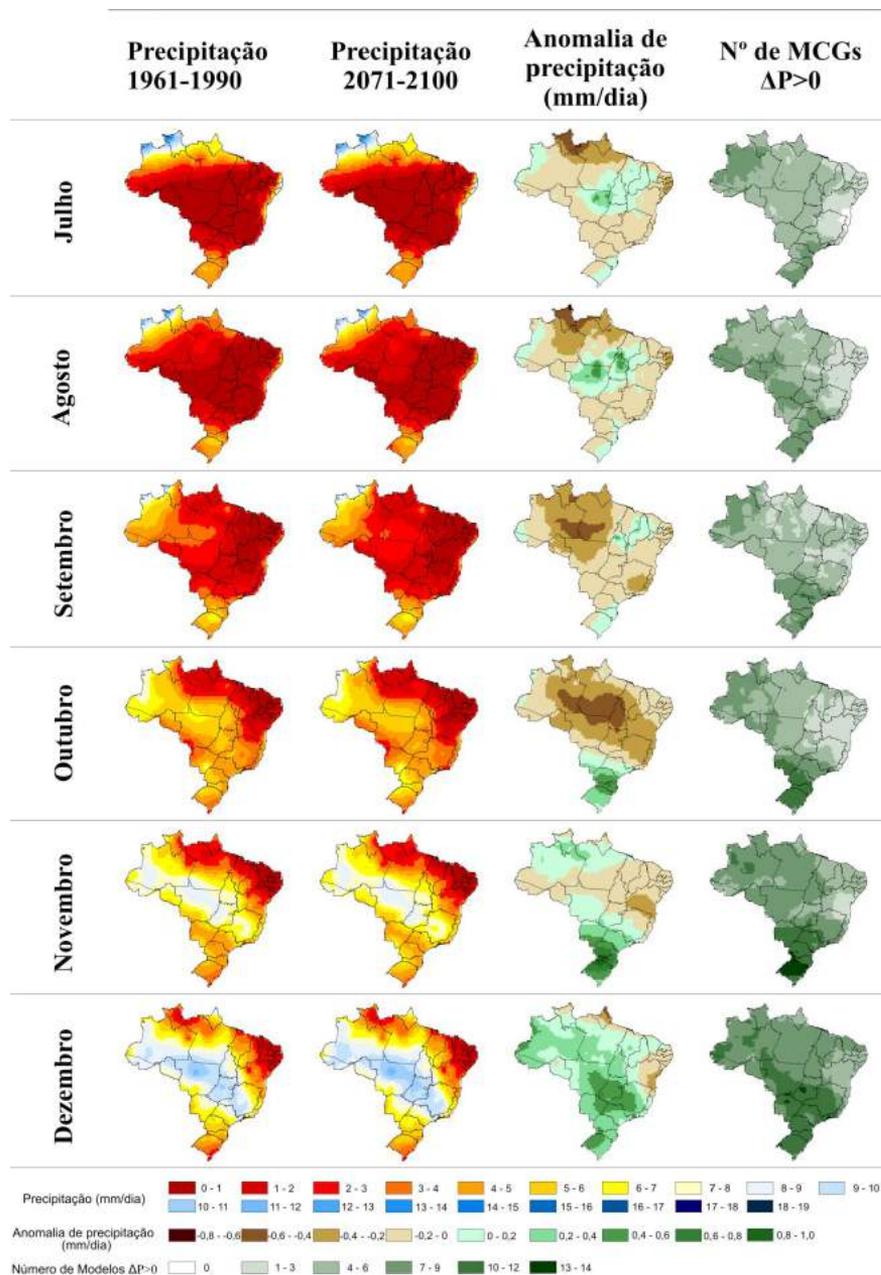


Figura 21. Precipitação pluviométrica média diária (mm dia⁻¹), anomalia (mm dia⁻¹) e número de MCGs que projetam anomalias positivas de julho a dezembro para o clima observado de referência de 1961-1990 e o clima projetado de 2071-2100, cenário A2, da média de modelos climáticos globais do Quarto Relatório do IPCC.

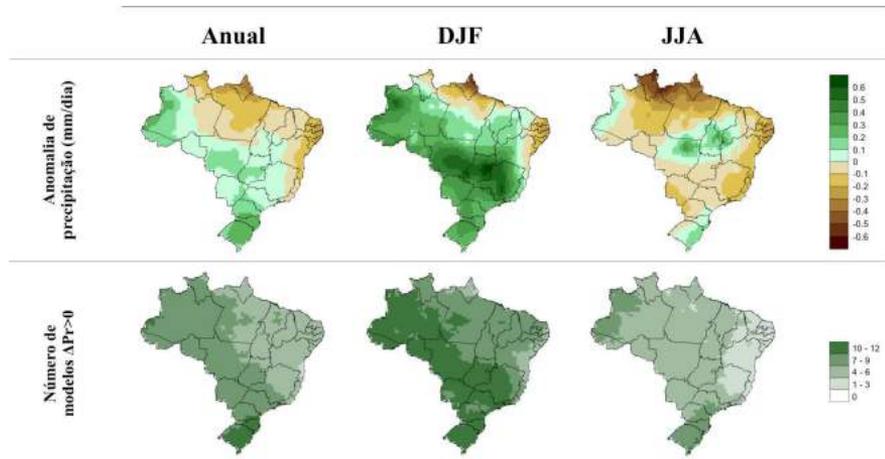


Figura 22. Anomalias de precipitação (mm dia^{-1}) e número de modelos climáticos globais que projetam anomalias positivas na média para o Brasil, para o clima observado de referência de 1961-1990 e o clima projetado de 2071-2100, cenário A2, da média de modelos climáticos globais do Quarto Relatório do IPCC.

negativas e as demais regiões com anomalias positivas, em especial as regiões Sul, Sudeste e parte da Centro-Oeste. Além disso, as regiões Norte e Sul apresentam maior convergência de número de MCGs quanto ao aumento de precipitação.

As limitações da abordagem baseadas em médias de modelos não consideram a variabilidade entre as diferentes projeções, principalmente para precipitação pluvial. A apresentação de medidas de erro padrão para as projeções médias mensais poderiam melhorar os resultados em estudos futuros.

Considerações finais

As projeções dos modelos climáticos são importante ponto de partida para estudos de impactos das mudanças do clima, pois os modelos climáticos vêm nas últimas décadas aumentando sua resolução e fornecendo melhores estimativas quantitativas da mudança do clima futuro, dependendo da região e da variável de interesse.

Para sua aplicação, no entanto, a definição criteriosa dos parâmetros utilizados na metodologia de elaboração de mapas das projeções dos cenários climáticos futuros é imprescindível, estando diretamente conectada aos objetivos de aplicação do mapeamento. Desta forma, avaliam-se as necessidades das informações climáticas provenientes dos modelos climáticos quanto às suas características, como sua resolução espacial e temporal, conjugadas à disponibilidade dessas informações e balanceando-as com as possíveis vantagens/acréscimos e desvantagens/limitações de cada escolha metodológica.

A média das projeções dos MCGs do IPCC-AR4 estima um aumento na temperatura média do ar para o século 21 no Brasil, em ambos os cenários, A2 e B1, em todos os meses, comparado ao período de referência de 1961-1990. O aumento previsto da temperatura média para o Brasil, porém, variará de intensidade nas diversas regiões e ao longo dos meses do ano, demonstrando também o efeito sazonal.

Avaliando individualmente os MCGs, todos simulam elevações na temperatura média. Porém, para a precipitação pluvial, as projeções individuais dos MCGs para o Brasil não apresentam consistência quanto à tendência da mudança, aumento ou diminuição, para a maioria das localidades. Como limitações dessa falta de consistência, as estimativas projetadas possuem uma incerteza maior, refletindo na adoção desses dados em aplicações de interesse agrícola.

Referências

BORLAND SOFTWARE CORPORATION. **Delphi 7 for Windows**. Scotts Valley, California, 2002. Disponível em: <www.borland.com>. Acesso em: 5 maio 2017.

BETTS, R.; NOBRE, C.; KAY, G.; SAMPAIO, G.; CHOU, S. Como modelamos o clima. In: MARENGO, J. A.; BELLS, R. (Coord.). **Riscos das mudanças climáticas no Brasil**: análise conjunta Brasil-Reino Unido sobre os impactos das mudanças climáticas e do desmatamento na Amazônia. São José dos Campos: Inpe, 2011. p. 32-38. Disponível em: <<http://www.inpe.br/noticias/arquivos/pdf/relatorioport.pdf>>. Acesso em: 1 ago. 2014.

CUBASCH, U.; WUEBBLES, D.; CHEN, D.; FACCHINI, M. C.; FRAME, D.; MAHOWALD, N.; WINTHER, J.-G. Introduction. In: STOCKER, T. F.; QIN, D.; PLATTNER, G.-K.; TIGNOR, M. M. B.; ALLEN, S. K.; BOSCHUNG, J.; NAUELS, A.; XIA, Y.; BEX, V.; MIDGLEY, P. M. (Ed.). **Climate change 2013**: the physical science basis. Working Group I: contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University, 2013. p. 119-158. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wgl/WGIAR5_Chapter01_FINAL.pdf>. Acesso em: 28 dez. 2014.

DIAS, M. A. F. S.; DIAS, P. L. S. As incertezas regionais nos cenários de mudanças climáticas globais. **Boletim da Sociedade Brasileira de Meteorologia**, v. 31, n. 1, p. 12-16, 2007.

EASTMAN, J. R. **Idrisi 32**: guide to GIS and image processing. Worcester: Clark Labs, Clark University, 2001. v. 2.

FIREBIRD FOUNDATION INCORPORATED. **Firebird v2.0**. 2006. Disponível em: <<http://www.firebirdsql.org>>. Acesso em: 5 maio 2017.

GOLDEN SOFTWARE. **Surfer 8.02**. Golden: Colorado, 2002. Disponível em: <<http://www.goldensoftware.com>>. Acesso em: 5 maio 2017.

HK-SOFTWARE. **IBExpert**. 2001. Disponível em: <<http://www.ibexpert.net>>. Acesso em: 5 maio 2017.

HOUGHTON, J. T.; DING, Y.; GRIGGS, D. J.; NOGUER, M.; LINDEN, P. J. van der; DAI, X.; MASKELL, K.; JOHNSON, C. A. (Ed.). **Climate change 2001**: the scientific basis: contribution of working group 1 to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2001. 881 p.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Divisão de Sensoriamento Remoto. **TOPODATA**: banco de dados geomorfométricos do Brasil. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/topodata>>. Acesso em: 5 maio 2017.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Summary for policymakers. In: SOLOMON, S.; QIN, D.; MANNING, M.; CHEN, Z.; MARQUIS, M.; AVERYT, K. B.; TIGNOR, M.; MILLER, H. L. (Ed.). **Climate change 2007: the physical science basis: contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2007. p. 1-18.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Summary for policymakers. In: STOCKER, T. F.; QIN, D.; PLATTNER, G.-K.; TIGNOR, M. M. B.; ALLEN, S. K.; BOSCHUNG, J.; NAUELS, A.; XIA, Y.; BEX, V.; MIDGLEY, P. M. (Ed.). **Climate change 2013: the physical science basis: contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge: Cambridge University Press, 2013. p. 1-29.

JONES, R. G.; NOGUER, M.; HASSEL, D. C.; HUDSON, D.; WILSON, S. S.; JENKINS, G. J.; MITCHELL, J. F. B. **Generating high resolution climate change scenarios using PRECIS**. Exeter, UK: Met Office Hadley Centre, 2004. 40 p. Disponível em: <http://www.metoffice.gov.uk/binaries/content/assets/mohippo/pdf/6/5/precis_handbook.pdf>. Acesso em: 9 maio 2017.

MARENGO, J. A. **Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade**: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI. 2. ed. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Biodiversidade e Florestas, 2007. 163 p. (Biodiversidade, 26).

MITCHELL, T. D.; CARTER, T. R.; JONES, P. D.; HULME, M.; NEW, M. **A comprehensive set of high-resolution grids of monthly climate for Europe and the globe: the observed record (1901-2000) and 16 scenarios (2001-2100)**. Norwich, UK: Tyndall Centre for Climate Change Research, 2004. 30 p. (Tyndall Centre Working Paper, 55).

MITCHELL, T. D.; JONES, P. D. An improved method of constructing a database of monthly climate observations and associated high-resolution grids. **International Journal of Climatology**, v. 25, n. 6, p. 693-712, 2005.

MURRAY, F. W. On the computation of saturation vapor pressure. **Journal of Applied Meteorology**, v. 6, n. 1, p. 203-204, 1967.

NAKICENOVIC, N. (Coord.). **Special report on emission scenarios**: contribution of Working Group III. Cambridge: Cambridge University, 2000. 599 p.

RANDALL, D. A.; WOOD, R. A. (Coord.). Climate models and their evaluation. In: SOLOMON, S.; QIN, D.; MANNING, M.; CHEN, Z.; MARQUIS, M.; AVERYT, K. B.; TIGNOR, M.; MILLER, H. L. (Ed.). **Climate change 2007**: the physical science basis: contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2007. p. 589–662.

Metodologia de mapeamento para avaliação de impactos das mudanças climáticas sobre problemas fitossanitários

Emília Hamada e Raquel Ghini

Introdução

As mudanças climáticas potencializam uma ampla gama de riscos, criando novas ameaças aos sistemas naturais e humanos, mas, em alguns casos, também podem promover oportunidades. Discriminar entre riscos e oportunidades somente é possível com a compreensão dos diversos processos físicos e biológicos envolvidos e a avaliação dos impactos potenciais advindos com os novos cenários projetados considerando as mudanças do clima.

Um dos aspectos mais preocupantes dos riscos é que, segundo o Field et al. (2014), eles são distribuídos de forma desigual e são geralmente maiores para pessoas e comunidades desfavorecidas de países em todos os níveis de desenvolvimento, constituindo-se em ameaça fundamental para a segurança alimentar mundial, o desenvolvimento sustentável e a erradicação da pobreza.

Na questão da segurança alimentar e dos sistemas de produção de alimentos, os impactos negativos tendem a ser mais comuns que os positivos (PORTER et al., 2014). Com base em dados observados e muitos estudos, esses autores concluíram que o aquecimento climático tem efeito negativo sobre a produção agrícola, geralmente reduzindo os rendimentos de cereais básicos, tais como trigo, arroz e milho. No entanto, esse efeito difere entre regiões e

latitudes. A elevação da concentração de CO₂, por outro lado, poderia beneficiar o rendimento das culturas em curto prazo em função do aumento das taxas de fotossíntese, mas existe ainda grande incerteza na magnitude do seu efeito e o significado da interação com outros fatores.

A coevolução das plantas com suas pragas e doenças fez com que, de modo geral, as condições do ambiente que favorecem a planta cultivada também favoreçam os patógenos e as pragas; assim, os organismos tendem a ocorrer em maior frequência em regiões onde as condições do ambiente são favoráveis ao seu desenvolvimento (HAMADA; GHINI, 2015). Deste modo, é muito provável que as mudanças climáticas possam causar modificações adicionais na distribuição geográfica de insetos e patógenos, alterando sua presença em culturas alimentares, em determinadas regiões de cultivo.

Impactos das mudanças climáticas sobre doenças de cultura estão ainda concentradas em relativamente poucas culturas e poucos patógenos (NEWBERY et al., 2016). Ainda há necessidade de desenvolvimento de métodos que quantifiquem as incertezas das projeções, informação fundamental para os planejadores e estrategistas de adaptação à mudança climática.

Neste capítulo é apresentada uma proposta metodológica para a obtenção de mapas de avaliação de impactos das mudanças climáticas sobre problemas fitossanitários com base nas projeções do Quarto Relatório de Avaliação (AR4) do IPCC (PARRY et al., 2007).

Considerações sobre variáveis climáticas para o desenvolvimento da base de dados de projeções climáticas e de favorabilidade de problemas fitossanitários

As variáveis climáticas a serem usadas nos estudos de impacto são definidas em função do objeto de estudo. Consideram-se as características das informações climáticas provenientes dos modelos climáticos e sua resolução espacial e temporal, avaliando as possíveis vantagens e desvantagens/limitações de cada escolha.

Segundo Shaw e Osborne (2011), as projeções de muitas das variáveis necessárias para estimar as mudanças na distribuição dos patógenos são ainda incertas e as ferramentas para prever tais mudanças com base nas correlações ambientais dependem de bons dados primários, que são muitas vezes ausentes, e precisam ser verificados com registros históricos, que até o momento permanecem pobres para quase todos os patossistemas. Além disso, as resoluções espaciais e temporais características dos modelos climáticos globais (MCGs) são difíceis de conciliar com os modelos de doença de planta. Em geral, esses modelos necessitam de “inputs” ou entradas de informações do clima com a mesma alta resolução temporal (horária ou diária) e espacial (parcela de campo) utilizada para sua calibração e parametrização. No entanto, as projeções das mudanças climáticas têm resolução mais baixa e assim há uma incompatibilidade entre as projeções e as análises de alta resolução (GARRETT et al., 2011). Ainda segundo esses autores, embora existam procedimentos que podem ser adotados para contornar essa dificuldade, todos os métodos introduzem incertezas nas avaliações. Esse aumento da incerteza dos cenários de mudanças climáticas na resolução espacial mais fina pode se tornar mais adequado para avaliar a média dos impactos futuros da mudança climática por períodos longos, como 30 anos, do que quando se fazem avaliações com maior resolução temporal.

Como consequência das mudanças climáticas, estão previstas alterações em numerosos atributos dos ambientes abiótico e biótico, por exemplo, na temperatura, nos níveis de CO₂ atmosférico, nos níveis de nutrientes do solo e na diversidade de espécies e os impactos dessas alterações provavelmente serão dependentes das espécies e da localização (ALEXANDER, 2010). Desta forma, é importante observar que o conjunto de cenários de emissão e suas respectivas projeções dos modelos representam os níveis de emissão de gases de efeito estufa e, portanto, possíveis interações entre os atributos dos ambientes abiótico e biótico deverão ser consideradas como efeitos aditivos.

Também deve-se considerar que os “inputs” ou informações climáticas de entrada (projeções dos MCGs) que descrevem o fenômeno/tema do objetivo de estudo, em particular, deverão combinar com as características de resolução espacial e temporal dos mapas dos cenários do clima futuro elaborados a partir dos MCGs adotados (um ou vários).

Metodologia de elaboração de mapas de impactos das mudanças climáticas sobre problemas fitossanitários

A distribuição geográfica dos patógenos é resultante da distribuição e suscetibilidade do hospedeiro, manejo da cultura, presença de vetor e outros organismos relacionados com as pragas e as doenças, e a favorabilidade do ambiente. Esta proposta metodológica considera as projeções das variáveis climáticas (Figura 1) dos MCGs do Quarto Relatório de Avaliação (AR4) do IPCC (PARRY et al., 2007) para o Brasil ao longo do século 20 e para o período de referência de 1961-1990. As variáveis utilizadas foram: médias mensais de temperatura média do ar (°C), precipitação pluvial média diária (mm dia⁻¹), temperatura máxima

do ar (°C), temperatura mínima do ar (°C) e umidade relativa do ar (%). Mais detalhes acerca desses dados estão apresentados no Capítulo 2.

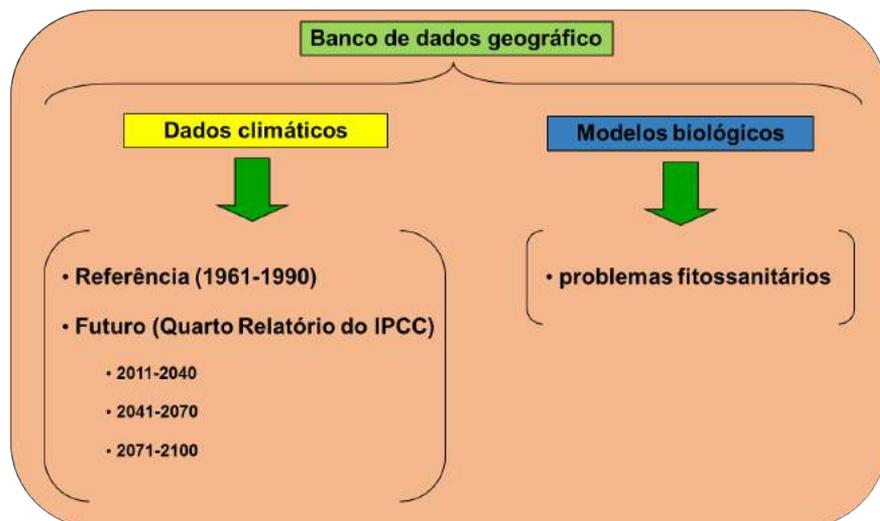


Figura 1. Componentes do banco de dados geográfico que vincula dados climáticos e modelos biológicos de problemas fitossanitários.

No estudo do efeito das mudanças climáticas sobre a distribuição geográfica de doenças de plantas, uma informação particularmente importante é a duração do período de molhamento foliar. Esta não é considerada uma variável tipicamente climática, mas foi inserida na base de dados climáticos e em função de sua importância está apresentada nas Figuras 2, 3 e 4. O período de duração de molhamento foliar (horas dia⁻¹) foi estimado em função da umidade relativa (HAMADA et al., 2008b), com exemplo de aplicação para o míldio da videira por Hamada et al. (2008a).

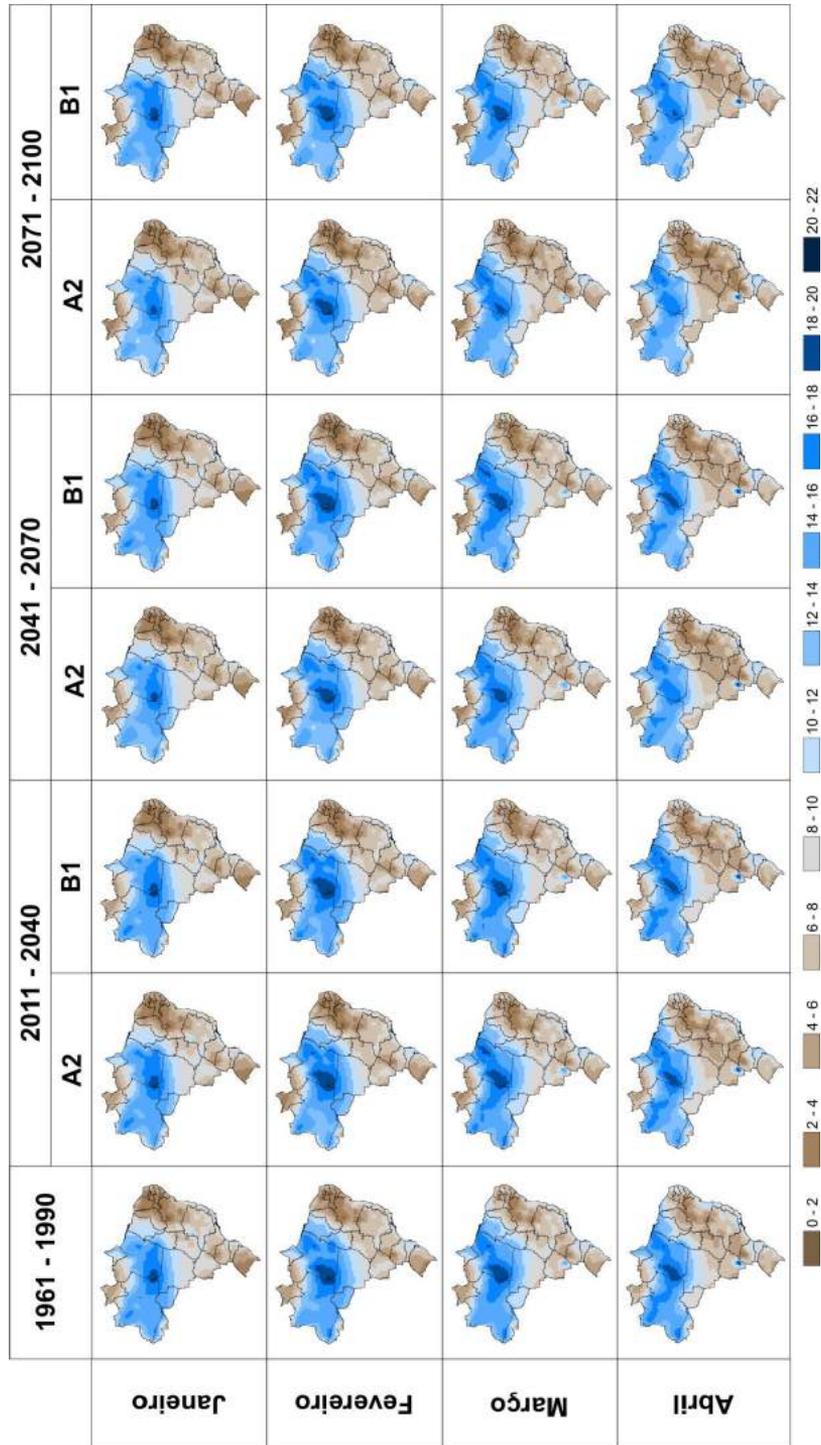


Figura 2. Período de molhamento (horas dia⁻¹) de janeiro a abril para o clima observado de referência de 1961-1990 e o clima projetado de 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100, cenários A2 e B1.

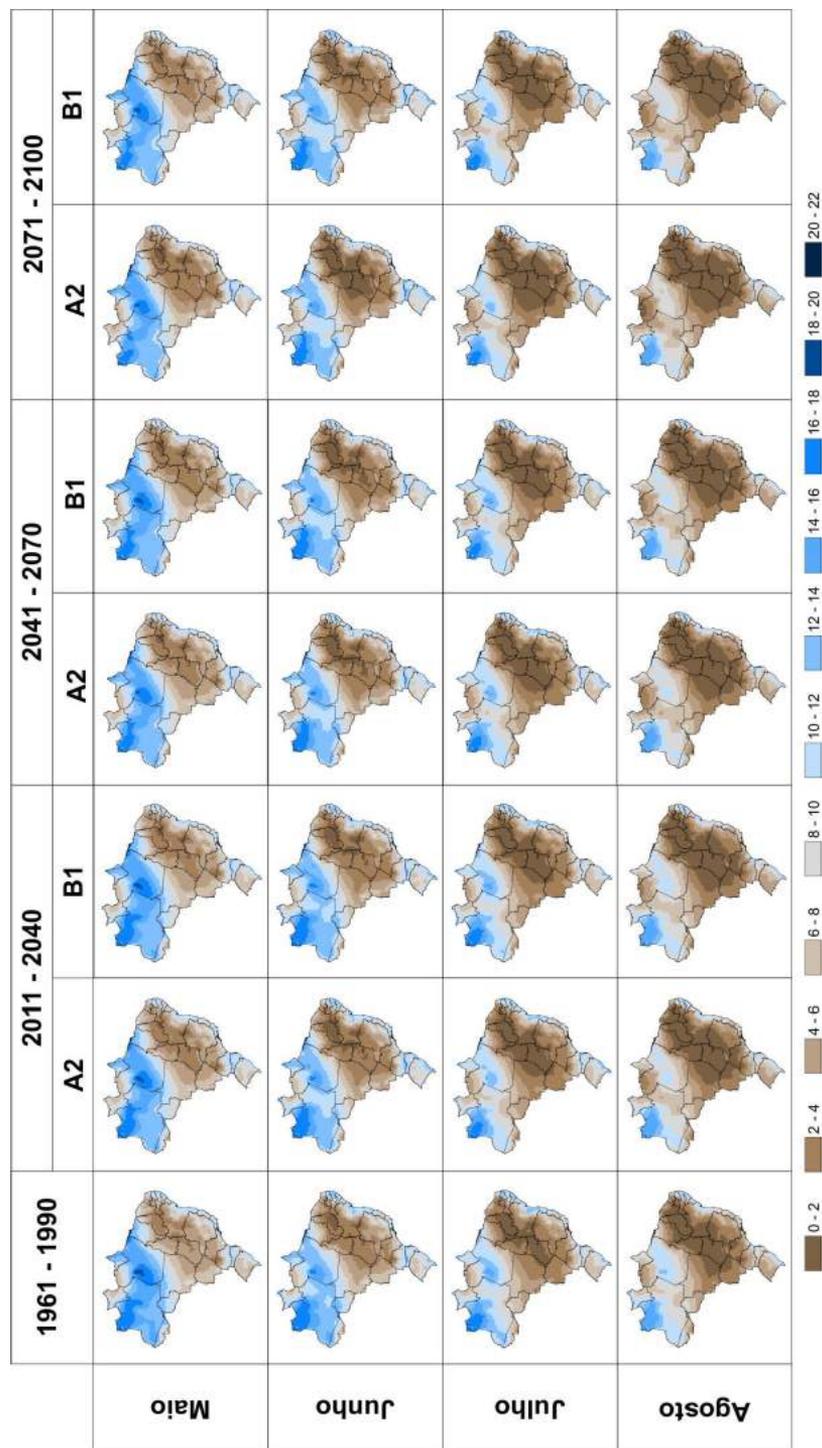


Figura 3. Período de molhamento (horas dia⁻¹) de maio a agosto para o clima observado de referência de 1961-1990 e o clima projetado de 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100, cenários A2 e B1.

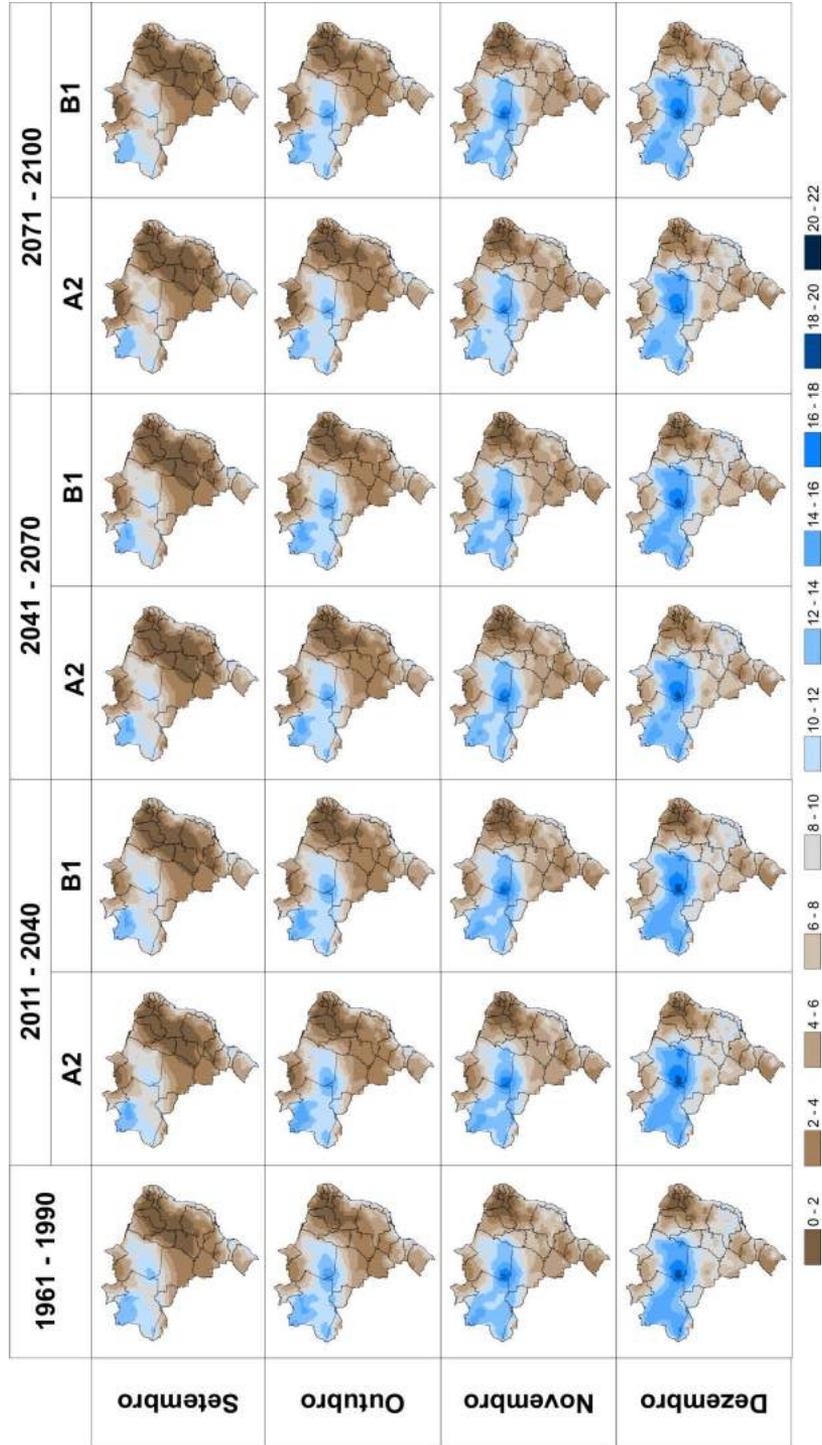


Figura 4. Período de molhamento (horas dia⁻¹) de setembro a dezembro para o clima observado de referência de 1961-1990 e o clima projetado de 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100, cenários A2 e B1.

Além dos dados climáticos consideram-se também as informações do problema fitossanitário (Figura 1), a partir de modelagem biológica, seja por meio de modelos matemáticos de desenvolvimento ou de equações de lógica matemática, utilizando intervalos de variáveis climáticas, mais facilmente disponíveis na literatura, relacionando informações climáticas denominadas de variáveis preditoras com um parâmetro relacionado à praga ou doença como a variável resposta, que podem ser a severidade da doença, o número de ciclos, o número de gerações ou a favorabilidade de ocorrência, entre outros. A utilização desses modelos/equações é uma escolha vantajosa, uma vez que as mudanças climáticas ocorrem de forma lenta e variável, dificultando o estudo de seus efeitos diretamente (GARRETT et al., 2006). Desta forma, a aplicação de características climáticas quantificadas nesses modelos permite prever o sucesso do organismo em outros locais com climas semelhantes em que o organismo não foi ainda introduzido, ou onde é esperado que o clima se altere, tornando-o semelhante ao clima local de referência do organismo.

Esse banco de dados geográfico, vinculando dados climáticos e modelos biológicos, constitui a entrada de dados na proposta de análise integrada com ferramentas de geoprocessamento (Figura 5). Essas ferramentas, por meio da análise integrada dos dados de projeções de mudanças climáticas e de problemas fitossanitários, permitem um maior entendimento da interação desses dois sistemas climáticos e biológicos no espaço e no tempo. Basicamente, o processo de análise integrada proposto (Figura 5) é subdividido em três etapas: entrada, gerência e análise e saída de dados. A entrada de dados compreende as funções de coleta e pré-processamento de informações climáticas, incluindo os projetados de MCGs (PARRY et al., 2007) e de dados fitossanitários das culturas agrícolas, como fontes bibliográficas e de experimentação. Nessa etapa os dados são preparados para iniciar a montagem do banco de dados georreferenciado. A gerência e a análise contemplam a organização dos dados de forma a permitir a

sua recuperação, atualização e edição, e as funções analíticas para a manipulação dos dados, incluindo as ferramentas de álgebra de mapas, de análises espaço-temporal e de tendência e de métodos de suporte à decisão. A saída mostra as informações de interesse da base de dados em forma de mapas e tabelas de favorabilidade de doenças e pragas e de tendências.

Esta proposta metodológica enquadra-se na categoria de previsões específicas de distribuição geográfica de pragas e doenças que, segundo Shaw e Osborne (2011), é um dos métodos de estudos de laboratório das relações ambiente-patógeno, baseadas em modelos provavelmente mais comuns para identificar para onde os MCGs preveem possíveis deslocamentos de nichos. Essas informações são deduzidas a partir de informações de literatura ou de desenvolvimento de pragas e doenças relativamente simples e em projeções dos MCGs, tanto em escala regional ou menor. Como exemplos desse tipo de método estão as avaliações realizadas por Ghini et al. (2007, 2008) e Salinari et al. (2006), os dois últimos utilizando a metodologia aqui proposta. Estas aplicações podem ser consideradas como as primeiras aproximações, pois em muitos casos outros fatores como alteração no desenvolvimento das plantas, metabolismo e morfologia, que podem influenciar a interação patógeno-hospedeiro, idealmente deveriam ser considerados e incorporados a esses resultados.

Juroszek e Tiedemann (2015) resumiram e avaliaram estudos de simulação de risco de doença, onde modelos de doença de cultura foram vinculados às projeções de clima, derivadas de um ou de vários MCGs. Ao todo foram analisados 70 estudos, referentes a 35 doenças de planta em 15 diferentes culturas agrícolas, com 40% dos estudos com risco de doença projetado permanecendo sem alteração (sete casos) ou se reduzindo (22 casos) no futuro. Os autores sugerem que as projeções das dinâmicas e faixas futuras do patógeno/doença deveriam incluir vários fatores climáticos e vários estádios de ciclo de vida do patógeno/doença para serem mais confiáveis.

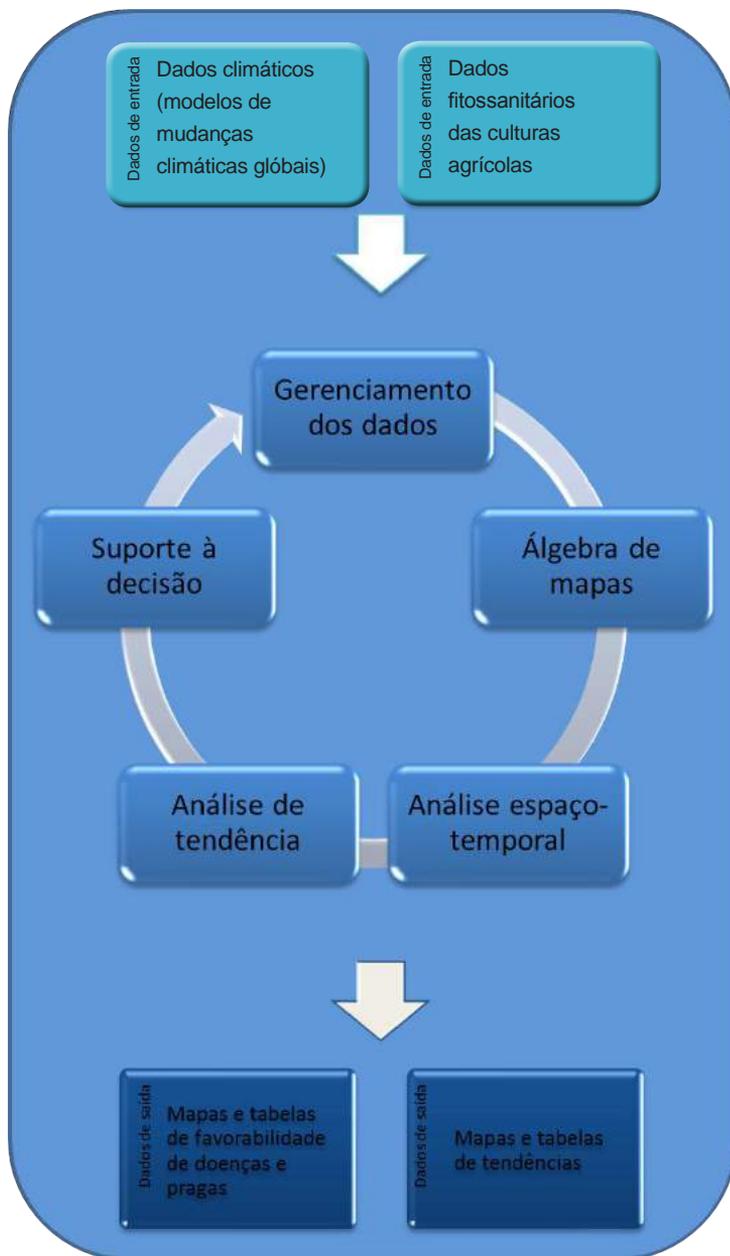


Figura 5. Processo de análise integrada com ferramentas de geoprocessamento para estudo dos impactos das mudanças climáticas sobre problemas fitossanitários.

Uma abordagem baseada em um sistema completo foi apresentada por Evans et al. (2008) que, por sua vez, aplicaram um modelo de doença desenvolvido empiricamente, a partir de dados de 40 experimentos de campo, coletados ao longo de 15 anos e executando o modelo preditivo sob condições climáticas alteradas, cujas informações necessárias de entrada foram obtidas por “downscaling” ou aumento da resolução temporal das previsões dos MCGs utilizando geradores estocásticos do clima. Essa abordagem metodológica, no entanto, não é de fácil e ampla aplicação para todos os patógenos e existe a incerteza de que um processo bem conhecido em escala regional para uma localidade específica não possa ser generalizado para outros locais e em escalas menores.

Assim, Garrett et al. (2011), em função da complexidade e dos muitos fatores a serem considerados, propuseram um quadro para a análise da complexidade dos efeitos das mudanças climáticas mediados por doença de planta, indicando que na prática pode ser necessário expandir os modelos para incluir mais componentes, identificando aqueles que são mais importantes e sumarizar tais modelos para incluir um nível ótimo de complexidade para o planejamento e a priorização da pesquisa.

Considerações finais

A metodologia proposta de mapeamento para avaliação de impactos das mudanças climáticas sobre problemas fitossanitários, utilizando a análise integrada de dados climáticos e modelos biológicos, com subsídios do geoprocessamento, constitui-se relativamente simples e com potencial para a proposição geral de táticas de controle e estratégias de adaptação. Há significativa economia de tempo e recursos em relação aos métodos mais complexos, mas apresenta limitações de conflito de escala e ausência de quantificação de incertezas.

Um melhor entendimento do funcionamento dos processos abióticos e bióticos envolvidos conduz ao aumento na confiabilidade das conclusões, o que poderia ser obtido com a utilização de modelos biológicos ajustados à resolução das projeções dos MCGs. A questão é que modelos de pragas e doenças foram inicialmente obtidos em experimentos com condições controladas ou desenvolvidas para sistemas de previsão, requerendo muitas vezes informações climáticas diárias e até horárias, incompatíveis com os dados de projeções dos MCGs. Assim, é necessária a obtenção de mais resultados experimentais, que possibilitem o desenvolvimento e aperfeiçoamento desses modelos acoplados planta-patógeno, ajustados à escala das informações disponibilizadas pelos MCGs. Também o progresso (diminuição das incertezas) das projeções dos MCGs melhoraria a capacidade de avaliar os impactos futuros.

Referências

- ALEXANDER, H. M. Disease in natural plant populations, communities, and ecosystems: insights into ecological and evolutionary processes. **Plant Disease**, v. 94, n. 5, p. 492-503, 2010.
- EVANS, N.; BAIERL, A.; SEMENOV, M. A.; GLADDERS, P.; FITT, B. D. L. Range and severity of plant disease increased by global warming. **Journal of the Royal Society Interface**, v. 5, n. 22, p. 525-531, 2008.
- FIELD, C. B.; BARROS, V. R.; D.J. DOKKEN, D. J.; MACH, K. J.; MASTRANDREA, M. D.; BILIR, T.E.; CHATTERJEE, M.; EBI, K. L.; ESTRADA, Y. O.; GENOVA, R. C.; GIRMA, B.; KISSEL, E.S.; LEVY, A. N.; MACCRACKEN, S.; MASTRANDREA, P. R.; WHITE, L.L. (Ed.) **Climate Change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability: summary for policymakers. Part A: global and sectoral aspects. Working Group II contribution to the Fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.** Cambridge: Cambridge University Press, 2014. 34 p.
- GARRETT, K. A.; DENDY, S. P., FRANK, E. E., ROUSE, M. N.; TRAVERS, S. E. Climate change effects on plant disease: genomes to ecosystems. **Annual Review of Phytopathology**, v. 44, p. 489-509, 8 Sept. 2006.

GARRETT, K. A.; FORBER, G. A.; SAVARY, S. et al. Complexity in climate-change impacts: an analytical framework for effects mediated by plant disease. **Plant Pathology**, v. 60, n. 1, p. 15–30, 2011.

GHINI, R.; HAMADA, E.; GONÇALVES, R. R.V.; GASPAROTTO, L., PEREIRA, J. C. R. Análise de risco das mudanças climáticas globais sobre a sigatoka-negra da bananeira no Brasil. **Fitopatologia Brasileira**, v. 32, n. 3, p. 197-204, 2007.

GHINI, R.; HAMADA, E.; PEDRO JÚNIOR, M. J.; MARENGO, J. A.; GONÇALVES, R. R.V. Risk analysis of climate change on coffee nematodes and leaf miner in Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 2, p.187-194, 2008.

HAMADA, E.; GHINI, R. Mudanças climáticas e seus impactos sobre a distribuição de pragas agrícolas. In: SUGAYAMA, R. L.; LOPES-DA-SILVA, M.; SILVA, S. X. B.; RIBEIRO, L. C.; RANGEL, L. E. P. (Ed.). **Defesa vegetal: fundamentos, ferramentas, políticas e perspectivas**. Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Defesa Agropecuária, 2015. p. 433-447.

HAMADA, E.; GHINI, R.; FERNANDES, J. L.; PEDRO JÚNIOR, M. J.; ROSSI, P. Spatial and temporal variability of leaf wetness duration in the State of São Paulo, Brazil. **Scientia Agricola**, v. 65, n. esp., p. 26-31, 2008a.

HAMADA, E.; GONÇALVES, R. R. V.; MARENGO, J. A.; GHINI, R. Cenários climáticos futuros para o Brasil. In: GHINI, R. HAMADA, E. (Ed.). **Mudanças climáticas: impactos sobre doenças de plantas no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Informação tecnológica, 2008b. p. 25-73.

JUROSZEK, P.; TIEDEMANN, A. von. Linking plant disease models to climate change scenarios to Project future risks of crop diseases: a review. **Journal of Plant Diseases and Protection**, v. 122, n. 1, p. 3-15, 2015.

NEWBERY, F.; QI, A.; FITT, B. D. L. Modelling impacts of climate change on arable crop diseases: progress, challenges and applications. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 32, p. 101-109, Aug. 2016.

PARRY, M. L.; CANZIANI, O. E.; PALUTIKOF, J. P.; LINDEN, P. J. van der; HANSON, C. E. (Ed.). **Climate change 2007: impacts, adaptation and vulnerability: contribution of working group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge: Cambridge University Press, 2007. 976 p.

PORTER, J. R.; XIE, L.; CHALLINOR, A. J.; COCHRANE, K.; HOWDEN, S. M.; IQBAL, M. M.; LOBELL, D. B.; TRAVASSO, M. I. Food security and food production systems. In: IPCC. **Climate change 2014**: impacts, adaptation, and vulnerability. Part A: global and sectoral aspects. Contribution of working group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2014. p. 485-533.

SALINARI, F.; GIOSUE, S.; TUBIELLO, F. N.; RETTORI, A.; ROSSI, V.; SPANNA, F.; ROSENZWEIG, C.; GULLINO, M. L. Downy mildew (*Plasmopara viticola*) epidemics on grapevine under climate change. **Global Change Biology**, v. 12, n. 7, p. 1299-1307, 2006.

SHAW, M. W.; OSBORNE, T. M. Geographic distribution of plant pathogens in response to climate change. **Plant Pathology**, v. 60, n. 1, p. 31-43, 2011.

A fitopatologia nos cenários de aquecimento global

Carlos Alberto Lopes

Introdução

A íntima associação do clima com doenças de plantas provavelmente tenha sido observada desde os primórdios da agricultura. Seu primeiro registro, entretanto, parece ser o de Teofrasto, quando relatou, há mais de dois mil anos, que lavouras de cereais cultivadas em localidades altas e ventiladas eram menos afetadas por doenças do que aquelas cultivadas em terras baixas (AGRIOS, 1997). Foi na metade do século 20, no entanto, que o fator clima passou a ser mais explorado em estudos de epidemias, explicitada por Gäumann (1950) na definição de doenças de plantas e ao ocupar um dos vértices do “triângulo da doença” (patógeno, hospedeiro, ambiente) na representação de Stevens (1960), que é a base da disciplina de fitopatologia. O fator “ambiente” ganha novo destaque com o assunto “mudanças climáticas”, exaustivamente comentado na mídia e em debates políticos nos últimos anos.

O aumento da temperatura no planeta, embora ainda saudavelmente questionado por alguns (a ciência evolui a partir de questionamentos), é cada vez mais aceito pela sociedade diante da robustez de observações contextualizadas em diversos artigos científicos coordenados por equipes de respeito internacional. O modismo do tema, entretanto, é ambiente fértil para a proliferação de matérias opinativas, desprovidas de rigor científico, portanto de pouca valia

para a orientação de pesquisas e de políticas públicas, conforme alertado por Amorim et al. (2011).

Se no final do século passado, mesmo com escassez de dados científicos, os fitopatologistas da época já afirmavam que mudanças climáticas poderiam exercer forte influência na sanidade de plantas (MANNING; TIEDEMANN, 1995), novas e confiáveis evidências baseadas em dados científicos em sistemas agrícolas e florestais fortalecem a hipótese de que os ecossistemas prevalentes no futuro sofrerão maiores pressões por doenças (CHAKRABORTY et al., 2011a, 2011b; GHINI et al., 2007, 2008a, 2008b, 2011a, 2011b; WOODS, 2011). No entanto, a resposta não é linear: para alguns patossistemas, o incremento da temperatura poderá aumentar, não influenciar ou até mesmo reduzir os riscos de epidemias e/ou danos causados por elas (Figura 1), com seu efeito atuando diretamente no patógeno, no hospedeiro e nas interações entre eles (Figura 2).

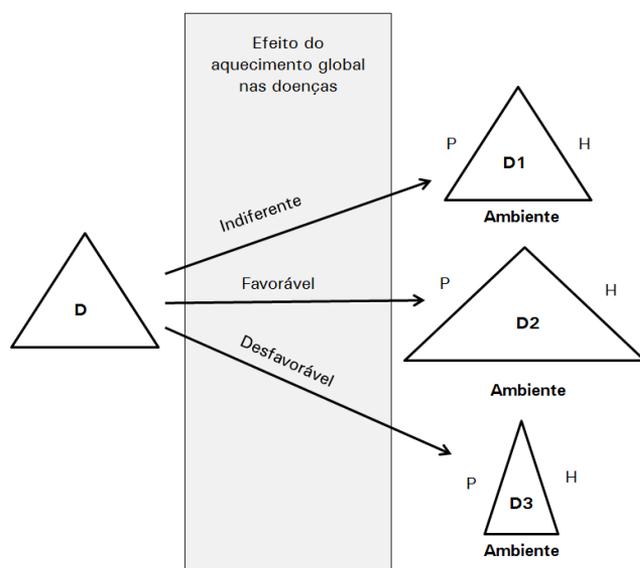


Figura 1. Em relação à intensidade de doenças de plantas na atualidade (D), o aquecimento global terá efeito neutro ($D1=D$), favorável ($D2>D$) ou desfavorável ($D3<D$) no futuro ao afetar o componente “ambiente” do triângulo. D=Doença; P= Patógeno; H= Hospedeiro.

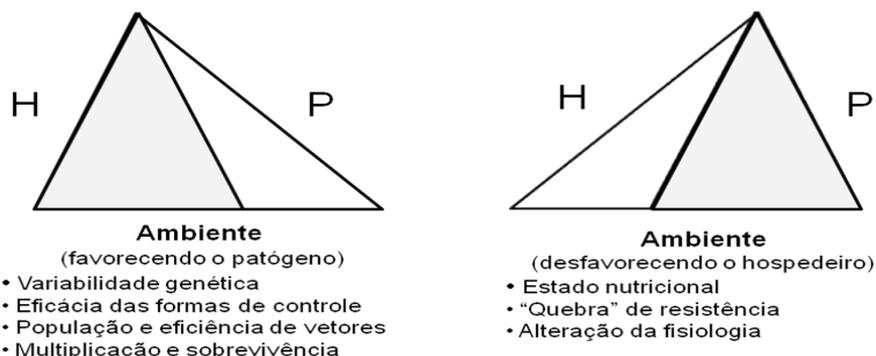


Figura 2. O aquecimento global modifica o ambiente que, por sua vez, afeta tanto o patógeno (P) como o hospedeiro (H), no exemplo representando um aumento na intensidade da doença de D para D+D'. D=Doença; P= Patógeno; H= Hospedeiro.

Incertezas à parte, uma previsão segura é a de que “as mudanças climáticas aumentarão a taxa de aparecimento de surpresas desagradáveis” (SHAW, 2009). Pode-se especular que a sigatoka negra, a ferrugem da soja, o amarelinho dos citros e as begomoviruses transmitidas pela mosca branca, só para citar algumas relativamente recentes no Brasil, ganharam proporções preocupantes em função de um clima excepcionalmente favorável a elas. E os impactos da ocorrência de doenças, de modo geral, são percebidos em três áreas ligadas à segurança alimentar: perdas diretas, eficácia das estratégias de controle e distribuição geográfica de patógenos e vetores (CHAKRABORTY et al., 2000).

A literatura sobre o efeito das mudanças climáticas no desenvolvimento de doenças de plantas, bastante escassa antes da década de 1990, é hoje vasta e em crescimento acelerado. E, face aos recentes, abrangentes e bem elaborados livros dedicados às mudanças climáticas impactando as doenças, inclusive no Brasil (GHINI et al., 2011b; GHINI; HAMADA, 2008; GUEDES, 2009), o objetivo deste capítulo não é de ser mais uma revisão sobre o tema em patossistemas específicos, e sim de comen-

tar informações sobre assuntos relacionados à epidemiologia e controle de doenças de plantas diante da eventual perspectiva do aquecimento global.

O desenvolvimento do tema é organizado, para fins didáticos, nos conceitos da epidemiologia, definida como “qualquer mudança na intensidade da doença, numa população de hospedeiros, no tempo e no espaço” (AMORIM et al., 2011). Dessa maneira, os fatores “patógeno” e “hospedeiro” são influenciados pelo componente “ambiente”, conforme ilustrado na figura do triângulo da doença, amplamente conhecido nas ciências agrárias (Figura 1).

Ao discutirem os intrincados efeitos das mudanças climáticas e as mudanças globais em relação à sanidade das plantas, Savary et al. (2011) dividiram as doenças de plantas em três categorias: 1. doença crônica, que é aquela que ocorre de forma constante em grandes áreas, afetando o comportamento do sistema, inclusive comprometendo a produtividade; 2. doença aguda, que ocorre de maneira irregular, no tempo e no espaço, e que, quando ocorre, afeta sensivelmente o comportamento do sistema; e 3. doença emergente, que é aquela em que os limites estão em expansão para novas áreas.

Exemplificando esta última, verifica-se com certa frequência o relato de novas epidemias, como as causadas pelos begomovírus em tomateiro em consequência do aumento da população de mosca-branca, inseto de pouca expressão até poucas décadas atrás, cuja população é altamente regulada pelo clima. Com isso, as begomoviroses transmitidas pela mosca-branca passaram de doença emergente e assumiram o status de doença crônica. Este fenômeno tem sido atribuído por especialistas à expansão de áreas de soja e algodão - ótimas hospedeiras da mosca-branca - à rápida adaptação do inseto ao tomateiro e ao efeito seletivo dos inseticidas e inimigos naturais (INOUE-NAGATA, 2012; MICHEREFF FILHO et al., 2012).

As mudanças climáticas se manifestam de diferentes maneiras, com especial destaque para o aquecimento global. Embora esses termos sejam muitas vezes usados simplificarmente para representar os mesmos fenômenos, são considerados no fator “ambiente” os efeitos da temperatura, concentrações de CO₂ e ozônio, precipitação e seca na biologia dos patógenos e na sua habilidade de infectar as plantas e de sobreviver na natureza ou em sistemas agrícolas. Em adição, consideram-se ainda os efeitos na reação das plantas à infecção, bem como os microclimas determinantes do processo infeccioso.

Pelo fato de ambos, patógeno e hospedeiro, serem claramente afetados pelas mudanças climáticas, espera-se, com elas, substanciais mudanças na magnitude da expressão de doenças nos distintos patossistemas, na distribuição geográfica de doenças, na importância de uma doença em uma determinada região e no conjunto de doenças que ameaçam uma cultura. Como consequência, essas mudanças terão grande efeito no conjunto de medidas de controle a ser adotado pelos produtores, bem como na viabilidade econômica de determinadas culturas em uma região. (ELAD; PERTOT, 2014; GHINI et al., 2011a, 2011b).

Dentre os fatores climáticos do “ambiente”, a temperatura é o que está mais associado à intensidade da doença de plantas pelo fato de interferir direta e indiretamente em cada componente biológico dos patossistemas, afetando a invasão, a colonização, a reprodução, a dispersão e a sobrevivência dos patógenos (ROSENZWEIG et al., 2001; VALE; ZAMBOLIM, 1996). Ênfase será dada, portanto, a este componente nos comentários a seguir.

Quando se discute o clima em relação a epidemia de doenças de plantas, é necessário lembrar que, em uma determinada região, as doenças podem ser mais afetadas por fatores microclimáticos do que pelos macroclimáticos, estes obtidos por meio de estações

meteorológicas. Há também de se considerar sistemas não convencionais, como a produção de alimentos orgânicos e o uso de controle biológico, com todas as dificuldades a eles impostas por um ambiente em modificação. A favor dos pesquisadores, a coleta e o armazenamento desses dados estão hoje muito facilitados pelos avanços na automação e na tecnologia da informação.

A temperatura e as mudanças climáticas na epidemiologia de doenças de plantas

De um modo geral, as doenças se desenvolvem mais rapidamente quando a temperatura prevalente está próxima à temperatura ótima do patógeno e abaixo ou acima da ótima para a planta. Neste contexto, a temperatura é um dos principais componentes nos sistemas de previsão de doenças de plantas (COLHOUN, 1973).

É complicado analisar os efeitos do aquecimento global esperado de até 5°C em um século, nas doenças de plantas (GHINI et al., 2011b), em especial em países tropicais de dimensões continentais, como o Brasil. Nestes, a média de temperatura pode variar em mais de 30°C de uma estação para outra, com variações acima de 20°C em um mesmo dia. Por isso, trabalhar com as médias de temperatura, como em muitos modelos de previsão, não é suficiente; amplitudes térmicas geralmente são mais importantes que a temperatura média (SCHERM; BRUGGEN, 1994). Além disso, os regimes de temperatura e precipitação afetados pelas mudanças climáticas interagem com os gases atmosféricos, fertilizantes, defensivos, doenças, plantas daninhas e matéria orgânica do solo, produzindo efeitos de difícil previsão (PIMENTEL, 1993).

Em termos práticos, o impacto do aquecimento global, inclusive na adaptação do hospedeiro nas doenças de plantas, pode ser analisado a qualquer tempo em países de climas diversos como o Brasil.

Assim, embora vários outros fatores contribuam para a definição de um clima, o efeito da alta temperatura em doenças causadas por patógenos adaptados ao calor pode ser avaliado em regiões de clima quente, como muitos municípios da região Norte e de outras regiões de baixas altitudes. Por exemplo, o efeito do aumento de temperatura nas regiões de clima subtropical e temperado na manifestação da murcha bacteriana (*Ralstonia* spp.) poderá ser percebido quando se constata a dificuldade de se cultivar o tomateiro na região Amazônica (LOPES, 2015). Esta situação tem sido explorada, embora ainda timidamente, por melhoristas de plantas na seleção de genótipos de algumas espécies tolerantes ao calor.

Efeitos da temperatura nos componentes dos patossistemas

No patógeno

O aumento da temperatura pode afetar os patógenos de várias maneiras: alterando sua taxa de infecção, colonização e multiplicação; interferindo na sua sobrevivência em nichos específicos; promovendo variabilidade genética que permite sua adaptação a uma nova condição ambiental; modificando a quantidade de vetores, bem como sua eficiência de transmissão, e alterando a eficácia das diferentes formas de controle (GAUTAM et al., 2013).

Há que se considerar ainda que os efeitos da temperatura são distintos em se tratando de características intrínsecas dos patógenos, sejam estes associados ao solo ou à parte aérea, necrotróficos ou biotróficos, parasitas de hospedeiros de ciclos curto ou longo, produtores ou não de estruturas de resistência, etc. - isso tudo sujeito a uma diversidade de climas no planeta nos níveis micro, meso e macro.

Em um nível macro epidemiológico, regiões sujeitas a invernos rigorosos levam vantagens expressivas no controle de doenças, em relação a regiões de clima tropical. Nos trópicos, o aquecimento global facilita a sobrevivência do patógeno, em relação a climas frios e temperados, disponibilizando inóculo inicial de epidemias em futura estação de cultivo. Fuhrer (2003), por exemplo, afirma que um efeito marcante do aquecimento em regiões de clima temperado é a mudança da taxa de sobrevivência de pragas nas entressafras, já que “o inverno é responsável por mais de 99% da mortalidade anual de patógenos” (BURDON; ELMQUIST, 1996). A efetividade da baixa temperatura para o controle de doenças é bem explorada pelo uso da cadeia de frio em pós-colheita, lembrando que estas dependem diretamente da sanidade da lavoura, por sua vez afetada pelo clima.

A distribuição geográfica de patógenos em resposta às mudanças climáticas é um processo complexo e dinâmico. Suas formas de dispersão passiva (ventos, água, sementes/mudas, órgãos vegetais transportados legal e clandestinamente) são determinantes e merecem atenção dos fitopatologistas, em alguns casos envolvendo ações interinstitucionais, como no caso das medidas quarentenárias, cada vez mais demandadas em tempos de globalização. Em especial, os vírus transmitidos por vetores alados são ameaças constantes. Seu estabelecimento em uma determinada região requer disponibilidade em abundância de tecidos suscetíveis do hospedeiro, favorabilidade das condições ambientais e capacidade de se manter competitivamente, inclusive em termos evolutivos. Os efeitos das mudanças climáticas na distribuição geográfica de patógenos de plantas são discutidos em recente artigo de Shaw e Osborne (2011).

Além de proporcionar oportunidades para novos patógenos se estabelecerem, o aquecimento global pode estar associado à substituição de raças ou espécies de complexos patogênicos

prevalentes por outras melhor adaptadas. Esta situação é exemplificada pela alternância da prevalência de espécies do complexo *Xanthomonas*, associado à mancha-bacteriana do tomateiro. Em lavouras cultivadas em temperaturas elevadas, *Xanthomonas perforans* é encontrada com mais frequência, em contraste com *Xanthomonas gardneri*, que predomina em climas de temperaturas mais amenas, embora ambas provoquem perdas sob alta umidade e temperaturas relativamente altas, de 25°C a 30°C (EUROPEAN AND MEDITERRANEAN PLANT PROTECTION ORGANIZATION, 2013; QUEZADO DUVAL; LOPES, 2010). Esta informação permite prever que *Xanthomonas perforans* deverá prevalecer em localidades e épocas de plantio sujeitas a temperaturas mais elevadas e, em caso de aquecimento global, substituir total ou parcialmente as populações de *Xanthomonas gardneri*.

Em outro exemplo, isolados do fungo *Auricularia auricula-judae*, apodrecedor de madeira, sofreram modificações nas últimas seis décadas no Reino Unido, adquirindo as seguintes características: frutificação mais precoce, período de frutificação mais longo e expansão do ciclo de hospedeiros. Interessante notar é que essas características refletem as respostas obtidas quando o fungo foi exposto a temperaturas elevadas (GANGE et al., 2011).

Estabelecido que temperaturas elevadas podem favorecer doenças, não se pode negligenciar, entretanto, que elas também podem ser deletérias aos patógenos. Sob o ponto de vista prático, o controle fitossanitário pela solarização é efetivo; porém, deve-se levar em conta que esta técnica proporciona um gradiente de temperatura a partir da superfície. Assim, se nas camadas superiores a temperatura chega a ser letal a um determinado fitopatógeno, ela pode permanecer favorável a ele em determinada faixa de profundidade, resultando, assim, no controle da doença somente nas camadas mais superficiais do solo. Daí a necessidade de se conhecer a bio-

logia do patógeno (por exemplo sua temperatura letal e a formação de estruturas de resistência) e sua distribuição no solo para o estabelecimento do controle de doenças por meio de solarização (PRITCHARD, 2011).

No hospedeiro

É natural que a preocupação primária com danos provocados por doenças seja com as culturas de maior importância alimentar no mundo, como arroz, trigo, milho, soja e batata, para as quais são estimadas perdas preocupantes que se devem a fatores climáticos atuando direta ou indiretamente na planta (LUCK et al., 2011). Traz preocupação também a situação das florestas e árvores urbanas, expostas por longos períodos a estresses bióticos e abióticos, diferentemente das hortaliças, por exemplo, que podem ser exploradas em “janelas” sazonais de escape a doenças. Na prática, essa situação é levada em conta por olericultores, que optam por conduzir suas safras em períodos de maior risco de perdas associadas ao clima, como as doenças, somente mediante a expectativa de preços compensadores. Em geral, no entanto, o custo de desrespeito às limitações climáticas é alto, que o digam os produtores que convivem com pesadas perdas de produção ao insistirem em cultivar batata e tomate durante o verão chuvoso.

As espécies de plantas tropicais normalmente sofrem maiores perdas de produtividade na presença de massas de ar quente por já se encontrarem próximas ao seu limite fisiológico (CERRI et al., 2007). Assim, como a influência da temperatura nas taxas metabólicas não segue modelo linear, mesmo que as regiões tropicais sofram menores incrementos de temperaturas, as plantas sofrerão impactos até mais significativos com o aquecimento global do que aquelas que vegetam em regiões de climas mais amenos (DILLON et al., 2010). O efeito ambiental medido em longo prazo, no entanto,

pode ser mascarado por flutuações de temperatura (BEARCHELL et al., 2005) que, por sua vez, também afetarão de maneira distinta espécies perenes e de ciclo curto.

Para a elaboração de uma estratégia de adaptação aos efeitos do aquecimento global, o melhoramento genético pode ser uma importante ferramenta para trazer harmonia entre a agricultura e o ambiente. Uma efetiva parceria entre melhoristas, produtores, ecologistas, urbanistas e legisladores é necessária para tornar isso uma realidade (BRUMMER et al., 2011). O assunto melhoramento genético em tempos de mudanças climáticas é tema de capítulo específico deste livro, motivo pelo qual aqui ele é tratado de forma resumida.

É notório que a resistência genética a doenças causadas por agentes bióticos, em especial a resistência quantitativa (vertical, não-específica ou poligênica) seja inibida por uma elevação modesta da temperatura ideal para o desenvolvimento das plantas (KEANE, 2013). Mas, a temperatura também afeta a resistência qualitativa, de controle monogênico ou oligogênico, substancialmente menos afetada por fatores climáticos do que a resistência quantitativa. Por exemplo, há oito décadas Samuel (1931) já havia observado que a resistência ao vírus do mosaico do tabaco (TMV) conferida pelo gene *N* em tabaco era reversivelmente inativada por temperaturas acima de 28°C, fenômeno também confirmado para o mesmo vírus em tomateiro (WHITHAM et al., 1996). Em tomateiro, a reação de hipersensibilidade (HR) mediada pelos genes *Cf4* e *Cf9* que conferem resistência à mancha de cladospório (*Cladosporium fulvum* = *Fulvia fulva*) é suprimida a partir de 33°C (JONG et al., 2002).

Também a resistência conferida pelo gene *Mi-1*, derivado de *Solanum peruvianum*, muito usada para o controle do nematoide das galhas (*Meloidogyne* spp.) do tomateiro (*Solanum lycopersicum*) não é efetiva a temperaturas acima de 28°C (JABLONSKA et al., 2007).

Estes autores, entretanto, mapearam o gene *Mi-9* em *Solanum arcanum*, homólogo ao gene *Mi-1*, que confere resistência estável mesmo à temperatura de 32°C.

Em melhoramento genético, este fenômeno significa que uma determinada resistência pode ser “quebrada” sob altas temperaturas (WANG et al., 2009). Em termos evolucionários, não se dispõe de uma clara explicação da inibição da resistência pela temperatura elevada. Certamente isso tem a ver com as características intrínsecas do patógeno e da planta, e das complexas interações entre eles, levando ainda em conta a co-evolução das plantas e seus respectivos patógenos.

Um aspecto que merece destaque nas discussões de temperatura afetando processos metabólicos nas plantas, inclusive ligados à resistência genética, é o fato de que temperaturas elevadas, como 28°C ou 32°C, podem ocorrer em um período curto do dia. Se esse período de temperatura alta é ou não suficiente para inibir a resistência (ou qualquer outro processo), necessita ser mais esclarecido, já que a grande maioria dos estudos é realizada sob temperaturas constantes e, frequentemente, não levando em conta outras variáveis, tais como idade da planta, umidade, luminosidade, suprimento de água, fertilização, comprimento do dia e taxa de multiplicação do patógeno. Além disso, há de se elucidar se a temperatura afeta diretamente o processo de reconhecimento ou se seu efeito é na atividade dos componentes de sinalização da defesa (WANG et al., 2009).

Na interação patógeno x hospedeiro

Como, de fato, as interações patógeno-hospedeiro são influenciadas pela temperatura, as mudanças climáticas apresentam-se como um desafio a mais aos programas de melhoramento genético

para resistência a doenças. Isso implica em ser altamente desejável que qualquer espécie melhorada para resistir a temperaturas elevadas deveria também conter genes que confirmam resistência a doenças causadas por patógenos adaptados às altas temperaturas, como *Ralstonia* spp., *Pectobacterium* spp. e *Sclerotium rolfsii*.

Como a resistência quantitativa (ou poligênica) normalmente pode não se expressar adequadamente quando a planta é exposta a altas temperaturas (VALE; ZAMBOLIM, 2011), há necessidade de se aumentar as buscas de fontes de resistência que confirmam proteção climaticamente estável, de preferência com suporte de estudos das bases moleculares associadas à resposta de defesa da planta. Deve-se considerar, entretanto, que os patógenos têm muito maior capacidade de ajuste para provocar doença do que o homem para preparar a planta para resisti-la. É a eterna luta dos melhoristas contra os efeitos deletérios dos patógenos. De um lado, as crescentes dificuldades burocráticas impostas aos melhoristas para coleta e intercâmbio de germoplasma, e as incertezas para o estabelecimento de parcerias público-privadas para viabilizar o financiamento das pesquisas; de outro, a dinâmica movimentação de patógenos tradicionais e suas novas variantes. O balanço adaptativo não nos parece muito favorável, embora o rápido desenvolvimento das biotecnologias permita acelerar o processo de seleção de plantas superiores pelo melhoramento assistido por marcadores moleculares, por exemplo.

Microrganismos benéficos associados a plantas são conhecidos por estimular o desenvolvimento dessas plantas e induzir nelas resistência a estresses bióticos e abióticos. Os efeitos das mudanças climáticas nesses microrganismos e nas suas interações com as plantas hospedeiras têm sido pouco estudados, porém não totalmente negligenciados. Por exemplo, Compant et al. (2010) analisaram os resultados de 135 estudos neste tema e concluíram que o aumento da disponibilidade de CO₂ na atmosfera, diretamente

associada ao aquecimento global, era benéfico para as micorrizas, porém com efeito variável para bactérias promotoras de crescimento e fungos endofíticos. O aumento de temperatura em si apresentou resultados variáveis, com efeitos positivos, negativos e neutros, variando consideravelmente de acordo com o sistema estudado e os limites de temperatura considerados. Com isso, estabelece-se que microrganismos benéficos são importantes fatores que influenciam o comportamento das plantas às mudanças climáticas.

Menos discutida, porém sem poder ser negligenciada, é a questão da presença de micotoxinas em alimentos em função das mudanças climáticas. Embora as pesquisas neste tema sejam ainda escassas, Russell et al. (2010) antecipam maiores riscos em países desenvolvidos de clima temperado, como partes da Europa e EUA. Com o aquecimento global, temperaturas próximas de 33°C, ideais para a produção de aflatoxinas, por exemplo, podem se tornar cada vez mais frequentes nesses países.

Sistemas de previsão de doenças de plantas: fragilidades e perspectivas frente às mudanças climáticas

Acontecimentos recentes e análises de dados históricos têm mostrado que qualquer previsão de mudanças climáticas globais com base em fatos atuais é frágil face à dinâmica das mudanças que esta geração tem presenciado. Savary et al. (2011) caracterizaram essa preocupação ao atrelar as mudanças climáticas às mudanças globais, que levam em conta o aumento populacional do planeta, as alterações dos recursos naturais e o mercado, este fortemente atingido pela globalização. A associação das mudanças climáticas com as mudanças globais é didaticamente ilustrada por Hamada et al. (2011) ao caracterizarem as famílias de cenários de mudanças climáticas do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas

(IPCC). Assim, se somente as mudanças climáticas - com todos seus efeitos diretos e indiretos (interações) nos patossistemas - impõem grande dificuldade na confecção de modelos de previsão de doenças, a complexidade aumenta ao incorporarmos as variáveis de mudanças globais. Isso implica que, de alguma maneira, toda a sociedade, diretamente representada por produtores e consumidores, terão interferência nos fatores que compõem o triângulo da doença e nas suas interações. É a figura do tetraedro na representação das doenças de plantas pela ação do homem nas variáveis do triângulo, conforme sugerido por alguns autores (ZADOKS; SCHEIN, 1979).

Embora não haja dificuldade em se aceitar que as mudanças climáticas venham a afetar a intensidade das doenças de plantas, previsões devem ser feitas com cautela, pois as diversas interações de fatores requerem uma análise individual dos patossistemas por região, levando ainda em conta as variações sazonais.

Scherm (2004) e Shaw (2009) retratam de maneira clara as dificuldades de se tentar prever as mudanças em sistemas agrícolas, inclusive aquelas diretamente afetadas pelas doenças, levando-se em conta apenas mudanças climáticas e alterações na distribuição da planta hospedeira. A complexidade é alta devido às muitas interações de fatores componentes do processo “doença”: o clima, o patógeno e a hospedeira, nos diferentes patossistemas, nas diferentes regiões, em distintos microclimas. Como consequência, a falta de confiança nos modelos atuais de previsão leva à necessidade de esforços em direção ao estabelecimento de estratégias multidisciplinares que possam cobrir a carência de informação dos fatores individuais e das interações.

Ao serem concebidos dentro da ciência exata, os modelos de previsão são normalmente muito rígidos e não possibilitam ajustes na mesma velocidade com que o clima, em especial o microclima, se

modifica. Qualquer produtor ou extensionista sabe que não há duas lavouras iguais, mesmo se a mesma cultivar e a mesma época de plantio forem usadas. Essas diferenças são atribuídas principalmente às variações climáticas. Variações podem ocorrer mesmo em sistemas fechados, em ambientes protegidos, onde ocorre rigoroso controle das variáveis climáticas.

A importância da modelagem com base em dados de muitos anos é evidenciada por Jeger e Pautasso (2008). Esses autores também alertam para o fato de que os modelos só serão úteis se as previsões de longo prazo não forem frustradas por novos eventos na dinâmica co-evolutiva afetando as interações patógeno-hospedeira.

A previsão de doenças, que já é complexa, portanto, deverá se tornar ainda menos precisa (“expect the unexpected”) com as mudanças climáticas (WEBBER, 2010). Isso, entretanto, não deve desestimular as pesquisas envolvendo os processos biológicos nos sistemas de produção de sistemas agronômicos e florestais sujeitos a essas mudanças. De fato, o entendimento desses processos permitirá um aprendizado nas interferências no processo de forma interativa, contribuindo para a construção de estratégias de manejo adaptativo indicada por Yousefpour et al. (2012).

Como as alterações metabólicas estão diretamente associadas a distúrbios fisiológicos e, direta ou indiretamente, a doenças parasitárias, a presença e/ou a intensidade de doenças poderá ser usada como indicador de mudanças climáticas; entretanto, outros indicadores devem ser buscados por serem mais fáceis de monitorar (GARRETT et al., 2009; LOGAN et al., 2003).

Generalizações baseadas em modelos podem e devem ser feitas com fins didáticos e para orientar estratégias de pesquisas. Entretanto, estudos precisos de casos, providos de rigor científico, são necessários para substituir empirismos que podem levar a previsões equivocadas. Como exemplo, não se pode simplesmente to-

mar a temperatura do ar e verificar seus efeitos em patógenos protegidos em bolsões de umidade a diferentes profundidades do solo (*Ralstonia* spp.), nos espaços intercelulares (fungos biotróficos) ou no sistema vascular (fitoplasmas). Além disso, não se pode desprezar a amplitude térmica e seus efeitos no patógeno e na hospedeira, diante da facilidade de estudos normalmente realizados em temperaturas constantes.

Em estudo recente e bem direcionado ao efeito de amplitude térmica em relação ao desenvolvimento de epidemias, Bonde et al. (2013) analisaram a frequência com que ocorreram as temperaturas extremas mais altas no sul dos EUA em relação à produção de urediniósporos e de lesões da ferrugem da soja. Concluíram que a combinação dos efeitos de redução dos números de lesões e de urediniósporos por lesão causados por temperaturas máximas extremas (acima de 35°C) explica a ausência ou o retardamento da doença até o outono, no período de 2005 a 2012. Essa informação é relevante ao considerar que as epidemias de ferrugem nas principais regiões produtoras americanas dependem da produção de urediniósporos no sul do País que, por sua vez, depende da frequência das temperaturas máximas.

Não se pode negar a importância de modelos matemáticos para se prever e avaliar os efeitos das mudanças climáticas nas doenças de plantas. O que se espera, entretanto, é que esses modelos evoluam de tal maneira a simular com fidelidade os distintos cenários de mudanças climáticas em associação com previsão de diferentes intensidades de doenças. Dessa maneira, integrados com outros modelos interdisciplinares, serão ferramentas fundamentais para auxiliar nas tomadas de decisões sobre as táticas mais efetivas de controle sob os aspectos econômico, ambiental e social, interferindo, assim, em níveis maiores de produção, produtividade e segurança alimentar (GHINI et al., 2008a; NEWTON et al., 2011).

O desenvolvimento e o aperfeiçoamento de modelos, por outro lado, requerem a coleta de dados precisos de clima e de desenvolvimento de epidemias específicas nos diferentes ecossistemas (EVANS et al., 2008). A carência desses registros, em especial em países de clima tropical, leva a discussões com base em observações empíricas, facilmente contestáveis. Felizmente, o empirismo vem sendo rapidamente substituído por resultados de pesquisa providos de adequado rigor científico, com destaque para alguns realizados no Brasil (GHINI et al., 2007, 2008a, 2008b, 2011a, 2011b).

Considerações finais

É muito provável que as mudanças climáticas que estamos vivenciando venham a influenciar significativamente a ocorrência, prevalência e intensidade (severidade e incidência) em doenças de plantas. Ao mesmo tempo em que se reconhece a relevância das estratégias potenciais e os requerimentos futuros para o manejo de doenças de plantas neste cenário (JUROSZEK; TIEDEMANN, 2011), alerta-se para o fato de que o manejo integrado, que hoje se recomenda, seja muito dependente do domínio de informações sobre as condições climáticas locais e de suas expectativas de mudanças, geralmente de difícil extrapolação para outras regiões, em especial em países de clima tropical, onde o conhecimento é limitado e fragmentado.

Estrategicamente, as instituições públicas é que devem estar preocupadas com as pesquisas nas doenças emergentes em função das mudanças climáticas; e as doenças crônicas e agudas (SAVARY et al., 2011) o setor privado, ligado às cadeias produtivas mais evoluídas, saberá como lidar, mesmo que seja em forma de cobranças ao setor público. A importância da antecipação de riscos baseados em modelos de nichos ecológicos, em complementação aos modelos de simulação de doenças, é reforçada por Savary et

al. (2011), tendo em vista, principalmente, a introdução de plantas exóticas e a capacidade adaptativa dos patógenos.

Modelos teóricos de previsão, embora sujeitos a críticas, apresentam o grande mérito de permitir identificar e quantificar individualmente a relevância das diversas variáveis componentes do sistema em patossistemas específicos. Isso destaca também que, para que tenhamos informações suficientes para uma avaliação confiável do impacto das doenças na produção vegetal, há muita pesquisa a ser feita, conforme alerta de Ghini et al. (2012).

Ao se reforçar a importância da fitopatologia nos estudos de mudanças climáticas ou qualquer outra disciplina, direta ou indiretamente ligada ao controle das doenças de plantas, merece registro a preocupação da diminuição do interesse de estudantes de agronomia (talvez até pautada por diretrizes departamentais) pela disciplina de epidemiologia. Tida como pouco atraente em cursos de pós-graduação por requerer dados só obtidos com repetição em pesquisas de campo ao longo de anos, tem sido visivelmente negligenciada no sistema competitivo universitário. Sem esses profissionais, dificilmente poderemos dispor, no futuro, de conjuntos de informações coletados ao longo de muitos anos, essenciais e atualmente raros, em especial em países de clima tropical (SCHERM, 2004). Além disso, essas experimentações são de extrema complexidade.

Em um momento que são cobradas ações para mitigar os efeitos das mudanças climáticas, os pesquisadores precisam refletir bem sobre que tipo de pesquisa deve merecer prioridade. Não basta aproveitar o momento e se valer de mais um “modismo” institucional regado com recursos fáceis, que às vezes são impostos diante de políticas governamentais que costumam cobrar resultados imediatos, como se projetos de pesquisa por si já fossem resultados. O que se necessita é de projetos robustos, com equipes interinstitucionais e multidisciplinares coesas, institucionalmente apoiadas

em longo prazo, tarefa complicada especialmente neste ambiente competitivo por recursos financeiros e de busca de formação rápida de currículo que resulta em discriminação involuntária de pesquisadores em áreas menos especializadas e menos glamorosas.

Maiores desafios trazidos pelo aquecimento global exigirão medidas inovadoras de controle.

Os avisos para tomadas de providências estão aí, com a urgência poética do verso de Clímério Ferreira:

“As crateras do tempo engolem horas.

Os vulcões dos séculos expelem anos.

Não sobra espaço para as demoras,

Nem a calma necessária para os planos.”

Referências

AGRIOS, G. N. **Plant pathology**. 4. ed. San Diego: Academic Press, 1997. 636 p.

AMORIM, L.; GASPAROTO, M. C. G.; BERGAMIN FILHO, A. Impacto potencial das mudanças climáticas sobre epidemias de doenças de plantas. In: GHINI, R.; HAMADA, E.; BETTIOL, W. (Ed.). **Impactos das mudanças climáticas sobre doenças de importantes culturas no Brasil**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2011. p. 75-86.

BEARCHELL, S. J.; FRAAIJE, B. A.; SHAW, M. W.; FITT, B. D. L. Wheat archive links long-term fungal pathogen population dynamics to air pollution. **Proceedures of the National Academy of Science**, v. 102, n. 15, p. 5438-5442, 2005.

BONDE, M. R.; NESTER, S. E.; BERNER, D. K. Effects of frequency of “extreme” temperature highs on development of soybean rust. **Phytopathology**, v. 103, n. 7, p. 708-716, 2013.

BRUMMER, E. C.; BARBER, W. T.; COLLIER, S. M.; COX, T. S.; JOHNSON, R.; MURRAY, S. C.; OLSEN, R. T.; PRATT, R. C.; THRO, A. M. Plant breeding for harmony between agriculture and the environment. **Frontiers in Ecology and the**

Environment, v. 9, n. 10, p. 561-568, 2011.

BURDON, J. J.; ELMQVIST, T. T. Selective sieves in the epidemiology of *Melampsora lini*. **Plant Pathology**, v. 45, n. 5, p. 933-943, 1996.

CERRI, C. E. P.; SPAROVEK, G.; BERNOUX, M.; EASTERLING, W. E.; MELILLO, J. M.; CERRI, C. C. Tropical agriculture and global warming: impacts and mitigation options. **Scientia Agricola**, v. 64, n. 1, p. 83-99, 2007.

CHAKRABORTY, S.; LUCK, J.; HOLLAWAY, G.; FITZGERALD, G.; WHITE, N. Rust-proofing wheat for a changing climate, **Euphytica**, v. 179, n. 1, p. 19-32, 2011a.

CHAKRABORTY, S.; NEWTON, A. C. Climate change, plant diseases and food security: an overview. **Plant Pathology**, v. 60, n. 1, p. 2-14, 2011b.

CHAKRABORTY, S.; TIEDEMANN, A.V.; TENG, P. S. Climate change: potential impact on plant diseases. **Environmental Pollution**, v. 108, n. 3, p. 317-26, 2000.

COLHOUN, J. Effects of environmental factors on plant disease. **Annual Review of Phytopathology**, v. 11, p. 343-364, 1973.

COMPANT, S.; VAN DER HEIJDEN, M. G. A.; SESSITSCH, A. Climate change effects in beneficial plant-microorganism interactions. **FEMS Microbiology Ecology**, v. 73, n. 2, p. 197-214, 2010.

JONG, C. F. de; TAKKEN, F. L. W.; CAI, X.; DE WIT, P. J. G. M.; JOOSTEN, M. H. A. J. Attenuation of *Cf*-mediated defense responses at elevated temperatures correlates with a decrease in elicitor-binding sites. **Molecular Plant-Microbe Interactions**, v. 15, n. 10, p.1040-1049, 2002.

DILLON, M. E.; WANG, G.; HUEY, R.B. Global metabolic impacts of recent climate warming. **Nature**, v. 467, n. 7316, p. 704-706, 2010.

ELAD, Y.; PERTOT, H. Climate change impacts on plant pathogens and plant diseases. **Journal of Crop Improvement**, v. 28, n. 1, p. 99-139, 2014.

EUROPEAN AND MEDITERRANEAN PLANT PROTECTION ORGANIZATION. **PM 7/110 (1):** *Xanthomonas* spp. (*Xanthomonas euvesicatoria*, *Xanthomonas gardneri*, *Xanthomonas perforans*, *Xanthomonas vesicatoria*) causing bacterial spot of tomato and sweet pepper. **Bulletin OEPP/EPPO Bulletin**, v. 43, n. 1, p. 7-20, 2013.

EVANS, N.; BAIERL, A.; SEMENOV, M. A.; GLADDERS, P.; FITT, B. D. Range and severity of a plant disease increased by global warming. **Journal of the Royal Society Interface**, v. 5, n. 22, p. 525-531, 2008.

FUHRER, J. Agroecosystem responses to combinations of elevated CO₂, ozone, and global climate change. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 97, n. 1-3, p.1-20, 2003.

GANGE, A. C.; GANGE, E. G.; MOHAMMAD, A. B.; BODDY, L. Host shifts in fungi caused by climate change? **Fungal Ecology**, v. 4, n. 2, p. 184-190, 2011.

GARRETT, K. A.; NITA, M.; DE WOLF, E. D.; GOMEZ, L.; SPARKS, A. H. Plant pathogens as indicators of climate change. In: LETCHER, T. (Ed.). **Climate change: observed impacts on planet earth**. Dodrecht: Elsevier, 2009. p. 425-437.

GÄUMANN, E. **Principles of plant infection**. London: Crosby Lockwood & Son, 1950. 543 p.

GAUTAM, H. R.; BHARDWAJ, M. L.; KUMAR, R. Climate change and its impact on plant diseases. **Current Science**, v. 105, n. 12, p. 1685-1691, 2013.

GHINI, R.; BETTIOL, W.; HAMADA, E. Diseases in tropical and plantation crops as affected by climate changes: current knowledge and perspectives. **Plant Pathology**, v. 60, n. 1, p. 122-132, 2011a.

GHINI, R.; HAMADA, E.; BETTIOL, W. (Ed.). **Impactos das mudanças climáticas sobre doenças de importantes culturas no Brasil**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2011. 356 p.

GHINI, R.; HAMADA, E.; ANGELOTTI, F.; COSTA, L. B.; BETTIOL, W. Research approaches, adaptation strategies, and knowledge gaps concerning the impacts of climate change on plant diseases. **Tropical Plant Pathology**, v. 37, n. 1, p. 5-24, jan./fev. 2012.

GHINI, R.; HAMADA, E.; BETTIOL, W. Climate change and plant diseases. **Scientia Agricola**, v. 65, n. esp., p. 98-107, 2008a.

GHINI, R.; HAMADA, E.; BETTIOL, W. (Ed.). **Impactos das mudanças climáticas sobre doenças de importantes culturas no Brasil**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2011b. 356 p.

GHINI, R.; HAMADA, E.; GONÇALVES, R. R. V.; GASPAROTTO, L.; PEREIRA, J. C. R. Análise de risco das mudanças climáticas globais sobre a sigatoka-negra da bananeira no Brasil. **Fitopatologia Brasileira**, v. 32, n. 3, p. 197-204, 2007.

GHINI, R.; HAMADA, E.; PEDRO JÚNIOR, M. J.; MARENGO, J. A.; GONÇALVES, R. R. V. Risk analysis of climate change on coffee nematodes and leaf miner in Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 2, p. 187-194. 2008b.

GUEDES, I. M. R. (Ed.). **Mudanças climáticas globais e a produção de hortaliças**. Brasília, DF: Embrapa, 2009. 132 p.

HAMADA, E.; GHINI, R.; MARENGO, J. A.; THOMAZ, M. C. Projeções de mudanças climáticas para o Brasil no final do século XXI. In: GHINI, R.; HAMADA, E.; BETTIOL, W. (Ed.) **Impactos das mudanças climáticas sobre doenças de importantes culturas no Brasil**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2011. p. 41-74.

INOUE-NAGATA, A. K. Doenças causadas por vírus. In: CLEMENT, F. M. V. T.; BOITEUX, L. S. (Ed.). **Produção de tomate para processamento industrial**. Brasília, DF: Embrapa, 2012. p. 225-236.

JABLONSKA, B.; AMMIRAJU, J. S.; BHATTARAI, K. K.; MANTELIN, S.; MARTINEZ DE ILARDUYA, O.; ROBERTS, P. A.; KALOSHIAN, I. The Mi-9 gene from *Solanum arcanum* conferring heat-stable resistance to root-knot nematodes is a homolog of *Mi-1*. **Plant Physiology**, v. 143, n. 2, p. 1044-1054, 2007.

JEGER, M. J.; PAUTASSO, M. Plant disease and global change - the importance of long-term data sets. **New Phytologist**, v. 177, n. 1, p. 8-11, 2008.

JUROSZEK, P.; TIEDEMANN, A. von. Potential strategies and future requirements for plant disease management under a changing climate. **Plant Pathology**, v. 60, n. 1, p. 100-112, 2011.

KEANE, P. J. **Horizontal or generalized resistance to pathogens in plants**. In: CUMAGUN, C. J. R. Plant pathology. Rijeka, Croatia: Intech, 2012. p. 327-362.

LOGAN, J.A.; RÉGNIÈRE, J.; POWELL, J.A. Assessing the impacts of global warming on forest pest dynamics. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 1, n. 3, p. 130-137, 2003.

LOPES, C. A. **Bacterial wilt**: a threatening disease of tomato cultivated under warm temperatures. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2015. 4 p. (Embrapa Hortaliças. Comunicado técnico, 109).

LUCK, J.; SPACKMAN, M.; FREEMAN, A.; TREBICKI, P.; GRIFFITHS, W., FINLAY, K.; CHAKRABORTY, S. Climate change and diseases of food crops. **Plant Pathology**, v. 60, n. 1, p. 113-121, 2011.

MANNING, W. J.; TIEDEMANN, A. von. Climate change: potential effects of increased atmospheric carbon dioxide (CO₂), ozone (O₃), and ultraviolet-B (UV-B) radiation on plant diseases. **Environmental Pollution**, v. 88, n. 2, p. 219-45, 1995.

MICHEREFF FILHO, M.; GUIMARÃES, J. A.; MOURA, A. P.; LIZ, R. S. Pragas. In: CLEMENTE, F. M. V. T.; BOITEUX, L. S. (Ed.). **Produção** de tomate para processamento industrial. Brasília, DF: Embrapa, 2012. p. 265-300.

NEWTON, A. C.; JOHNSON, S. N.; GREGORY, P. J. Implications of climate change for diseases, crop yields and food security. **Euphytica**, v. 179, n. 1, p. 3–18, 2011.

PIMENTEL, D. Climate changes and food supply. **Forum for Applied Research and Public Policy**, v. 8, n. 4, p. 54-60, 1993.

PRITCHARD, S. G. Soil organisms and global climate change. **Plant Pathology**, v. 60, n. 1, p. 82-89, 2011.

QUEZADO DUVAL, A. M.; LOPES, C. A. **Mancha bacteriana**: uma atualização para o sistema de produção integrada de tomate indústria. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2010. 28p. (Embrapa Hortaliças. Circular Técnica, 84).

ROSENZWEIG C.; IGLESIOUS, A.; YANG, X. B.; EPSTEIN P. R.; CHIVIAN E. Climate change and extreme weather events implications for food production, plant diseases, and pests. **Global Change & Human Health**, v. 2, p. 89-104, 2001.

RUSSELL, R.; PATERSON, R. R. M.; LIMA, N. How will climate change affect mycotoxins in food? **Food Research International**, v. 43, n. 7, p. 1902-1914, 2010.

SAMUEL, G. Some experiments on inoculating methods with plant viruses, and on local lesions. **Annals of Applied Biology**, v. 18, n. 4, p. 494-507, Nov. 1931.

SAVARY, S.; NELSON, A.; SPARKS, A. H.; WILLOCQUET, L.; DUVEILLER, E.; MAHUKU, G.; FORBES, G.; GARRET, K. A.; HODSON, D.; PADGHAM, J.; PANDE, S.; SHARMA, M.; YUEN, J.; DJURIE, A. International agricultural research tackling the effects of global and climate changes on plant diseases in the developing world. **Plant Disease**, v. 95, n. 10, p.1204-1216, 2011.

SCHERM, H. Climate change: can we predict the impacts on plant pathology and pest management? **Canadian Journal of Plant Pathology**, v. 26, n. 3, p. 267-273, 2004.

SCHERM, H; BRUGGEN, A. H. C. van. Global warming and nonlinear growth: how important are changes in average temperatures? **Phytopathology**, v. 84, n. 12, p. 1380-1384, 1994.

SHAW, M. W. Preparing for changes in plant disease due to climate change. **Plant Protection Science**, v. 45, n. esp., p. S3-S10, 2009.

SHAW, M. W.; OSBORNE, T. M. Geographic distribution of plant pathogens in response to climate change. **Plant Pathology**, v. 60, n. 1, p. 31-43, 2011.

STEVENS, R. B. Cultural practices in disease control. P. 357-429 in: HORSFALL, J. G.; DIMOND, A. E. (Ed.). **Plant pathology, an advanced treatise**. New York: Academic Press, 1960. v. 3.

VALE, F. X. R.; ZAMBOLIM, L. Influência da temperatura e da umidade nas epidemias de doenças de plantas. **Revisão Anual de Patógenos de Plantas**, v. 4, p.149-207, 1996.

WANG, Y.; BAO, Z.; ZHU, Y.; HUA, J. Analysis of temperature modulation of plant defense against biotrophic microbes. **Molecular Plant-Microbe Interactions**, v. 22, p. 498-506, May 2009.

WEBBER, J. Pest risk analysis and invasion pathways for plant pathogens. **New Zealand Journal of Forestry Science**, v. 40, p. S45-S56, 2010. Supplement.

WHITHAM, S.; MCCORMICK, S.; BAKER, B. The N gene tobacco confers resistance to Tobacco mosaic virus in transgenic tomato. **Proceedures of the National Academy of Science**, v. 93, n. 16, p. 8776-8781, 1996.

WOODS, A. Is the health of British Columbia's forests being influenced by climate change? If so, was this predictable? **Canadian Journal of Plant Pathology**, v. 33, n. 2, p. 117-126, 2011.

YOUSEFPOUR, R.; JACOBSEN, J. B.; THORSEN, B. J.; MEILBY, H.; HANEWINKEL, M.; OEHLER, K. A review of decision-making approaches to handle uncertainty and risk in adaptive forest management under climate change. **Annals of Forest Science**, v. 69, n. 1, p. 1-14, 2012.

ZADOKS, J. C; SCHEIN, R. D. **Epidemiology and plant disease management**. Oxford University Press, 1979. 427 p.

A entomologia nos cenários das mudanças climáticas

Alexander Machado Auad e Marcy das Graças Fonseca

Introdução

Os insetos sobrevivem em todos os tipos de ecossistemas naturais e modificados, terrestres e aquáticos por apresentarem uma variedade de formas de vida e funções, o que os torna bem-sucedidos (GULLAN; CRANSTON, 2012) e capacitados a interferirem nos diferentes setores (agrícola, pecuário e médico-veterinário). Esses habitam a Terra por aproximadamente 350 milhões de anos e, durante esse tempo, sofreram várias adaptações para viverem em todos os tipos de habitats, justificando representarem em torno da metade da diversidade global de espécies, correspondendo a um pouco mais de um milhão daquelas descritas. Cerca de 10% dos insetos descritos são considerados pragas e podem ocasionar redução da produtividade de qualquer espécie de planta cultivada pelo homem (CRAMER, 1967; METCALF, 1996; PIMENTEL, 1976). Os danos podem ser quantitativos ou qualitativos, podendo colocar em risco a sustentabilidade do agroecossistema. No Brasil, a estimativa de perdas provocadas pelo ataque de insetos para as principais culturas oscila entre 2% e 30% (BENTO, 1999) e geram um prejuízo anual de cerca de 17,7 bilhões de dólares à economia, levando em consideração o volume de produção de alimento, fibras e biocombustível que o País deixa de produzir, os gastos com a compra de inseticidas e com o tratamento de pessoas intoxicadas com inseticidas na agricultura (OLIVEIRA et al., 2014).

A distribuição e a frequência das pragas dependem de um complexo de fatores ecológicos e agroclimáticos e também de mudanças nos padrões de cultivo observados ao longo dos anos, em função das exigências das culturas. Esse fato foi evidenciado por Assad et al. (2008) que constataram diminuição das áreas aptas para o cultivo dos grãos e aumento de regiões de baixo risco climático à cana-de-açúcar e à mandioca com incremento da temperatura. Da mesma forma, Assad et al. (2004) previram drástica redução nas áreas com aptidão agroclimática, condenando a produção da cultura do café nos estados de São Paulo e Goiás, quando simularam os efeitos da elevação da temperatura e precipitação. Como consequência dessa nova geografia das culturas, poderão surgir novas pragas, bem como outras perderem sua importância econômica; denotando, assim, a dependência direta da entomofauna com as mudanças climáticas. Pesquisas com as alterações na distribuição geográfica de plantas e insetos nos cenários futuros são necessárias, pois as consequências econômicas, sociais e ambientais constituirão séria ameaça à agricultura. Segundo Ghini (2005), a análise desses efeitos é fundamental para a adoção de medidas de adaptação, com a finalidade de evitar prejuízos futuros.

Este capítulo focará na interação das mudanças climáticas com insetos de importância agrícola, com ênfase nos fatores abióticos temperatura e dióxido de carbono (CO_2).

Projeções dos fatores climáticos e consequência na entomologia

As mudanças climáticas no planeta são significativas, sendo as alterações na concentração de CO_2 , metano, ozônio (O_3) e vapor de água, responsáveis pelo aquecimento global (AMEIXA, 2010). Há previsões de aumento no nível de CO_2 e da temperatura mé-

dia global para o cenário climático futuro (SOLOMON et al., 2007; STOCKER et al., 2014). Além desses fatores, é possível projetar, com menor confiabilidade, a precipitação pluviométrica, umidade e vento (HAMADA et al., 2011).

Os fatores abióticos têm efeitos diretos na biologia e na dinâmica populacional dos insetos, de forma a promover adaptações, mudanças geográficas ou, no pior cenário, levar à extinção de espécies; e indiretos por meio da alteração na qualidade das plantas e consequentemente efeitos nos insetos. Se as previsões atuais estiverem corretas, o aumento dos fatores climáticos pode ultrapassar a capacidade dos organismos de se adaptarem às mudanças (FLYNN et al., 2006), modificando o cenário fitossanitário da agricultura atual. No entanto, a adaptação do inseto sob alta pressão de seleção não tem sido pesquisada, sendo que novos biótipos mais adaptados ao cenário futuro poderão ocorrer, alterando as previsões.

As interações nos diferentes níveis tróficos (planta, inseto fitófago e inimigos naturais) são resultados de um processo co-evolutivo longo dentro de condições climáticas específicas. As mudanças climáticas podem afetar a biologia de cada espécie componente, desestabilizando a dinâmica e levando à extinção de parte do sistema (PUTTEN et al., 2004), interferindo nos padrões de biodiversidade e de produtividade agrícola (KÖRNER, 2000, 2003; THEURILLAT; GUIBAN, 2001). Em tais cenários, a resposta dos insetos herbívoros, que anualmente comprometem 10% a 15% da produtividade mundial, será afetada (CRAWLEY, 1983), conforme exemplos da Tabela 1, evidenciando que a resposta é exclusiva para cada espécie de inseto e variável em função das plantas hospedeiras ou presas/hospedeiros.

O impacto das mudanças climáticas tende a ser relativamente mais importante nos níveis tróficos superiores, que dependem da capacidade dos níveis tróficos inferiores para se adaptarem a essas mu-

danças. Parasitoides e predadores são, portanto, organismos para os quais graves efeitos são esperados, uma vez que representam o terceiro nível trófico (HANCE et al., 2007).

Vale ressaltar que, além do efeito das mudanças climáticas na entomofauna, pode-se esperar que o contrário ocorra. Por exemplo, o besouro *Dendroctonus ponderosae* em condições de alta temperatura e baixo regime pluviométrico atinge alta densidade populacional, provocando a morte e a decomposição de árvores, com consequente liberação do carbono para a atmosfera, resultando no aumento de gases de efeito estufa (KURZ et al., 2008).

Tabela 1. Resposta da planta hospedeira, inseto-praga e inimigo natural submetidos a níveis elevados de CO₂.

Planta hospedeira	Insetos	Ordem	INSETOS PRAGA			Referência
			Nível CO ₂	Efeito sobre a planta hospedeira	Impacto no inseto	
<i>Pennisetum purpureum</i>	<i>Sipha flava</i>	Hemiptera	500 ppm	Não avaliada	Desfavorável	Aud et al. (2012)
<i>Bracharia spp</i>	<i>Mahanarva spectabilis</i>	Hemiptera	500 ppm	Desfavorável	Favorável	Ferreira et al. (2013)
<i>Pennisetum purpureum</i>	<i>Mahanarva spectabilis</i>	Hemiptera	500 ppm	Favorável	Favorável	Ferreira et al. (2013)
Espécies florestais	<i>Polydrusus sericeus</i>	Coleoptera	560 ppm	Não avaliada	Desfavorável	Hillstrom et al. (2010)
<i>Zea mays</i>	<i>Helicoverpa armigera</i>	Lepidoptera	750 µL L ⁻¹	Desfavorável	Desfavorável	Yin et al. (2010)
<i>Tribolium pratense</i>	<i>Acyrtosiphon pisum</i>	Hemiptera	537 µL L ⁻¹	Não avaliada	Desfavorável	Mondor et al. (2010)
<i>Glycine max</i>	<i>Diabrotica virgifera</i>	Hemiptera	550 µmol mol ⁻¹	Não avaliada	Favorável	Dermody et al. (2008)
<i>Glycine max</i>	<i>Aphis glycines</i>	Coleoptera	550 µmol mol ⁻¹	Não avaliada	Favorável	"
<i>Triticum aestivum</i>	<i>Sitobion avenae</i>	Hemiptera	750 ppm	Favorável	Favorável	Chen et al. (2004)
<i>Betula pendula</i>	<i>Phyllobius maculicomis</i>	Coleoptera	700ppm	Desfavorável	Favorável	Kuokkanen et al. (2003)
Brassicaceae oleracea	<i>Myzus persicae</i>	Hemiptera	650 ppm	Favorável	Favorável	Stacey e Fellowes (2002)
Brassicaceae oleracea	<i>Brevicoryne brassicae</i>	Hemiptera	650 ppm	Favorável	Favorável	"
<i>Vicia faba</i>	<i>Acyrtosiphon pisum</i>	Hemiptera	700 µL L ⁻¹	Favorável	Desfavorável	Hughes e Bazzaz (2001)
<i>Asclepias syriaca</i>	<i>Aphis nerii</i>	Hemiptera	700 µL L ⁻¹	Favorável	Não afetada	"
<i>Oenothera biennis</i>	<i>Aphis oenotherae</i>	Hemiptera	700 µL L ⁻¹	Favorável	Não afetada	"
<i>Nicotiana sylvestris</i>	<i>Aulacorthum solani</i>	Hemiptera	700 µL L ⁻¹	Favorável	Não afetada	"
<i>Solanum dulcamara</i>	<i>Myzus persicae</i>	Hemiptera	700 µL L ⁻¹	Favorável	Favorável	"
<i>Quercus petraea</i>	<i>Lymantria dispar</i>	Lepidoptera	530 ppm	Desfavorável	Desfavorável	Hattenschwiler e Schafellner (2004)
<i>Populus tremuloides</i>	<i>Malacosoma disstria</i>	Lepidoptera	560 ppm	Desfavorável	Não afetada	Kopper e Lindroth (2003)
<i>Salix myrsinifolia</i>	<i>Phratora vitellina</i>	Coleoptera	700 ppm	Favorável	Desfavorável	Veteli et al. (2002)
<i>Juncus squarrosus</i>	<i>Neophilaenus lineatus</i>	Hemiptera	600 ppm	Desfavorável	Desfavorável	Brooks e Whittaker (1999)

continua...

Tabela 1. continuação

INSETOS PRAGA						
Planta hospedeira	Insetos	Ordem	Nível CO ₂	Efeito sobre a planta hospedeira	Impacto no inseto	Referência
<i>Populus tremuloides</i>	<i>Tipula abdominalis</i>	Diptera	720 ppm	Favorável	Desfavorável	Tuchman et al. (2002)
<i>Sonchus oleraceus</i>	<i>Chromatomyia syngenesiae</i>	Diptera	Ambiente + 200 ppm	Favorável	Desfavorável	Smith e Jones (1998)
<i>Gossypium hirsutum</i>	<i>Bemisia tabaci</i>	Hemiptera	500-600 µL L ⁻¹	Não avaliada	Não afetada	Butler et al. (1986)
<i>Hordeum vulgare</i>	<i>R. padi</i>	Hemiptera	700 ppm	Desfavorável	Favorável	Ryan et al. (2015)
<i>Brachiaria brizantha</i>	<i>Collaria oleosa</i>	Hemiptera	700 ppm	não avaliada	Desfavorável	Silva et al. (2016)
<i>Fagus sylvatica</i>	<i>Rhynchaenus fagi</i>	Coleoptera	600 µL L ⁻¹	Não afetada	Não afetada	Docherty et al. (1996)
INIMIGOS NATURAIS						
Insetos praga	Inseto inimigo natural	Ação	Nível CO ₂	Efeito na Presa/Hospedeiro	Impacto sobre inimigo natural	Referência
<i>Myzus persicae</i>	<i>Hippodamia convergens</i>	Predador	650 ppm	Favorável	Não afetado	Stacey e Fellowes (2002)
<i>Brevicoryne brassicae</i>	<i>Hippodamia convergens</i>	Predador	650ppm	Favorável	Não afetado	"
<i>Myzus persicae</i>	<i>Diaeretiella rapae</i>	Parasitóide	650ppm	Favorável	Não afetado	"
<i>Brevicoryne brassicae</i>	<i>Diaeretiella rapae</i>	Parasitóide	650ppm	Favorável	Não afetado	"
<i>Myzus persicae</i>	<i>Aphidius matricariae</i>	Parasitóide	Ambiente + 200 µmol mol ⁻¹	Favorável	Não afetado	Bezemer et al. (1998)
<i>S. flava</i>	<i>Diomus seminulus</i>	Predador	500 ppm	Não avaliada	Favorável	Fonseca et al. (2014)
<i>Aphis gossypii</i>	<i>Chrysopa sinica</i>	Predador	750 µL L ⁻¹	Não avaliada	Desfavorável	Gao et al. (2010)
<i>Aphis gossypii</i>	<i>Propylaea japonica</i>	Predador	750 µL L ⁻¹	Desfavorável	Desfavorável	Gao et al. (2008)
<i>Aphis gossypii</i>	<i>Leis axyridis</i>	Predador	1050 ppm	Favorável	Favorável	Chen et al. (2005)
<i>Plutella xylostella</i>	<i>Podisus maculiventris</i>	Predador	720 µmol mol ⁻¹	Não avaliada	Desfavorável	Vuorinen et al. (2004)
<i>Plutella xylostella</i>	<i>Cotesia plutellae</i>	Parasitóide	720 µmol mol ⁻¹	Não avaliada	Desfavorável	Vuorinen et al. (2004)

Obs.: impacto favorável, desfavorável ou não afetado, refere-se à interpretação dos autores do capítulo em função das referências bibliográficas citadas.

Parâmetros biológicos dos insetos afetados pelas mudanças climáticas

Existe uma faixa de favorabilidade dos fatores abióticos (temperatura e CO_2) específica para cada espécie de insetos, podendo alterar seus parâmetros biológicos (velocidade de desenvolvimento, sobrevivência, taxa de consumo e fertilidade) diretamente ou indiretamente em função da qualidade nutricional das plantas. Mediante essas interações poderá haver uma redução ou aumento na abundância dos herbívoros (Figura 1).

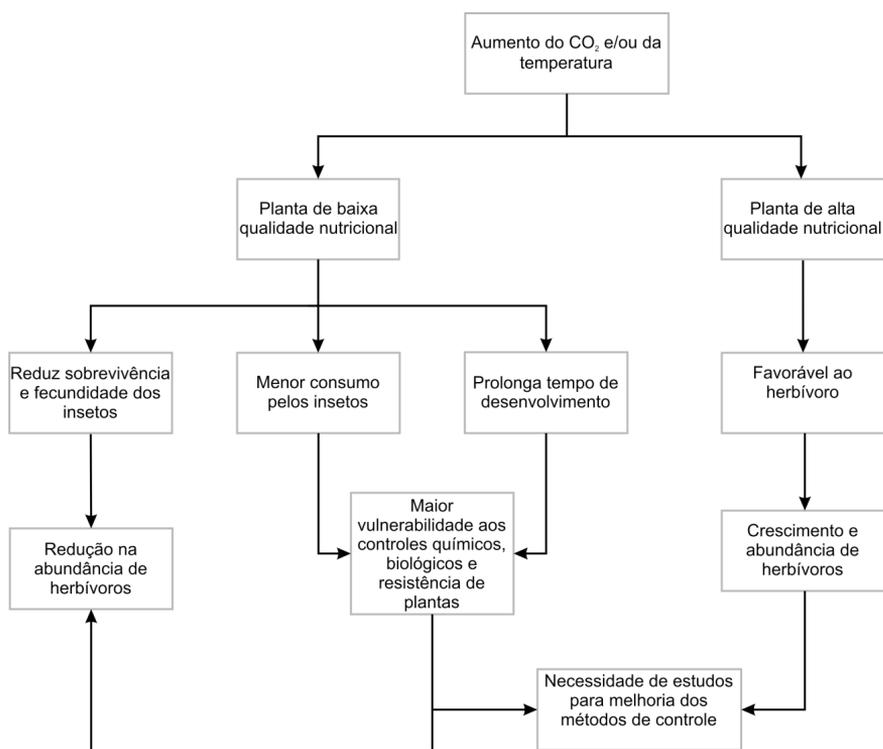


Figura 1. Efeito do aumento do nível de CO_2 e/ou da temperatura na qualidade nutricional da planta hospedeira e consequente alteração na abundância de herbívoros.

Devido a sua natureza peclotérmica, os insetos são muito propensos a responder rapidamente a temperaturas elevadas e esse aumento tem o potencial de afetar a maioria dos parâmetros da história de vida dos insetos, alterando as suas funções ecológicas, bem como interações intra e interespecíficas. Para a maioria das populações de insetos, a taxa intrínseca de crescimento (r_m) aumenta gradualmente com a temperatura até um limiar, após este diminui abruptamente. O aumento do r_m está geralmente relacionado à diminuição no tempo de desenvolvimento e incremento nas taxas reprodutivas até um limiar, como demonstrado para o afídio *Rhopalosiphum padi* (Figura 2).

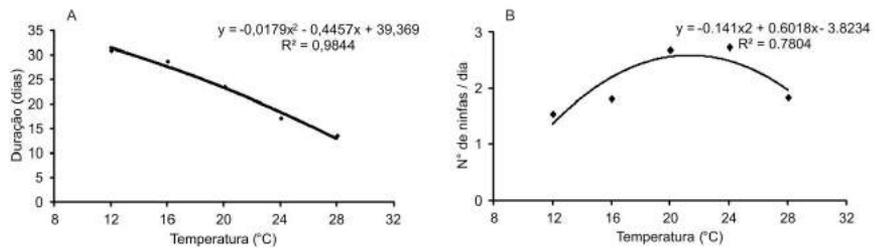


Figura 2. Curvas de regressão ajustadas para a duração do ciclo ninfal (A) e para a produção de ninfas / dia⁻¹ (B) de *Rhopalosiphum padi* mantidos em diferentes temperaturas.

Fonte: Auad et al. (2009).

Pesquisas sobre exigências térmicas no ciclo de vida de insetos vetores foram realizadas (BESERRA et al., 2006; CALADO; NAVARRO-SILVA, 2002; RIBEIRO et al., 2004). O tempo de desenvolvimento e viabilidade das fases de ovo, larva e pupa e a fecundidade dos adultos de *Aedes aegypti* foram favorecidos na faixa de 22°C a 32°C (BESERRA et al., 2009). Em geral, o aumento da temperatura promove redução significativa na duração dos insetos até determinado limite para pragas agrícolas (AUAD et al., 2009; OLIVEIRA et al., 2009) e inimigos naturais (CHONG et al., 2005; ELIOPOULOS et al., 2010, OLIVEIRA et al., 2010; YAO et al., 2011). Com esse parâmetro biológico obtido, é possível estimar a constante térmica em graus-dia e, com isso, prever o número

de gerações em função das alterações climáticas. Por exemplo, *Spodoptera frugiperda* pode atingir de 2 a 8 gerações ao ano nas condições térmicas atuais do Estado do Rio Grande do Sul, e 3 a 8, 6 a 10 e 8 a 13 gerações ao ano, com aumentos de 1°C, 3°C e 5,8°C, respectivamente (AFONSO et al., 2008).

A temperatura ótima para o desenvolvimento não é a mesma para presa/ hospedeiro e predador/parasitoide, o que obriga à seleção natural ou artificial dos agentes benéficos, que deverá estar em sincronismo com as exigências térmicas do inseto-praga. Um aumento na temperatura resultará em incremento da taxa metabólica tanto da praga quanto do inimigo natural. Para os inimigos naturais, isso poderá resultar em menor tempo de busca e manuseio da presa/hospedeiro e, conseqüentemente, em prejuízo à sua fecundidade.

As velocidades média e máxima de locomoção do parasitoide *Aphelinus asychis* aumentam com o aumento da temperatura de 8,5°C a 28,5°C (MASON; HOPPER, 1997). Taxas de parasitismo de *Aphidius colemani* e *Aphidius matricariae*, estimadas como a percentagem de pulgões mumificados, aumentaram quase linearmente, sendo máxima a 25°C (ZAMANI et al., 2007). No Brasil, *Chrysoperla externa* é o predador mais estudado, devido a sua ampla ocorrência em várias culturas e por preda várias espécies de pragas. Estudos mostraram a eficiência desse predador no programa de manejo integrado dos afídeos *Schizaphis graminum* (FIGUEIRA et al., 2002; FONSECA et al., 2001), e *Rhopalosiphum maidis* (MAIA et al., 2004). Esses estudos relataram que a faixa favorável para o desenvolvimento desse predador está entre 12°C e 30°C. Ainda no Brasil, Fonseca et al. (2016) observaram que as temperaturas de 24 a 28°C são consideradas favoráveis, a 20°C pouco favorável e as extremas (16 e 32°C) não favoráveis ao desenvolvimento de *Mahanarva spectabilis*. Diante desses resultados foi possível gerar mapas de distribuição no cenário climático futuro, sendo estimada a redução da ocorrência desse inseto-praga nas regiões Norte e Nordeste, manutenção das áreas favoráveis nas regiões Sudeste e Centro-Oeste, além de incremento na região Sul no ano de 2080.

O aquecimento global pode também afetar de forma indireta a entomofauna, quando ocorre a quebra de sincronismo entre a planta hospedeira e os insetos, pois, com a elevação da temperatura, é esperada antecipação da brotação e floração de algumas plantas, prejudicando os visitantes florais.

Entre os gases que promovem o aquecimento global, maior atenção tem sido dada ao CO₂. Esse gás tende a aumentar a fotossíntese, o crescimento, o rendimento e a relação C:N na maioria das espécies de plantas (PRITCHARD et al., 1999), o que pode afetar a qualidade e a quantidade de alimentos disponíveis para os herbívoros (CHEN et al., 2004, 2007; DERMODY et al., 2008; HUGHES; BAZZAZ, 2001; HUNTER, 2001; MONDOR et al., 2010; NEWMAN, 2003; STACEY; FELLOWES, 2002). A interação inseto x planta hospedeira sob elevado nível de CO₂ tem sido intensivamente estudada em outros países (Tabela 1).

O quanto os insetos são afetados pelas elevadas condições de CO₂ foi mencionado por Stiling e Cornelissen (2007), por meio de uma meta-análise incluindo 75 publicações científicas, em que registraram: declínio de 22% na abundância de herbívoros, 9% na taxa de crescimento relativo e 5% no peso pupal, assim como aumento de 9% nas taxas de consumo total e 4% no tempo de desenvolvimento. Segundo Brooks e Whittaker (1999), os insetos mastigadores são capazes de compensar a baixa qualidade nutricional da planta pelo aumento na taxa de consumo.

A alteração da resposta do inseto em função da condição climática em que a planta foi mantida foi pesquisada no Brasil por Auad et al. (2012). Esses autores relataram que a longevidade e capacidade reprodutiva do inseto praga das forrageiras, *Sipha flava*, foram significativamente maiores quando os afídeos foram mantidos em nível de CO₂ alto e constante (500 ppm) e alimentados de forrageiras mantidas em casa-de-vegetação (440 ppm), comparado com aqueles em que plantas e insetos foram submetidos a altos níveis de CO₂ (500

ppm) ou mantidos em nível de CO_2 oscilante (368 ppm) (Figura 3A). O mesmo ocorreu para a obtenção de maior número de ninfas (Figura 3B) e adultos (Figura 3C) em estudo da *performance* populacional desse inseto.

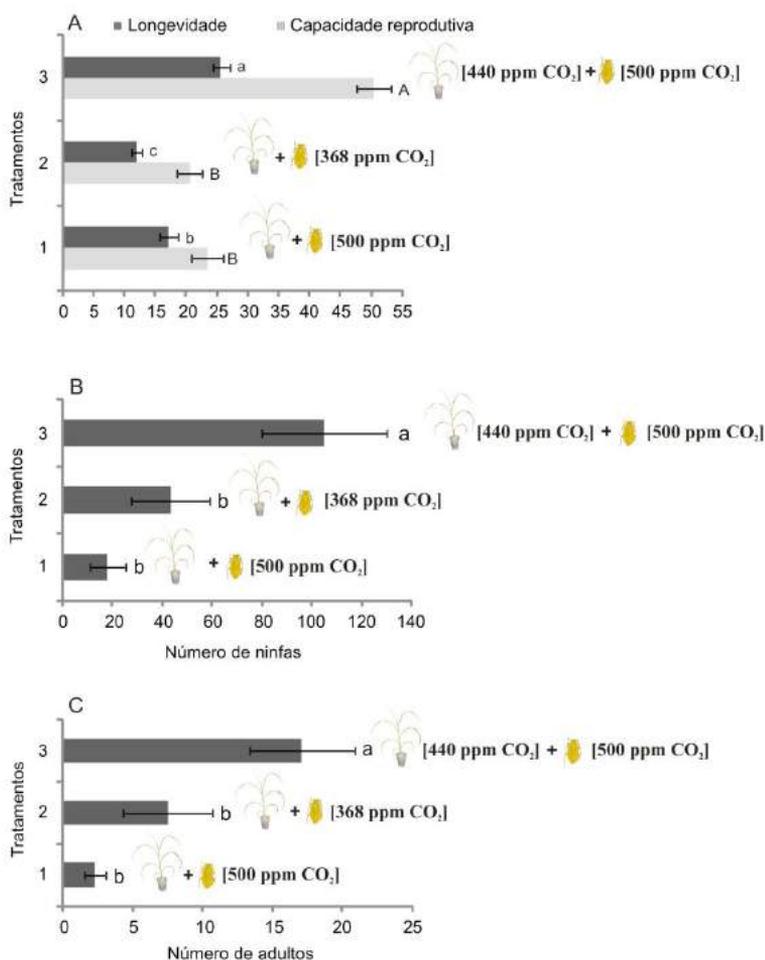


Figura 3. *Performance* individual de *Sipha flava*: longevidade e capacidade reprodutiva (A); *performance* populacional: número de ninfas (B) e de adultos (C) do afídeo, quando submetidos aos tratamentos: Tratamento 1- Afídeo e forrageira mantidos em nível de CO_2 alto e constante (500 ppm); Tratamento 2- Afídeo e forrageira mantidos em nível de CO_2 oscilante (368 ppm); Tratamento 3- Afídeo mantido em nível de CO_2 alto e constante (500 ppm) e alimentados de forrageiras mantidas em casa-de-vegetação (440 ppm). Médias seguidas de mesma letra não diferiram significativamente pelo teste Tukey ($P < 0.05$)

Fonte: Auaad et al. (2012).

Também no Brasil, Ferreira et al. (2013) verificaram que o aumento no nível de CO₂ aumentou a sobrevivência ninfal do inseto-praga *Mahanarva spectabilis* (Hemiptera: Cercopidae) e o acúmulo de matéria seca de cultivares de capim-elefante. Para o percevejo *Collaria oleosa* (DISTANT, 1863), Silva (2016) registrou que a maior duração e menor sobrevivência induziram a redução de número de gerações e o número de indivíduos. Ressalta-se que a resistência da espécie forrageira *Brachiaria brizantha* se manterá no cenário climático futuro. Da mesma forma, os genótipos de *Brachiaria ruziziensis* avaliados demonstraram ser resistentes na condição atual e futura, sendo indicados em regiões com infestação de *C. oleosa*.

O dióxido de carbono (CO₂) pode também ter efeito no terceiro nível trófico (Tabela 1). Em pesquisa realizada por Chen et al. (2007) em um sistema tritrófico submetido às concentrações de CO₂ (550 µl.L⁻¹ e 750 µl.L⁻¹ versus CO₂ ambiente), composto por trigo (*Triticum aestivum*), afídeo praga (*Sitobion avenae*) e os inimigos naturais (*Harmonia axyridis*, predador, e *Aphidius picipes*, parasitoide), constataram que os elevados níveis de CO₂ promoveram pouco efeito sobre o crescimento e desenvolvimento do predador e efeito negativo dessas características biológicas sobre o parasitoide. No entanto, predador e parasitoide aumentaram sua taxa de consumo. Esses resultados corroboram aos de Chen et al. (2005) que observam aumento no consumo de *Aphis gossypii* por *Leis axyridis*, criados em plantas de algodão cultivadas em níveis elevados de CO₂ (1005 ppm). Segundo esses autores, o aumento no consumo foi para compensar os reduzidos níveis de proteínas solúveis presentes nas presas, sendo resultado da diminuição do N foliar e aumento da relação C:N da planta. Os resultados acima discordam daqueles obtido por Stacey e Fellowes (2002), que, apesar de constatarem alterações na qualidade da planta hospedeira e do inseto-praga *Brevicoryne brassica*, submetidos a altos níveis de

CO₂, o número de presas/hospedeiro consumido por *Hippodamia convergens* e *Diaeretiella rapae* não foi alterado. Fonseca et al. (2014) registraram a primeira evidência do efeito do aumento de CO₂ atmosférico na interação tritrófica (capim-elefante x *Sipha flava* x predador). O predador *Diomus seminulus* (Mulsant, 1850) apresentou preferência significativa por plantas+insetos crescidos em ambiente com o nível do CO₂ elevado, sendo indicado para o controle de *S. flava* no cenário futuro. No trabalho de Bezemer et al. (1998) foi constatado que a planta *Brassica oleracea* e a taxa de parasitismo de *Aphidius matricariae* não foram afetados, mas a abundância do afídeo *Myzus persicae* foi aumentada, em condições de CO₂ elevado (ambiente + 200 μmol mol⁻¹). Para os resultados supracitados em que houve melhoria na *performance* do inimigo natural, em um cenário de mudanças climáticas, pode prever que o potencial biótico do inseto-praga será menor.

Pelos exemplos citados acima ficam evidentes as alterações que as mudanças climáticas acarretam no sistema tritrófico, em que, caso um dos níveis seja afetado, todo o sistema é alterado.

Pesquisas realizadas sobre mudanças climáticas na entomologia no Brasil

Pesquisas relacionadas com os efeitos das mudanças climáticas sobre os insetos têm aumentado rapidamente no mundo. Uma análise utilizando uma combinação de palavras-chave (“climate change” and “insects”) no banco de dados Web of Science nos últimos 20 anos e, selecionando, especificamente, aqueles relacionados a mudanças climáticas na entomologia, mostrou um total de 1.135 artigos científicos e a maioria dessa produção é recente, sendo 87% publicados nos últimos dez anos (Figura 4).

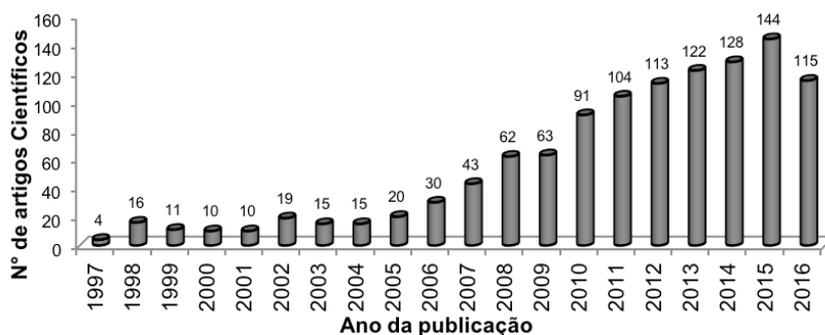


Figura 4. Número de artigos científicos publicados nos últimos 20 anos. Pesquisa bibliográfica obtida utilizando os termos “climate change and insects” no site Web of Science.

Apesar da importância dessa linha de pesquisa, há poucos trabalhos publicados a respeito dos efeitos das mudanças climáticas sobre insetos no Brasil. Porém, os eventos XXIII congresso de Entomologia e XII Simpósio de Controle Biológico abordaram o tema “Mudanças climáticas” realçando a importância que o assunto vem assumindo. A literatura entomológica, apesar de ser rica em relação ao efeito do aumento da temperatura na biologia e dinâmica populacional de insetos-praga, limita-se a esse fator, esquecendo fatores de grande importância como, por exemplo, o CO₂. Sendo assim, as previsões das alterações na ocorrência de problemas fitossanitários em decorrência das mudanças climáticas se limitam às condições térmicas.

O projeto “*Impactos das mudanças climáticas globais sobre problemas fitossanitários*” fez parte da carteira de projetos da Embrapa, tendo a participação de mais de 130 pesquisadores de 37 instituições, sendo 16 Centros de Pesquisa da Embrapa, 21 instituições de pesquisa, ensino e do setor privado, distribuídos em 12 estados do Brasil, abordando todas as cinco regiões do País. Foram estudados os efeitos das alterações de CO₂ e temperatura em espécies florestais, maçã, pêssigo, soja, uva, milho, mamona, algodão, for-

rageiras, café, mandioca, banana, manga e laranja. Com os resultados dessas pesquisas, foi possível desenvolver alternativas de adaptação para o controle dos problemas fitossanitários indicados como predominantes nos cenários climáticos projetados.

No Brasil, para as principais pragas das grandes culturas, os métodos de controle atuais foram definidos após anos de pesquisas. Porém, com as alterações climáticas, a eficiência desses métodos poderá ser comprometida, o que leva à necessidade de novos direcionamentos das pesquisas nessa nova realidade. Para o controle por meio de resistência de plantas, as modificações na fisiologia das plantas submetidas às condições climáticas futuras poderão alterar esse mecanismo em cultivares atualmente recomendadas para os produtores. Estudos realizados por Ferreira et al. (2013) constataram que os padrões de suscetibilidade e resistência das forrageiras capim-elefante e braquiária serão mantidos sob altas concentrações de CO₂, evidenciando que no cenário futuro essa estratégia de controle das cigarrinhas-das pastagens continuará a ser viável. Este é um estudo pioneiro no Brasil e, devido à importância desse método de controle, recomenda-se que novos estudos sejam conduzidos para outras culturas.

O Brasil utiliza grande quantidade de produtos fitossanitários para controle dos principais insetos-praga das grandes culturas. Sendo assim, há necessidade da realização de pesquisa semelhante àquela conduzida por Chen e McCarl (2001), em que quantificaram as alterações no gasto com agrotóxico em função das alterações climáticas, tendo como premissa que o aumento ou redução da ocorrência de problemas fitossanitários resultará em maior ou menor gasto com o controle químico. Ressalta-se que as alterações no comportamento dos insetos herbívoros e inimigos naturais (mobilidade, agressividade e capacidade de consumo, entre outros) submetidos a ambiente com elevação de temperatura e CO₂ podem alterar a eficiência dos produtos fitossanitários atualmente recomendados para controle.

Informações do impacto das mudanças climáticas em relação ao controle biológico no Brasil são escassas. Assim, pesquisas que evidenciem o efeito das mudanças climáticas na localização da presa/hospedeiro, nas alterações fisiológicas dos predadores e parasitoides, assim como no sincronismo entre os inimigos naturais e presas, são necessárias com intuito de adequação ao novo cenário, de forma a garantir a manutenção da eficiência, visto que alguns agentes de controle biológico são utilizados com eficiência para o controle de diversos insetos-praga.

Conforme exposto acima, fica evidente a necessidade de avaliações periódicas da manutenção da eficiência dos métodos de controle atuais, pois, caso seja necessário, as estratégias e táticas do manejo integrado de pragas deverão ser redefinidas, de forma a não comprometer a sustentabilidade do sistema produtivo.

Considerações finais

Os insetos podem ser bons indicadores biológicos das alterações climáticas previstas para os cenários futuros, devido ao seu curto ciclo biológico, o que proporciona grande número de gerações em curto espaço de tempo, a menor exigência de espaço físico e a grande diversidade existente.

Em função dos cenários futuros previstos, o Brasil terá um grande desafio no planejamento do controle fitossanitário que envolve os insetos. Nesse esforço, é de grande importância a participação e o fortalecimento da comunidade científica, de forma a intensificar o conhecimento acerca da entomofauna, identificando as espécies ameaçadas de extinção, o comportamento dos insetos-praga e daqueles em equilíbrio natural, bem como dos inimigos naturais no cenário futuro.

Para as culturas que já apresentam um manejo integrado de pragas bem definido, é imprescindível que se conheçam as interferências das mudanças climáticas nas estratégias e táticas de controle de forma a não comprometer a sustentabilidade do sistema produtivo.

Referências

- AFONSO, A. P. S.; NAVA, D. E.; MARTINS, J. F. S.; WREGE, M. S.; DIEZ-RODRIGUEZ, G. I. **Zoneamento ecológico de *Spodoptera frugiperda*, *Anastrepha fraterculus* e *Grapholita molesta* para o Rio Grande do Sul e sua relação com as mudanças climáticas globais**. Pelotas, RS: EMBRAPA-CPACT, 2008. 23 p. (Embrapa Clima Temperado, Documento, 252).
- AMEIXA, O. M. C. C. Aphids in a changing world. In: KINDLMANN, P; DIXON, A. F. G.; MCHAUD, J. P. (Ed.). **Aphid biodiversity under environmental change**. London: Spring, 2010. p. 21-40.
- ASSAD, E. D.; PINTO, H. S.; ZULLO JUNIOR, J.; MARIN, F. R.; PELLEGRINO, G. Q.; EVANGELISTA, S. R.; OTAVIAN, A. F. **Aquecimento global e a nova geografia da produção agrícola no Brasil**. Brasília, DF: Embaixada Britânica, 2008. 82 p.
- ASSAD, E. D.; PINTO, H. S.; ZULLO JUNIOR, J.; ÁVILA, A. H. Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 11, p. 1057-1064, 2004.
- AUAD, A. M.; ALVES, S. O.; CARVALHO, C. A.; SILVA, D. M.; RESENDE, T. T.; VERÍSSIMO, B. A. The impact of temperature on biological aspects and life table of *Rhopalosiphum padi* (Hemiptera: Aphididae) fed with signal grass. **Florida Entomologist**, v. 92, n. 4, p. 569-577, 2009.
- AUAD, A. M.; FONSECA, M.G.; RESENDE, T.T.; MADDALENA, I.S.C.P. Effect of climate change on longevity and reproduction of *Sipha flava* (Hemiptera: Aphididae). **Florida Entomologist**, v. 95, n. 2, p. 433-444, 2012.
- BENTO, J. M. S. Perdas por insetos na agricultura. **Ação Ambiental**, v. 4, n. 2, p.19-21, 1999.
- BESERRA, E. B.; CASTRO-JÚNIOR, F. P.; SANTOS, J. W.; SANTOS, T. S.; FERNANDES, C. R. M. Biologia e exigências térmicas de *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) provenientes de quatro regiões bioclimáticas da Paraíba. **Neotropical Entomology**, v. 35, n. 6, p. 853-860, 2006.

BESERRA, E. B.; FERNADES, C. R. M.; SILVA, S. A. O.; SILVA, L. A.; SANTO, J. W. Efeitos da temperatura no ciclo de vida, exigências térmicas e estimativas do número de gerações anuais de *Aedes aegypti* (Diptera, Culicidae). **Iheringia. Série Zoologia**, v. 99, n. 2, p. 142-148, 2009.

BEZEMER, T. M.; JONES, T. H.; KNIGHT, K. J. Long-term effects of elevated CO₂ and temperature on populations of the peach-potato aphid *Myzus persicae* and its parasitoid *Aphidius matricariae*. **Oecologia**, v. 116, p. 128-135, 1998.

BROOKS, G. L.; WHITTAKER, J. B. Response of three generations of a xylem-feeding insect, *Neophilaenus lineatus* (Homoptera) to elevated CO₂. **Global Change Biology**, v. 5, n. 4, p. 395-401, 1999.

BUTLER, G. D.; KIMBALL, B. A.; MAUNY, J. R. Populations of *Bemisia tabaci* (Homoptera: *Aleyrodidae*) on cotton grown in open-top field chambers enriched with CO₂. **Environmental Entomology**, v. 15, p. 61-63, 1986.

CALADO, D. C.; NAVARRO-SILVA, M. A. Avaliação da influência da temperatura sobre o desenvolvimento de *Aedes albopictus*. **Revista de Saúde Pública**, v. 36, n. 2, p. 173-179, 2002.

CHEN, C. C.; McCARL, B. A. An investigation of the relationship between pesticide usage and climate change. **Climate Change**, v. 50, p. 475-487, 2001.

CHEN, F.; GE, F.; PARAJULEE, M. N. Impact of elevated CO₂ on tri-trophic interaction of *Gossypium hirsutum*, *Aphis gossypii*, and *Leis axyridis*. **Physiological Ecology**, v. 34, p. 37-46, 2005.

CHEN, F. J.; WU, G.; GE, F. Impacts of elevated CO₂ on the population abundance and reproductiva activity of aphid *Sitobion avenae* Fabricius feeding on spring wheat. **Journal of Applied Entomology**, v. 128, n. 9-10, p. 723-730, 2004.

CHEN, F. J.; WU, G.; PARAJULEE, M. N.; GE, F. Long-term impacts of elevated carbon dioxide and transgenic Bt cotton on performance and feeding of three generations of cotton bollworm. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 124, p. 27-35, 2007.

CHONG, J. H.; OETTING, R. D.; OSBORNE, L. S. Development of *Diomus austrinus* Gordon (Coleoptera: Coccinellidae) on two mealybug prey species at five constant temperatures. **Biological Control**, v. 33, n. 1, p. 39-48, 2005.

CRAMER, H. H. **Plant protection and world crop production**. Leverkusen: Bayer, 1967. 524 p.

CRAWLEY, M. J. **Herbivory the dynamics of animal: plant interaction**. Berkeley: University of California Press, 1983. 447 p.

DERMODY, O.; O'NEILL, B. F.; ZANGERL, A. R.; BERENBAUM, M. R.; DeLUCIA, E. H. Effects of elevated CO₂ and O₃ on leaf damage and insect abundance in a soybean agroecosystem. **Arthropod-Plant Interactions**, v. 2, n. 3, p. 125-135, 2008.

DOCHERTY, M.; HURST, D. K.; HOLOPAINEM, J. K.; WHITTAKER, J. B.; LEA, P.J.; WATT, A. D. Carbon dioxide-induced changes in beech foliage cause female beech weevil larvae to feed in a compensatory manner. **Global Change Biology**, v. 2, p. 335-341, 1996.

ELIOPOULOS, P. A.; KONTODIMAS, D. C.; STATHAS, G. J. Temperature-dependent development of *Chilocorus bipustulatus* (Coleoptera: Coccinellidae). **Molecular Ecology and Evolution**, v. 39, n. 4, p. 1352-1358, 2010.

FERREIRA, R. B.; MORAES, J. C.; AUAD, A. M.; FONSECA, M. G. Interaction of spittlebug and forage grass under different carbon dioxide concentrations. **Journal of Pest Science**, v. 86, n. 2, p. 161-166, 2013.

FIGUEIRA, L. K.; LARA, F. M.; CRUZ, I. Efeito de genótipos de sorgo sobre o predador *Chrysoperla externa* (Hagen, 1861) (Neuroptera: Chrysopidae) alimentado com *Schizaphis graminum* (Rondani, 1852) (Hemiptera: Aphididae). **Neotropical Entomology**, v. 31, n. 1, p. 133-139, 2002.

FLYNN, D. F. B.; SUDDERTH, E. A.; BAZZAS, F. A. Effects of aphid herbivory on biomass and leaf-level physiology of *Solanum dulcamara* under elevated temperature and CO₂. **Environmental and Experimental Botany**, v. 56, n. 1, p. 10-18, 2006.

FONSECA, A. R.; CARVALHO, C. F.; SOUZA, B. Capacidade predatória e aspectos bilógicos das fases imaturas de *Chrysoperla externa* (Hagen, 1861) (Neuroptera:Chrysopidae) alimentada de *Schizaphis graminum* (Rondani, 1852) (Hemiptera:Aphididae) em diferentes temperaturas. **Ciência Agrotecnologia**, v. 25, n. 2, p. 251-263, 2001.

FONSECA, M. G.; AUAD, A. M.; RESENDE, T. T.; HOTT, M. C.; BORGES, C.A.V. How will *Mahanarva spectabilis* (Hemiptera: Cercopidae) Respond to Global Warming? **Journal of Insect Science**, v. 16, n. 1, p. 1-6, 2016.

FONSECA, M. G.; SANTOS, D. R.; AUAD, A. M. Impact of different carbon dioxide concentrations in the olfactory response of *Sipha flava* (Hemiptera: Aphididae) and its predators. **Journal of Insect Behaviour**, v. 27, n.6, p. 722-728, 2014.

GAO, F.; CHEN, F.; GE, F. Elevated CO₂ lessens predation of *Chrysopa sinica* on *Aphis gossypii*. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 135, p.135-140, 2010.

GAO, F.; ZHU, S.R.; SUN, Y.C.; DU, L.; PARAJULEE, M.; KANG, L.; GE, F. Interactive effects of elevated CO₂ and cotton cultivar on tri-trophic interaction of *Gossypium hirsutum*, *Aphis gossypii*, and *Propylaea japonica*. **Physiological Ecology**, v.37, p. 29-37, 2008.

GHINI, R. **Mudanças climáticas globais e doenças de plantas**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2005. 104 p.

GULLAN, P. J.; CRANSTON, P.S. Importância, diversidade e conservação dos insetos. In: GULLAN, P. J.; CRANSTON, P. S. (Ed.). **Os insetos: um resumo de entomologia**. São Paulo: Roca, 2012, p. 1-19.

HAMADA, E.; GHINI, R.; MARENGO, J. A.; THOMAZ, M. C. Projeções de mudanças climáticas para o Brasil no final do século XXI. In: GHINI, R.; HAMADA, E.; BETTIOL, W. (Eds). **Impacto das mudanças climáticas sobre doenças de importantes culturas no Brasil**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2011. p. 43-74.

HANCE, T.; VAN BAAREN, J.; VERNON, P.; BOIVIN, G. Impact of temperature extremes on parasitoids in a climate change perspective. **Annual Review of Entomology**. v. 52, p. 107-126, 2007.

HATTENSCHWILER, S.; SHAFELLNER, C. Gypsy moth feeding in the canopy of a CO₂-enriched mature forest. **Global Change Biology**, v.10, p.1899-1908, 2004.

HILLSTROM, M. L.; VIGUE, L. M.; COYLE, D. R.; RAFFA, K. F.; LINDROTH, R. L. Performance of the invasive weevil *Polydrusus sericeus* is influenced by atmospheric CO₂ and host species. **Agricultural and Forest Entomology**, v.12, p.185-292, 2010.

KUOKKANEN, K.; YAN, SCHANCHUN.; NIEMELÄ, P. Effects of elevated CO₂ and temperature on the leaf chemistry of birch *Betula pendula* (Roth) and the feeding behaviour of the weevil *Phyllobius maculicornis*. **Agricultural and Forest Entomology**, v.5, p. 209- 217, 2003.

HUGUES, L.; BAZZAZ, F. Effects of elevated CO₂ on five plant-aphid interactions. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 99, p. 87-96, 2001.

HUNTER, M. D. Effects of elevated atmospheric carbon dioxide on insect-plant interactions. **Agricultural and Forest Entomology**, v. 3, n. 3 p. 153-159, 2001.

KOPPER, B. J.; LINDROTH, R. L. Effects of elevated carbon dioxide and ozone on the phytochemistry of aspen and performance of an herbivore. **Oecologia**, v.134,

p.95-103, 2003.

KÖRNER C. Biosphere responses to CO₂ enrichment. **Ecology Applied** v. 10, p. 1590-1619, 2000.

KÖRNER C. Ecological impacts of atmospheric CO₂ enrichment on terrestrial ecosystems. **Philosophical Transactions of The Royal Society A**, v. 361, p. 2023-2041, 2003.

KUOKKANEN, K.; YAN, SHANCHUN.; NIEMELÄ, P. Effects of elevated CO₂ and temperature on the leaf chemistry of birch *Betula pendula* (Roth) and the feeding behaviour of the weevil *Phyllobius maculicornis*. **Agricultural and Forest Entomology**, v.5, p. 209- 217, 2003.

KURZ, W. A.; DYMOND, C. C.; STINSON, G.; RAMPLEY, G. J.; NEILSON, E. T.; CARROLL, A. L.; EBATA, T.; SAFRANYIK, L. Mountain pine beetle and forest carbon feedback to climate change. **Nature**, v. 452, n. 7190, p. 987-990, 2008.

MAIA, W. J. M. S.; CARVALHO, C. F.; CRUZ, I.; SOUZA, B.; MAIA, T. J. A. Capacidade predatória e aspectos biológicos *Chrysoperla externa* (Hagen, 1861) (Neuroptera:Chrysopidae) alimentada com *Rhopalosiphum maidis* (Fitch, 1856) (Hemiptera: Aphididae). **Ciência e Agrotecnologia**, v. 28, n. 6, p. 1259-1268, 2004.

MASON, P. G.; HOPPER, K. R. Temperature dependence in locomotion of the parasitoid *Aphelinus asychis* (Hymenoptera: Aphelinidae) from geographical regions with different climates. **Environmental Entomology**, v. 26, n. 6, p. 1416-1423, 1997.

METCALF, R. Applied entomology in the twenty-first century: needs and prospects. **America Entomological**, v. 42, n. 4, p. 216-227, 1996.

MONDOR, E. B.; AWMACK, C. S.; LINDROTH, R. L. Individual growth rates do not predict aphid population densities under altered atmospheric conditions. **Agricultural and Forest Entomology**, v. 12, n. 3, p. 293-299, 2010.

NEWMAN, J. A. Climate change and cereal aphids: the relative effects of increasing CO₂ and temperature on aphid population dynamics. **Global Change Biology**, v. 10, n. 1, p. 5-15, 2003.

OLIVEIRA, A. O.; AUAD, A. M.; SOUZA, B.; SOUZA, L. S.; AMARAL, R. L.; SILVA, D. M. Tabela de esperança de vida e de fertilidade de *Siphia flava* (Forbes) (Hemiptera, Aphididae) alimentado com capim-elefante em diferentes temperaturas. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 53, n. 4, p. 614-619, 2009.

OLIVEIRA, C.M.; AUAD, A.M.; MENDES, S.M.; FRIZZAS, M.R. Crop losses and the

economic impact of insect pests on Brazilian agriculture. **Crop Protection**, v. 56, p. 50-54, 2014.

OLIVEIRA, S. A.; AUAD, A. M.; SOUZA, B.; SILVA, D. M.; CARVALHO, C. A. Effect of temperature on the interaction between *Chrysoperla externa* (Neuroptera:Chrysopidae) and *Sipha flava* (Hemiptera: Aphididae). **European Journal of Entomology**, v. 107, n. 2, p. 183-188, 2010.

PIMENTEL, D. World food crisis: energy and pests. **Bulletin of the Entomological Society of America**, v. 22, n. 1, p. 20-26, 1976.

PRITCHARD, S. G.; ROGERS, H. H.; PRIOR, S. A.; PETERSON, C. M. Elevated CO₂ and plant structure: a review. **Global Change Biology**, v. 5, n. 7, p. 807-837, 1999.

PUTTEN, W. H. van der; RUITERB, P. C.; BEZEMERA T. M.; HARVEY, J. A.; WASSEN, M.; WOLTERS, V. Tropical interactions in a changing world. **Basic and Applied Ecology**, v. 5, n. 6, p. 487-594, 2004.

RYAN, G.; SILVESTER, E. V. A.; SHELP, B. J.; NEWMAN J. Towards an understanding of how phloem amino acid composition shapes elevated CO₂-induced changes in aphid population dynamics. **Ecological Entomology**, v.15, p. 247-257, 2015.

RIBEIRO, P. B; COSTA, P. R. P; LOECK, A. E; VIANA, E. E. S.; SILVEIRA JÚNIOR, P. Exigências térmicas de *Culex quinquefasciatus* (Diptera, Culicidae) em Pelotas, Rio Grande do Sul, Brasil. **Iheringia. Série Zoologia**, v. 94, n. 2, p. 177-180, 2004.

SILVA, D. M. **Avaliação de genótipos de *Brachiaria ruziziensis* com e sem aplicação de silício e diferentes concentrações de CO₂ sobre *Collaria oleosa* (Hemiptera: miridae)**. 2016. 110 p. Tese (Doutorado em Entomologia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

SOLOMON, S., QIN, D.; MANNING, M.; CHEN, Z.; MARQUIS, M.; AVERYT, K. B.; TIGNOR, M.; MILLER, H. L. (Ed.). Climate change 2007: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. United Kingdom, New York: Cambridge University Press, Cambridge, 2007. 996 p.

SMITH, P. H. D.; JONES, T. H. Effects of elevated CO₂ on the chrysanthemum leafminer, *Chromatomyia syngenesiae*: a greenhouse study. **Global Change Biology**, v. 4, p. 287-291, 1998.

STACEY, D.; FELLOWES, M. D. E. Influence of elevated CO₂ on interspecific

interactions at higher trophic levels. **Global Change Biology**, v. 8, n. 7, p. 668-678, 2002.

STILING, P.; CORNELISSEN, T. How does elevated carbon dioxide (CO₂) affect plant-herbivore interactions? A field experiment and meta-analysis of CO₂- mediated changes on plant chemistry and herbivore performance. **Global Change Biology**, v. 13, n. 9, p. 1823-1842, 2007.

STOCKER, T.F.; QIN, D.; PLATTNER, G.-K.; TIGNOR, M. M. B.; ALLEN, S. K.; BOSCHUNG, J.; NAUELS, A.; XIA, Y.; BEX, V.; MIDGLEY, P. M. (Ed.): Climate change 2013: summary for policymakers. Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2014. 33 p.

THEURILLAT, P.; GUISSAN, A. Potential impact of climate change on vegetation in the European Alps: a review. **Climate Change**, v. 50, n. 1-2, p. 77-109, 2001.

TUCHMAN, N. C.; WETZEL, R. G.; RIER, S. T.; WAHTERA, K. A.; TEERI, J. A. Elevated atmospheric CO₂ lowers leaf litter nutritional quality for stream ecosystem food webs. **Global Change Biology**, v.8, p. 163-170, 2002.

VETELI, T. O.; KUOKKANEN, K.; JULKUNNEN, T. R. Effects of elevated CO₂ and temperature on plant growth and herbivore defensive chemistry. **Global Change Biology**, v.8, p.1240-1252, 2002.

VUORINEN, T.; NERG, A. M.; IBRAHIM, M. A.; REDDY, G. V. P.; HOLOPAINEM, J. D. Emission on *Plutella xylostella*- Induced compounds from cabbages grown at elevated CO₂ and orientation behavior of the natural enemies. **Plant Physiology**, v.135, p.1984-1992, 2004.

YAO, S.; HUANG, Z.; REN, S.; MANDOUR, N.; ALI, S. Effects of temperature on development, survival, longevity, and fecundity of *Serangium japonicum* (Coleoptera: Coccinellidae), a predator of *Bemisia tabaci* Gennadius (Homoptera: Aleyrodidae). **Biocontrol Science and Technology**, v. 21, n. 1, p. 23-34, 2011.

VUORINEN, T.; NERG, A. M.; IBRAHIM, M. A.; REDDY, G. V. P.; HOLOPAINEM, J. D. Emission on *Plutella xylostella* - Induced compounds from cabbages grown at elevated CO₂ and orientation behavior of the natural enemies. **Plant Physiology**, v.135, p.1984-1992, 2004.

ZAMANI, A. A.; TALEBI, A.; FATHIPOUR, Y. Effect of temperature on life history of *Aphidius colemani* and *Aphidius matricariae* (Hymenoptera: Braconidae), two parasitoids of *Aphis gossypii* and *Myzus persicae* (Homoptera: Aphididae). **Environmental Entomology**, v. 36, n. 2, p. 263-271, 2007.

Como o aumento da temperatura interfere nas doenças de plantas?

Francislene Angelotti, Raquel Ghini e Wagner Bettiol

Introdução

Diversos estudos têm sido desenvolvidos sobre o efeito do clima no desenvolvimento de epidemias de doenças de plantas (EVANS et al., 2008; MILUS et al., 2009; SHARMA et al., 2007). Estes trabalhos são de extrema importância na Fitopatologia, pois o clima e a ocorrência de doenças estão diretamente relacionados. Sabe-se que a ocorrência de doenças em plantas está vinculada a três elementos: hospedeiro suscetível, patógeno virulento e ambiente favorável, que compõem o que se denomina por triângulo da doença (Figura 1). Qualquer modificação em um desses fatores pode provocar uma alteração na intensidade da doença ou na sua taxa de desenvolvimento.

Chappelka e Grulke (2016) estudaram como alterações químicas e físicas do ambiente, causadas pelas mudanças climáticas e poluição do ar, perturbarão o clássico triângulo das doenças e incorporaram essas alterações em uma expansão deste triângulo (Figura 2). Os autores afirmam que as alterações químicas no ar e as subsequentes alterações físicas no ambiente causarão um grande efeito nas doenças. Recomendaram, ainda, que essas alterações deveriam ser consideradas nos projetos de pesquisa, bem como em suas análises e nos modelos empíricos dos efeitos dos agentes fitopatogênicos.

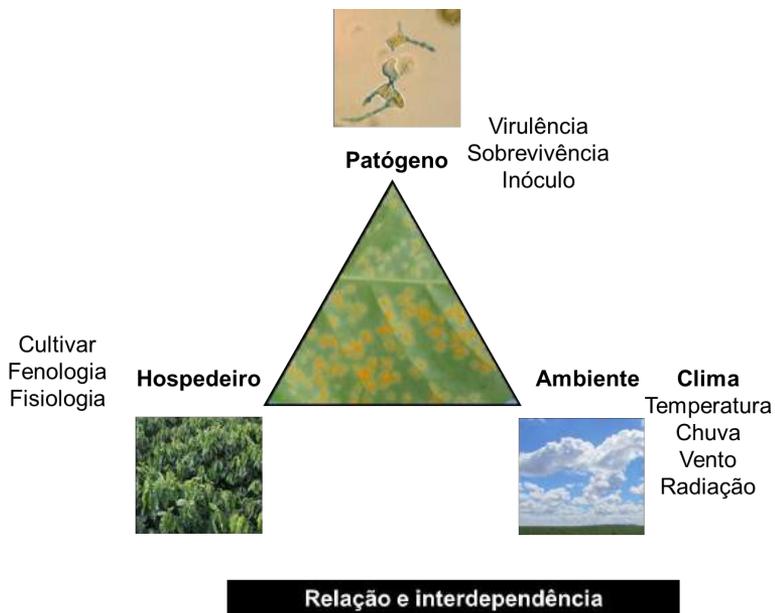


Figura 1. Triângulo da doença ilustrado com a ferrugem do cafeeiro, causada pelo fungo *Hemileia vastatrix*.

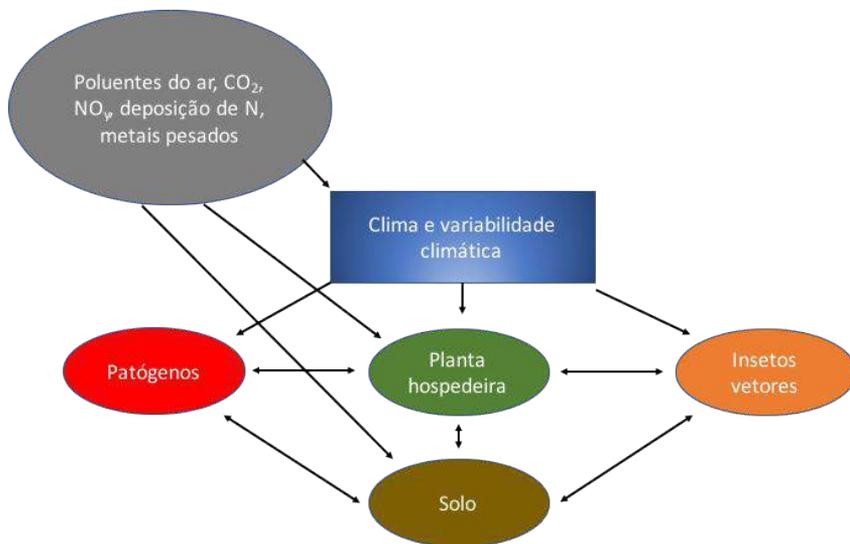


Figura 2. Expansão do triângulo da doença com a incorporação dos efeitos de poluentes do ar.

Fonte: Adaptado de Chappelka e Grulke (2016).

A incidência, distribuição geográfica e a severidade de uma doença estão condicionadas à ação direta do ambiente sobre o patógeno e sobre a planta hospedeira. No ambiente, a temperatura é um dos principais elementos climáticos que influencia todas as fases de crescimento do hospedeiro e também no ciclo de vida do patógeno (AGRIOS, 2005). Assim, as alterações na temperatura poderão causar impactos sobre a ocorrência de doenças em plantas.

De maneira geral, os impactos da temperatura sobre a planta hospedeira podem interferir no seu crescimento, fisiologia, morfologia, reprodução e sobrevivência, causando alterações na interação com os microrganismos simbiotes, com os insetos e na competição com plantas invasoras, bem como na resistência a fitopatógenos e insetos-pragas. Além disso, a temperatura pode afetar o patógeno, por meio de interferências diretas no ciclo de vida, na dispersão e na sobrevivência dos microrganismos. Indiretamente, a temperatura pode afetar as interações de parasitismo e competição (AGRIOS, 2005).

Cenários de aumento de temperatura

Segundo os dados do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), o aumento da temperatura média do planeta, no período de 1880 a 2012 foi de 0,85°C. A evidência de que a influência humana seja a causa dominante do aquecimento é considerada extremamente provável, sendo a temperatura do ar um dos principais elementos climáticos que sofrerá alterações (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2013).

A projeção dos aumentos de temperatura considera os cenários de emissão dos gases do efeito estufa. Para o cenário de baixa emissão (RCP2.6), é provável que a temperatura não exceda 1,7°C. Entretanto, em um cenário de alta emissão (RCP8.5), o aumento da temperatura média global para o período 2081–2100 em rela-

ção a 1986-2005 estará provavelmente na faixa de 2,6°C a 4,8°C (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2013) (Figura 3). Além disso, a previsão é de que o aquecimento continuará a apresentar variabilidade interanual a decenal e que não será uniforme regionalmente.

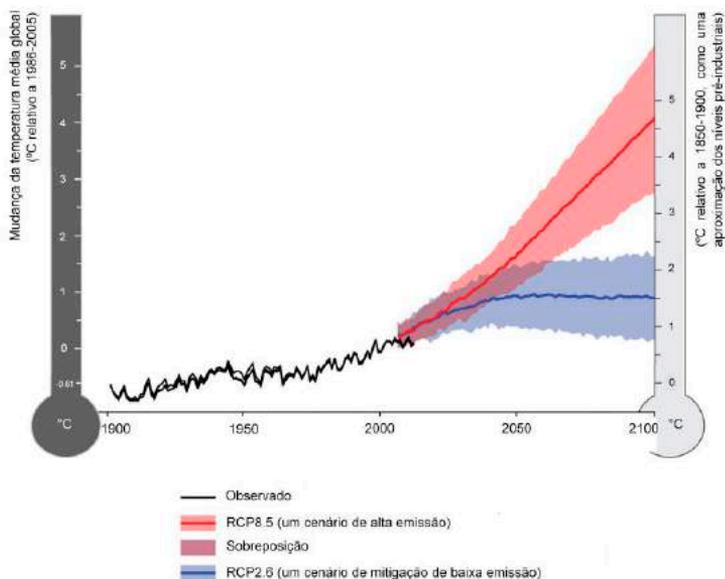


Figura 3. Projeções do aumento da temperatura segundo os cenários RCP8.5 e RCP2.6.

Fonte: Intergovernmental Panel on Climate Change (2013).

Interferência da temperatura no ciclo das relações patógeno-hospedeiro

A ocorrência de uma determinada doença é precedida por uma sequência de eventos entre o patógeno e o hospedeiro, conhecida como ciclo das relações patógeno-hospedeiro. Cada fase apresenta características próprias e função definida, incluindo sobrevivência, disseminação, infecção, colonização e reprodução do patógeno (Figura 4).

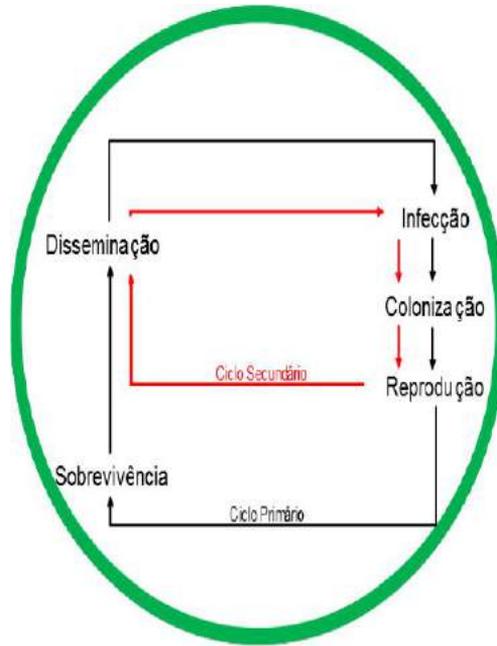


Figura 4. Ciclos primário e secundário das relações patógeno-hospedeiro.

Fonte: Amorim (1995).

A temperatura atua nas diversas fases do ciclo das relações patógeno-hospedeiro. O desenvolvimento da doença tem início com a presença do patógeno (por meio de propágulos, isto é, estruturas reprodutivas, micélio, células de bactérias e outros) que, em contato com a planta hospedeira, promove a infecção dos tecidos. Após a colonização ocorre a reprodução, seguida da sobrevivência e disseminação, correspondente ao ciclo primário da doença (Figura 4). A primeira geração do patógeno na cultura corresponde ao ciclo primário e as gerações subsequentes no mesmo ciclo da cultura são os ciclos secundários das relações patógeno-hospedeiro.

Na infecção, a temperatura pode aumentar ou diminuir a taxa de germinação dos esporos (MAIA et al, 2011; POLTRONIERI et al., 2013). Os patossistemas apresentam respostas diferenciadas à temperatura (ANGELOTTI et al., 2014; DALLA PRIA et al., 2003;

EVANS et al., 2008; MAIA et al., 2015; MILUS et al., 2009; SHARMA et al., 2007). Na Tabela 1 são apresentados exemplos com as preferências térmicas de diferentes gêneros e espécies de fungos causadores de ferrugens.

Tabela 1. Temperaturas (°C) requeridas para infecção por fungos causadores de ferrugens.

	Hospedeiro	T _{min.}	T _{máx.}	T _{ótima}	Referências
<i>Phakopsora euvitis</i>	Uva	15	30	20	Angelotti et al. (2014)
<i>Puccinia psidii</i>	Eucalipto	14,8	31	22,9	Ruiz et al. (1989)
<i>Melampsora medusae</i>	Álamo	8	27,1	16-21	May-de-Mio e Amorim (2002)
<i>Phakopsora pachyrhizi</i>	Soja	10	27,5	22,5	Marchetti et al. (1976)
<i>Puccinia psidii</i>	Jambeiro	12	27	17-22	Tessmann (1992)
<i>Uromyces striatus</i>	Alfafa	15	28	17,5	Webb e Nutter (1997)
<i>Puccinia polysora</i>	Milho	9,9	33	23	Godoy et al. (1999)

Após a infecção do tecido do hospedeiro, os patógenos iniciam a fase de reprodução, que se dá principalmente por meio da esporulação (CAMPBELL; MADDEN, 1990). O número de dias entre a deposição da estrutura reprodutiva no tecido hospedeiro e a produção de esporos é uma característica importante no desenvolvimento da doença, denominado de período latente. O período latente é influenciado pela temperatura e sua duração repercute diretamente sobre o número de ciclos de reprodução do patógeno durante o ciclo da cultura.

Para a maioria dos patógenos, a temperatura pode determinar a rapidez e a extensão da infecção (MAY-DE-MIO et al., 2002; VALE et al., 2000). O maior número de ciclos da doença durante a estação de cultivo está associado à temperatura favorável ao desenvolvimento do patógeno, permitindo que o mesmo complete o ciclo em menor tempo. Vale et al. (2000) verificaram que a temperatura

influenciou o período latente da ferrugem do cafeeiro, causada por *Hemileia vastatrix*, alterando-o de 19 a 60 dias, dependendo da prevalência de temperaturas altas nos meses de verão ou de temperaturas baixas nos meses de inverno, respectivamente. Esses resultados levaram os autores a concluir que medidas de controle da ferrugem do cafeeiro podem ser ineficazes e antieconômicas se adotadas no período em que as variáveis climáticas exercem efeito negativo sobre a incidência e o desenvolvimento da doença.

Angelotti et al. (2011) relataram que o aumento da temperatura média em 5,8°C no Submédio do Vale do São Francisco, que tem a temperatura média anual de 26°C, poderá aumentar o período latente do míldio da videira nessa região. De um lado, o aumento do número de dias entre a infecção e a produção de esporângios reduz a taxa de progresso da doença no campo (ROSSI et al., 2008). Por outro lado, o aumento da temperatura também poderá reduzir o período de latência. Pérez Gomez (2013) verificou que o período de latência para a ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar, causada pelo fungo *Puccinia kuehnii*, foi de 11 dias para as variedades SP 891115 de 21/22, respectivamente, para as temperaturas de 18°C e 25°C. Para a variedade RB 855156 o período de latência foi de 21-24 e 13-14 dias para essas mesmas temperaturas.

Para garantir a sua perpetuação, o patógeno precisa superar as condições adversas de temperatura. Assim, para a sua sobrevivência, muitos fungos apresentam estruturas de resistência, formadas em condições climáticas desfavoráveis ou na ausência do hospedeiro que se constituem em nova fonte de inóculo (DUFALTY et al., 2006). Para *Fusarium graminearum*, a produção de peritécios foi observada na faixa de temperatura de 5°C a 30°C, mas a maturação dos mesmos só ocorreu na faixa de 20°C a 25°C (MANSTRETTA; ROSSI, 2016).

Além de atuar na formação das estruturas de resistência, a temperatura pode limitar a sobrevivência do patógeno. A viabilidade de escleródios de *Sclerotium rolsii* é afetada pela temperatura, que pode induzir distúrbios fisiológicos nessa estrutura de resistência, tornando-a vulnerável ao ataque de antagonistas do solo (KATAN, 1980). A identificação da capacidade de sobrevivência, em função da temperatura, é importante para entender o comportamento do patógeno e sua capacidade de se estabelecer em novas regiões.

Um dos aspectos fundamentais para os patógenos é a sua adaptabilidade às novas condições climáticas. A capacidade de adaptação ao aumento da temperatura poderá determinar se ocorrerá aumento ou redução de perdas causadas por determinados patógenos. Sabburg et al. (2016) verificaram que *Fusarium pseudograminearum* em trigo apresentou maior adaptabilidade a temperaturas diurna/noturna de 15/15°C, do que em temperaturas de 20-15°C, 25-15°C e 28-15°C em linhagens de trigo com diferentes graus de resistência. A adaptabilidade também foi influenciada pelo nível de resistência à doença. Observou-se que a temperatura influenciou a capacidade adaptativa de *F. pseudograminearum*, assim, o aumento da temperatura, associado com a resistência do hospedeiro, pode reduzir a sua capacidade de causar doença.

Efeito direto da temperatura nos patógenos

Efeito na reprodução e dispersão

A produção dos diferentes propágulos dos fitopatógenos, o seu crescimento, a produção de estruturas de resistência e a germinação das mesmas são processos altamente dependentes da temperatura. Assim, esse fator poderá colaborar para o desenvolvimento ou não de uma epidemia. Entretanto, associada à temperatura, a

umidade relativa também apresenta importância fundamental para o desenvolvimento dos patógenos. Uma ampla gama de patógenos, especialmente os que atacam a parte aérea das plantas, apresenta uma flutuação na sua incidência e severidade em resposta às condições do ambiente. Muitos fungos são favorecidos por condições de alta umidade durante o ciclo da cultura por causa do aumento da produção de esporos e, em muitos casos, pela dispersão por gotas de chuva. Outros, como os oídios, são favorecidos pela baixa umidade. As condições climáticas do inverno também são importantes fatores que determinam o sucesso da sobrevivência saprofítica de diversos patógenos (BROADMEADOW, 2002).

Por causa desse efeito direto do clima sobre as fases do ciclo dos patógenos, espera-se que as mudanças climáticas causem alterações nessas fases, especialmente, em longo prazo. Uma redução do número de dias chuvosos no verão pode reduzir a disseminação de patógenos que necessitam de gotas de chuva para a dispersão de seus propágulos. Os conídios do fungo *Mycosphaerella fijensis*, agente causal da sigatoka-negra, são dispersos por lavagem ou pelo impacto de gotas de chuva, sendo importantes para a disseminação local da doença (SIGATOKA..., 2003). Também para *Colletotrichum sublineolum*, causador da antracnose do sorgo, os respingos de chuvas são de grande importância na disseminação dos esporos do patógeno (COTA et al., 2010).

O efeito do aumento da temperatura e da concentração de CO₂ do ar foi avaliado em 100 ciclos da antracnose, causada por *Colletotrichum acutatum* em *Capsicum annum* (KOO et al., 2016). A porcentagem de frutos doentes e o número de esporos produzidos por lesão do patógeno foram reduzidos em ambiente a 30°C e 700 ppm de CO₂ quando comparados às condições de 25°C e 400 ppm de CO₂.

Há necessidade, também, de se considerar as diferenças entre os patógenos biotróficos e necrotróficos. Possivelmente, como os biotróficos dependem do hospedeiro vivo, a sua reprodução será beneficiada quando as condições forem adequadas para a sobrevivência das plantas. Para os necrotróficos, as condições de temperatura que causarem a morte do hospedeiro poderão favorecer a multiplicação dos patógenos.

Efeito na sobrevivência

Diversos patógenos sobrevivem por longos períodos na ausência da planta hospedeira, como ocorre com patógenos de culturas anuais ou perenes com folhas decíduas. Nesses casos, a fase de sobrevivência é de grande importância para garantir a quantidade de inóculo suficiente para causar doença no início do próximo ciclo da cultura. A temperatura poderá afetar a sobrevivência de diversos fitopatógenos durante a ausência da planta hospedeira. Para *Phytophthora ramorum*, por exemplo, verificou-se que os clamidósporos são capazes de sobreviver em condições altamente adversas de temperatura durante pelo menos 7 dias (TOOLEY et al., 2008).

A adaptação do fitopatógeno aos efeitos da temperatura poderá resultar na seleção ocorrida pelo aumento da sobrevivência entre as epidemias, período no qual os isolados são expostos a condições climáticas mais extremas, do que durante o ciclo da cultura e das epidemias (MARIETTE et al., 2016). A conclusão desses autores foi baseada em estudos com duas linhagens clonais de *Phytophthora infestans*, sugerindo que deve ser considerada para explicar e, possivelmente prever, a distribuição global de linhagens específicas e seu potencial em causar epidemias.

Efeito na distribuição geográfica

A distribuição geográfica dos patógenos pode ser rapidamente alterada pelas mudanças na temperatura. Entretanto, a previsão das alterações na distribuição geográfica não depende somente dos diversos fatores do ambiente, mas também da densidade, distribuição, suscetibilidade da planta hospedeira e das práticas de manejo, bem como da capacidade de dispersão do patógeno. Por esse motivo, previsões detalhadas e específicas são difíceis de serem obtidas e somente informações de natureza geral podem ser transmitidas aos tomadores de decisões. As ferramentas de predição baseadas em correlações com o ambiente dependem de uma boa base de dados, a qual não está disponível para a maioria dos patógenos (SHAW; OSBORNE, 2011).

Modelos climáticos globais ou regionalizados fornecem estimativas quantitativas das mudanças do clima no futuro, porém, a utilização desses modelos apresenta diversos problemas. As incertezas dos modelos se baseiam, principalmente, no desconhecimento das emissões futuras de gases de efeito estufa, na variabilidade natural do tempo e clima e nas incertezas da modelagem. Assim, para contornar esse problema, um conjunto de cenários é geralmente adotado, considerando-se os diferentes aumentos projetados da temperatura média, com alteração do clima variando de região para região. Outra dificuldade refere-se ao fato de as resoluções espaciais e temporais características dos modelos climáticos serem diferentes das escalas dos modelos de doença de planta. Além disso, nem todas as variáveis estão disponíveis igualmente nos modelos e, para o estudo do efeito das mudanças climáticas sobre a distribuição geográfica de doenças, a duração do período de molhamento foliar é uma variável particularmente importante, mas não existe. Nesse caso, uma opção é estimar o período de duração de molhamento foliar em função de outro parâmetro, como a umidade relativa (HAMADA et al., 2008a), possibilitando sua aplicação, por

exemplo, para o míldio da videira (HAMADA et al., 2008b). Uma discussão sobre esses problemas metodológicos é apresentada por Ghini et al. (2012). Diversos trabalhos foram publicados acerca da utilização dessa ferramenta para determinar a distribuição geográfica de doenças no Brasil (Tabela 2). Em uma revisão mais ampla, Juroszek e Tiedemann (2015) encontraram 38 estudos de simulação publicados em diversos países de janeiro de 2000 a junho de 2014, onde modelos de previsão de doença (em poucos casos contemplando também modelos de crescimento da cultura) foram associados a modelos climáticos para a previsão da distribuição geográfica nos cenários climáticos futuros.

De modo geral, as temperaturas que favorecem as plantas hospedeiras também favorecem seus patógenos. Assim, a alteração na distribuição geográfica das culturas tende a ser semelhante à dos patógenos. Segundo as simulações realizadas por Coelho Filho et al. (2010) para os cenários climáticos futuros, haverá redução das áreas de aptidão para o cultivo da bananeira em condições não irrigadas no Estado da Bahia. Situação semelhante foi observada por Ghini et al. (2007) quanto à favorabilidade à ocorrência da sigatoka-negra. Segundo os autores, poderá haver redução da área favorável à doença no Estado da Bahia com o passar dos anos.

A velocidade com a qual os patógenos se estabelecerão no novo ambiente decorre da dispersão e sobrevivência entre estações do ano ou de cultivo e das mudanças fisiológicas e ecológicas da planta hospedeira.

Tabela 2. Distribuição geográfica de doenças de plantas no Brasil em cenários climáticos disponibilizados pelo Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).

Cultura	Patógeno	Doença	Modelos climáticos do 3º/4º Relatório do IPCC	Abrangência geográfica	Tendência de aumento/redução da favorabilidade	Referência
Banana	<i>Mycosphaerella fijiensis</i>	Sigatoka-negra	3º	Nacional	Redução	Ghini et al. (2007)
Banana	<i>Mycosphaerella fijiensis</i>	Sigatoka-negra	3º	Mundial	Redução	Jesus Júnior et al. (2008)
Cacau	<i>Moniliophthora roerei</i>	Monilíase	3º	Nacional	Redução	Moraes et al. (2012a)
Café	<i>Meloidogyne incognita</i>	Nematoides	3º	Nacional	Aumento	Ghini et al. (2008)
Café	<i>Hemileia vastatrix</i>	Ferrugem	3º	Estados produtores	Aumento	Ghini et al. (2011)
Café	<i>Phoma</i> spp.	Mancha-de-Phoma	3º	Nacional	Redução	Moraes et al. (2012b)
Cana-de-açúcar	<i>Puccinia melanocephala</i>	Ferrugem	3º	Nacional	Redução	Moraes et al. (2011a)
Eucalipto	<i>Puccinia psidii</i>	Ferrugem	3º	Nacional	Redução	Moraes et al. (2014)
Mamão	<i>Asperisporium caricae</i>	Variável	3º	Nacional	Redução	Jesus Jr. et al. (2007)
Milho	<i>Puccinia polysora</i>	Ferrugem	3º	Nacional	Redução	Moraes et al. (2011b)
Uva	<i>Glomerella cingulata</i>	Podridão da uva madura	4º	Região deste	Nor- Redução	Hamada et al. (2011)
Uva	<i>Botrytis cinerea</i>	Podridão-cinzenta	4º	Região deste	Nor- Redução	Hamada et al. (2011)
Uva	<i>Uncinula necator</i>	Oídio	4º	Nacional	Aumento	Hamada et al. (2015)

Efeito nos hospedeiros

Efeito no crescimento

Os efeitos do aumento da temperatura sobre as plantas hospedeiras serão variáveis dependendo das estações do ano. Possivelmente, o aumento da temperatura durante o inverno deverá reduzir os estresses das plantas. Entretanto, um aumento da temperatura durante os períodos quentes do ano (primavera e verão) causará um aumento desses estresses (ELAD; PERTOT, 2014).

A distribuição geográfica da araucária (*Araucaria angustifolia*), projetada nos cenários climáticos futuros por Wrege et al. (2016), indica uma significativa redução da área com potencial para essa espécie. No cenário RCP4.5, menos pessimista, a redução é menor; porém, no cenário RCP8.5, mais pessimista, as projeções revelam uma significativa redução da área, chegando próximo à extinção da espécie em 2100. O longo ciclo da araucária dificulta a sua adaptação em curto período de tempo. Além disso, a ocorrência de pragas e doenças, alterações no florescimento e germinação de sementes colaboram para aumentar o problema.

Para a cana-de-açúcar, entretanto, o aumento da temperatura acompanhado do aumento da concentração de CO₂ atmosférico, deve ser benéfico para a cultura, aumentando as taxas de fotossíntese e melhorando as relações hídricas entre o solo, a planta e a atmosfera (MARIN; NASSIF, 2013). Dessa forma, regiões marginais poderão ser beneficiadas, aumentando as áreas favoráveis ao cultivo. Nesse sentido, Sanguino (2008) afirma que a mancha-amarela, causada pelo fungo *Mycovellosiella koepkei*, que não encontra condições favoráveis na maioria das áreas cultivadas no Sudeste brasileiro, poderá encontrar essas condições no Pantanal e nas regiões ribeirinhas do Estado do Mato Grosso e no litoral do Nordeste brasileiro. Esse mesmo autor afirma que as doenças mais importantes da cana-de-açúcar, atualmente, como o carvão, o mosaico,

a escaldadura-das-folhas e o raquitismo-da-soqueira, por serem doenças sistêmicas, só sofrerão alterações em sua atual manifestação por ação do homem, indicando que há necessidade de se manter as medidas preconizadas para o controle dessas doenças.

De acordo com Brunelli et al. (2011), as brassicáceas constituem uma família de plantas consideradas pouco plásticas com relação às exigências ambientais, observando-se que grande parte das cultivares de brócolis, couve-flor, e repolho, exige temperaturas amenas para o seu adequado desenvolvimento. Dessa forma, mesmo considerando a composição genética utilizada nos programas de melhoramento para as condições brasileiras, os cenários previstos para 2071-2100, para algumas regiões em determinados períodos do ano, suplantarão as temperaturas máximas suportadas atualmente por esses germoplasmas. Também para alface, Kobori et al. (2011) salientam que, por ser oriunda de ambientes temperados, a espécie sofrerá consideravelmente com o aumento da temperatura, pois as do grupo das lisas suportam temperaturas ao redor de 28°C, enquanto as crespas toleram temperaturas ao redor de 26°C. Assim, para esses autores, diversas regiões brasileiras se tornarão impróprias para o cultivo dessa hortaliça. Além disso, para as duas culturas, os autores consideram que algumas doenças poderão se tornar mais importantes do que no cenário atual. Para alface, Kobori et al. (2011) ainda ressaltaram que a murchadeira ou podridão-negra-das-raízes (causada por *Thielaviopsis basicola*) e o oídio (causado por *Erysiphe cichoracearum*) causarão maiores danos nos cenários futuros. No entanto, doenças que atualmente são importantes, como o míldio, causado por *Bremia lactucae*, e podridão-de-esclerotinia ou mofo-branco, causado por *Sclerotinia sclerotiorum* e *Sclerotinia minor*, podem se tornar secundárias.

Efeito na resistência genética

A temperatura poderá interferir tanto na suscetibilidade do hospedeiro, como na virulência do patógeno. Entretanto, os estudos sobre o efeito da temperatura na resistência genética de plantas a patógenos ainda são restritos. Por causa do desafio do aquecimento global para agricultura, o conhecimento das respostas moleculares das plantas e dos patógenos precisará ser elucidado. Estes estudos contribuirão para a identificação das bases da resistência e/ou suscetibilidade a estes patógenos, visando subsidiar futuros programas de melhoramento das culturas de importância agrícola (UPCHURCH; RAMIREZ, 2011; WANG et al., 2009).

Entre os impactos causados à planta hospedeira, a temperatura poderá afetar a expressão de genes de resistência, causando alterações na resposta de hipersensibilidade e no acúmulo de compostos envolvidos na defesa das plantas aos patógenos (WANG et al., 2009). Em plantas de fumo, o aumento da temperatura inibiu a ação do gene *PR1* contra o vírus do mosaico (TMV), tornando as plantas suscetíveis (MALAMY et al., 1992). Outros estudos identificaram que o gene *N*, responsável pela resistência do fumo ao vírus do mosaico, também é sensível à alta temperatura. Em temperaturas acima de 27°C, não ocorre a reação de hipersensibilidade, permitindo a propagação do patógeno para outros tecidos da planta (WRIGHT et al., 2000).

Para o patossistema trigo - *Puccinia graminis* f. sp. *tritici*, as plantas portadoras do gene *Sr6*, resistente à ferrugem, apresentaram diferenças quando cresceram a 18°C e 27°C. As plantas submetidas a 18°C apresentaram resistência à ferrugem, mas as plantas desenvolvidas em ambiente com temperatura de 27°C foram suscetíveis à doença (MOERSCHBACHER et al., 1989). Em ensaios com sementes de soja, Upchurch e Ramirez (2011) verificaram que a elevação da temperatura aumentou a severidade

de *Cercospora kikuchii* e reduziu a severidade do fungo *Diaporthe phaseolorum*. Isso evidencia que a resposta ao aumento da temperatura dos genes de defesa envolvidos na interação planta-patógeno poderá variar entre as espécies de fungo (Tabela 3).

Tabela 3. Respostas de patossistemas à temperatura.

Hospedeiro	Patógeno	Resposta à temperatura	Referência
<i>Arabidopsis</i>	<i>Pseudomonas syringae</i> pv. tomato	Mais suscetível a 28°C do que a 22°C	Wang et al. (2009)
<i>Brassica napus</i>	<i>Leptosphaeria maculans</i>	Resistência conferida pelo gene <i>Rlm6</i> não é eficaz em temperatura acima de 25°C	Huang et al. (2006)
<i>Glycine max</i>	<i>Diaporthe phaseolorum</i>	Sementes submetidas a 18/22°C, menor colonização e indução do gene de defesa <i>MMP2</i>	Upchurch e Ramirez (2011)
	<i>Cercospora kikuchii</i>	Sementes submetidas a 26/34°C, menor colonização e indução do gene de defesa <i>PR10</i>	
<i>Solanum lycopersicum</i>	Nematoide das galhas	Resistência conferida pelo gene <i>Mi-1</i> é inativo acima de 28°C	Hwang et al. (2000)
	<i>Cladosporium fulvum</i>	Resistência conferida pelos genes <i>CF4</i> e <i>CF9</i> é inativa a 33°C	Jong et al. (2002)
	Vírus do mosaico do tabaco (TMV)	Resistência conferida pelo gene <i>N</i> é eficaz a 22°C e ineficaz a 30°C	Whitham et al. (1996)
<i>Triticum</i>	<i>Puccinia graminis</i> f. sp. <i>tritici</i>	Plantas submetidas a 18°C são resistentes e plantas a 27°C são suscetíveis a ferrugem	Moerschbacher et al. (1989)

No sul da Ásia, a elevação da temperatura noturna provocou o aumento da severidade da helmintosporiose do trigo, doença fúngica causada por *Cochliobolus sativus*, com consequente queda na produção (SHARMA et al., 2007). Do mesmo modo, isolados de *Puccinia striiformis*, agente causal da ferrugem-do-trigo, foram mais agressivos em altas temperaturas (MILUS et al., 2009). Para o arroz, o gene de resistência *Xa7* foi mais efetivo a 29-35°C (tem-

peraturas dia-noite) do que a 21-29°C. Outros genes de resistência a *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae* foram menos eficazes em altas temperaturas (WEBB et al., 2010).

Estas respostas diferenciais irão influenciar as pressões de seleção dos patógenos em diferentes locais, principalmente porque a temperatura oscila anualmente (TRAVERS et al., 2010). Isso pode ser visualizado no patossistema *Brassica napus* - *Leptosphaeria maculans* (cancro-da-haste), pois a severidade desta doença é mais intensa na Austrália, onde as temperaturas são mais elevadas do que na Europa (WEST et al., 2001). Isto acontece porque a resistência da planta, mediada pelo gene *Rlm6*, não é eficaz em temperatura acima de 25°C (HUANG et al., 2006). Estudos como este serão de extrema importância para o manejo integrado e na escolha das cultivares a serem implantadas nas diferentes regiões, pois a quebra de resistência influenciada pelo aumento de temperatura pode inviabilizar a produção em locais que apresentem condições climáticas favoráveis para a diminuição da resistência do hospedeiro. Outro ponto importante é a realização de estudos para o melhoramento e obtenção de cultivares resistentes, considerando-se os países de clima quente (BUTTERWORTH et al., 2010).

Além disso, a capacidade de sobrevivência em altas temperaturas pode modificar o comportamento da planta hospedeira e dos agentes causadores de doenças por meio da adaptação (GARRETT et al., 2009). Segundo Evans et al., (2008), a capacidade de gerar variações genéticas em resposta às alterações de temperatura permite que os patógenos e/ou plantas se tornem organismos adaptáveis. Desta maneira, o conhecimento sobre as respostas dos genes de defesa em populações de plantas poderá ser de grande importância para determinar o potencial de adaptação das mesmas sobre mudanças na pressão do patógeno diante das alterações na temperatura (GARRETT et al., 2006).

Efeito da temperatura nas interações dos hospedeiros com insetos vetores

A temperatura é o principal fator climático que influencia, de modo geral, artrópodes vetores de doenças de plantas, modificando seu desenvolvimento, sobrevivência, fecundidade, distribuição e abundância. Consideráveis mudanças na distribuição e abundância de insetos-vetores podem ser resultantes de pequenas alterações nas temperaturas médias. O envolvimento de vetores dificulta a previsão dos efeitos das mudanças climáticas sobre a doença, pois os impactos sobre esse grupo de organismos podem alterar significativamente a distribuição geográfica da doença. Este é o caso de diversas viroses, pois as complexas interações entre planta, vírus, vetor e ambiente tornam difícil a realização de previsões para os cenários climáticos futuros (JONES, 2016).

Efeitos das mudanças climáticas sobre as plantas podem trazer consequências para os vetores. Aumentos de temperatura alteram a fisiologia da planta, influenciando a produção de metabólitos secundários e modificando o valor nutricional das folhas aos insetos-vetores. A redução do valor nutricional faz com que o inseto se alimente de maior quantidade de folhas para satisfazer suas necessidades. O aumento da condutância estomática influencia a eficiência fotossintética, alterando a multiplicação de vírus nas células; conseqüentemente, também altera o movimento sistêmico do vírus e a aquisição pelos vetores. Além disso, aumentos de temperatura também podem alterar a expressão de mecanismos de defesa das plantas contra alguns insetos-vetores (JONES, 2016).

De um lado, aumentos na temperatura média podem aumentar a eficiência da transmissão de vírus de plantas infectadas a plantas saudáveis por vetores. Esse aumento na eficiência de transmissão pode permitir que a doença amplie sua distribuição geográfica para áreas anteriormente muito frias. Por outro lado, as temperaturas podem ser muito altas e ter um efeito negativo na doença (JONES, 2016).

Oliveira et al. (2011) afirmam que deverá ocorrer aumento dos problemas causados pelo *Papaya ringspot virus* (PRSV-p) em mamoeiro. Como o vírus é transmitido por diferentes espécies de pulgão e o aumento da temperatura colabora na redução do ciclo desses insetos, deverá ocorrer aumento da população desses vetores. Entretanto, temperaturas superiores a 30°C poderão apresentar efeito negativo sobre a população do vetor.

Considerações finais

Os patógenos de plantas são responsáveis por reduções de produção e podem colocar em risco a sustentabilidade do agroecossistema. O entendimento das relações entre o efeito da temperatura na severidade da doença, sua distribuição geográfica e temporal, constitui um importante subsídio para o estabelecimento de medidas de controle, permitindo o planejamento das atividades agrícolas e a adoção de medidas de mitigação e adaptação frente aos possíveis impactos. Entretanto, os impactos do aumento da temperatura sobre a ocorrência de doenças de plantas é um assunto complexo, pois requer conhecimentos sobre os efeitos no patógeno na fisiologia da planta hospedeira e, conseqüentemente, na interação patógeno e planta hospedeira. Sendo assim, os estudos precisarão ser intensificados para aprimorar as estratégias de manejo e garantir a sustentabilidade do sistema produtivo.

Referências

- AGRIOS, G. N. **Plant pathology**. 5. ed. Amsterdam: Elsevier Academic Press, 2005. 922 p.
- AMORIM, L. **Ciclos primário e secundário**. In: BERGAMIN FILHO, A.; KIMATI, H.; AMORIM, L. (Ed.). Manual de fitopatologia: princípios e conceitos. São Paulo: Ceres, 1995. p. 234-245.

ANGELOTTI, F.; MAGALHAES, E.; FERNANDES, H.A.; PEIXOTO, A. R. Severidade do míldio em cultivares de videira em função do aumento da temperatura do ar. SIMPÓSIO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS E DESERTIFICAÇÃO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO, 3., 2011, Juazeiro. **Experiências para mitigação e adaptação**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2011. 1 CD-ROM. (Embrapa Semiárido. Documentos, 239).

ANGELOTTI, F.; SCAPIN, C. R.; TESSMANN, D. J.; VIDA, J. B.; CANTERI, M. G. The effect of temperature, leaf wetness and light on development of grapevine rust. **Australasian Plant Pathology**, v. 43, n. 1, p. 9-13, 2014.

BROADMEADOW, M. **Climate change: impacts on UK forests**. Edinburgh: Forestry Commission, 2002. 198 p.

BRUNELLI, K. R.; GIORIA, R.; KOBORI, R. F. Impacto potencial das mudanças climáticas sobre as doenças das brássicas no Brasil. In: GHINI, R.; HAMADA, E.; BETTIOL, W. (Ed.). **Impacto das mudanças climáticas sobre doenças de importantes culturas no Brasil**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2011. p.145-160.

BUTTERWORTH, M. H.; SEMENOV, M. A.; BARNES, A.; MORAN, D.; WEST, J. S.; FITT, B. D. L. North–South divide: contrasting impacts of climate change on crop yields in Scotland and England. **Journal of the Royal Society Interface**, v. 7, n. 42, p. 123-130, 2010.

CAMPBELL, C. L.; MADDEN, L. V. **Introduction to plant disease epidemiology**. New York: J. Wiley, 1990. 532 p.

CHAPPELKA, A. H.; GRULKE, N. E. Disruption of the 'disease triangle' by chemical and physical environmental change. **Plant Biology**, v. 18, n. S1, p. 5-12, 2016. Special edition.

COELHO FILHO, M. A.; FANCELLI, M.; SILVA, T. S. M. da; SILVA, O. S. M. da; COELHO, E. F. Aquecimento global e aptidão da bananeira no Estado da Bahia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 21., 2010, Natal. **Frutas: saúde, inovação e responsabilidade: anais**. Natal: Sociedade Brasileira de Fruticultura, 2010. 4 p. pdf 2390.

COTA, L. V.; COSTA, R. V. da; CASELA, C. R. Doenças. In: RODRIGUES, J. A. S. (Ed.). **Cultivo do sorgo**. 6. ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2010. (Embrapa Milho e Sorgo. Sistema de Produção, 2).

DALLA PRIA, M.; AMORIM, L.; BERGAMIN FILHO, A. Quantificação de componentes monocíclicos da antracnose do feijoeiro. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, DF, v. 28, n. 4, p. 401-407, 2003 .

DUFAULT, N. S.; WOLF, E. D. de; LIPPS, P. E.; MADDEN, L. V. Role of temperature and moisture in the production and maturation of *Gibberella zeae* perithecia. **Plant Disease**, v. 90, n. 5, p. 637-644, 2006.

ELAD, Y.; PERTOT, H. Climate change impacts on plant pathogens and plant diseases. **Journal of Crop Improvement**, v. 28, n. 1, p. 99-139, 2014.

EVANS, N.; BAIERL, A.; SEMENOV, M. A.; GLADDERS, P.; FITT, B. D. L. Range and severity of plant disease increased by global warming. **Journal of The Royal Society**, v. 5, n. 22, p. 525-531, 2008.

GARRETT, K. A.; DENDY, S. P.; FRANK, E. E.; ROUSE, M. N.; TRAVERS, S.E. Climate change effects on plant disease: genomes to ecosystems. **Annual Review of Phytopathology**, v. 44, p. 489-509, 8 Sept. 2006.

GARRETT, K. A.; NITA, M.; WOLF, E. D. de; GOMEZ, L.; SPARKS, A. H. Plant pathogens as indicators of climate change. In: LETCHER, T. (Ed.). **Climate and Global Change: observed impacts on planet earth**. Amsterdam: Elsevier, 2009. p. 425-437.

GHINI, R.; HAMADA, E.; ANGELOTTI, F.; COSTA, L. B.; BETTIOL, W. Research approaches, adaptation strategies, and knowledge gaps concerning the impacts of climate change on plant diseases. **Tropical Plant Pathology**, v. 37, n. 1, p. 5-24, 2012.

GHINI, R.; HAMADA, E.; GONÇALVES, R. R. V.; GASPAROTTO, L.; PEREIRA, J. C. R. Análise de risco das mudanças climáticas globais sobre a sigatoka-negra da bananeira no Brasil. **Fitopatologia Brasileira**, v. 32, n. 3, p. 197-204, 2007.

GHINI, R.; HAMADA, E.; PEDRO JÚNIOR, M. J.; GONÇALVES, R. R. V. Incubation period of *Hemileia vastatrix* in coffee plants in Brazil simulated under climate change. **Summa Phytopathologica**, v. 37, n. 2, p. 85-93, 2011.

GHINI, R.; HAMADA, E.; PEDRO JÚNIOR, M. J.; MARENGO, J. A.; GONÇALVES, R.R.V. Risk analysis of climate change on coffee nematodes and leaf miner in Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 2, p. 187-194, 2008.

GODOY, C. V.; AMORIN, L.; BERGAMIN FILHO, A. Influência da duração do molhamento foliar e da temperatura no desenvolvimento da ferrugem do milho causada por *Puccinia polysora*. **Fitopatologia Brasileira**, v. 24, n. 2, p.160-165,1999.

HAMADA, E.; ANGELOTTI, F.; GARRIDO, L. R.; GHINI, R. Cenários futuros de epidemia do oídio da videira com as mudanças climáticas para o Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, n. esp., p. 454-470, 2015.

HAMADA, E.; ANGELOTTI, A.; GARRIDO, L. R.; GHINI, R.; CARVALHO, M. C. C.; PALLADINO, R. P. Efeito das mudanças climáticas sobre a favorabilidade às podridões da uva madura e cinzenta da videira no Nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, n. 4, p. 1213-1221, 2011.

HAMADA, E.; GHINI, R.; FERNANDES, J. L.; PEDRO JÚNIOR, M. J.; ROSSI, P. Spatial and temporal variability of leaf wetness duration in the state of São Paulo, Brazil. **Scientia Agricola**, v. 65, n. esp., p. 26-31, 2008a.

HAMADA, E.; GHINI, R.; ROSSI, P.; PEDRO JÚNIOR, M. J.; FERNANDES, J. L. Climatic risk of grape downy mildew (*Plasmopara viticola*) for the State of São Paulo, Brazil. **Scientia Agricola**, v. 65, n. esp., p. 60-64, 2008b.

HUANG, Y. J.; EVANS, N.; LI, Z. Q. Temperature and leaf wetness duration affect phenotypic expression of Rlm6-mediated resistance to *Leptosphaeria maculans* in *Brassica napus*. **New Phytologist**, v. 170, n. 1, p. 129-41, 2006.

HWANG, C. F.; BHAKTA, A. V.; TRUESDELL, G. M.; PUDLO, W. M.; WILLIAMSON, V. M. Evidence for a role of the N terminus and leucine-rich repeat region of the Mi gene product in regulation of localized cell death. **Plant Cell**, v.12, n. 8, p.1319-1329, 2000.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Summary for policymakers. In: STOCKER, T. F.; QIN, D.; PLATTNER, G.-K.; TIGNOR, M. M. B.; ALLEN, S. K.; BOSCHUNG, J.; NAUELS, A.; XIA, Y.; BEX, V.; MIDGLEY, P. M. (Ed.). **Climate change 2013: the physical science basis: contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report Of The Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge: Cambridge University Press, 2013. p. 1-29.

JESUS JUNIOR, W. C.; VALADARES JÚNIOR, R.; CECÍLIO, R. A.; MORAES, W. B.; VALE, F. X. R.; ALVES, F. R.; PAUL, P. A. Worldwide geographical distribution of *Black Sigatoka* for banana: predictions based on climate change models. **Scientia Agricola**, v. 65, n. esp., p. 40-53, 2008.

JESUS JUNIOR, W. C.; CECÍLIO, R. A.; VALADARES JÚNIOR, R.; COSMI, F. C.; MORAES, W. B.; ALVES, F. R.; NEVES, C. I. Aquecimento global e o potencial impacto na cultura e doenças do mamoeiro. In: MARTINS, D. S.; COSTA, A. N.; COSTA, A. F. S. (Ed.). **Papaya Brasil: manejo, qualidade e mercado do mamão**. 3ed. Vitória: Incaper-ES, 2007. v. 1, p. 85-100.

JONES, R. A. C. Future scenarios for plant virus pathogens as climate change progresses. **Advances in Virus Research**, v. 95, p. 87-147, 2016.

JONG, C. F. de; TAKKEN, F. L.; CAI, X.; DE WIT, P. J.; JOOSTEN, M.H. Attenuation of Cf-mediated defense responses at elevated temperatures correlates with a decrease in elicitor-binding sites. **Molecular Plant Microbe Interaction**, v. 15, n. 10, p. 1040-1049, 2002.

JUROSZEK, P.; TIEDEMANN, A. Linking plant disease models to climate change scenarios to project future risks of crop diseases: a review. **Journal of Plant Diseases and Protection**, v. 122, n. 1, p. 3-15, 2015.

KATAN, J. Solar pasteurization of soils for disease control: status and prospects. **Plant Disease**, v. 64, n. 5, p. 450-454, 1980.

KOBORI, R. F.; BRUNELLI, K. R.; GIORIA, R. Impacto potencial das mudanças climáticas sobre as doenças da alface no Brasil. In: GHINI, R.; HAMADA, E.; BETTIOL, W. (Ed.). **Impacto das mudanças climáticas sobre doenças de importantes culturas no Brasil**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2011. p. 130-144.

KOO, T. H.; HONG, S. J.; YUN, S. C. Changes in the aggressiveness and fecundity of hot pepper anthracnose pathogen (*Colletotrichum acutatum*) under elevated CO₂ and temperature over 100 infection cycles. **Plant Pathology Journal**, v. 32, n. 3, p. 260-265, 2016.

MAIA, A. J.; SCHWAN-ESTRADA, K. R. F.; FARIA, C. M. D. R.; SANTOS, L. A.; OLIVEIRA, J. B. S.; SANTOS, R. C dos. Produção de esporos e efeito da temperatura e luminosidade sobre germinação e infecção de *Pseudocercospora vitis* em videira. **Summa Phytopathologica**, v. 41, n. 4, p. 287-291, 2015

MAIA, F. G. M.; ARMESTO, C.; ZANCAN, W. L. A.; MAIA, J. B.; ABREU, M. S. Efeito da temperatura no crescimento micelial, produção e germinação de conídios de *Colletotrichum* spp. isolados de mangueira com sintomas de antracnose. **Bioscience Journal**, v. 27, n. 2, p. 205-210, 2011.

MALAMY, J.; HENNIG, J.; KLESSIG, D. F. Temperature-dependent induction of salicylic acid and its conjugates during the resistance response to tobacco mosaic virus infection. **The Plant Cell**, v. 4, n. 3, p. 359-366, 1992.

MANSTRETTA, V.; ROSSI, V. Effects of temperature and moisture on development of *Fusarium graminearum* perithecia in maize stalk residues. **Applied Environmental Microbiology**, v. 82, n. 1, p. 184-191, 2016.

MARCHETTI, M. A.; MELCHING, J. S.; BROMFIELD, K. R. The effects of temperature and dew period on germination and infection by uredospores of *Phakopsora pachyrhizi*. **Phytopathology**, n. 66, n. 4, p. 461-463, 1976.

MARIETTE, N.; ANDRODIAS, A.; MABON, R.; CORBIÈRE, R.; MARQUER, B.; MONTARRY, J.; ANDRIVON, D. Local adaptation to temperature in populations and clonal lineages of the Irish potato famine pathogen *Phytophthora infestans*. **Ecology and Evolution**, v. 6, n. 17, p. 6320-6331, 2016.

MARIN, F.; NASSIF, D. S. P. Mudanças climáticas e a cana-de-açúcar no Brasil: fisiologia, conjuntura e cenário futuro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 2, p. 232-239, 2013.

MAY-DE-MIO, L. L., AMORIM, L. Influência da temperatura e da duração do molhamento foliar nos componentes monicíclicos da ferrugem do álamo. **Summa Phytopathologica**, v. 28, n.1, p. 33-39, 2002.

MILUS, E. A.; KRISTENSEN, K.; HOVMOLLER, M. S. Evidence for increased aggressiveness in a recent widespread strain of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* causing stripe rust of wheat. **Phytopathology**, v. 99, n. 1, p. 89-94, 2009.

MOERSCHBACHER, B. M.; WITTE, U.; KÖNIGS, D.; REISNER, H. J. Changes in the level of enzyme activities involved in lignin biosynthesis during the temperature sensitive resistant response of wheat (*Sr6*) to stem rust (*P6*). **Plant Science**, v. 65, n. 2, p. 183-190, 1989.

MORAES, W. B.; JESUS JUNIOR, W. C.; PEIXOTO, L. A.; AMARAL, L. F.; CECÍLIO, R. A. Impactos das mudanças climáticas sobre a ferrugem da cana-de-açúcar no Brasil estimado por diferentes modelos de circulação geral. **Enciclopédia Biosfera**, v. 7, n. 12, p. 643-655, 2011a.

MORAES, W. B.; JESUS JUNIOR, W. C.; CECÍLIO, R. A., MAFIA, R. G.; MORAES, W. B.; COSMI, F. C.; VALADARES JUNIOR, R. Impacto potencial das mudanças climáticas globais na distribuição espacial de áreas de risco para ocorrência da ferrugem do eucalipto no Brasil. **Summa Phytopathologica**, v. 40, n. 2, p. 114-122, 2014.

MORAES, W. B.; JESUS JUNIOR, W. C.; PEIXOTO, L. A.; MORAES, W. B.; COSER, S. M.; CECÍLIO, R. A. Impact of climate change on the phoma leaf spot of coffee in Brazil. **Interciencia**, v. 37, n. 4, p. 272-278, 2012a.

MORAES, W. B.; JESUS JUNIOR, W. C.; PEIXOTO, L. A.; MORAES, W. B.; SILVA, L. G.; CECÍLIO, R. A.; ALVES, F. R. An analysis of the risk of cocoa moniliasis occurrence in Brazil as the result of climate change. **Summa Phytopathologica**, v. 38, n. 1, p. 30-35, 2012b.

MORAES, W. B.; PEIXOTO, L. A.; JESUS JUNIOR, W. C.; MORAES, W. B.; SILVA, L. G.; CECÍLIO, R. A. Impactos das mudanças climáticas sobre o risco de ocorrência da ferrugem polissora do milho no Brasil. **Enciclopédia Biosfera**, v. 7, n. 12, p. 1-12, 2011b.

OLIVEIRA, A. A. R.; SANTOS FILHO, H. P.; ANDRADE, E. C.; MEISSNER FILHO, P. E. Impacto potencial das mudanças climáticas sobre as doenças do mamoeiro no Brasil. In: GHINI, R.; HAMADA, E.; BETTIOL, W. (Ed.). **Impacto das mudanças climáticas sobre doenças de importantes culturas no Brasil**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2011. p. 249-262.

PÉREZ GOMEZ, S. G. **Quantificação de parâmetros monocíclicos da ferrugem alaranjada (*Puccinia kuehni*) em cana-de-açúcar**. 2014. 53 f. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, USP, Piracicaba.

POLTRONIERI, T. P. de S.; AZEVEDO, L. A. S. de; SILVA, D. E. M. da. Efeito da temperatura no crescimento micelial, produção e germinação de conídios de *Colletotrichum gloeosporioides*, isolados de frutos de palmeira juçara (*Euterpe edulis* Mart). **Summa Phytopathologica**, v. 39, n. 4, p. 281-285, 2013.

ROSSI V.; CAFFI T.; GIOSUÈ S.; BUGIANI R. A mechanistic model simulating primary infections of downy mildew in grapevine. **Ecological Modelling**, v. 212, v. 3-4, p. 480-49, 2008.

RUIZ, R. A. R., ALFENAS, A. C., FERREIRA, F. A., VALE, F. X. R. Influência da temperatura, do tempo de molhamento foliar, fotoperíodo e da intensidade de luz sobre a infecção de *Puccinia psidii* em eucalipto. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 14, n. 1, p. 55-61, 1989.

SABBURG, R.; OBANOR, F.; AITEKEN, E.; CHAKRABORTY, S. Changing fitness of a necrotrophic plant pathogen under increasing temperature. **Global Change Biology**, v. 21, n. 8, p. 3126-3137, 2016.

SANGUINO, A. Impacto potencial das mudanças climáticas sobre as doenças da cana-de-açúcar. In: GHINI, R.; HAMADA, E. (Ed.). **Mudanças climáticas: impactos sobre doenças de plantas no Brasil**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2008. p. 207-213.

SHARMA, R. C.; DUVEILLER, E.; ORTIZ-FERRARA, G. Progress and challenge towards reducing wheat spot blotch threat in the Eastern Gangetic Plains of South Asia: is climate change already taking its toll? **Field Crops Research**, v. 103, n. 2, p. 109-108, 2007.

SHAW, M. W.; OSBORNE, T. M. Geographic distribution of plant pathogens in response to climate change. **Plant Pathology**, v. 60, n. esp., p. 31-43, 2011.

SIGATOKA negra de bananas e plátanos. In: BENNETT, R. S.; ARNESON, P. A. The plant health instructor. St. Paul: American Phytopathological Society, 2003. Disponível em: <<https://www.apsnet.org/edcenter/intropp/lessons/fungi/ascomycetes/Pages/BlackSigatokaPort.aspx>>. Acesso em: 23 jun. 2017.

TESSMANN, D. J. **Epidemiologia da ferrugem (*Puccinia psidii* Winter) do jameiro e estudos sobre a germinação dos seus uredinósporos**. 1992. 111 f. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) – Universidade de Brasília, Brasília.

TOOLEY, P. W.; BROWNING, M.; BERNER, D. Recovery of *Phytophthora ramorum* following exposure to temperature extremes. **Plant Disease**, v. 92, n. 3, p. 431-437, 2008.

TRAVERS, S. E.; TANG, Z.; CARAGEA, D.; GARRETT, K. A.; HULBERT, S. H.; LEACH, J. E.; BAI, J.; SALEH, A.; KNAPP, A. K.; FAY, P. A.; NIPPERT, J.; SCHNABLE, P. S.; SMITH, M. D. Variation in gene expression of *Andropogon gerardii* in response to altered environmental conditions associated with climate change. **Journal of Ecology**, v. 98, n. 2, p. 374-383, 2010.

UPCHURCH, R. G.; RAMIREZ, M. E. Effects of temperature during soybean seed development on defense-related gene expression and fungal pathogen accumulation. **Biotechnology Letters**, v. 33, n. 2, p. 2397-2404, 2011.

VALE, F. X. R.; ZAMBOLIM, L.; JESUS JUNIOR, W. V. Efeito da temperatura no período latente de *Hemileia vastatrix* BERK & BR., agente causal da ferrugem do cafeeiro. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 1. 2000, Poços de Caldas. **Resumos expandidos...** Brasília, DF: Embrapa Café: Minasplan, 2000.

WANG, Y.; BAO, Z.; ZHU, Y.; HUA, J. Analysis of temperature modulation of plant defense against biotrophic microbes. **Molecular Plant-Microbe Interactions**, v. 22, n. 5, p. 498-506, 2009.

WEBB, D. H., NUTTER, F. W. Effects of leaf wetness duration and temperature on infection efficiency, latent period, and rate of pustule appearance of rust in alfalfa. **Phytopathology**, v. 87, n. 9, p. 946-950, 1997.

WEBB, K. M.; ONA, I.; BAI, J.; GARRETT, K. A.; MEW, T.; VERA CRUZ, C. M.; LEACH, J. E. A benefit of high temperature: increased effectiveness of a rice bacterial blight disease resistance gene. **New Phytologist**, v. 185, n. 2, p. 568-576, 2010.

WEST, J. S.; KHARBANDA, P. D.; BARBETTI, M. J.; FITT, B. D. L. Epidemiology and management of *Leptosphaeria maculans* (Phoma stem canker) on oilseed rape in Australia, Canada and Europe. **Plant Pathology**, v. 50, n. 1, p.10-27, 2001.

WHITHAM, S.; MCCORMICK, S.; BAKER, B. The N gene of tobacco confers resistance to tobacco mosaic virus in transgenic tomato. **Proceedings of the National Academy Sciences**, v. 93, n. 16, p. 8776-8781, 1996.

WREGE, M. S.; SOUSA, V. A.; FRITZSONS, E.; SOARES, M. T. S.; AGUIAR, A. V. Predicting current and future geographical distribution of *Araucaria* in Brazil for fundamental niche modeling. **Environment and Ecology Research**, v. 4, n. 5, p. 269-279, 2016.

WRIGHT, K. M.; DUNCAN, G. H.; PRADEL, K. S.; CARR, F.; WOOD, S.; OPARKA, K. J.; CRUZ, S.S. Analysis of the N gene hypersensitive response induced by a fluorescently tagged tobacco mosaic virus. **Plant Physiology**, v. 123, n. 4, p.1375-1385, 2000.

Efeito do deficit hídrico sobre a ocorrência de doenças de plantas

Francislene Angelotti e Emília Hamada

Introdução

O Quinto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), baseado em estudos científicos, considera com alta confiabilidade (probabilidade acima de 90%) que a maior parte do incremento observado nas temperaturas médias globais desde meados do século 20 é decorrente do aumento das concentrações de gases de efeito estufa de origem antrópica, evidenciando a influência humana sobre o clima (STOCKER et al., 2013). A mudança no clima não é projetada somente se considerando a alteração dos valores de temperatura, mas também no ritmo esperado de outras variáveis climáticas, tais como precipitação, umidade e ventos, embora se considere que as projeções de temperatura sejam as mais confiáveis (NOBRE et al., 2011). Assim, todos os modelos climáticos globais apresentam concordância entre si, projetando elevações na temperatura global para o próximo século, diferindo apenas quanto à intensidade. As projeções de chuvas, por sua vez, apresentam certa divergência entre os modelos quanto aos padrões ou até mesmo, em alguns lugares, quanto à tendência da mudança.

A escassez de precipitação durante a estação de crescimento afeta a produção agrícola (seca agrícola) ou o ecossistema em geral e, durante a época de ocorrência do escoamento superficial e da percolação, o deficit incide principalmente sobre o suprimento de

água (seca hidrológica). Além disso, as alterações na manutenção da umidade do solo e das águas subterrâneas são adicionalmente influenciadas pelo aumento da evapotranspiração real (FIELD et al., 2012).

A água é um elemento importante tanto para crescimento e o desenvolvimento das plantas quanto para o processo de infecção dos patógenos e, conseqüentemente, atua diretamente na interação planta-patógeno. A ocorrência de doenças em plantas é resultante da favorabilidade do ambiente, da suscetibilidade do hospedeiro e da presença do patógeno. Deste modo, as mudanças climáticas, e em particular a redução da precipitação, por meio do deficit hídrico, poderão causar impactos na ocorrência de doenças em plantas (Figura 1). Além disso, o deficit hídrico poderá causar um efeito direto e/ou indireto tanto no patógeno, quanto na planta hospedeira. No patógeno, poderá causar impacto nas diferentes fases do ciclo de desenvolvimento e nas plantas poderá afetar todo o seu desenvolvimento, aumentando ou diminuindo a suscetibilidade das mesmas. Lonsdale e Gibbs (2002) afirmam que a umidade do ar é um dos elementos fundamentais para a distribuição geográfica de plantas e fungos, interferindo no crescimento, reprodução e dispersão, tanto do patógeno quanto do hospedeiro.

Neste capítulo serão apresentados os cenários climáticos futuros para precipitação e os possíveis impactos sobre a ocorrência de doenças em plantas.

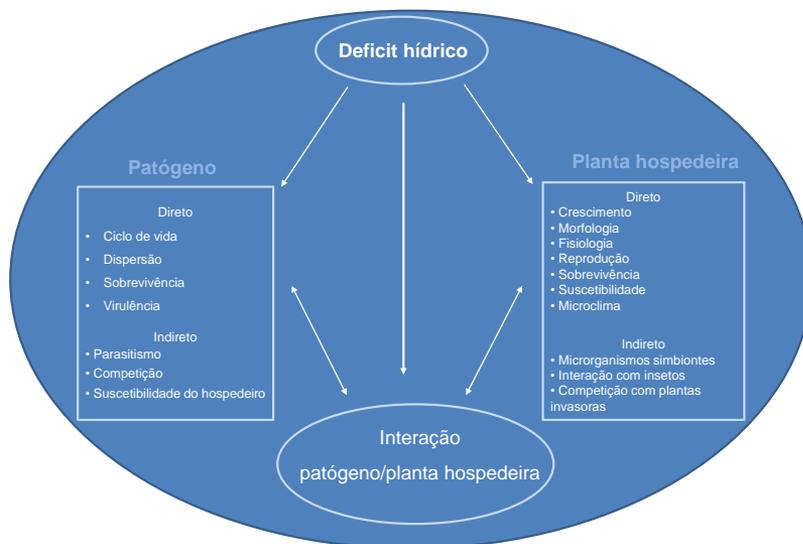


Figura 1. Impactos do deficit hídrico na interação patógeno-hospedeiro.

Projeções climáticas e deficit hídrico

Os recentes relatórios do IPCC vêm indicando melhoria na simulação dos modelos de projeções climáticas e nas técnicas de análise, levando ao aumento na confiança no entendimento da influência das forçantes externas no clima (SOLOMON et al., 2007; STOCKER et al., 2013).. Contudo, apesar de ter havido melhoria na simulação dos padrões de precipitação em escala continental; em escalas regionais, a precipitação ainda não é bem simulada (STOCKER et al., 2013).

Existe uma confiança mediana que eventos de seca se intensificarão no século 21 em algumas estações e áreas, em consequência da redução da precipitação e/ou ao aumento da evapotranspiração, como o sul da Europa e região do Mediterrâneo, a Europa Central, o centro da América do Norte, a América Central e México, o Nordeste do Brasil e o sul da África. Para as demais regiões, em geral, existe uma baixa confiança, em razão da inconsistência

das projeções das mudanças da seca. Uma confiança maior que a média nas projeções de seca tem sido ainda restringida por questões de definição, pela ausência de dados observacionais e pela incapacidade dos modelos atuais de incluir todos os fatores que influenciam a seca (FIELD et al., 2012).

Para o Brasil, Hamada et al. (2011) avaliaram as projeções de precipitações pluviométricas de 15 modelos climáticos globais do Quarto Relatório do IPCC (SOLOMON et al., 2007) e observaram, em média, uma diminuição da precipitação nas estações de inverno e primavera e aumento no verão e outono para o período de 2071-2100, comparado a 1961-1990. Regionalmente, para o Nordeste e Sudeste será estimada diminuição da precipitação no outono, inverno e primavera; porém, os maiores decréscimos ocorrerão no Nordeste e Norte. Destaca-se, o panorama de precipitação para a região Nordeste, que hoje possui a menor precipitação acumulada anual do País e que por essas projeções terá uma escassez de precipitação ainda mais agravada pelos efeitos da mudança climática.

Essa vulnerabilidade à seca do Nordeste brasileiro é enfatizada pelo estudo de Marengo et al. (2016), que consideraram as projeções de precipitação de 24 modelos climáticos globais do Quinto Relatório do IPCC (STOCKER et al., 2013) para o clima projetado para o fim deste século (2071-2100), comparado ao período 1961-1990. Esses autores observaram que mudanças na precipitação regional dependem das forçantes regionais e em como os modelos simulam seus efeitos locais e distantes; e que para o Nordeste, foi observado um espalhamento entre as projeções de precipitação dos diferentes modelos, tornando difícil identificar qualquer mudança. No entanto, considerando-se a média do conjunto de todos os modelos, os autores concluíram, com boa confiabilidade, que as projeções climáticas futuras para a área mostram grandes aumentos de temperatura e reduções de chuvas, o que, juntamente com uma

tendência para períodos mais longos com dias secos consecutivos, sugerem a ocorrência de períodos de deficit hídrico e secas mais frequentes/intensas e uma tendência à aridificação na região.

Deficit hídrico e a interação patógeno-hospedeiro

A água é o componente mais abundante na natureza e um fator limitante para o desenvolvimento das plantas (KRAMER; BOYER, 1995). Assim, o estresse hídrico por seca pode causar um impacto negativo para os cultivos agrícolas. O impacto do deficit hídrico nas espécies vegetais depende da sua intensidade, da duração, do estágio de desenvolvimento da cultura e da capacidade genética das plantas em responder às mudanças do ambiente (SANTOS; CARLESSO, 1998). A compreensão das respostas dos processos fisiológicos quanto às mudanças provocadas por estresse e dos mecanismos de adaptação e de aclimação de plantas é de grande importância para a agricultura (TAIZ; ZEIGER, 2009), porque a falta de água pode tornar as plantas vulneráveis a problemas fitossanitários.

O estresse por deficit hídrico pode contribuir para aumentar a suscetibilidade das plantas à infecção por patógenos, ou até mesmo, induzir mecanismos de defesa, aumentando a resistência das mesmas. Assim, a interação planta-patógeno, poderá responder de diferentes maneiras ao deficit hídrico, podendo aumentar a tolerância e/ou a suscetibilidade das plantas. Além disso, a falta de água pode interferir diretamente no ciclo de desenvolvimento do patógeno, que será discutido no item seguinte. Por isso, os efeitos do deficit hídrico sobre o risco de ocorrência de doenças de plantas também têm sido alvo de pesquisas para os diferentes patossistemas (MAXWELL et al., 1997; MAYEK-PEREZ et al., 2002; XU et al., 2008).

A resposta das plantas ao déficit hídrico é caracterizada por alterações nos processos fisiológicos e bioquímicos, como fotossíntese, respiração, translocação, absorção de íons, carboidratos e metabolismo de nutrientes (JALEEL et al., 2008). A redução no potencial da água no solo pode promover o fechamento parcial dos estômatos e a partir daí há uma redução na condutância estomática, com consequente queda na transpiração e na assimilação de CO₂ e redução na produção de fotoassimilados (TAIZ; ZEIGER, 2009). Desta maneira, algumas plantas, submetidas a períodos prolongados de seca, apresentam maior suscetibilidade ao ataque de fungos, pois as alterações na fotossíntese e na produção de fotoassimilados podem reduzir a oferta de carboidratos, interferindo no metabolismo de compostos de defesa das plantas (McDOWELL et al., 2011). A redução na produção de fotoassimilados diminui a capacidade da planta em produzir compostos de defesa. Em sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench), a baixa umidade do solo provocou uma redução na produção de açúcares totais, que foi correlacionada com o aumento da colonização da *Macrophomina phaseolina* (GOUDARZI et al., 2011). No entanto, o déficit hídrico pode promover a produção de substâncias que estimulam o crescimento de patógenos, como ocorreu em plântulas de *Populus*. Essas plântulas apresentaram um aumento na concentração de aminoácidos como prolina, alanina e asparagina, promovendo maior crescimento das hifas de *Hypoxyton mammatum* (BELANGER et al., 1990).

O déficit hídrico provoca mudanças na relação da célula com a água, incluindo mudanças fisiológicas e morfológicas, como o decréscimo da área foliar e murcha (TAIZ; ZEIGER, 2009). Assim, plantas sob déficit hídrico e com ataque de patógenos podem apresentar maior severidade das doenças. Em feijão (*Phaseolus vulgaris*), o déficit hídrico, associado ao ataque do fungo *Macrophomina phaseolina*, resultou em maior taxa de transpiração e temperatura da folha, em

comparação com plantas submetidas apenas ao estresse hídrico (MAYEK-PEREZ et al., 2002). Em plantas de hera-americana (*Parthenocissus quinquefolia*), cultivadas em solo com baixa umidade e infectadas pela bactéria *Xylella fastidiosa*, foi observada maior severidade da queima das folhas, com redução da área foliar e no comprimento da parte aérea e alterações no potencial hídrico, na condutância estomática, em comparação com plantas infectadas que cresceram em solo com umidade adequada (McELRONE et al., 2001).

Em algumas situações, os microrganismos causadores de doenças podem estar presentes no hospedeiro antes do deficit hídrico, como saprófitas ou endofíticos, podendo causar maior dano às plantas em períodos de seca (BOYER, 1995). Os fungos *Fusarium* e *Verticillium*, por exemplo, precisam da umidade do solo para causar a infecção. Entretanto, após o seu estabelecimento nas plantas, os maiores danos são observados em plantas sob restrição hídrica, porque a murcha causada por estes patógenos reduz o transporte de água pelo xilema (MARKELL et al., 2008). Outros patógenos como os fungos *Botryosphaeria dothidea* (MA et al., 2001) e *Diplodia mutila* (RAGAZZI et al., 1999) também aumentaram a sua agressividade em plantas submetidas ao deficit hídrico. O aumento da suscetibilidade das plantas, sob déficit hídrico, foi observada nas interações: “*Macrophomina phaseolina* - feijão” (MAYEK-PEREZ et al., 2002); “*Septoria musiva* – álamo” (MAXWELL et al., 1997); “*Lasiodiplodia theobromae* – *Cornus florida*” (MULLEN et al., 1991); “Vírus do mosaico severo do caupi (CPSMV) – feijão-caupi” (SILVA, et al., 2016); “*Phytophthora cinnamomi* – carvalho” (MARÇAIS et al., 1993).

O efeito do deficit hídrico pode diminuir a importância de alguns problemas fitossanitários por causa do fechamento dos estômatos das plantas. Isso porque, diversos fungos utilizam os estômatos como via de entrada para o início do processo de infecção. Assim,

o fechamento dos estômatos pelo déficit hídrico pode restringir a penetração do patógeno na planta hospedeira. Os fungos *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* (LEONARD; SZABO, 2005), *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* (MOLDENHAUER et al., 2006) e *Plasmopara viticola* (ALLÈGRE et al., 2007) são alguns exemplos de patógenos que utilizam os estômatos como a via de penetração no tecido da planta hospedeira.

O tipo de interação trófica estabelecida entre o patógeno e o hospedeiro também terá influência sobre a ocorrência de doenças em plantas sob déficit hídrico. Em espécies florestais, os patógenos necrotróficos, que mantêm uma atividade saprofítica e retiram os nutrientes de células mortas, podem acelerar a mortalidade de árvores em ambiente com déficit hídrico. Já os patógenos biotróficos, que obtêm alimento diretamente a partir de tecidos vivos, podem causar menor impacto em plantas sob déficit hídrico (OLIVA et al., 2014).

A complexidade da interação patógeno-hospedeiro evidencia que diferentes mecanismos são apresentados pelas espécies em resposta às mudanças climáticas. Tanto a infecção por patógeno, quanto o déficit hídrico, promovem o estresse nas plantas e interferem em sua capacidade de defesa. Às vezes, ocorre uma sobreposição na sinalização das respostas pelas plantas, o que pode explicar a proteção ou a tolerância cruzada (DESPREZ-LOUSTAU et al., 2006).

Em coníferas, mudas sob déficit hídrico apresentaram a produção de quitinase, substância produzida em resposta ao ataque de *Rhizoctonia* sp. (NAGY et al., 2004). Outra resposta interessante é a produção de substâncias como prolina, açúcares, putrescina e antioxidantes, em plantas infectadas por vírus, conferindo tolerância à seca, em plantas de tabaco (XU et al., 2008). Em alguns estudos é relatado que podem ocorrer alterações na transcrição de

genes associados à resistência do hospedeiro em decorrência do deficit hídrico (ARANGO-VELEZ et al., 2014). Assim, os estudos moleculares têm avançado nos últimos anos, a fim de entender as vias de sinalização e os genes envolvidos na resistência a agentes fitopatogênicos e ao deficit hídrico.

Deficit hídrico e o ciclo de desenvolvimento do patógeno

A precipitação é um elemento climático importante para a infecção de patógenos em plantas e pode atuar nas diferentes etapas do ciclo de desenvolvimento da doença. Assim, o deficit hídrico pode causar um impacto direto sobre o patógeno, tornando o ambiente mais ou menos favorável para a infecção, para o desenvolvimento da doença e sua disseminação.

No início do processo de infecção, a maioria dos fungos necessita de água livre para a germinação dos conídios. Para *Phytophthora* spp., água livre é necessária para a produção, dispersão e germinação de zoósporos (MAFFIA; MIZUBUTI, 2005). Os esporos de *Alternaria brassicae*, *Colletotrichum gloeosporioides* e *Ustilago maydis* também exigem umidade atmosférica acima de 90% para germinarem. Da mesma maneira que a umidade, o período de molhamento foliar também é importante para o estabelecimento de doenças em plantas, determinando a intensidade da infecção. Algumas doenças típicas como o míldio da videira e o mal-das-folhas em seringueira, causadas pelos fungos *Plasmopara viticola* e *Microciclus ulei*, respectivamente, requerem no mínimo 2 horas de molhamento foliar para causar a infecção. Esses fungos também necessitam de água livre para a formação de suas estruturas reprodutivas. Assim, a seca pode retardar o desenvolvimento de fungos patogênicos, porque muitos dependem da água para o seu desenvolvimento (KLOPFENSTEIN et al., 2009).

Os patógenos respondem de modo diferente à umidade e existem valores mínimos, ótimos e máximos de umidade para cada fase do ciclo de desenvolvimento dos mesmos. No caso dos oídios, o molhamento foliar pode inibir a germinação dos conídios. Outro exemplo de patógeno favorecido pela seca é o fungo *Macrophomina phaseolina*, porque ele consegue produzir grandes quantidades de microesclerócios em condições de baixo potencial osmótico (KENDIG et al., 2000).

Além de atuar na fase inicial do ciclo de infecção, a precipitação poderá interferir na disseminação dos fungos fitopatogênicos, por meio dos respingos de chuva (KLOPFENSTEIN et al., 2009). Alguns patógenos foliares, como *Colletotrichum gloeosporioides* (VIEGAS, 2001) e *Lasiodiplodia theobromae* (ÚRBEZ-TORRES et al., 2010) são dispersos por meio de respingos de chuva. Assim, os agentes patogênicos que necessitam chuva para a sua disseminação poderão apresentar menor impacto em períodos secos.

As alterações na precipitação também influenciarão diretamente a sobrevivência dos patógenos de plantas. Alguns patógenos de solo, como *Phytophthora* e *Sclerotium*, apresentam o desenvolvimento de estruturas de resistência, denominadas de oósporos e escleródios, respectivamente. Essas estruturas são capazes de sobreviver em condições de baixa umidade. Além disso, existem doenças causadas por *Sclerotium* e *Macrophomina*, cuja medida de controle é a inundação do solo. Desta maneira, em um cenário de diminuição na precipitação, a sobrevivência destes fungos poderá ser favorecida, sendo necessárias medidas de manejo para o seu controle.

Considerações finais

O conhecimento sobre os efeitos do deficit hídrico na ocorrência e severidade de problemas fitossanitários é um assunto complexo. Entretanto, os pesquisadores estão em alerta para entender os prováveis impactos da seca na interação patógeno/praga-hospedeiro. A ocorrência de uma doença, sua distribuição e severidade estão condicionadas à ação direta do ambiente sobre o agente fitossanitário e a planta hospedeira. Os resultados de pesquisa já indicam que alterações na precipitação irão interferir no desenvolvimento da doença, modificando a resistência do hospedeiro e a interação patógeno-hospedeiro. Isso implicará em novas interações entre patógeno-hospedeiro para os diversos sistemas de cultivo, causando perdas na produção agrícola e alterações nos ecossistemas com consequentes modificações nas estratégias de manejo. Assim, a geração desses conhecimentos será determinante para orientar políticas e práticas de mitigação e adaptação, com o objetivo de minimizar os impactos da seca, que já é um fator limitante para a produção agrícola.

Referências

- ALLÈGRE, M.; DAIRE, X.; HÉLOIR, M. C.; TROUVELOT, S.; MERCIER, L.; ADRIAN, M.; PUGIN, A. Stomatal deregulation in *Plasmopara viticola* - infected grapevine leaves. **New phytologist**, v. 173, n. 4, p. 832-840, 2007.
- ARANGO-VELEZ, A.; GONZALEZ, L. M.; MEENTS, M. J.; EL-KAYAL, W.; COOKE, B. J.; LINSKY, J.; LUSEBRINK, I.; COOKE, J. E. K. Influence of water deficit on the molecular responses of *Pinus contorta* x *Pinus banksiana* mature trees to infection by the mountain pine beetle fungal associate *Grosmannia clavigera*. **Tree Physiology**, v. 34, n. 11, p. 1220-1239, 2014.
- BELANGER, R. R.; MANION, P. D.; GRIFFIN, D. H. Amino acid content of water-stressed plantlets of *Populus tremuloides* clones in relation to clonal susceptibility to *Hypoxyton mammatum* *in vitro*. **Canadian Journal Botany**, v. 68, n. 1, p. 26-29, 1990.

BOYER, J. S. Biochemical and biophysical aspects of water deficits and the predisposition to disease. **Annual Review of Phytopathology**, v. 33, p. 251-274, 1995.

DESPREZ-LOUSTAU, M. L.; MARCAIS, B.; NAGELEISEN, L.-M.; PIOUS, D. A.; VANNINI, A. Interactive effects of drought and pathogens in forest trees. **Annals of Forest Science**, v. 63, n. 6, p. 597-612, 2006.

FIELD, C. B.; BARROS, V.; STOCKER, T. F.; QIN, D.; DOKKEN, D. J.; EBI, K. L.; MASTRANDREA, M. D.; MACH, K. J.; PLATTNER, G.-K.; ALLEN, S. K.; TIGNOR, M.; MIDGLEY, P. M. (Ed.). **Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation: a special report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge: Cambridge University, 2012. 582 p.

GOUDARZI, S.; BANIHASHEMI, Z.; MAFTOUN, M. Effect of salt and water stress on root infection by *Macrophomina phaseolina* and ion composition in shoot in sorghum. **Iran Journal Plant Pathology**, v. 47, n. 3, p. 69-83, 2011.

HAMADA, E.; GHINI, R.; MARENGO, J. A.; THOMAZ, M. C. Projeções de mudanças climáticas para o Brasil no final do século XXI. In: GHINI, R.; HAMADA, E.; BETTIOL, W. (Ed.). **Impactos das mudanças climáticas sobre doenças de importantes culturas no Brasil**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2011. p. 41-74.

JALEEL, C. A.; GOPI, R.; SANKAR, B.; GOMATHINAYAGA, M.; PANNEERSELVAM, R. Differential responses in water use efficiency in two varieties of *Catharanthus roseus* under drought stress. **Comptes Rendus Biologies**, v. 331, n. 1, p. 42-47, 2008.

KENDIG, S. R.; RUPE, J. C.; SCOTT, H. D. Effect of irrigation and soil water stress on densities of *Macrophomina phaseolina* in soil and roots of two soybean cultivars. **Plant Disease**, v. 84, n. 8, p. 895-900, 2000.

KLOPFENSTEIN, N. B.; KIM, M. -S.; HANNA, J. W. **Approaches to predicting potential impacts of climate change on forest disease: an example with Armillaria root disease**. Fort Collins: Department of Agriculture, Rocky Mountain Research Station, 2009. 10 p. (Research Paper RMRS-RP-76).

KRAMER, P. J.; BOYER, J. S. **Water relations of plants and soils**. New York: Academic, 1995. 482 p.

LEONARD, K. J.; SZABO, L. J. Stem rust of small grains and grasses caused by *Puccinia graminis*. **Molecular Plant Pathology**, v. 6, n. 2, p. 99-111, 2005.

LONSDALE, D.; GIBBS, J. Effects of climate change on fungal diseases of trees. In: BROADMEADOW, M. (Ed.) **Climate change: impacts on UK forests**. Bristol, UK: Forestry Commission, 2002. p. 83-97 (Forestry Commission Bulletin, 125).

MA, Z. H.; MORGAN, D. P.; MICHAILIDES, T. J. Effects of water stress on Botryosphaeria blight of pistachio caused by *Botryosphaeria dothidea*. **Plant Disease**, v. 85, n. 7, p. 745-749, 2001.

MAFFIA, L. A.; MIZUBUTI, E. S. G. **Epidemiologia de doenças radiculares**. In: MICHEREFF, S. J.; ANDRADE, D. E. G. T.; MENEZES, M. (Org.). *Ecologia e manejo de patógenos radiculares em solos tropicais*. Recife: Ed. da UFRPE, 2005. p. 207-236.

MARÇAIS, B.; DUPUIS, F.; DESPREZ-LOUSTAU, M. L. Influence of water stress on susceptibility of red oak (*Quercus rubra*) to *Phytophthora cinnamomi*. **European Journal of Plant Pathology**, v. 23, n. 5, p. 295-305, 1993.

MARENGO, J. A.; TORRES, R. R.; ALVES, L. M. Drought in northeast Brazil – past, present, and future. **Theoretical and Applied Climatology**, 2016. DOI:10.1007/s00704-016-1840-8.

MARKELL, S.; KHAN, M.; SECOR, G.; GULYA, T.; LAMEY, A. **Row crop diseases in drought years**. Fargo: NDSU, 2008. 2 p. (NDSU. PP 1371).

MAXWELL, D. L.; KRUGER, E. L.; STANOSZ, G. R. Effects of water stress on colonization of poplar stems and excised leaf disks by *Septoria musiva*. **Phytopathology**, v. 87, n. 4, p. 381-88, 1997.

MAYEK-PEREZ, N.; GARCIA-ESPINOSA, R.; LOPEZ-CASTANEDA, C.; ACOSTA-GALLEGOS, J. A.; SIMPSONV, J. Water relations, histopathology and growth of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) during pathogenesis of *Macrophomina phaseolina* under drought stress. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, v. 60, n. 4, p. 185-195, 2002.

McDOWELL, N. G.; BEERLING, D. J.; BRESHEARS, D. D. The interdependence of mechanisms underlying climate-driven vegetation mortality. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 26, n. 10, p. 523-532, 2011.

McELRONE, A. J.; SHERALD, J. L.; FORSETH, I. N. Effects of water stress on symptomatology and growth of *Parthenocissus quinquefolia* infected by *Xylella fastidiosa*. **Plant Disease**, v. 85, n. 11, p. 1160-1164, 2001.

MOLDENHAUER, J.; MOERCSHBACHER, B. M.; WESTHUIZEN, A. J. van der. Histological investigation of stripe rust (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*). **Plant Pathology**, v. 55, n. 4, p. 469-474, 2006.

MULLEN, J. M.; GILLIAM, C. H.; HAGAN, A. K.; MORGAN-JONES, G. Canker of dogwood caused by *Lasiodiplodia theobromae*, a disease influenced by drought stress or cultivar selection. **Plant Disease**, v. 5, p. 886-889, 1991.

NAGY, N. E.; FOSSDAL, C. G.; DALEN, L. S.; LONNEBORG, A.; HELDAL, I.; JOHNSEN, O. Effects of *Rhizoctonia* infection and drought on peroxidase and chitinase activity in Norway spruce (*Picea abies*). **Physiological Plant**, v. 120, n. 3, p. 465-473, 2004.

NOBRE, C.; MARENGO, J. A.; SAMPAIO, G.; BETTS, R.; KAY, G. Mudanças climáticas globais e regionais. In: MARENGO, J. A.; BETTS, R. (Coord.). **Riscos das mudanças climáticas no Brasil: análise conjunta Brasil-Reino Unido sobre os impactos das mudanças climáticas e do desmatamento na Amazônia**. São José dos Campos: INPE, 2011. p. 25-29. Disponível em: <http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmclima/pdfs/destaques/relatorio_port.pdf> Acesso em: 23 jul. 2012.

OLIVA, J.; STENLID, J.; MARTINEZ-VILALTA, J. The effect of fungal pathogens on the water and carbon economy of trees: implications for drought-induced mortality. **New Phytologist**, v. 203, n. 4, p. 1028-1035, 2014.

RAGAZZI, A.; MORICCA, S.; DELLAVALLE, I. Water stress and the development of cankers by *Diplodia mutila* on *Quercus robur*. **Journal Phytopathology**, v. 147, n. 7-8, p. 425-428, 1999.

SANTOS, R. F.; CARLESSO, R. Déficit hídrico e os processos morfológicos e fisiológicos das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 2, n. 3, p. 287-294, 1998.

SILVA, R. G. G.; VASCONCELOS, I. M.; MARTINS, T. F.; VARELA, A. L. N.; SOUZA, P. F. N.; LOBO, A. K. M.; SILVA, F. D. A.; SILVEIRA, J. A. G.; OLIVEIRA, J. T. A. Drought increases cowpea (*Vigna unguiculata* [L.] Walp.) susceptibility to cowpea severe mosaic virus (CPSMV) at early stage of infection. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 109, p. 91-102, 2016.

SOLOMON, S.; QIN, D.; MANNING, M.; CHEN, Z.; MARQUIS, M.; AVERYT, K. B.; TIGNOR, M.; MILLER, H. L. (Ed.). **Climate Change 2007: the physical science basis: contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge: Cambridge University, 2007. 996 p.

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: contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge: Cambridge University, 2013. 1535 p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 819 p.

ÚRBEZ-TORRES, J. R.; BATTANY, M.; BETTIGA, L. J.; GISPERT, C.; MCGOURTY, G.; RONCORONI, J.; SMITH, R. J.; VERDEGAAL, P.; GUBLER, W. D. *Botryosphaeriaceae* species spore-trapping studies in California vineyards. **Plant Disease**, v. 94, n. 6, p. 717-724, 2010.

VIEGAS, E. N. **Dispersão de *Colletotrichum gloeosporioides*, agente etiológico de antracnose da cebola, pela água**. 2001. 52 f. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

XU, P.; CHEN, F.; MANNAS, J. P.; FELDMAN, T.; SUMNER L. W.; ROOSSINCK, M. J. Virus infection improves drought tolerance. **New Phytologist**, v. 180, n. 4, p. 911-921, 2008.

Influência do aquecimento global na quebra de resistência genética a doenças em hortaliças

Kátia R. Brunelli, Ricardo Gioria e Romulo F. Kobori

Introdução

Muito se tem discutido sobre os prováveis impactos das mudanças climáticas na vida do planeta Terra. Além dos efeitos diretos sobre o bem-estar humano, os resultados do aquecimento global podem comprometer a sobrevivência de espécies que servem de alimento para o homem. Esses efeitos sobre a agricultura podem frear o desenvolvimento humano e comprometer, por exemplo, a mitigação da fome em nações em desenvolvimento.

O novo cenário climático, previsivelmente com temperaturas mais altas, provocará uma pressão evolutiva sobre os organismos, fazendo com que determinados vegetais desapareçam com o aquecimento global. Por exemplo, como discutido por Brunelli et al. (2011), apesar de todo apelo nutricional das espécies pertencentes à família das brássicas, as alterações climáticas podem elevar o custo de produção a tal ponto que essas se tornarão economicamente pouco atrativas para grande parte da população mundial. Isso será comum em muitas espécies hortícolas já que a maior parte delas tem seu centro de origem e/ou domesticação em ambiente temperado, cujas temperaturas raramente ultrapassam os 23°C ou 24°C.

Os programas de melhoramento genético de espécies olerícolas vêm buscando promover adaptabilidade ao ambiente tropical.

Usando o mesmo exemplo das brássicas, muitas variedades e híbridos hoje cultivados no Brasil toleram ao menos 3°C a mais do que aqueles cultivados na Europa e Japão. Entretanto, se as temperaturas elevarem ainda mais é provável que a base genética disponível para esses vegetais, no que tange a tolerância térmica, seja insuficiente para continuar com seu cultivo nos trópicos.

Existem espécies que são altamente adaptadas a elevadas temperaturas e insolação em função de sua evolução fisiológica. As plantas C4, por exemplo, onde se encontram grande parte das gramíneas e bromeliáceas, evoluíram nos trópicos e possuem capacidade adaptativa de suportar alta intensidade de luz e altas temperaturas. Essas plantas possuem mecanismos estruturais e bioquímicos que lhes permitem utilizar, de forma mais eficiente, o CO₂ quando comparadas às plantas de comportamento C3 (demais gimnospermas mais adaptadas aos ambientes temperados). Além disso, possuem menor abertura estomática, o que lhes garante menor perda de água. Apesar dessa capacidade adaptativa garantir farta produção nos trópicos, a dieta humana precisa de diversificação e plantas C3, como as olerícolas, compõem parte importante dessa alimentação. Nas plantas de comportamento C3, genes de tolerância/resistência à seca e alta temperatura podem conferir a elas a adaptação necessária para sobrevivência e produção no ambiente tropical.

Apesar da incorporação de resistência a fatores abióticos ser primordial em culturas de interesse, a inserção de outros genes, como aqueles que conferem resistência a estresses bióticos, é altamente desejável em programas de melhoramento genético que visem genótipos de alta performance. Na olericultura, genes de resistência a patógenos e pragas são, em muitos casos, essenciais e a presença deles em um híbrido ou variedade é o que faz a diferença entre produzir e não produzir. A ação do ambiente também influencia na expressão de muitos desses genes. Um exemplo disso é o gene

Mi-1, que confere resistência a várias espécies de nematoides do gênero *Meloidogyne* em tomate (*Solanum lycopersicum*). Quando a temperatura ambiente supera os 28°C a resistência é quebrada e as plantas se comportam como suscetíveis. Diante de um cenário de aquecimento global, entender a ação climática sobre os fatores genéticos é imprescindível para reduzir os impactos negativos. Neste capítulo, foram reunidas informações sobre a ação da elevação térmica na expressão de alguns genes de resistência a patógenos que incidem em culturas olerícolas e que são hoje utilizados em programas de melhoramento genético.

A temperatura modulando respostas de defesa das plantas

A interação entre patógeno e hospedeiro é reconhecidamente influenciada por fatores ambientais, dentre eles a temperatura. Sua elevação ou redução pode alterar a taxa de desenvolvimento do patógeno, modificar a expressão de genes do hospedeiro, promover mudanças fisiológicas na planta e alterar padrões de resistência esperados para os cultivares. Além disso, pode agir também na interação entre eles, incrementando ou diminuindo a intensidade da doença (GARRETT et al., 2006). Estudos em plantas modelo como arroz (*Oryza sativa*) e *Arabidopsis thaliana* têm sido realizados para determinar como a temperatura modula os sinais de resposta da planta a fitopatógenos. Já se sabe que muitos genes basais como aqueles relacionados à família das proteínas R podem ser ligados e desligados diante de alterações térmicas (JONG et al., 2002; YANG; HUA, 2004). Essas proteínas, codificadas pelos genes R, estão envolvidas na primeira fase da interação entre planta e patógeno, sendo responsáveis pela ativação ou não dos mecanismos de defesa. É esperado que em muitos patossistemas o aumento da temperatura iniba as respostas de defesa mediadas por esses genes, provocando sintomas decorrentes de patógenos mesmo em plantas

consideradas resistentes. Além disso, genes relacionados à indução de resistência sistêmica, como os ligados a produção de ácido salicílico, jasmonatos e etilenos, também são influenciados diretamente pela mudança de temperatura (DAT et al., 1998; McGRATH, 2005; ZHAO et al., 2013). A depender da interação entre a planta e o ambiente, esses sinalizadores podem não ser expressos impedindo que outros genes de defesa sejam ligados. Entretanto, não existe uma regra geral da interferência da temperatura nos genes de defesa, sejam eles da resistência basal ou induzida, para todos os patossistemas. Projetar a ação da temperatura nas respostas de defesa requer olhar individualmente cada interação entre patógeno e hospedeiro.

Efeito da temperatura na resistência de solanáceas e cucurbitáceas ao *Cucumber mosaic virus* (CMV)

Popularmente conhecido como vírus do mosaico do pepino, o CMV infecta por volta de cem famílias botânicas e mais de mil espécies vegetais, incluindo as cucurbitáceas, solanáceas e asteráceas. É um vírus cosmopolita, transmitido experimentalmente de maneira mecânica e na natureza pela semente de algumas espécies vegetais e pela picada de prova de mais de 60 espécies de afídeos. Os sintomas vão desde mosaico leve e/ou severo a nanismo e manchas em frutos. Já foram reportadas muitas variantes desse vírus (PALUKAITIS et al., 1992), sendo essas classificadas em ao menos dois grupos (I e II) e dois subgrupos (IA e IB) (ROOSSINCK, 2002). Alguns relatos da literatura demonstram que a intensidade do sintoma em uma mesma espécie de planta pode variar conforme o isolado do vírus. Roossinck e Palukaitis (1990) avaliaram dois isolados de CMV em alguns cultivares de abóbora (*Cucurbita pepo*) e constataram que um deles, o Fyn-CMV, causou sintoma sistêmico severo três dias após a inoculação, enquanto o Sny-CMV provocou apenas mosaico leve, sete dias após a inoculação.

Além da influência do isolado na severidade da doença, fatores ambientais, como a temperatura, também podem modular a expressão de sintomas nos hospedeiros, quando os mesmos são infectados com o CMV. Os trabalhos realizados por Valkonen e Watanabe (1995) com variedades diplóides de batata (*Solanum tuberosum*) resistentes ao CMV demonstraram que as plantas mantinham-se resistentes quando cultivadas a 18°C, mas apresentavam-se suscetíveis quando submetidas a temperaturas ao redor de 28°C. Valkonen e Watanabe (1999) e Celebi-Toprak et al. (2003) corroboraram os trabalhos daqueles autores e demonstraram que os genes de resistência presentes naquelas variedades interferiam no movimento das partículas virais a longas distâncias quando as plantas eram cultivadas em temperaturas amenas (até 24°C). Por outro lado, quando submetidas a temperaturas mais elevadas (acima de 28°C), esses genes diminuía a expressão e as plantas tornavam-se suscetíveis.

O oposto tem sido observado quando isolados de CMV são inoculados em plantas da família das cucurbitáceas. Pink e Walkey (1985) demonstraram que plantas de abóbora (*Cucurbita pepo*) que foram suscetíveis quando cultivadas a 20°C tornaram-se resistentes a 25°C. Também Roossinck (1991) observou que muitos isolados de CMV não foram capazes de infectar plantas de meloeiro (*Cucumis melo*) sob temperaturas elevadas. Nesse estudo, o autor inoculou plantas de meloeiro suscetíveis ao vírus e as manteve a 27°C e 37°C. Todos os isolados replicaram, translocaram e reproduziram sintoma sistêmico a 27°C, entretanto, parte deles não foi capaz de replicar e causar sintomas a 37°C. Testes de ELISA confirmaram a não translocação sistêmica das partículas virais na maior temperatura. Isso pode ser uma evidência de que alguns isolados de CMV, quando infectam plantas de meloeiro sob temperaturas ao redor de 37°C, perdem a capacidade de induzir a replicação de novas partículas. Esses estudos com plantas de cucurbitáceas demons-

tram claramente a ação da temperatura na replicação viral. Nesse caso, a expressão da resistência parece estar mais relacionada à ação desse fator no patógeno e menos no hospedeiro. Apesar das condições experimentais serem diferentes entre os estudos, é pertinente supor que plantas de meloeiro mantêm condição adequada de replicação viral em temperaturas superiores àquelas suportadas pelas plantas de abóbora. Isso evidencia a especificidade genética de cada espécie, mesmo dentro de uma mesma família botânica.

O efeito da temperatura na expressão de sintomas causados pelo CMV também foi comprovado experimentalmente na cultura do pimentão (*Capsicum annuum*) por Nono-Womdim et al. (1991). Nesse trabalho, a variedade Milord, usada como fonte de resistência a esse vírus em programas de melhoramento genético, permaneceu resistente quando as plantas foram mantidas entre 21°C e 32°C, mas a resistência foi superada quando o regime de temperaturas foi alterado para 12°C a 25°C. Os genes contidos nessa variedade estão relacionados à resistência a translocação das partículas virais, impedindo ou dificultando a movimentação sistêmica do vírus. Os estudos indicam que sob temperatura mais baixa, a capacidade de barrar a migração do vírus é perdida e as plantas tornam-se suscetíveis, enquanto que em alta temperatura os genes mantêm o comportamento padrão. É esperado que variedades resistentes produzidas a partir desta fonte, permaneçam resistentes frente a um cenário climático com temperaturas mais elevadas.

Como visto nesses exemplos, a resistência de plantas ao CMV diante de um ambiente mais quente não manterá uma única regra para todas as culturas hospedeiras. O comportamento da doença dependerá da espécie e da estabilidade dos fatores genéticos disponíveis.

Efeito da temperatura na resistência de solanáceas ao Tospovírus

Várias espécies de vírus do gênero *Tospovirus* são capazes de causar a doença conhecida popularmente como vira-cabeça em muitas famílias botânicas, dentre elas as solanáceas. No Brasil, já foram relatadas *Tomato spotted wilt virus* (TSWV), *Iris yellow spot virus* (IYSV), *Tomato chlorotic spot virus* (TCSV), *Groundnut ringspot virus* (GRSV) e *Chrysanthemum stem necrosis virus* (CSNV). Esses vírus são transmitidos por espécies de tripes de forma circulativa e propagativa, sendo *Frankliniella occidentalis* e *Frankliniella shultzei* as mais comumente associadas à transmissão.

Vários trabalhos foram realizados para determinar a estabilidade do gênero *Tospovirus* à elevação térmica. A maioria dos estudos, como aquele conduzido por Roggero e Pennazio (1997), sugere que para completa inativação das partículas são necessárias temperaturas acima de 45°C, superiores às suportadas pela maioria das espécies hospedeiras. Desse modo, a inativação térmica do vírus no campo ocorrerá após as plantas hospedeiras sucumbirem.

O aumento de temperatura também pode influenciar na expressão dos genes presentes em algumas fontes de resistência, tornando-os menos efetivos. Fontes de resistência que induzem reação local de hipersensibilidade (HR) são as mais utilizadas para controlar o TSWV em pimentão. Nesse tipo de resistência, a planta confina o vírus logo após a sua infecção matando o tecido no ponto da entrada, inativando o potencial sistêmico do patógeno e, por consequência, a sua colonização. Roggero et al. (1996) comprovaram a quebra da reação de HR quando dois acessos resistentes de *Capsicum chinense* (PI 152225 e PI 159236), provavelmente portadores de alelos do locus de resistência *Tsw*, foram expostos a 33°C durante 10 dias. Plantas jovens, com até quatro folhas verdadeiras, foram aquelas que primeiro perderam a capacidade de impedir a

colonização do vírus (quebra da resposta de HR) quando submetidas ao contínuo estresse térmico. Moury et al. (1998) corroboraram os estudos de Roggero et al. (1996) e comprovaram que populações heterozigotas apresentaram maior quantidade de plantas com infecção sistêmica do que aquelas homozigotas. Com a falta de mecanismo capaz de evitar a entrada do patógeno no ponto de inoculação, o vírus se tornou sistêmico causando sintomas severos. Nesse caso, os alelos do *locus Tsw* tiveram sua resistência suplantada quando submetidos à alta temperatura. Este *locus* é rotineiramente usado em programas de melhoramento da cultura e diante de um cenário mais aquecido é provável que híbridos hoje resistentes ao vira-cabeça passem a ter comportamento de suscetibilidade em épocas ou locais onde a temperatura ultrapasse os 30°C.

Também na cultura do tomateiro já foram relatadas quebra de resistência ao TSWV associada ao calor. Mitidieri et al. (2001) demonstraram que temperaturas acima de 32°C foram suficientes para reduzir a ação do gene de resistência *Sw-5*. As plantas portadoras deste gene quando inoculadas e mantidas sob estresse térmico apresentaram grande número de lesões locais e elevados valores de absorvância no teste de ELISA, demonstrando aumento na replicação viral. Em regiões ou épocas quentes do ano, não é incomum observar sintomas de vira-cabeça em algumas plantas de tomateiro mesmo em híbridos portadores de genes de resistência a TSWV. Assim como acontece para a cultura do pimentão, é pertinente supor que se não houver disponibilidade de outros genes de resistência termoestáveis, a importância do vira-cabeça vai aumentar diante das projeções de elevação térmica.

As altas temperaturas também afetam a expressão dos sintomas do TSWV em fumo (*Nicotiana tabacum*), outra solanácea de grande importância econômica. Nos trabalhos de Llamas-Llamas et al. (1998), plantas suscetíveis de fumo, quando inoculadas e mantidas a baixas temperaturas (abaixo de 23°C), mostram apenas lesões

locais (anéis cloróticos concêntricos). Porém, quando foram conduzidas em altas temperaturas (acima de 26°C) produziram tanto lesões locais quanto sistêmicas. A propriedade sistêmica da doença provocou a morte de 32% das plantas inoculadas. Diante da elevação na média térmica, essa cultura também sofrerá com o aumento dos sintomas provocados pelo vírus.

Os resultados dos trabalhos que visam determinar a ação térmica sob o vira-cabeça comprovam que a temperatura afeta a translocação e acúmulo das partículas virais em solanáceas, aumentando a severidade da doença. Em se confirmando a elevação da temperatura para os próximos anos, haverá aumento da importância do vira-cabeça nas solanáceas uma vez que os fatores genéticos hoje utilizados nos programas de melhoramento não são suficientes para barrar a ação do vírus diante do novo cenário.

Efeito da temperatura na resistência de variedades de batata a *Phytophthora infestans*

Phytophthora infestans, causador da doença conhecida como requeima, é um dos principais patógenos da cultura da batata por causar grandes danos à área foliar e reduzir a formação dos tubérculos. Alta umidade relativa, com dias seguidos de chuva, associada à temperatura ambiente abaixo dos 22°C são condições ideais para epidemias. Além de modular a ação do patógeno na interação com o hospedeiro, a temperatura também influencia na expressão da resistência de muitas variedades de batata. Parker et al. (1992) relataram diferenças na resistência da variedade Alpha quando plantada em diferentes ambientes. Esta variedade foi considerada resistente em Toluca (México), enquanto nas imediações de Nova Iorque (EUA) ela mostrou apenas um moderado nível de resistência à doença. Na primeira localidade, a temperatura mé-

dia durante a condução dos experimentos foi de 18°C a 20°C e na segunda, de 20°C a 22°C. Na ocasião os autores discutiram a possibilidade de haver diferentes patótipos ou raças de *Phytophthora infestans* que estariam contribuindo para a quebra da resistência nos Estados Unidos. Entretanto, eles relataram a necessidade de estudos mais aprofundados sobre a interação do hospedeiro com as diferentes condições ambientais, uma vez que havia indícios de que a temperatura estaria modulando a expressão da resistência nessa variedade.

Rubio-Covarrubias et al. (2005), com base nos trabalhos de Parker et al. (1992), estudaram o efeito da temperatura na resistência de variedades de batata amplamente cultivadas no México. Duas dessas variedades portavam genes conhecidos de resistência e outras duas combinavam genes de grande e pequeno efeito, sendo consideradas variedades com adequado nível de resistência a *Phytophthora infestans*. Nos testes conduzidos em condições controladas, esses autores demonstraram a correlação negativa entre resistência e temperatura para todas as variedades, ou seja, à medida que a temperatura aumentava o nível de resistência decrescia. Plantas mantidas a 16°C mantiveram o nível de resistência esperado para cada variedade, enquanto que a 24°C, o número e tamanho das lesões de *Phytophthora infestans* aumentaram. Os mecanismos genéticos que sofreram interferência da temperatura não foram completamente elucidados até o momento. Mas é razoável supor que haja uma redução na expressão de genes responsáveis pela sinalização da colonização do patógeno, já que a área abaixo da curva de progresso da doença foi significativamente maior em plantas submetidas à temperatura de 24°C. Havendo redução na expressão destes genes, o fungo passa a ter vantagem sobre o hospedeiro e os genes de resistência deixam de ter a ação esperada, aumentando a suscetibilidade.

Num cenário futuro de aquecimento é possível prever que as variedades com este *background* genético serão mais suscetíveis a requeima. Basta saber se dentro da população de *Phytophthora infestans* haverá plasticidade suficiente para a manutenção da capacidade de reprodução e infecção, uma vez que as populações conhecidas deste oomiceto tem dificuldades de reprodução e infecção em temperaturas acima de 22 °C. Se houver adaptação do patógeno e utilização de base genética como a relatada é provável que a requeima se torne epidêmica em ambientes hoje inimagináveis. Como consequência adicional, é possível prever que os programas de melhoramento encontrem dificuldades em localizar fontes estáveis que expressem adequada resistência frente ao novo cenário.

Efeito da temperatura na resistência de solanáceas a *Meloidogyne* spp.

Os nematoides causadores de galhas do gênero *Meloidogyne* estão dispersos ao redor do mundo em praticamente todas as regiões de cultivo de vegetais. Nas áreas tropicais e subtropicais, o incremento na população destes nematoides é favorecido, tornando-os epidêmicos. Por afetar o sistema radicular, este patógeno compromete o desenvolvimento da planta, reduzindo ou inviabilizando sua produção. Em hortaliças, os danos à produção são importantes e em muitos casos os cultivos só são viáveis com o uso de variedades resistentes.

Já foram descritas 37 espécies de nematoides formadores de galhas (MEDINA FILHO; STEVENS, 1980). Em solanáceas, cinco espécies são conhecidas por causar perdas significativas, sendo elas *Meloidogyne incognita*, *Meloidogyne javanica*, *Meloidogyne enterolobii*, *Meloidogyne arenaria* e *Meloidogyne hapla*. No Brasil, as três primeiras são as mais dispersas e que causam os maiores danos.

Em tomateiro, os primeiros relatos de resistência genética a *Meloidogyne* foram feitos na espécie *Lycopersicon peruvianum*. Por meio de cruzamentos interespecíficos e resgate de embrião, a resistência foi introduzida em *Solanum lycopersicum*. Tempos depois, ela foi atribuída a um gene dominante, nomeado como *Mi-1*, com localização no cromossomo seis (HO et al., 1992), sendo efetiva para as espécies *Meloidogyne incognita*, *Meloidogyne javanica* e *Meloidogyne arenaria*. A resistência conferida por este gene é reconhecidamente sensível à temperatura e é suplantada quando esta supera os 28°C (HOLTZMANN, 1965). Praticamente todos os programas genéticos de melhoramento do tomateiro utilizam o gene *Mi-1* para controle dos nematoides formadores de galhas. Com as mudanças climáticas, é previsto aumento de temperatura em praticamente todas as regiões de produção dessa solanácea. Portanto, variedades e híbridos de tomate portadores desse gene poderão tornar-se suscetíveis frustrando as expectativas de produção das lavouras.

Veremis et al. (1999), estudando um cruzamento entre a variedade Solentos de *Solanum lycopersicum* e o acesso LA2157 de *Lycopersicon peruvianum*, encontraram um gene de resistência similar ao *Mi-1* também no cromossomo seis, porém com alta estabilidade térmica. A resistência deste gene se manteve estável mesmo quando as plantas foram submetidas a temperaturas superiores a 30°C. Ammiraju et al. (2003) nomearam esse fator genético como *Mi-9* e demonstraram que se trata de um gene simples e dominante, assim como *Mi-1*. Esse outro gene, membro da família *Mi*, possui estabilidade suficiente para suportar elevadas temperaturas sem que a resistência seja quebrada. Alguns programas de melhoramento já vêm utilizando fontes portadoras do *Mi-9* em seus cultivares. Espera-se que essas novas variedades e híbridos sejam capazes de controlar os nematoides formadores de galhas em locais onde a temperatura supere a estabilidade do *Mi-1*.

Assim como no caso da cultura do tomate, há relatos de genes de resistência a nematoides também em pimentas e pimentões (*Capsicum annuum*). O primeiro relato de resistência a nematoides formadores de galhas nessas culturas foi feito por Hare em 1957 (WANG; BOSLAND, 2006). O pesquisador encontrou na cultivar Santaka XL um monogene dominante conferindo resistência a vários isolados de *Meloidogyne incognita*, nomeando-o como *N*. Esse gene é termossensível e perde sua ação quando é submetido à temperatura acima de 28°C, assim como acontece com o gene *Mi-1* de tomate. Mais tarde, uma família de genes de resistência designada de *Me* foi relatada em *Capsicum annuum*. Muitos deles, como os *Me-1*, *Me-3* e *Me-7*, possuem amplo espectro de resistência, impedindo a reprodução de várias espécies de *Meloidogyne*, entre elas *Meloidogyne incognita* e *Meloidogyne javanica*, as mais importantes e disseminadas. Esses monogenes dominantes são termoestáveis, não havendo relatos de quebra de resistência quando expostos a altas temperaturas.

Com a previsão de aumento na média térmica para as regiões de cultivos de pimentão (KOBORI et al., 2008) o controle genético deste patógeno deverá ser feito pelo uso de variedades que possuam genes termoestáveis, como aqueles da família *Me*, que evitam a reprodução do nematoide e conseqüentemente a formação de galhas mesmo quando as temperaturas superarem os 28°C.

Considerações finais

As alterações climáticas previstas para os próximos anos podem influenciar os genes de resistência alterando os padrões esperados para as doenças de plantas. Nesse sentido, a temperatura pode ser o fator mais fortemente ligado a este desvio. Aumento na temperatura pode causar impacto tanto nos patógenos, alterando suas taxas de reprodução, infecção e colonização, quanto no hospedei-

ro, causando prejuízos à sua fisiologia. O estresse ocasionado no hospedeiro provocará alterações na arquitetura da planta e na habilidade em restringir a infecção e multiplicação dos patógenos, culminando em maior susceptibilidade a doenças. Assim como exemplificado nesse capítulo, altas temperaturas são responsáveis pela quebra de resistência a muitas doenças em plantas. Muitos genes são termossensíveis e sucumbem ao serem expostos a condições extremas. Para a adaptação aos impactos da elevação térmica prevista torna-se necessário entender os patossistemas e buscar alternativas para driblar as ações negativas das mudanças climáticas. Os programas de melhoramento genético das culturas agrícolas se baseiam na constante busca por novos genes, tanto de resistência a patógeno quanto de adaptabilidade a novos cenários. Basta saber se na base genética destes vegetais serão encontrados genes termoestáveis que suportem a elevação térmica prevista. Toda discussão desse capítulo teve como base a resistência genética das plantas, um ramo da ciência bem conhecido e estudado. Sabe-se, sobretudo, que muitos fatores epigenéticos (modificações genômicas herdáveis, mas que não modificam a estrutura do DNA) podem dar às plantas rápida adaptabilidade ambiental, permitindo a elas sobreviverem às imposições climáticas. Grande parte dos estudos ainda se baseia em plantas modelos, principalmente *Arabidopsis thaliana*, sendo escassas as informações sobre como esses fatores não genéticos atuam em plantas de importância agrônômica. Pouco se sabe também se todas as espécies botânicas possuem plasticidade epigenética para suportar alterações climáticas bruscas, que preço pagarão para usá-la e sobre a importância desses fatores na modulação da expressão dos genes de resistência a estresses bióticos frente às alterações no ambiente. Com o aprimoramento e popularização das técnicas genômicas, a epigenética poderá ser melhor elucidada trazendo à luz os mecanismos que a controlam e as possibilidades de uso em um cenário mais adverso. Espera-se que o melhor entendimento genômico das plantas, juntamente com

a prospecção de novos genes de resistência e modernas tecnologias de produção proporcionem condições adequadas para produções viáveis de hortaliças tradicionais num mundo mais aquecido.

Referências

- AMMIRAJU, J. S. S.; VEREMIS, J. C.; HUANG, X.; ROBERTS, P. A.; KALOSHIAN, I. The heat-stable root-knot nematode resistance gene *Mi-9* from *Lycopersicon peruvianum* is localized on the short arm of chromosome 6. **Theoretical Applied Genetic**, v. 106, n. 3, p. 478-484, 2003.
- BRUNELLI, K. R.; GIORIA, R.; KOBORI, R. F. Impacto potencial das mudanças climáticas sobre as doenças das brássicas no Brasil. In: GHINI, R.; HAMADA, E.; BETTIOL, W. (Ed.). **Impactos das mudanças climáticas sobre doenças de importantes culturas no Brasil**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2011. p. 145-160.
- CELEBI-TOPRAK, F.; SLACK, S. A.; RUSSO, P. Potato resistance to *Cucumber mosaic virus* is temperature sensitive and virus-strain specific. **Breeding Science**, v. 53, n. 1, p. 69-75, 2003.
- DAT, J. F.; LOPEZ-DELGADO, H.; FOYER, C. H.; SCOTT, I. M. Parallel changes in H₂O and catalase during thermotolerance induce by salicylic acid or heat acclimation in mustard seedlings. **Plant Physiology**, v. 116, n. 4, p.1351-1357, 1998.
- GARRET, K. A.; DENDY, S. P.; FRANK, E. E.; ROUSE, M. N.; TRAVERS, S. E. Climate change effects on plant disease: genomes to ecosystems. **Annual Review of Phytopathology**, n. 44, p. 489-509, 2006.
- HO, J. Y.; WEIDE, R.; MA, H. M.; VAN WORDRAGEN, M. F.; LAMBERT, K. N.; KOORNNEEF, M.; WILLIAMSON, V. M. The root-knot nematode resistance gene (*Mi*) in tomato: Construction of a molecular linkage map and identification of dominante cDNA markers in resistant genotypes. **Plant Journal**, v. 2, p. 971-982, 1992.
- HOLTZMANN, O. V. Effects of soil temperature on resistance of tomato to root-knot nematode (*Meloidogyne incognita*). **Phytopathology**, v. 55, p. 990-992, 1965.

JONG, C. F.; TAKKEN, F. L. W.; CAI, X.; DE WILT, P. J. G. M.; JOOSTEN, M. H. A. J. Attenuation of Cf-mediated defense responses at elevated temperatures correlates with a decrease in elicitor-binding sites. **Molecular Plant-Microbe Interaction**, v. 15, n. 10, p.1040-1049, 2002.

KOBORI, R. F.; GIORIA, R.; BRUNELLI, K. R. Impacto potencial das mudanças climáticas sobre as doenças do pimentão no Brasil. In: GHINI, R.; HAMADA, E. (Ed.). **Mudanças climáticas: impactos sobre doenças de plantas no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. p.121-128.

LLAMAS-LLAMAS, M. E.; ZAVALA-MEJIA, E.; GONZALEZ-HERNANDEZ, V. A.; CERVANTES-DIAZ, L.; SANTIZO-RINCON, J. A.; OCHOA-MARTINEZ, D. L. Effect of temperature on symptom expression and accumulation of *Tomato spotted wilt virus* in different host species. **Plant Pathology**, v. 47, n. 3, p. 341-347, 1998.

McGRATH, K. C.; DOMBRECHT, B.; MANNERS, J. M.; SCHENK, P. M.; EDGAR, C. J.; MACLEAN, D. J.; SCHEIBLE, W.; UDVARDI, M. K.; KAZAN, K. Repressor- and activator-type ethylene response factors functioning in jasmonate signaling and disease resistance identified via a genome-wide screen of *Arabidopsis* transcription factor gene expression. **Plant Physiology**, v. 139, n. 2, p. 949-959, 2005.

MEDINA FILHO, H. P.; STEVENS, M. A. Tomato breeding for nematode resistance: survey of resistant varieties for horticulture characteristics and genotype of acid phosphates. **Acta Horticulturae**, v. 100, p. 383-393, 1980.

MITIDIERI, M.; BIDERBOST, E.; CASTELLANO, P.; TALEISNIK, E. High temperature effect on tomato predisposition to TSWV. **Acta Horticulturae**, v. 559, p. 781-786, 2001.

MOUR effects on hypersensitive resistance to *Tomato spotted wilt tospovirus* (TSWV) in pepper (*Capsicum chinense* Jacq.). **European Journal of Plant Pathology**, v. 104, n. 5, p. 489-498. 1998.

NONO-WOMDIM, R.; MARCHOUX, G.; POCHARD, E.; PALLOIX, A.; GEBRE-SELASSIE, K. Resistance of pepper lines to the movement of *Cucumber mosaic virus*. **Journal of Phytopathology**, v. 132, n. 1, p. 21-32, 1991.

PALUKAITIS, P., ROOSINCK, M. J., DIETZGEN, R. G.; FRANCKI, R. I. B. *Cucumber mosaic virus*. **Advances in Virus Research**, v. 41, p. 281-341, 1992.

PARKER, J. M.; THURSTON, H. D.; VILLARREAL, G. M. J.; FRY, W. E. Stability of disease expression in the potato late blight pathosystem: a preliminary field study. **American Potato Journal**, v. 69, n. 10, p. 635-644, 1992.

PINK, D. A. C.; WALKEY, D. G. Effect of temperature and light intensity on resistance in marrow (*Cucurbita pepo*) to *Cucumber mosaic virus*. **The Journal of Agricultural Science**, v. 104, n. 2, p. 325-329, 1985.

ROGGERO P.; LISA, V.; NERVO, G.; PENNAZIO, S. Continuous high temperature can break the hypersensitivity of *Capsicum chinense* 'PI152225' to *Tomato spotted wilt tospovirus* (TSWV). **Phytopathologia Mediterranea**, v. 35, n. 2, p. 117-120, 1996.

ROGGERO, P.; PENNAZIO, S. Thermal inactivation of *Tomato spotted wilt tospovirus* in vivo. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, v. 51, n. 1, p. 35-40, 1997.

ROOSSINCK, M. J. Evolutionary history of *Cucumber mosaic virus* deduced by phylogenetic analyses. **Journal of Virology**, v. 76, n. 7, p. 3382-3387, 2002.

ROOSSINCK, M. J. Temperature-sensitive replication of *Cucumber mosaic virus* in muskmelon (*Cucumis melo* cv. Iroquois), maps to TNA 1 of a slow strain. **Journal of General Virology**, v. 72, n. 7, p. 1747-1750, 1991.

ROOSSINCK, M. J.; PALUKAITIS, P. Rapid induction and severity of symptoms in zucchini squash (*Cucurbita pepo*) map to RNA 1 of *Cucumber mosaic virus*. **Molecular Plant-Microbe Interaction**, v. 3, n. 3, p. 188-192, 1990.

RUBIO-COVARRUBIAS, O. A.; DOUCHES, D. S.; HAMMERSCHMIDT, R.; DAROCHA, A.; KIRK, W. W. Effect of temperature and photoperiod on symptoms associated with resistance to *Phytophthora infestans* after leaf penetration in susceptible and resistant potato cultivars. **American Journal of Potato Research**, v. 82, n. 2, p. 139-146, 2005.

VALKONEM, J. P.T.; WATANABE, K. N. Resistance to *Cucumber mosaic virus* in potato. **Annual Applied Biology**, v. 126, p.143-151, 1995.

VALKONEN, J. P. T; WATANABE, K. N. Autonomous cell death, temperature sensitivity and the genetic control associated with resistance to *Cucumber mosaic virus* (CMV) in diploid potatoes (*Solanum* spp.). **Theoretical Applied Genetic**, v. 99, n. 6, p. 996-1005, 1999.

VEREMIS, J. C.; VAN HEUSDEN, A. W.; ROBERTS, P. A. Mapping a novel heat-stable resistance to *Meloidogyne* in *Lycopersicon peruvianum*. **Theoretical Applied Genetic**, v. 98, n. 2, p. 274-280, 1999.

WANG, D.; BOSLAND, P. W. The genes of *Capsicum*. **HortScience**, v. 41, n. 5, p. 1169-1187, 2006.

YANG, S.; HUA, J. A haplotype-specific resistance gene regulated by *BONZA1* mediates temperature-dependent growth control in *Arabidopsis*. **Plant cell**, v. 16, n. 4, p. 1060-1071, 2004.

ZHAO, P. P.; SHANG, J.; GUO, Z. C.; XIE, H. F.; XI, D. H.; SUN, X.; LIN, H. H. Temperature-related effects of treatments with jasmonic and salicylic acids on *Arabidopsis* infected with cucumber mosaic virus. **Russian Journal of Plant Physiology**, v. 60, n. 5, p. 672-680, 2013.

Efeito do aquecimento global sobre a comunidade microbiana do solo

Rodrigo Mendes, Natália Franco Taketani
e Rodrigo Gouvêa Taketani

Introdução

A comunidade microbiana do solo desempenha papel fundamental nos processos ecológicos e ciclos biogeoquímicos que sustentam a vida no planeta Terra. Os microrganismos do solo participam da decomposição da matéria orgânica, fixação de nitrogênio, desnitrificação e nitrificação, transformação de metais, redução de sulfato, produção de fitormônios, produção e consumo de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e outros gases de efeito estufa (PANIKOV, 1999).

O solo alberga grande parte da vida terrestre representando um recurso estratégico das nações (MONTGOMERY, 2010) e em virtude da grande importância dos solos para a produção de alimentos, o entendimento dos potenciais impactos do aquecimento global sobre a comunidade microbiana do solo é fundamental para o desenvolvimento de estratégias para mitigar possíveis efeitos deletérios e garantir que os solos se conservem como sistemas saudáveis. Dessa forma, é importante considerar a definição de solos saudáveis, i.e. capacidade do solo cumprir sua função continuamente como um ecossistema que sustenta o desenvolvimento de plantas, animais e humanos, na perspectiva das mudanças climáticas e seus potenciais efeitos nas comunidades microbianas do solo. Neste contexto,

devem ser considerados os impactos de uma série de fatores preditos com as mudanças globais, como o aumento dos níveis de CO₂ atmosférico, temperaturas elevadas, alteração nos padrões de precipitação e na deposição de nitrogênio atmosférico, na química do solo e em suas funções físicas e biológicas (FRENCH et al., 2009). Devido à sua importância no ciclo global do carbono, alterações na estrutura de comunidades microbianas do solo podem ter efeitos significativos em resposta às mudanças climáticas, principalmente nas camadas mais superficiais do solo (BRIONES et al., 2004).

A relação entre as comunidades microbianas do solo e o aquecimento global pode ser vista de duas formas. Na primeira, os microrganismos contribuem para a emissão de gases de efeito estufa, sendo os principais atores nos processos de ciclagem de nutrientes e de fluxos globais de CO₂, CH₄ e N₂. Na segunda, é importante entender como o aquecimento global, resultado das mudanças climáticas, afeta a comunidade microbiana do solo. Neste caso, o paradigma fundamental adotado por pesquisadores nas últimas décadas tem sido de que a atividade fotossintética é estimulada pelo aumento da temperatura e pelo aumento do CO₂ na atmosfera (HEIMANN; REICHSTEIN, 2008). Este aumento da atividade metabólica da planta pode conduzir a alteração no padrão de exsudatos radiculares, os quais estão diretamente relacionados ao recrutamento de microrganismos na rizosfera. Como o crescimento da planta está diretamente relacionado com a estrutura do microbioma da rizosfera (DEANGELIS et al., 2009; MENDES et al., 2011), espera-se um efeito tanto na estrutura, quanto nas funções desta comunidade microbiana associada à planta, porém, ainda deve-se elucidar se estes efeitos são positivos, negativos ou neutros.

Os solos possuem um estoque de carbono duas vezes maior que o da atmosfera e três vezes maior que o carbono estocado nos vegetais (SMITH et al., 2008). Apesar disso, ainda não existe um consenso considerando o efeito das mudanças climáticas nos esto-

ques globais de carbono no solo (DAVIDSON; JANSSENS, 2006). Nesta controvérsia, duas possibilidades são suportadas por diferentes estudos, sendo: 1) se o carbono estocado no solo é transferido para a atmosfera em razão da indução causada pelo aumento da temperatura que acelera sua decomposição, o feedback será positivo às mudanças climáticas; 2) alternativamente, se o aumento da entrada do carbono no solo derivado da planta exceder o aumento da decomposição, o feedback será negativo (DAVIDSON; JANSSENS, 2006). De uma forma ou de outra, as comunidades microbianas do solo controlam estas transformações e são diretamente afetadas pelas mudanças no clima.

Os processos biológicos que ocorrem no solo ou acima de sua superfície são intimamente ligados entre si e constituem um sistema complexo e dinâmico. Porém, com o objetivo de simplificar a abordagem, os estudos experimentais separam conceitualmente e analiticamente os processos que ocorrem no solo, dos que ocorrem acima de sua superfície. No solo, os estudos focam nos processos de respiração heterotrófica, incluindo, por exemplo, decomposição por fungos e respiração bacteriana. Acima da superfície do solo, os estudos realizados têm o foco na fotossíntese. Assume-se que os processos biológicos que controlam a respiração no solo respondem exponencialmente à temperatura, mas não são afetados pela concentração do CO_2 (DAVIDSON; JANSSENS, 2006; KIRSCHBAUM, 2006). A consequência desta separação na abordagem analítica é que a dinâmica das interações observadas no solo, que inclui os processos químicos, físicos e biológicos, é muito mais complexa do que imaginada anteriormente. Isso significa que além do aumento da temperatura e dos níveis de CO_2 outros fatores ambientais e climáticos podem modificar, ou até mesmo dominar o balanço de carbono em níveis globais (HEIMANN; REICHSTEIN, 2008).

Por fim, considerando que a elevação do CO₂, temperatura e precipitação são fatores importantes que influenciam as comunidades do solo, neste capítulo serão discutidos seus efeitos na comunidade microbiana do solo de forma geral e nos patógenos existentes nos solos no contexto do aquecimento global.

Efeito do aumento da temperatura na comunidade microbiana

Embora a comunidade microbiana regule processos importantes no solo, muitas vezes não se sabe como a abundância e a composição das comunidades microbianas correlacionam-se com as perturbações climáticas e, conseqüentemente, como afetam os processos do ecossistema. Grande parte das pesquisas realizadas sobre mudanças climáticas concentra-se nas respostas em escala macro, tais como, alterações no crescimento de plantas (NORBY et al., 2001, 2004), na composição da comunidade vegetal (BAKKENES et al., 2002; LLORET et al., 2009), e em processos em escala macro do solo (EMMETT et al., 2004; FRANKLIN et al., 2009; GARTEN et al., 2008; HUNGATE et al., 2006), muitos dos quais estão indiretamente associados aos processos microbianos. Os estudos que têm abordado o papel da comunidade microbiana nos processos têm como alvo a biomassa microbiana, atividade enzimática, ou perfis básicos da comunidade microbiana em resposta a fatores relacionados às mudanças climáticas (HAASE et al., 2008; JANUS et al., 2005; KANDELER et al., 2006; LARSON et al., 2002; ZAK et al., 1996, 2000a, 2000b).

A temperatura, juntamente com o teor de umidade, é o fator ambiental mais importante para o crescimento e atividade microbiana no solo (PAUL; CLARK, 1996). O aumento da temperatura induz uma maior atividade e aceleração dos processos biológicos, além de mudanças na estrutura da comunidade microbiana, fazendo

com que as populações de microrganismos se adaptem e suas taxas de crescimento fiquem mais rápidas (BRADFORD et al., 2008; PETTERSSON; ZHANG et al., 2005; ZOGG et al., 1997). Temperaturas elevadas aceleram as taxas de decomposição microbiana, aumentando, assim, o CO₂ emitido pela respiração do solo. Consequentemente, ocorrerão grandes perdas de carbono do solo contribuindo ainda mais para o aquecimento global (ALLISON et al., 2010). É importante notar que o aumento na respiração do solo não pode persistir enquanto as temperaturas continuarem a subir. Uma análise global de 27 estudos, incluindo nove biomas, concluiu que existe uma diminuição da sensibilidade das taxas de respiração em temperaturas mais altas (CAREY et al., 2016). Observa-se que a respiração dos microrganismos do solo retorna a níveis normais após certo número de anos em condições de aquecimento. Os processos microbianos que causam esta diminuição da resposta em longo prazo ainda não foram descritos, mas várias explicações têm sido propostas, incluindo a que os microrganismos provocam o esgotamento das fontes de nutrientes disponíveis em temperaturas mais elevadas, e futuros níveis de decomposição foram reduzidos por causa da escassez desses nutrientes (VARGHESE; HATHA, 2012).

A comunidade microbiana pode se adaptar ao aquecimento através de ajustes fisiológicos nas taxas de metabolismo, ou evolução de proteínas para temperaturas ótimas de funcionamento mais elevadas (BRADFORD et al., 2008; HOCHACHKA; SOMERO, 2002). Todas estas respostas poderiam contribuir para mudanças em processos-chave, como a decomposição, catálise enzimática extracelular e respiração microbiana.

Dermody et al. (2007) mostraram que a elevação da temperatura foi capaz de mitigar os efeitos da elevação das concentrações de CO₂ e das mudanças de precipitação. Da mesma forma, o aquecimento pode aumentar a atividade microbiana em um ecossistema, mas

este aumento pode ser eliminado se as mudanças na precipitação levarem a uma condição de baixa umidade ou redução do teor e qualidade da matéria orgânica no solo (NORBY et al., 2004).

Um estudo voltado para a avaliação das comunidades de fungos e bactérias frente às mudanças de umidade (2 a 25 mm semana⁻¹), de concentração de CO₂ atmosférico (concentração do ambiente \pm 3 ppm) e de temperatura (temperatura ambiente \pm 3°C) utilizou técnicas moleculares e detectou alterações específicas na composição e abundância dessas comunidades. Os tratamentos avaliados não impactaram a proporção relativa entre fungos e bactérias, mas a abundância bacteriana foi prejudicada por um efeito interativo de CO₂ e temperatura, e a abundância de fungos foi afetada pela temperatura, mas não pela precipitação ou regime de CO₂. Este efeito da temperatura na comunidade de fungos no solo foi justificado neste estudo pela falta de substratos lábeis em condições de temperatura elevada, o qual acaba por favorecer a comunidade fúngica em relação à bacteriana, enquanto o aumento da disponibilidade do substrato vegetal, induzido pela elevação do CO₂, permitiu o aumento da abundância bacteriana sob temperatura elevada (CASTRO et al., 2010).

Os efeitos diretos do aumento da temperatura sobre os microrganismos do solo são menores quando comparados aos efeitos indiretos causados pelas mudanças na quantidade de plantas, composição da flora, fornecimento de nutrientes, modificação nas características físico-químicas do solo devido a erosão e lixiviação de nutrientes, inundações, etc. Por isso, para fazer uma previsão realista sobre o comportamento das comunidades microbianas em relação a elevação das temperaturas e elucidar os mecanismos mediados pelos microrganismos é necessário ter uma visão holística de todo o ecossistema terrestre, incluindo suas características físico-químicas e as espécies vegetais e animais (NIKLAUS et al., 2007; PANIKOV, 1999).

Efeito do aumento do CO₂ na comunidade microbiana

Desde meados do século XIX, a concentração de CO₂ atmosférico aumentou aproximadamente 36%, principalmente em virtude das atividades humanas, como a queima de combustíveis fósseis e uso da terra para agricultura. Levando em consideração a taxa atual de aumento (1,9 ppm ano⁻¹), a perspectiva é que a concentração atinja 700 ppm até o final deste século (MEEHL; STOCKER, 2007). Os efeitos estimulantes do CO₂ elevado no crescimento vegetal são bem estabelecidos (AINSWORTH; LONG, 2005; LUO et al., 2006; REICH et al., 2001), por exemplo, o aumento do CO₂ estimula o crescimento de raízes finas (HUNGATE et al., 1997), da biomassa total da planta, incluindo raízes e parte aérea (CURTIS; WANG, 1998), e o sequestro de carbono no solo (HU et al., 2001; ZAK et al., 1993).

Os microrganismos do solo são muitas vezes limitados pela concentração de carbono. Assim, a comunidade bacteriana no solo provavelmente tem um papel chave na resposta à elevação do CO₂ atmosférico, pois em situação normal de 12% a 54% do carbono fixado pela vegetação é liberado no solo pelas raízes (DIAZ et al., 1993; PATERSON et al., 1999; ZAK et al., 1993, 2000a, 2000b). O aumento da produção de exsudatos pela raiz em condição de CO₂ elevado é comumente observado (LEKKERKERK et al., 1990). Este fato sugere que essa mudança deve levar a alterações quantitativas e qualitativas na comunidade microbiana da rizosfera. Aceita-se que quando submetida a altos níveis de CO₂ a vegetação tende a aumentar a produção de exsudatos ricos em carbono e diminuir os ricos em nitrogênio (TARNAWSKI; ARAGNO, 2006). No entanto, seu efeito sobre a comunidade microbiana do solo ainda é controverso (HE et al., 2010, 2012), pois alguns estudos demonstraram efeito estimulante (JANUS et al., 2005; JOSSI et al., 2006; LESAULNIER et al., 2008; MITCHELL et al., 2003; SONNEMANN; WOLTERS, 2005), bem como efeito inibidor (HORZ et al., 2004), ou ainda

nenhuma alteração (AUSTIN et al., 2009; BARNARD et al., 2004; CHUNG et al., 2006; DRIGO et al., 2007; EBERSBERGER et al., 2004; GE et al., 2010; GRÜTER et al., 2006; LIPSON et al., 2006; LOY et al., 2004). Assim, nos tópicos em que abordam assuntos acerca da influência do CO₂ na comunidade microbiana, serão discutidos esses efeitos para tentar compreender os fatores que levam a essa variação.

Efeito da elevação do CO₂ sobre a biomassa e contagem microbiana

As metodologias mais utilizadas para se avaliar a microbiota de um determinado ambiente são as quantitativas, entre elas podem ser citadas a contagem em placas e a medição da biomassa do solo (HANSON et al., 2000). Assim, desde os primeiros estudos sobre esse assunto, na década de 1990, essas metodologias vêm sendo empregadas. A quantificação da biomassa microbiana no solo de rizosfera de *Populus grandidentata* mostrou um efeito positivo do aumento de CO₂ ao longo de 152 dias devido ao aumento substancial da fotossíntese (ZAK et al., 1993). Além do efeito referente à biomassa microbiana, também foram observados impactos nos ciclos do carbono e do nitrogênio. Efeito semelhante foi observado na rizosfera de *Lolium perenne* onde a contagem de bactérias cultiváveis foi significativamente superior após dois anos sob 600 ppm de CO₂; no entanto, a contagem de bactérias totais no solo não foi alterada (FROMIN et al., 2005; MARILLEY et al., 1999). Já a enumeração de grupos microbianos específicos pela técnica de número mais provável demonstra que esse efeito pode ser sobre um grupo específico de microrganismos e não sobre a comunidade como um todo (SCHORTEMMEYER et al., 1997). Schortemeyer et al. (1997), em um experimento de enriquecimento de CO₂ ao longo de dois anos, mostraram que na rizosfera de *Trifolium repens* hou-

ve aumento da contagem de *Rhizobium leguminosarum*, enquanto que os números de bactérias heterotróficas totais e oxidadoras de amônio permaneceram inalterados. Esse aumento na contagem de *Rhizobium leguminosarum* é corroborada pelo aumento da fixação de nitrogênio (ZANETTI et al., 1996). A ausência de efeito, no entanto, é bastante comum nos estudos quantitativos (O'NEILL et al., 1987; RUNION et al., 1994), pois como a maioria dos trabalhos aplica metodologias que visam quantificar grandes grupos (por exemplo, bactérias heterotróficas totais), efeitos em grupos microbianos específicos podem ser mascarados.

Como se observa um aumento da produção de exsudatos pelas plantas, a maioria dos trabalhos indica que a biomassa microbiana (seja ela medida pelo C ou N) aumenta em experimentos com CO₂ elevado (ZAK et al., 2000a). No entanto, parte da literatura indica diminuição da biomassa microbiana mesmo com o aumento da produção vegetal (ZAK et al., 2000b). Fatores como tipo de cobertura vegetal e tipo de solo separadamente não conseguem explicar esse declínio. De acordo com Zak et al. (2000b), uma das possíveis explicações para esse declínio é o aumento da predação no solo por protozoários, nematoides ou collembola (HUNGATE et al., 2000; JONES et al., 1998; LUSSENHOP et al., 1998; RUNION et al., 1994; YEATES et al., 1997) o que indica que uma interação trófica complexa controla a biomassa microbiana no solo.

Efeito da elevação do CO₂ sobre a diversidade microbiana do solo

Nas últimas duas décadas, as metodologias de contagem apresentadas acima vêm perdendo espaço para as metodologias independentes de cultivo, por meio de ferramentas de biologia molecular. Essa substituição se dá pela maior capacidade destas

metodologias detectar alterações e realizar análises comparativas (ANDREOTE et al., 2009). Entretanto, mesmo com a maior resolução dessas técnicas, as tendências observadas são bastante similares às observadas com relação à biomassa. Diversos autores não observaram mudanças significativas por perfis de fosfolipídios (PFLA) ou no DNA total do solo (por hibridização) (GRIFFITHS et al., 1998; KANDELER et al., 1998; TARNAWSKI; ARAGNO, 2006; ZAK et al., 1996) em cultivo de *Lolium perenne* sob atmosfera enriquecida em CO₂. No entanto, no estudo comparando o efeito do CO₂ elevado sobre a comunidade microbiana total (baseado em DNA) e a ativa (baseado em RNA) em rizosfera de *L. perenne* e *Molina coerulea*, foi observado que o aumento desse gás impacta mais na comunidade ativa que na total (JOSSI et al., 2006). Ademais, Jossi et al. (2006) também observaram que alguns grupos específicos, como as actinobactérias e δ -proteobactérias, apresentaram respostas específicas a essas alterações, resultado que foi comprovado em trabalho subsequente (DRIGO et al., 2007). Isto é, actinobactérias são estimuladas no solo sem influência da raiz, enquanto as δ -proteobactérias encontradas na rizosfera são estimuladas pelo aumento do CO₂. Em outro estudo foi observado que a diversidade das actinobactérias é afetada pelo CO₂ elevado, mas apenas com relação a abundância relativa das espécies e não com o surgimento ou desaparecimento de espécies (PIAO et al., 2008). Essas diferenças nas respostas de grupos filogenéticos distintos estão, muito provavelmente, ligadas às características metabólicas destes grupos. Alguns grupos filogenéticos, como as proteobactérias, são geralmente vistos como *r* estrategistas de crescimento rápido bastante adaptados a ambientes ricos em nutrientes, como a rizosfera, e que apresentariam uma resposta mais rápida às alterações no ambiente. Um exemplo de diferenciação entre a velocidade de resposta de grupos distintos foi observado pelo enriquecimento de marcadores de PFLA marcados com ¹³C, o qual demonstrou a capacidade da comunidade fúngica

em consumir o carbono liberado pelas plantas quando comparado à comunidade bacteriana (DENEFF et al., 2007).

Estudo recente, utilizando técnicas de metagenômica (pirossequenciamento e microarranjo), mostrou o efeito da elevação do CO₂ durante 10 anos na comunidade do solo sob pastagem (HE et al., 2010). Esse estudo mostrou que genes relacionados ao metabolismo de compostos de carbono e relacionados à ciclagem de nitrogênio foram significativamente estimulados pelo CO₂. Nesse estudo o mesmo efeito foi observado para a biomassa vegetal e PFLA microbiano, porém, houve um declínio no número de grupos taxonômicos observados (HE et al., 2012). Os filos afetados foram Crenarchaeota, Chloroflexi, OP10, OP9/JS1, Verrucomicrobia. Alguns dos filos não afetados, como Proteobacteria, Firmicutes, Actinobacteria, Bacteroidetes e Acidobacteria, apresentaram alterações em níveis taxonômicos mais profundos, como famílias e gêneros. Notavelmente, He et al. (2012) demonstraram que os efeitos observados na comunidade microbiana são predominantemente indiretos, isto é, o CO₂ sozinho responde apenas por 5,8% da variação, o restante se deve às diferenças nas variáveis do solo e da vegetação modificadas em decorrência do CO₂ elevado.

Assim, como muitas bactérias encontradas na rizosfera têm um papel de estímulo do crescimento da planta, o aumento do CO₂ atmosférico pode afetar negativamente esse grupo, levando, por exemplo, à diminuição da produtividade ou aumento da suscetibilidade a doenças. Tarnawski e Aragno (2006) observaram o declínio nos números de *Pseudomonas* produtoras do antibiótico cianeto de hidrogênio. Entretanto, assim como para as demais características da microbiota do solo, os resultados obtidos em estudos diferentes ainda são contraditórios (DRIGO et al., 2009).

Em conclusão, o aumento do CO₂ atmosférico, por causa da queima de combustíveis fósseis e uso da terra, tem o potencial de afetar a comunidade microbiana dos solos. No entanto, esses efeitos dificilmente podem ser previstos à luz da ciência atual, pois variações nas características do solo, incluindo a própria microbiota, e da vegetação são alguns dos fatores que colaboram com a variação de resposta. Benéficos, maléficos ou aparentemente neutros, esses resultados são preocupantes exatamente em virtude da sua imprevisibilidade, pois podem reduzir a produtividade ou abrir portas a novas doenças.

Efeito do aquecimento global em patógenos de solo

O primeiro efeito das mudanças climáticas globais em doenças de plantas pode ocorrer pelo aumento ou diminuição da frequência de contatos entre o patógeno e o hospedeiro susceptível (GARRETT et al., 2006). Assim, as mudanças globais podem afetar diretamente a sobrevivência e reprodução tanto do patógeno quanto da planta hospedeira. Um dos possíveis efeitos do aumento da temperatura é o conseqüente aumento do número de gerações e rápida adaptação de um patógeno, que por sua vez podem estar positivamente correlacionados com a virulência e agressividade do patógeno.

Em muitos casos, o aumento da temperatura leva à expansão geográfica dos patógenos e vetores, aumentando o contato dos patógenos com os potenciais hospedeiros (BAKER et al., 2000; OLWOCH et al., 2003) e também proporcionando a introdução de fitopatógenos por hibridização interespecífica (BRASIER, 2001; BRASIER et al., 1999). Porém, é importante destacar que o estabelecimento da doença, além da frequência de contatos, também é mediado pela resistência do hospedeiro, que por sua vez também é afetada pelas mudanças globais (BRYANT et al., 2014). Assim, um possível aumento na ocorrência de doença pode ser compensado

pelo aumento da resistência do hospedeiro contra o patógeno sem perdas significativas no campo (GARRETT et al., 2006). Por outro lado, as alterações nas condições climáticas podem levar ao aumento da suscetibilidade das culturas, como foi observado em trigo, onde projeções de condições climáticas indicam o favorecimento da ocorrência de ferrugem da folha (JUNK et al., 2016).

O aquecimento global provoca alterações principalmente na temperatura e regime de precipitação que gera um impacto direto nos ciclos de vida dos organismos vivos do solo (PRITCHARD, 2011). Muitos fitopatógenos habitantes do solo que potencialmente permanecem em estado de latência, podem ser estimulados a se tornarem ativos pelo aumento da temperatura, assim como pelo aumento do regime de precipitação. As mudanças no clima podem influenciar as populações de um determinado patógeno a se reproduzirem sexualmente ou assexuadamente e, em alguns casos, variações na temperatura favorecem os propágulos sexuais que sobrevivem durante o inverno; dessa forma, aumenta o potencial evolucionário de uma determinada população e, conseqüentemente, a ocorrência da doença (PFENDER; VOLLMER, 1999). No caso do patógeno *Phytophthora infestans*, o aumento da temperatura favorece a ocorrência de *mating types*, o que permite a reprodução sexuada, aumentando a sobrevivência deste patógeno no inverno (GARRETT; BOWDEN, 2002). Já o patógeno causador da podridão na raiz, *Monosporascus cannonballus*, aumenta a sua taxa de reprodução em temperaturas mais elevadas (WAUGH et al., 2003).

Um importante ponto a ser considerado é a possibilidade de o aquecimento global acelerar a atividade de patógenos habitantes do solo e aumentar a mortalidade de sementes no solo (CRIST; FRIESE, 1993). O banco de sementes no solo desempenha um papel crítico na dinâmica da vegetação, e sua presença dormente no solo representa uma garantia de estabilidade e capacidade de resi-

liência após uma perturbação ambiental (GRIME, 1989; VENABLE; BROWN, 1988). Em um estudo para avaliar o efeito das mudanças do clima em fungos fitopatogênicos e seus efeitos na dinâmica do banco de sementes, Leishman et al. (2000), enterraram sacos com sementes de quatro espécies de banco de sementes persistentes tratadas ou não com fungicidas. Ao simular temperaturas de inverno mais altas e aumento das chuvas de verão, os autores monitoraram a sobrevivência das sementes ao longo de dois anos. A simulação do aumento das chuvas no período de verão e temperaturas de inverno mais elevadas reduziram a porcentagem de germinação de duas (*Medicago lupulina* e *Lotus corniculatus*) das quatro espécies vegetais avaliadas.

As mudanças globais afetam o aparecimento e o aumento da área de incidência de doenças emergentes. Considerando fatores que controlam adaptação local e especiação ecológica, Giraud et al. (2010) mostraram que certas características da história de vida de muitos fungos fitopatogênicos são passíveis de uma rápida especiação ecológica favorecendo a emergência de novas espécies de patógenos adaptados a novos hospedeiros. Adicionalmente, as mudanças globais podem favorecer a recombinação de patógenos aumentando a gama de insetos vetores. Um exemplo disso ocorreu no Brasil devido a introdução do biótipo B da mosca-branca (*Bemisia tabaci*), que facilitou a veiculação de vírus presentes em diferentes plantas nativas em culturas de tomate em que, recombinados, produziam doenças de novos vírus (FERNANDES et al., 2008). No solo, um efeito esperado é que em condições mais quentes afetarão viroses de origem do solo, pois estas serão mais capazes de infectar culturas em estágios de crescimento mais precoces e estas doenças terão maior impacto no desenvolvimento e produção.

As mudanças nas concentrações de gases atmosféricos podem estimular doenças com o aumento de ozônio e CO₂ reduzindo a expressão de resistência (GREGORY et al., 2009). Níveis elevados

de CO₂ podem aumentar a fecundidade do patógeno, conduzindo a uma maior taxa de sua evolução (CHAKRABORTY; DATTA, 2003; COAKLEY et al., 1999). Em contraste, o aumento de CO₂ foi relacionado com o aumento da latência do patógeno, o que reduziria as taxas epidêmicas. O aumento de CO₂ também foi relacionado com o aumento da resistência da cevada ao patógeno *Blumeria graminis* devido a formação de papilas e acúmulo de silício nos sítios de infecção (CHAKRABORTY et al., 1998; COAKLEY et al., 1999).

No desenvolvimento de estratégias de adaptação às alterações climáticas, será particularmente importante produzir novas variedades resistentes a patógenos quando as plantas são cultivadas em temperaturas mais altas desde que, em certos casos, as temperaturas mais quentes não reduzam componentes de resistência às doenças. Em particular, o desenvolvimento de novas plantas precisa ser capaz de assentir às coleções de genótipos do hospedeiro com a diversidade, tanto quanto possível, a fim de permitir o surgimento de novas respostas às novas doenças.

Considerações finais

O entendimento da ecologia microbiana do solo é fundamental para se avaliar os mecanismos biológicos que regulam a troca de carbono entre o solo e a atmosfera, e como esses processos são afetados pelo aquecimento global. Porém, a complexidade intrínseca à comunidade microbiana do solo e suas interações com as plantas e o ambiente, associada aos inúmeros fatores do clima que podem atuar direta ou indiretamente nestas comunidades, desafiam a capacidade de se chegar a conclusões consistentes neste tópico. Em escala global são evidentes o número de incertezas e as limitações para a avaliação de forma conclusiva desses efeitos. Porém, alguns avanços experimentais podem responder questões fundamentais em escalas menores quando se trata da interação entre o patógeno e a planta. O

uso de técnicas que avaliam comunidades microbianas totais, ao invés da abordagem tradicional que foca em componentes específicos da comunidade, será determinante para avanços nessa área. Metagenomas, transcriptomas e metabolomas obtidos da interação entre o patógeno e seu hospedeiro suscetível frente a variações da concentração de CO₂, da temperatura e precipitação, permitirão um entendimento da dinâmica microbiana em escala menor, mas que será útil para compor modelos em níveis globais de mudanças do clima e esclarecer seus possíveis efeitos na comunidade microbiana do solo.

Referências

- AINSWORTH, E. A.; LONG, S. P. What have we learned from 15 years of free-air CO₂ enrichment (FACE)? A meta-analytic review of the responses of photosynthesis, canopy properties and plant production to rising CO₂. **New Phytologist**, v. 165, n. 2, p. 351-372, 2005.
- ALLISON, S. D.; WALLENSTEIN, M. D.; BRADFORD, M. A. Soil carbon response to warming dependent on microbial physiology. **Nature Geoscience**, v. 3, n. 5, p. 336-340, 2010.
- ANDREOTE, F. D.; AZEVEDO, J. L.; ARAÚJO, W. L. Assessing the diversity of bacterial communities associated with plants. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 40, n. 3, p. 417-432, 2009.
- AUSTIN, E. E.; CASTROA, H. F.; SIDESB, K. E.; SCHADTA, C. W.; CLASSEN, A. T. Assessment of 10 years of CO₂ fumigation on soil microbial communities and function in a sweetgum plantation. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 41, n. 3, p. 514-520, 2009.
- BAKER, R. H. A.; SANSFORD, C. E.; JARVIS, C. H.; CANNON, R. J. C.; MACLEOD, A.; WALTERS, K. F. A. The role of climatic mapping in predicting the potential geographical distribution of non-indigenous pests under current and future climates. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 82, n. 1-3, p. 57-71, 2000.
- BAKKENES, M.; ALKEMADE, J. R. M.; IHLE, F.; LEEMANS, R.; LATOUR, J. B. Assessing effects of forecasted climate change on the diversity and distribution of European higher plants for 2050. **Global Change Biology**, v. 8, n. 4, p.390-407, 2002.

BARNARD, R.; BARTHES, L.; ROUX, X. L.; LEADLEY, P. W. Dynamics of nitrifying activities, denitrifying activities and nitrogen in grassland mesocosms as altered by elevated CO₂. **New Phytologist**, v. 162, n. 2, p. 365-376, 2004.

BRADFORD, M. A.; DAVIES, C. A.; FREY, S. D.; MADDOX, T. R.; MELILLO, J. M.; MOHAN, J. E.; REYNOLDS, J. F.; TRESEDER, K. K.; WALLENSTEIN, M. D. Thermal adaptation of soil microbial respiration to elevated temperature. **Ecology Letters**, v. 11, n. 12, p. 1316-1327, 2008.

BRASIER C. M.; COOKE D. E. L.; DUNCAN J. M. Origin of a new Phytophthora pathogen through interspecific hybridization. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 96, p. n. 10, 5878-5883, 1999.

BRASIER, C. M. Rapid evolution of introduced plant pathogens via interspecific hybridization. **BioScience**, v. 51, n. 2, p. 123-133, 2001.

BRIONES, M. J. I.; POSKITT, J.; OSTLE, N. Influence of warming and enchytraeid activities on soil CO₂ and CH₄ fluxes. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 36, n. 11, p.1851-1859, 2004.

BRYANT, R. R. M.; MCGRANN, G. R. D., MITCHELL, A. R. SCHOONBEEK, H. J., BOYD, L. A., UAUY, C., DORLING, S., RIDOUT, C. J. A change in temperature modulates defence to yellow (stripe) rust in wheat line UC1041 independently of resistance gene Yr36. **BMC Plant Biology**, v. 14, n. 1, p. 1-10, 2014.

CAREY, J. C.; TANG, J.; TEMPLER, P. H.; KROEGER, K. D.; CROWTHER, T. W.; BURTON, A. J.; DUKES, J. S.; EMMETT, B.; FREY, S. D.; HESKEL, M. A.; JIANG, L.; MACHMULLER, M. B.; MOHAN, J.; PANETTA, A. M.; REICH, P. B.; REINSCH, S.; WANG, X.; ALLISON, S. D.; BAMMINGER, C.; BRIDGHAM, S.; COLLINS, S. L. DE DATO, G.; EDDY, W. C.; ENQUIST, B. J.; ESTIARTE, M.; HARTE, J.; HENDERSON, A.; JOHNSON, B. R.; LARSEN, K. S.; LUO, Y.; MARHAN, S.; MELILLO, J. M.; PEÑUELAS, J.; PFEIFER-MEISTER, L.; POLL, C.; RASTETTER, E.; REINMANN, A. B.; REYNOLDS, L. L.; SCHMIDT, I. K.; SHAVER, G. R.; STRONG, A. L.; SUSEELA, V.; TIETEMA, A. Temperature response of soil respiration largely unaltered with experimental warming. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 113, n. 48, p. 13797-13802, 2016.

CASTRO, H. F.; CLASSEN, A. T.; AUSTIN, E. E.; NORBY, R. J.; SCHADT, C. W. Soil microbial community responses to multiple experimental climate change drivers. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 76, n. 4, p. 999-1007. 2010.

CHAKRABORTY, S.; DATTA, S. How will plant pathogens adapt to host plant resistance at elevated CO₂ under a changing climate? **New Phytologist**, v. 159, n. 3, p. 733-742, 2003.

CHAKRABORTY, S.; MURRAY, G. M.; MAGAREY, P. A.; YONOW, T.; O'BRIEN, R.; CROFT, B. J.; BARBETTI, M. J.; SIVASITHAMPARAM, K.; OLD, K. M.; DUDZINSKI, M. J.; SUTHERST, R. W.; PENROSE, L. J.; ARCHER, C.; EMMETT, R. W. Potential impact of climate change on plant diseases of economic significance to Australia. **Australasian Plant Pathology**, v. 27, n. 1, p. 15-35, 1998.

CHUNG, H.; ZAK, D. R.; LILLESKOV, E. A. Fungal community composition and metabolism under elevated CO₂ and O₃. **Oecologia**, v. 147, n. 1, p. 143-154, 2006.

COAKLEY, S. M.; SCHERM, H.; CHAKRABORTY, S. Climate change and plant disease management. **Annual Review of Phytopathology**, v. 37, p. 399-426, 1999.

CRIST, T. O.; FRIESE, C. F. The impact of fungi on soil seeds: implications for plants and granivores in a semiarid shrub-steppe. **Ecology**, v. 74, n. 8, p. 2231-2239, 1993.

CURTIS, P. S.; WANG, X. A meta-analysis of elevated CO₂ effects on woody plant mass, form, and physiology. **Oecologia**, v. 113, n. 3, p. 299-313, 1998.

DAVIDSON, E. A.; JANSSENS, I. A. Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change. **Nature**, v. 440, p. 165-173, 9 Mar. 2006.

DEANGELIS, K. M.; BRODIE, E. L.; DESANTIS, T. Z.; ANDERSEN, G. L.; LINDOW, S. E.; FIRESTONE, M. K. Selective, progressive response of soil microbial community to wild oat roots. **The ISME Journal**, v.3, n. 2, p. 168-178, 2009.

DENEF, K.; BUBENHEIM, H.; LENHART, K.; VERMEULEN, J.; VAN CLEEMPUT, O.; BOECKX, P.; MÜLLER, C. Community shifts and carbon translocation within metabolically-active rhizosphere microorganisms in grasslands under elevated CO₂. **Biogeosciences**, v. 4, n. 5, p. 769-779, 2007.

DERMODY, O.; WELTZIN, J. F.; ENGEL, E. C.; ALLEN, P.; NORBY, R. J. How do elevated [CO₂], warming, and reduced precipitation interact to affect soil moisture and LAI in an old field ecosystem? **Plant Soil**, v. 301, n. 1-2, p. 255-266, 2007.

DÍAZ, S.; GRIME, J. P.; HARRIS, J.; MCPHERSON, E. Evidence of a feedback mechanism limiting plant response to elevated carbon dioxide. **Nature**, v. 364, n. 6438, p. 616-617, 1993.

DRIGO, B.; KOWALCHUK, G. A.; YERGEAU, E.; BEZEMER, T. M.; BOSCHKER, H. T. S.; VAN VEEN, J. A. Impact of elevated carbon dioxide on the rhizosphere communities of *Carex arenaria* and *Festuca rubra*. **Global Change Biology**, v. 13, n. 11, p. 2396-2410, 2007.

DRIGO, B.; VEEN, J. A. V.; KOWALCHUK, G. A. Specific rhizosphere bacterial and fungal groups respond differently to elevated atmospheric CO₂. **The ISME Journal**, v. 3, n. 10, p. 1204-1217, 2009.

EBERSBERGER, D.; WERMBTER, N.; NIKLAUS, P. A.; KANDELER, E. Effects of long term CO₂ enrichment on microbial community structure in calcareous grassland. **Plant and Soil**, v. 264, n. 1, p. 313-323, 2004.

EMMETT, B. A.; BEIER, C.; ESTIARTE, M.; TIETEMA, A.; KRISTENSEN, H. L.; WILLIAMS, D.; PENUELAS, J.; SCHMIDT, I.; SOWERBY, A. The response of soil processes to climate change: results from manipulation studies of shrublands across an environmental gradient. **Ecosystems**, v. 7, n. 6, p. 625-637, 2004.

FERNANDES, F. R.; DE ALBUQUERQUE, L. C.; GIORDANO, L. D. B.; BOITEUX, L. S.; DE AVILA, A. C.; INOUE-NAGATA, A. K. Diversity and prevalence of Brazilian bipartite begomovirus species associated to tomatoes. **Virus Genes**, v. 36, n. 1, p. 251-258, 2008.

FRANKLIN, O.; MCMURTRIE, R. E.; IVERSEN, C. M.; CROUS K. Y.; FINZI, A. C.; TISSUE, D. T.; ELLSWORTH, D. S.; OREN, R.; NORBY, R. J. Forest fine-root production and nitrogen use under elevated CO₂: contrasting responses in evergreen and deciduous trees explained by a common principle. **Global Change Biology**, v. 15, n. 1, p. 132-144, 2009.

FRENCH, S.; LEVY-BOOTH, D.; SAMARAJEEWA, A.; SHANNON, K. E.; SMITH, J.; TREVORS, J. T. Elevated temperatures and carbon dioxide concentrations: effects on selected microbial activities in temperate agricultural soils. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 25, n. 11, p. 1887-1900, 2009.

FROMIN, N.; TARNAWSKI, S.; ROUSSEL-DELIF, L.; HAMELIN, J. BAGGS, E. M.; Aragno, M. Nitrogen fertiliser rate affects the frequency of nitrate-dissimilating *Pseudomonas* spp. in the rhizosphere of *Lolium perenne* grown under elevated CO₂ (Swiss FACE). **Soil Biology and Biochemistry**, v. 37, n. 10, p. 1962-1965, 2005.

GARRETT, K. A.; BOWDEN, R. L. An Allee effect reduces the invasive potential of *Tilletia indica*. **Phytopathology**, v. 92, n. 11, p. 1152-1159, 2002.

GARRETT, K. A.; DENDY, S. P.; FRANK, E. E.; ROUSE, M. N.; TRAVERS, S. E. Climate change effects on plant disease: genomes to ecosystems. **Annual Review of Phytopathology**, v. 44, p. 489-509, 2006.

GARTEN, C. T.; CLASSEN, A. T.; NORBY, R. J.; BRICE, D. J.; WELTZIN, J. F.; SOUZA, L. Role of N₂-fixation in constructed old-field communities under different regimes of [CO₂], temperature, and water availability. **Ecosystems**, v. 11, n. 1, p. 125-137, 2008.

GE, Y.; CHEN, C.; XU, Z.; OREN, R.; HE, J. Z. The spatial factor, rather than elevated CO₂, controls the soil bacterial community in a temperate forest ecosystem. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 76, n. 22, p. 7429-7436, 2010.

GIRAUD, T.; GLADIEUX, P.; GAVRILETS, S. Linking emergence of fungal plant diseases and ecological speciation. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 25, n. 7, p. 387-395, 2010.

GREGORY, P. J.; JOHNSON, S. N.; NEWTON, A. C.; INGRAM, J. S. I. Integrating pests and pathogens into the climate change/food security debate. **Journal of Experimental Botany**, v. 60, n. 10, p. 2827-2838, 2009.

GRIFFITHS, B. S.; RITZ, K.; EBBLEWHITE, N.; PATERSON, E.; KILLHAM, K. Ryegrass rhizosphere microbial community structure under elevated carbon dioxide concentrations, with observations on wheat rhizosphere. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 30, n. 3, p. 315-321, 1998.

GRIME, J. P. Seed banks in ecological perspective. In: PARKER, V. T.; LECK, M. A.; SIMPSON, R. L. (Ed.). **Ecology of soil seed banks**. London: Academic Press, 1989. p. 15-22.

GRÜTER, D.; SCHMID, B.; BRANDL, H. Influence of plant diversity and elevated atmospheric carbon dioxide levels on belowground bacterial diversity. **BMC Microbiology**, v. 6, n. 1, p. 68, 2006.

HAASE, S.; PHILIPPOT, L.; NEUMANN, G.; MARHAN, S.; KANDELER, E. Local response of bacterial densities and enzyme activities to elevated atmospheric CO₂ and different N supply in the rhizosphere of *Phaseolus vulgaris* L. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 40, n. 5, p. 1225-1234, 2008.

HANSON, P. J.; EDWARDS, N. T.; GARTEN, C. T.; ANDREWS, J. A. Separating root and soil microbial contributions to soil respiration: a review of methods and observations. **Biogeochemistry**, v. 48, n. 1, p. 115-146, 2000.

HE, Z.; XU, M.; DENG, Y.; KANG, S.; KELLOGG, L.; WU, L.; NOSTRAND, J. D. van; HOBBIE, S. E.; REICH, P. B.; ZHOU, J. Metagenomic analysis reveals a marked divergence in the structure of belowground microbial communities at elevated CO₂. **Ecology Letters**, v. 13, n. 5, p. 564-575, 2010.

HE, Z.; PICENO, Y.; DENG, Y.; XU, M.; LU, Z.; DESANTIS, T.; ANDERSEN, G.; HOBBIE, S. E.; REICH, P. B.; ZHOU, J. The phylogenetic composition and structure of soil microbial communities shifts in response to elevated carbon dioxide. **The ISME Journal**, v. 6, n. 2, p. 259-72, 2012.

HEIMANN, M.; REICHSTEIN, M. Terrestrial ecosystem carbon dynamics and climate feedbacks. **Nature**, v. 451, n. 7176, p. 289-292, 2008.

HOCHACHKA, P. W.; SOMERO, G. N. **Biochemical adaptation**: mechanism and process in physiological evolution. Oxford: Oxford University Press, 2002. 480 p.

HORZ, H. P.; BARBROOK, A.; FIELD, C. B.; BOHANNAN, B. J. Ammonia-oxidizing bacteria respond to multifactorial global change. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 101, n. 42, p. 15136, 2004.

HU, S.; CHAPIN III, F. S.; FIRESTONE, M. K.; FIELD, C. B. CHIARIELLO, N. R. Nitrogen limitation of microbial decomposition in a grassland under elevated CO₂. **Nature**, v. 409, n. 6817, p. 188-191, 2001.

HUNGATE, B. A.; HOLLAND, E. A.; JACKSON, R. B.; CHAPIN III, F. S.; MOONEY, H. A.; FIELD, C. B. The fate of carbon in grasslands under carbon dioxide enrichment. **Nature**, v. 388, n. 6642, p. 576-579, 1997.

HUNGATE, B. A.; JAEGER III, C. H.; GAMARA, G.; CHAPIN III, F. S.; FIELD, C. B. Soil microbiota in two annual grasslands: responses to elevated atmospheric CO₂. **Oecologia**, v. 124, n. 4, p. 589-598, 2000.

HUNGATE, B. A.; JOHNSON, D. W.; DIJKSTRA, P.; HYMUS, G.; STILING, P.; MEGONIGAL, J. P.; PAGEL, A. L.; MOAN, J. L.; DAY, F.; LI, J. H.; HINKLE, C. R.; DRAKE, B. G. Nitrogen cycling during seven years of atmospheric CO₂ enrichment in a scrub oak woodland. **Ecology**, v. 87, n. 1, p. 26-40. 2006.

JANUS, L. R.; ANGELONI, N. L.; MCCORMACK, J.; RIER, S. T.; TUCHMAN, N. C.; KELLY, J. J. Elevated atmospheric CO₂ alters soil microbial communities associated with trembling aspen (*Populus tremuloides*) roots. **Microbial Ecology**, v. 50, n. 1, p. 102-109, 2005.

JONES, T. H.; THOMPSON, L. J.; LAWTON, J. H.; BEZEMER, T. M.; BARDGETT, R. D.; BLACKBURN, T. M.; BRUCE, K. D.; CANNON, P. F.; HALL, G. S.; HARTLEY, S. E.; HOWSON, G.; JONES, C. G.; KAMPICHLER, C.; KANDELER, E.; RITCHIE, D. A. Impacts of rising atmospheric carbon dioxide on model terrestrial ecosystems. **Science**, v. 280, n. 5362, p. 441-443, 1998.

JOSSI, M.; FROMIN, N.; TARNAWSKI, S.; KOHLER, F.; GILLET, F.; ARAGNO, M.; HAMELIN, J. How elevated pCO₂ modifies total and metabolically active bacterial communities in the rhizosphere of two perennial grasses grown under field conditions. **FEMS Microbiology Ecology**, v. 55, n. 3, p. 339-350, 2006.

JUNK, J.; KOUADIO, L.; DELFOSSE, P.; EL JARROUDI, M. Effects of regional climate change on brown rust disease in winter wheat. **Climatic Change**, v. 135, n. 3, p. 439-451, 2016.

KANDELER, E.; TSCHERKO, D.; BARDGETT, R. D.; HOBBS, P. J.; KAMPICHLER, C.; JONES, T. H. The response of soil microorganisms and roots to elevated CO₂ and temperature in a terrestrial model ecosystem. **Plant and Soil**, v. 202, n. 2, p. 251-262, 1998.

KANDELER, E.; MOSIER, A. R.; MORGAN, J. A.; MILCHUNAS, D. G.; KING, J. Y.; RUDOLPH, S.; TSCHERKO, D. Response of soil microbial biomass and enzyme activities to the transient elevation of carbon dioxide in a semi-arid grassland. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 38, n. 8, p. 2448-2460, 2006.

KIRSCHBAUM, M. U. F. The temperature dependence of organic-matter decomposition – still a topic of debate. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 38, n. 9, p. 2510-2518, 2006.

LARSON, J. L.; ZAK, D. R.; SINSABAUGH, R. L. Extracellular enzyme activity beneath temperate trees growing under elevated carbon dioxide and ozone. **Soil Science Society of America Journal**, v. 66, n. 6, p. 1848-1856, 2002.

LEISHMAN, M. R.; MASTERS, G. J.; CLARKE, I. P.; BROWN, V. K. Seed bank dynamics: the role of fungal pathogens and climate change. **Functional Ecology**, v. 14, n. 3, p. 293-299, 2000.

LEKKERKERK, L. J. A.; GEIJN, S. C. V. D.; VEEN, J. A. V. Effects of elevated atmospheric CO₂-levels on the carbon economy of a soil planted with wheat. BOUWMAN A. F. (Ed.) **Soils and the Greenhouse Effect**. New York: J. Wiley, p. 423-439, 1990.

LESAULNIER, C.; PAPAMICHAIL, D.; MCCORKLE, S.; OLLIVIER, B.; SKIENA, S.; TAGHAVI, S.; ZAK, D.; VAN DER LELIE, D. Elevated atmospheric CO₂ affects soil microbial diversity associated with trembling aspen. **Environmental Microbiology**, v. 10, n. 4, p. 926-941, 2008.

LIPSON, D. A.; BLAIR, M.; BARRON-GAFFORD, G.; GRIEVE, K.; MURTHY, R. Relationships between microbial community structure and soil processes under elevated atmospheric carbon dioxide. **Microbial Ecology**, v. 51, n. 3, p. 302-314, 2006.

LLORET, F.; PENUELAS, J.; PRIETO, P.; LLORENS, L.; ESTIARTE, M. Plant community changes induced by experimental climate change: seedling and adult species composition. **Perspectives in Plant Ecology and Evolution and Systematics**, v. 11, n. 1, p. 53-63, 2009.

LOY, A.; KÜSEL, K.; LEHNER, A.; DRAKE, H. L.; WAGNER, M. Microarray and functional gene analyses of sulfate-reducing prokaryotes in low-sulfate, acidic fens reveal co-occurrence of recognized genera and novel lineages. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 70, n. 12, p. 6998-7009, 2004.

LUO, Y.; HUI, D.; ZHANG, D. Elevated CO₂ stimulates net accumulations of carbon and nitrogen in land ecosystems: a meta-analysis. **Ecology**, v. 87, n. 1, p. 53-63, 2006.

LUSSENHOP, J.; TREONIS, A.; CURTIS, P. S.; TEERI, J. A.; VOGEL, C. S. Response of soil biota to elevated atmospheric CO₂ in poplar model systems. **Oecologia**, v. 113, n. 2, p. 247-251, 1998.

MARILLEY, L.; HARTWIG, U. A.; ARAGNO, M. Influence of an Elevated Atmospheric CO₂ Content on Soil and Rhizosphere Bacterial Communities Beneath *Lolium perenne* and *Trifolium repens* under Field Conditions. **Microbial Ecology**, v. 38, n. 1, p. 39-49, 1999.

MEEHL, G. A.; STOCKER, T. F. (Coord.). Global climate projections. In: SOLOMON, S., QIN, D.; MANNING, M.; CHEN, Z.; MARQUIS, M.; AVERYT, K. B.; TIGNOR, M.; MILLER, H. L. (Ed.). **Climate change 2007: the physical science basis: contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge: Cambridge University Press, 2007. p. 747-845.

MENDES, R.; KRUIJT, M.; BRUIJN, I. D.; DEKKERS, E.; VOORT, M. V. D.; SCHNEIDER, J. H. M.; PICENO, Y. M.; DESANTIS, T. Z.; ANDERSEN, G. L.; BAKKER, P. A. H. M.; RAAIJMAKERS, J. M. Deciphering the rhizosphere microbiome for disease-suppressive bacteria. **Science**, v. 332, n. 6033, p.1097-1100, 2011.

MITCHELL, E. A. D.; GILBERT, D.; BUTTLER, A.; AMBLARD, C.; GROSVERNIER, P.; GOBAT, J. M. Structure of microbial communities in Sphagnum peatlands and effect of atmospheric carbon dioxide enrichment. **Microbial Ecology**, v. 46, n. 2, p. 187-199, 2003.

MONTGOMERY, D. R. Soil. In: 2020 visions. **Nature**, v. 463, n. 7277, p. 31-32, 2010.

NIKLAUS, P. A.; ALPHEI, J.; KAMPICHLER, C.; KANDELER, E.; KÖRNER, C.; TSCHERKO, D.; WOHLFENDER, M. Interactive effects of plant species diversity and elevated CO₂ on soil biota and nutrient cycling. **Ecology**, v. 88, n. 12, p. 3153-3163, 2007.

NORBY, R. J.; COTRUFO, M. F.; INESON, P.; O'NEILL, E. G.; CANADELL, J. G. Elevated CO₂, litter chemistry, and decomposition: a synthesis. **Oecologia** v. 127, n. 2, p. 153-165, 2001.

NORBY, R. J.; LEDFORD, J.; REILLY, C. D.; MILLER, N. E.; O'NEILL, E. G. Fine-root production dominates response of a deciduous forest to atmospheric CO₂ enrichment. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 101, n. 26, p. 9689-9693, 2004.

O'NEILL, E.; LUXMOORE, R.; NORBY, R. Elevated atmospheric CO₂ effects on seedling growth, nutrient uptake, and rhizosphere bacterial populations of *Liriodendron tulipifera* L. **Plant and Soil**, v. 104, n. 1, p. 3-11, 1987.

OLWOCH, J. M.; DE RAUTENBACH, C. J. D.; ERASMUS, B. F. N.; ENGELBRECHT, F. A.; VAN JAARSVELD, A. S. Simulating tick distributions over sub-Saharan Africa: the use of observed and simulated climate surfaces. **Journal of Biogeography**, v. 30, n. 8, p. 1221-32, 2003.

PANIKOV, N. S. Understanding and prediction of soil microbial community dynamics under global change. **Applied Soil Ecology**, v. 11, n. 2-3, p. 161-176, 1999.

PATERSON, E.; HODGE, A.; THORNTON, B.; MILLARD, P.; KILLHAM, K. Carbon partitioning and rhizosphere C-flow in *Lolium perenne* as affected by CO₂ concentration, irradiance and below-ground conditions. **Global Change Biology**, v. 5, n. 6, p. 669-678, 1999.

PAUL, E. A.; CLARK, F. E. **Soil microbiology and biochemistry**. 2nd ed. San Diego: Academic Press, 1996. 340 p.

PETTERSSON, M.; BAATH, E. Temperature-dependent changes in the soil bacterial community in limed and unlimed soil. **FEMS Microbiology Ecology**, v. 45, n. 1, p. 13-21, 2003.

PFENDER, W. F.; VOLLMER, S. S. **Plant Disease**, v. 83, n. 11, p. 1058-1062, 1999.

PIAO, Z.; YANG, L.; ZHAO, L.; YIN, S. Actinobacterial community structure in soils receiving long-term organic and inorganic amendments. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 74, n. 2, p. 526-530, 2008.

PRITCHARD, S. G. Soil organisms and global climate change. **Plant Pathology**, v. 60, p. 82-99, 2011. Special edition.

REICH, P. B.; KNOPS, J.; TILMAN, D.; CRAINE, J.; ELLSWORTH, D.; TJOELKER, M.; LEE, T.; WEDIN, D.; NAEEM, S.; BAHAUDDIN, D.; HENDREY, G.; JOSE, S.; WRAGE, K.; GOTH, J.; BENGSTON, W. Plant diversity enhances ecosystem responses to elevated CO₂ and nitrogen deposition. **Nature**, v. 410, n. 6830, p. 809-810, 2001.

RUNION, G.; CURL, E.; ROGERS, H. H.; BACKMAN, P. A.; RODRÍGUEZ-KÁBANA, R.; HELMS, B. E. Effects of free-air CO₂ enrichment on microbial populations in the rhizosphere and phyllosphere of cotton. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 70, n. 1-4, p. 117-130, 1994.

SCHORTEMAYER, M.; HARTWIG, U. A.; HENDREY, G. R.; SADOWSKY, M. J. Microbial community changes in rhizosphere of the white clover and perennial ryegrass exposed to free air dioxide enrichment (FACE). **Soil Biology and Biochemistry**, v. 28, n. 12, p. 1717-1724, 1997.

SMITH, P.; FANG, C.; DAWSON, J. J. C.; MONCRIEFF, J. B. Impact of global warming on soil organic carbon. **Advances in Agronomy**, v. 97, p. 1-43, 2008.

SONNEMANN, I.; WOLTERS, V. The microfood web of grassland soils responds to a moderate increase in atmospheric CO₂. **Global Change Biology**, v. 11, n. 7, p. 1148-1155, 2005.

TARNAWSKI, S.; ARAGNO, M. The influence of elevated CO₂ on diversity, activity and biogeochemical functions of rhizosphere and soil bacterial communities. In: NOSBERGER, J.; LONG, S. P.; NORBY, R. J.; STITT, M. HENDREY, G. R.; BLUM, H. (Ed.). **Managed Ecosystems and CO₂**: case studies, processes, and perspectives. New York: Springer, 2006. p. 393-412. (Ecological Studies, v. 187).

VARGHESE, R; HATHA, M. Significance of soil microorganisms with special reference to climate change. **Indian Journal of Education and Information Management**, v. 1, n. 3, 2012.

VENABLE, D. L.; BROWN, J. S. The selective interactions of dispersal, dormancy and seed size as adaptations for reducing risks in variable environments. **American Naturalist**, v. 131, n. 3, p. 360-384, 1988.

WAUGH, M. M.; KIM, D. H.; FERRIN, D. M.; STANGHELLINI, M. E. Reproductive potential of *Monosporascus cannonballus*. **Plant Disease**, v. 87, n. 1, p. 45-50, 2003.

YEATES, G. W.; TATE, K. R.; NEWTON, P. C. D. Response of the fauna of a grassland soil to doubling of atmospheric carbon dioxide concentration. **Biology and Fertility of Soils**, v. 25, n. 3, p. 307-315, 1997.

ZAK, D. R.; PREGITZER, K. S.; CURTIS, P. S.; HOLMES, W. E. Atmospheric CO₂ and the composition and function of soil microbial communities. **Ecological Applications**, v. 10, n. 1, p. 47-59. 2000a.

ZAK, D. R.; PREGITZER, K. S., CURTIS, P. S.; TEERI, J. A.; FOGEL, R.; RANDLETT, D. L. Elevated atmospheric CO₂ and feedback between carbon and nitrogen cycles. **Plant and Soil**, v. 151, n. 1, p. 105-117, 1993.

ZAK, D. R.; PREGITZER, K. S.; KING, J. S.; HOLMES, W. E. Elevated atmospheric CO₂, fine roots and the response of soil microorganisms: a review and hypothesis. **New Phytologist**, v. 147, n. 1, p. 201-222, 2000b.

ZAK, D. R.; RINGELBERG, D. B.; PREGITZER, K. S.; RANDLETT, D. L.; WHITE, D. C.; CURTIS, P. S. Soil microbial communities beneath *Populus grandidentata* crown under elevated atmospheric CO₂. **Ecological Applications**, v. 6, n. 1, p. 257-262, 1996.

ZANETTI, S.; HARTWIG, U. A.; LUSCHER, A.; HEBEISEN, T.; FREHNER, M.; FISCHER, B. U.; HENDREY, G. R.; BLUM, H.; NOSBERGER, J. Stimulation of symbiotic N₂ fixation in *Trifolium repens* L. under elevated atmospheric pCO₂, in a grassland ecosystem. **Plant Physiology**, v. 112, n. 2, p. 575-583, 1996.

ZHANG, W.; PARKER, K. M.; LUO, Y.; WAN, S.; WALLACE, L. L. HU, S. Soil microbial responses to experimental warming and clipping in a tallgrass prairie. **Global Change Biology**, v. 11, n. 2, p. 266-277, 2005.

ZOGG, G. P.; ZAK, D. R.; RINGELBERG, D. B.; MACDONALD, N. W.; PREGITZER, K. S.; WHITE, D. C. Compositional and functional shifts in microbial communities due to soil warming. **Soil Science Society of America Journal**, v. 61, n. 2, p. 475-481, Mar.-Apr. 1997.

Efeito das mudanças climáticas sobre a ferrugem do cafeeiro

Flávia Rodrigues Alves Patrício

Introdução

Segundo o quinto relatório do Intergovernmental Panel on Climate Change (2015), o aquecimento do clima é inequívoco, e, desde os anos 1950, muitas das mudanças observadas não têm precedentes sobre décadas e milênios. De maneira geral, a atmosfera e os oceanos esquentaram, as quantidades de neve e gelo diminuíram e o nível dos oceanos subiu. A influência humana nos sistemas climáticos é clara, e emissões recentes de gases de efeito estufa são as maiores da história (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2015). As mudanças climáticas recentes têm tido um amplo impacto sobre os sistemas humanos e naturais, e esse impacto deverá se perpetuar nos próximos anos. É muito provável que mais da metade do aumento na temperatura da terra, observado de 1951 a 2010, seja devido ao homem (origem antrópica), tanto pelo aumento na emissão de gases de efeito estufa (GEE) quanto por outras forças antrópicas atuando juntas (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2015).

Os efeitos que essas mudanças possam acarretar em uma cultura de importância estratégica global e especialmente para o Brasil, que há várias décadas mantém o posto de maior produtor e exportador mundial de café (CONAB, 2016), bem como os efeitos sobre a principal doença dessa cultura, a ferrugem, causada pelo fungo *Hemileia vastatrix* L., merecem ser estudados. Assim, as tomadas

de decisões com relação aos investimentos governamentais e privados para que o País continue relevante na produção mundial de café deverão incorporar a importância das mudanças climáticas.

Desde que foi detectada no Brasil, em 1970, a ferrugem é a mais importante doença em todas as regiões em que o cafeeiro arábica é cultivado no País. Os sintomas da ferrugem são pústulas pulverulentas (Figura 1), contendo inúmeros urediniósporos do patógeno na face inferior, e manchas cloróticas na face superior das folhas (MATIELLO; ALMEIDA, 2006; ZAMBOLIM, 2016). As folhas afetadas caem e a planta debilitada não consegue formar os botões florais da safra seguinte. Por essa razão a doença reduz, em média, 35% da produção da safra do ano seguinte e, muitas vezes, aumenta o ciclo bienal da cultura (ZAMBOLIM, 2016).



Foto: Flávia R. A. Patrício.

Figura 1. Sintomas de ferrugem, causada por *Hemileia vastatrix* em folhas de cafeeiro.

Assim como para numerosas doenças de plantas, as mudanças climáticas previstas para os próximos anos poderão ter um impacto sobre a ferrugem, uma doença cuja epidemia é muito dependente do clima. Os fatores do clima mais preocupantes e que terão efeito

sobre o hospedeiro, o patógeno e possíveis agentes de biocontrole são o aumento da temperatura, alterações na precipitação e aumento da emissão de GEE (GHINI et al., 2011a, 2011b; GHINI; HAMADA, 2008).

Desde os anos 50 já se observou aumento da concentração de gases de efeito estufa na atmosfera e esse aumento está relacionado ao conseqüente aumento da temperatura em diversas regiões do globo terrestre (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2015). Os principais gases de efeito estufa são o dióxido de carbono (CO_2), cujo aumento na atmosfera está associado ao consumo de combustíveis fósseis e a outras atividades industriais e humanas; o óxido nitroso, cujo aumento também está associado ao consumo de combustíveis fósseis e de fertilizantes nitrogenados, e o metano. O consumo de fertilizantes nitrogenados passou de três milhões de toneladas em 1950 para 50 milhões de toneladas em 2015. O IPCC propõe quatro cenários climáticos futuros baseados nos acordos realizados entre os países participantes e as atividades humanas e econômicas resultantes da aplicação desses acordos (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2015). Os cenários são RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.0 e RCP 8.59 e foram formulados em função das restrições a emissões dos GEE efetivamente implantadas pelos países participantes dos acordos mundiais. Quanto menos restrições forem cumpridas, maiores serão as emissões de GEE e maior o aumento da temperatura. Resumidamente, no cenário RCP 2.6, prevê-se a restrição severa à produção de GEE, com a manutenção, no período de 2080 a 2100, de aproximadamente 400 ppm de CO_2 na atmosfera, e um aumento de temperatura de 0,3 a 1,7°C. No cenário RCP 4.5, prevê-se um aumento de temperatura de 1,1°C a 2,6°C e a concentração de CO_2 de 480 a 580 ppm. No cenário RCP 6.0, estima-se que haja um aumento de 1,4°C a 3,1°C e o aumento na concentração de CO_2 fique em torno de 580 a 720 ppm. No cenário

RCP 8.59, o aumento estimado é de 2,6°C a 4,8°C, e espera-se que o aumento na concentração de CO₂ fique acima de 720 ppm (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2015).

Efeito do clima na ocorrência de ferrugem

Por ser muito dependente do clima, a epidemia da ferrugem pode ser variável em cada região em que o café é cultivado no Brasil e de acordo com as condições climáticas que ocorreram em cada ano, mas em geral com início em dezembro, tem o pico em maio-junho e, a partir desses meses, decresce (ZAMBOLIM, 2016). Considera-se que o inóculo inicial de ferrugem no Brasil seja proveniente de urediniósporos presentes nas folhas que ficaram no terço inferior da planta ou que caíram no solo, depois da desfolha. Com o início das chuvas, nos meses de novembro-dezembro, esses urediniósporos germinam e iniciam um novo ciclo da doença (KUSHALAPPA, 1989). Caso haja um filme de água livre sobre a folha, as flutuações de temperatura estimulam a germinação dos urediniósporos e a sua consequente penetração nas folhas (KUSHALAPPA, 1989). Os urediniósporos só germinam em temperaturas menores que 32°C e maiores que 12,5°C (KUSHALAPPA, 1989; ZAMBOLIM, 2016). A quantidade de inóculo inicial da doença depende das condições climáticas que ocorreram no inverno. Invernos mais quentes e chuvosos podem permitir que maior quantidade de inóculo esteja presente nas lavouras no início da safra (KUSHALAPPA, 1989). Nos anos futuros, estão previstos para a região Sudeste invernos e primaveras mais quentes (HAMADA et al., 2011). As temperaturas mensais médias da normal climatológica registradas na região Sudeste no período de maio a setembro foram de 20,8°C a 19,0°C. No cenário A2 de 2071 a 2100 prevê-se que a temperatura média mensal da região Sudeste seja de 26,9; 27,0; 26,8; 27,3; 27,7; 27,4 e 26,1°C nos meses de outubro, novembro, dezembro,

janeiro, fevereiro, março e abril, respectivamente), enquanto na normal climatológica de 1961 a 1990 a temperatura média variou de 22,8°C (outubro) a 24,5°C (fevereiro) (HAMADA et al., 2011). Essas temperaturas são muito favoráveis à germinação dos urediniósporos (PEREIRA et al., 2008), mas de maneira geral os modelos preveem redução na precipitação para a região Sudeste nos meses de inverno e primavera, o que poderia acarretar redução no inóculo inicial, apesar do aumento de temperatura, que poderia favorecer a doença nessa época do ano. Entretanto, a precipitação é a variável mais difícil de prever, portanto as chuvas terão um papel fundamental na manutenção do inóculo no inverno e determinarão a quantidade de inóculo presente no início da epidemia.

De maneira geral os urediniósporos de ferrugem são resistentes a condições climáticas adversas. Os urediniósporos têm uma parede espessa que ocupa aproximadamente 20% da sua composição, e que permite a sua sobrevivência nessas condições climáticas desfavoráveis, além de seus ornamentos auxiliarem a dispersão por longas distâncias pelas correntes de vento (ESKES, 1989b). O mesmo acontece para os estimulantes da germinação endógenos, que teriam a função de manter os urediniósporos em condições de dormência até que condições climáticas e a presença do hospedeiro suscetível sejam favoráveis à germinação (ESKES, 1989b). Por essas razões, pode-se supor que a ferrugem continuará a ser importante para a cultura do cafeeiro, mesmo que o regime de chuvas seja mais irregular e os invernos mais quentes nos anos futuros.

Na década de 1960, a temperatura ótima para a germinação de urediniósporos de *Hemileia vastatrix* foi estimada entre 22°C a 23°C (NUTMAN et al., 1963, citado por PEREIRA et al., 2008). No entanto, em estudo publicado em 2008 no Brasil, urediniósporos coletados em diferentes regiões do Estado de Minas Gerais exibiam um padrão diverso de germinação em temperaturas de 15°C a 30°C. Enquanto alguns isolados apresentaram a máxima germi-

nação a 20°C, outros apresentaram a 25°C e outros ainda entre 25°C e 30°C (SALUSTIANO et al., 2008). Esses resultados são indicativos de que já pode estar em curso uma seleção de indivíduos com capacidade de germinar e possivelmente infectar cafeeiros em temperaturas superiores às estimadas nos estudos anteriores.

O período de incubação ou o número de dias transcorridos desde a penetração do fungo, pelos estômatos, na face inferior das folhas, até a expressão dos sintomas da doença na planta, é uma variável que tem grande impacto sobre a taxa de crescimento da epidemia da ferrugem (ZAMBOLIM, 2016). Quanto menor o período de incubação, maior o número de gerações do patógeno que são completadas durante o ciclo da cultura, portanto maior a taxa de crescimento da epidemia da doença (KUSHALAPPA, 1989). O período de incubação da ferrugem no Brasil varia de 25 a 45 dias, mas é muito sensível a variações na temperatura, e aumenta quando a temperatura é maior que 28°C ou menor que 18°C (ZAMBOLIM et al., 2005).

Com relação às alterações climáticas previstas para os próximos anos, no estudo de Ghini et al. (2011b) foram feitos mapas de previsão do período de incubação com base na equação: “Período de incubação = 103,01 – 0,98 *Temperatura máxima – 2,10 *Temperatura mínima” (MORAES et al., 1976) e com base nos cenários A2 e B1, vigentes por ocasião da elaboração do estudo e semelhantes aos citados anteriormente. Os autores observaram que havia uma redução no período de incubação ao longo do ano em ambos os cenários, mas no cenário A2 a redução foi maior que no cenário B1. A redução prevista foi maior no período do verão e menor no período do inverno. No município de Pindorama, SP (longitude: 49,0° Oeste, latitude: 21,0° Sul e 562 m de altitude) o período de incubação previsto ficou estimado em torno de 20 dias no verão, bem menor que o estimado quando se aplica a equação com os dados da normal climatológica, que é de 33 a 38 dias. No município de

maior altitude, Monte Alegre do Sul, SP (longitude: 46,7° Oeste, latitude: 22° Sul e 777 m de altitude), o período de incubação previsto passou de 35 a 40 dias, considerando a normal climatológica de 1961 a 1990, para 29 a 38 dias no cenário A2 (GHINI et al., 2011b). Pelas previsões, para ambas as cidades, a redução no período de incubação é maior nos meses mais quentes do ano, de outubro-novembro a março-abril. Se for considerado apenas o período de incubação previsto com o uso da equação pode-se supor um agravamento considerável na epidemia da ferrugem na cultura do café, especialmente nos municípios produtores de café que se situam nas menores altitudes do sudeste do Brasil.

No entanto, é importante considerar os outros fatores que interferem na epidemia da doença, como chuvas e temperaturas máximas e mínimas. De maneira geral, as condições climáticas que favorecem a ferrugem são temperaturas entre 20°C e 25°C e o total de chuvas superior a 30 mm. Temperaturas acima de 30°C e iguais ou inferiores a 15°C são desfavoráveis à doença (PEREIRA et al., 2008). As temperaturas acima de 30°C e iguais ou inferiores a 15°C são desfavoráveis à ferrugem, portanto as temperaturas mínimas previstas para essa época do ano, praticamente para todas as áreas produtoras de café não serão limitantes para a ferrugem do cafeeiro. No entanto, as temperaturas máximas previstas para os meses de outubro-novembro a março-abril para o Sudeste no cenário A2, que ficarão acima de 30°C (HAMADA et al., 2011), poderão reduzir a epidemia da doença, pois acima dessa temperatura a ferrugem não se desenvolve (PEREIRA et al., 2008).

Também nas temperaturas máximas previstas para essa época do ano, acima de 30°C, a germinação de urediniósporos de *Hemileia vastatrix* é inibida. Para uma doença policíclica, como a ferrugem do cafeeiro, reduções na taxa de germinação e penetração terão efeito direto sobre a taxa de progresso da epidemia. Todas essas considerações precisam levar em conta a altitude e outras carac-

terísticas das regiões cafeeiras. De maneira geral, no Brasil as epidemias de ferrugem não são tão graves em lavouras situadas em altitudes superiores a 1200 m (ZAMBOLIM, 2016), nas quais raramente requerem aplicações de fungicidas. No entanto, as elevações de temperatura previstas para os próximos anos, especialmente no cenário RCP 8.2 poderão tornar a doença mais importante nessas regiões.

Efeito do aumento da concentração de CO₂ na atmosfera

O efeito do aumento da concentração dos GEE é um importante fator a ser considerado em relação às epidemias da ferrugem no futuro. O GEE mais estudado com relação a doenças de plantas é o CO₂, pois é o mais abundante e cujo aumento é mais preocupante (GHINI et al., 2011a).

Reduções na incidência e severidade da ferrugem do cafeeiro em estufa de topo aberto (OTC) com elevação da concentração de CO₂ (508 ppm) foi observada na cultivar suscetível Catuaí, no estudo conduzido por Tozzi e Ghini (2016). Como não ocorreu redução na germinação dos uredinósporos nesse ambiente, esse fenômeno pode ser resultado da redução na condutividade na cavidade do estômato no ambiente com maior concentração de CO₂ atmosférico, que pode ter restringido a penetração do patógeno nas folhas. Também a produção, em maior quantidade, de fitoalexinas pelas plantas cultivadas no ambiente com maior concentração de CO₂ pode ter favorecido essa redução na severidade da doença. Por exemplo, Braga et al. (2006) observaram maior produção de fitoalexinas em soja cultivada em ambiente com 720 ppm de CO₂, quando comparada à soja produzida em ambiente sem adição de CO₂. Outro fator importante que pode estar relacionado à menor incidência de ferrugem no ambiente com elevação de CO₂ atmosférico é o aumento do crescimento das plantas, que é frequentemente obser-

vado nas plantas cultivadas nesses ambientes (WU et al., 2004), incluindo o cafeeiro (GHINI et al., 2015; TOZZI; GHINI, 2016).

Em experimento do tipo *Free Air Carbon-dioxide Enrichment* (ClimapestFACE), instalado na Embrapa, em Jaguariúna, SP, foi observado maior crescimento de cafeeiros cultivados com 550 ppm de CO₂ que no ambiente em que foi registrada a concentração média de 390 ppm (GHINI et al., 2015). O mesmo ocorreu no estudo de Tozzi e Ghini (2016), realizado em estufa de topo aberto, também localizado na Embrapa Meio Ambiente em Jaguariúna. A maior biomassa das plantas de cafeeiro cultivadas em ambiente com maior concentração de CO₂ pode também ter contribuído para menor severidade da doença observada nas plantas (TOZZI; GHINI, 2016) e compensado parcialmente os efeitos negativos previstos nas mudanças climáticas.

Outro fator relacionado ao crescimento de plantas em ambiente com elevação do CO₂ atmosférico é a melhora na eficiência do uso da água ou *water use efficiency* (WUE) que é calculado pela relação entre a água absorvida e a água perdida pela transpiração (WU et al., 2004). No estudo conduzido no FACE, não se observou, até o momento, alteração no WUE das folhas das plantas mantidas no ambiente com maior CO₂ (GHINI et al., 2015); no entanto, em outros estudos houve diferença no WUE de plantas mantidas em ambiente com maior quantidade de CO₂. Para um patógeno biotrófico como *Hemileia vastatrix*, a penetração em cultivares suscetíveis ocorre pelos estômatos de maneira bastante especializada e relativamente rápida, aproximadamente 12 horas após a inoculação. A colonização ocorre por intermédio de estruturas especializadas, por meio de uma hifa de penetração que cresce na câmara subestomatal (SILVA et al., 2006). As hifas produzem haustórios nas células subestomatais e começam o parasitismo nas células subsidiárias das invadidas. Alterações na composição dos estômatos observadas em outros patossistemas (WU et al., 2004) podem es-

tar relacionadas à menor incidência e severidade de ferrugem nos cafeeiros mantidos em atmosfera com maior concentração de CO₂, hipótese que pode vir a ser objeto de estudos futuros.

Efeito das mudanças climáticas sobre o manejo da ferrugem do cafeeiro

As mudanças climáticas poderão também impactar as medidas de controle adotadas para o manejo da ferrugem. A resistência de cultivares é a medida de controle mais econômica e ambientalmente segura para o manejo da ferrugem do cafeeiro, mas o desenvolvimento de cultivares resistentes continuará sendo um desafio nos anos futuros. No Brasil, todas as instituições envolvidas com melhoramento do cafeeiro têm programas voltados para o desenvolvimento de cultivares resistentes à ferrugem. Um dos maiores desafios para esses programas é a enorme variabilidade de *Hemileia vastatrix*. Cerca de 50 raças já foram descritas no Centro Internacional de Ferrugem do Cafeeiro (CIFC) de Oeiras, Portugal (VÁRZEA; MARQUES, 2005), e no Brasil foram encontradas 15 raças (ZAMBOLIM, 2016). Entretanto, em *Coffea arabica* predomina a raça II, a primeira a ser encontrada no País, em 1970, e ainda considerada a mais agressiva (FAZUOLI et al., 2005; ZAMBOLIM, 2016).

Estudo recente evidenciou que não há grande diferenciação na população de *Hemileia vastatrix* no Brasil, provavelmente pela grande migração e transporte aéreo de urediniósporos. Entretanto, as populações exibem variação de acordo com o hospedeiro, e a maior variabilidade foi encontrada em urediniósporos oriundos do Híbrido de Timor (CABRAL et al., 2016). Essa variabilidade pode explicar-se pelo fato de ter-se observado cariogamia e recombinação genética por meiose durante o processo de germinação dos urediniósporos de *Hemileia vastatrix*, chamada de criptosexualidade (CARVALHO

et al., 2011). Pode também ajudar a explicar, nos anos futuros, a ocorrência de tantas raças de ferrugem e a adaptabilidade a diferentes condições ambientais do patógeno.

As cultivares de cafeeiro no futuro, além de serem resistentes à ferrugem, deverão ser tolerantes ao calor e a possíveis deficit hídricos. Assim, seria importante que os programas de melhoramento se adaptassem aos novos cenários previstos para obter material adaptados aos novos tempos. De acordo com Fazuoli et al. (2005), os materiais portadores do gene S_{H3} , parecem exibir, além de resistência à ferrugem, tolerância a deficit hídricos. Assim, tais materiais devem ser considerados importantes pelos programas de melhoramento.

Não se sabe o efeito que as mudanças climáticas poderão ter sobre as medidas de controle desenvolvidas para o manejo da ferrugem, como o controle biológico. Atualmente, o controle biológico da ferrugem do cafeeiro praticamente não é utilizado no Brasil, provavelmente por causa do clima que prevalece durante o ciclo do cafeeiro e talvez porque o controle químico se desenvolveu rapidamente no País e de certa forma tem sido eficiente. Durante o ciclo da cultura, são frequentes dias chuvosos seguidos por dias secos, em que esses agentes perdem a viabilidade e/ou a capacidade de parasitar as lesões de *Hemileia vastatrix*. Espécies de *Lecanicillium*, que é um fungo polífago, podem parasitar ácaros, insetos e outros patógenos, e os que parasitam urediniósporos de *Hemileia vastatrix* estão entre os agentes de biocontrole mais frequentes em culturas do cafeeiro. *Lecanicillium* spp. parasitam os urediniósporos em temperaturas semelhantes às ideais para ferrugem, entre 10°C e 30°C, com um ótimo de 20°C a 25°C, mas requerem em torno de 99% de umidade relativa para efetuarem o parasitismo (ESKES, 1989a). O aumento de importância do controle biológico com o uso desse antagonista, portanto, ficará condicionado à ocorrência de dias chuvosos seguidos, pois nessa condição as lesões podem ser colonizadas

em 3 a 4 dias, e após 7 dias estão completamente colonizadas (ESKES, 1989a) Mas esse ainda é o parâmetro mais difícil de prever hoje e no futuro. As chuvas também serão importantes para outros agentes de biocontrole que já demonstraram potencial para o controle biológico da ferrugem, como *Bacillus thuringiensis* e *Bacillus subtilis* (BETTIOL et al., 1994; HADDAD et al., 2009). Estudos realizados em Jaguariúna, na Embrapa Meio Ambiente, em condições controladas, demonstraram que aumentos do CO₂ atmosférico de 380 até 1300 ppm não interferiram no antagonismo de *Bacillus pumilus*, *Lecanicillium longisporum* e, especialmente, *Bacillus subtilis*, o agente de biocontrole mais efetivo, quando aplicados antes e depois da inoculação de *Hemileia vastatrix* (MENDES et al., 2012). Estudos em condições de campo sobre o desenvolvimento e estabelecimento desses agentes de biocontrole na filosfera das plantas ainda são necessários. É possível que esses agentes de biocontrole sejam favorecidos pelo fato de que a atmosfera com maior quantidade de CO₂ terá pouco impacto sobre o seu desenvolvimento, mas possa reduzir a severidade da ferrugem. Entretanto, esse é um importante assunto a ser estudado. É possível que no futuro sejam desenvolvidos modelos de previsão que possam prever o momento adequado de aplicação dos agentes de biocontrole, que são facilmente propagados em condições de laboratório, e que possam tornar o controle biológico uma realidade para a cultura do café no Brasil.

O controle químico da ferrugem do cafeeiro provavelmente continuará sendo usado na cafeicultura brasileira nos próximos anos porque, embora o plantio de cultivares resistentes à ferrugem tenha se expandido no Brasil, 90% do parque cafeeiro é cultivado com espécies suscetíveis, como Catuaí e Mundo Novo. Essas cultivares são de difícil substituição, pois têm excelente vigor, produtividade, adaptabilidade a variadas condições e apresentam boa qualidade da bebida. Adicionalmente, considera-se que o controle químico

da ferrugem é uma medida de controle eficiente em que duas a três aplicações de fungicidas são realizadas durante todo o ciclo da cultura, o que pode ser considerado um número reduzido de aplicações. Caso o período de incubação da ferrugem venha a ser reduzido no inverno, com a elevação da temperatura neste período, é possível que o número de aplicações de fungicidas durante o ciclo da cultura do cafeeiro aumente. Os aumentos de temperatura previstos para o verão podem significar o contrário do observado no inverno, com aumento no período de incubação da doença nesta época do ano. Pode ser que o pico da doença se desloque para os meses de julho-agosto, o que poderia acarretar alterações nos intervalos e aumento no número de aplicações de fungicidas

O controle químico da ferrugem no Brasil é realizado com aplicações de fungicidas no colo da planta, geralmente nos meses de outubro a novembro, seguidas por aplicações foliares, que ocorrem nos meses de dezembro a abril, espaçadas em 60 dias. Os fungicidas utilizados no colo da planta são do grupo dos triazóis e fungicidas formulados com misturas de triazóis e estrubilurinas são aplicados via foliar (MATIELLO et al., 2006; ZAMBOLIM, 2016).

A produtividade da cultura do cafeeiro também precisa ser considerada no manejo da ferrugem nos anos futuros. Apesar de o clima ter um importante papel no desenvolvimento da ferrugem, a produtividade é o fator que mais influi na epidemia da doença (AVELINO et al., 2006). Em experimentos que avaliaram a incidência da ferrugem em plantas cuja carga foi retirada, observou-se aumento de 100 a 200% na incidência da doença. O aumento da incidência foi observado mesmo em lavouras submetidas ao controle químico da ferrugem (MATIELLO et al., 2006). Como a produtividade da cultura do cafeeiro no Brasil vem aumentando biênio a biênio, e passou de 19,75 sacas/ha no biênio 2006/2007 para 23,97 no biênio 2015/2016 (CONAB, 2016), estima-se que esse continuará a ser um importante fator a ser considerado no manejo da doença.

Considerações finais

Apesar de os estudos com a ferrugem do cafeeiro indicarem que pode haver uma tendência de redução na epidemia em ambientes com maior quantidade de CO₂ atmosférico, a adaptação a condições climáticas diversas, que parece já estar ocorrendo com o patógeno, e o aumento do uso de insumos, que tem promovido o crescimento de produtividade da cultura do café, indicam que o controle químico continuará a ser relevante para lavouras instaladas com cultivares suscetíveis. O período de incubação da doença pode diminuir nos anos futuros, especialmente no inverno, e o posicionamento dos tratamentos será muito dependente das chuvas e das demais condições climáticas. Por essa razão provavelmente os sistemas de previsão de doenças poderão assumir um papel relevante no manejo da ferrugem.

De uma maneira geral as mudanças climáticas previstas provocarão uma série de impactos sobre a cultura do cafeeiro e o manejo da ferrugem. O aumento da concentração de CO₂ atmosférico pode ter um efeito benéfico sobre o crescimento das plantas e pode, de certa forma, reduzir a severidade da ferrugem. Ademais, com a elevação da temperatura pode ocorrer a redução no período de incubação da doença, especialmente nos meses do inverno e da primavera, podendo-se alterar o padrão de epidemia da ferrugem, que ficará muito mais dependente da ocorrência ou não de chuvas.

Acredita-se que os programas de melhoramento continuarão a contemplar a resistência à ferrugem como um de seus principais objetivos. Os materiais oriundos de cruzamentos com o Híbrido de Timor e portadores do gene S_H3 poderão ser fonte de resistência à ferrugem e de tolerância a fatores climáticos adversos. Em cultivares suscetíveis, o controle químico pode se tornar ainda mais importante, especialmente considerando a tendência, quase linear, de aumento de produtividade da cultura do café. Mas, poderão ocorrer alterações no número e

época de aplicação dos produtos, especialmente considerando a redução do período de incubação nos meses do inverno e da primavera e possível aumento nos meses de verão, em função da ocorrência de temperaturas maiores que 30°C. O controle biológico poderá ser beneficiado em condições de aumento de CO₂ atmosférico, por sofrer pouca influência desse fator ambiental, mas os aumentos de temperatura previstos poderão prejudicar ou promover os agentes de controle biológico. Estima-se que sistemas de previsão, especialmente os que considerarem a prevalência de chuvas, sejam aprimorados e possam orientar os tratamentos químicos e biológicos efetuados para o manejo da mais importante doença da cultura do cafeeiro no Brasil.

Referências

- AVELINO, J.; ZELAYA, H.; MERLO, A.; PINEDA, A.; ORDOÑEZ, M.; SAVARY, S. The intensity of a coffee rust epidemic is dependent on production situations. **Ecological Modelling**, v. 197, p.431-447, 2006.
- BETTIOL, W.; SAITO, M. L.; BRANDÃO, M. S. B. Controle da ferrugem do cafeeiro com produtos a base de *Bacillus subtilis*. **Summa Phytopathologica**, v. 20, n. 1/2, p. 119-122, 1994.
- BRAGA, M. R.; AIDAR, M. P.; MARABESI, M. A.; GODOY, J. R. A. Effects of elevated CO₂ on the phytoalexin production of two soybean cultivars differing in the resistance to stem canker disease. **Environmental Science**, v. 58, n. 1-3, p. 85-92, 2006.
- CABRAL, P. G. C.; MACIEL-ZAMBOLIM, E.; OLIVEIRA, S. A. S.; CAIXETA, E. T.; ZAMBOLIM, L. Genetic diversity and structure of *Hemileia vastatrix* populations on *Coffea* spp. **Plant Pathology**, v. 65, n. 2, p.196-204, 2016.
- CARVALHO, C. R.; FERNANDES, R. C.; CARVALHO, G. M. A.; BARRETO, R. W.; EVANS, H. C. Cryptosexuality and the genetic diversity paradox in coffee rust (*Hemileia vastatrix*). **PLoS One**, v. 6, n. 11, e26387, 2011.
- CONAB (Brasil). **Acompanhamento da safra brasileira**: café: terceiro levantamento: setembro 2016. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_09_22_09_06_12_boletim_cafe_-_setembro_2016.pdf>. Acesso em: 1 dez. 2016.

ESKES, A. B. Natural enemies and biological control. In: KUSHALAPPA, A. C.; ESKES, A. B. (Ed.). **Coffee rust: epidemiology, resistance, and management**. Boca Raton: CRC, 1989a. p. 161-170.

ESKES, A. B. Resistance. In: KUSHALAPPA, A. C.; ESKES, A. B. (Ed.). **Coffee rust: epidemiology, resistance, and management**. Boca Raton: CRC, 1989b. p. 13-80.

FAZUOLI, L. C.; OLIVEIRA, A. C. B.; TOMA-BRAGHINI, M.; SILVAROLLA, M. B. Identification and use of sources of durable resistance to coffee leaf rust at the IAC. In: ZAMBOLIM, L.; ZAMBOLIM E. M.; VÁRZEA, V. M. P. (Ed.). **Durable resistance to coffee leaf rust**. Viçosa: Ed. da UFV: DFP, 2005. p.137-186.

GHINI, R.; HAMADA, E. Proposta metodológica para discussão dos impactos das mudanças climáticas globais sobre doenças de plantas. In: GHINI, R.; HAMADA, E. (Ed.). **Mudanças climáticas: impactos sobre doenças de plantas no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2008. p. 17-24.

GHINI, R.; HAMADA, E.; BETTIOL, W. Diseases in tropical and plantation crops as affected by climate changes: current knowledge and perspectives. **Plant Pathology**, v. 60, n. 1, p.122-132, 2011a.

GHINI, R.; HAMADA, E.; PEDRO JÚNIOR, M. J.; GONÇALVES, R. R. V. Incubation period of *Hemileia vastatrix* in coffee plants in Brazil simulated under climate change. **Summa Phytopathologica**, v. 37, n. 2, p. 85-93, 2011b.

GHINI, R.; TORRE-NETO, A.; DENTZIEN, A. F. M.; GUERREIRO FILHO, O.; IOST, R.; PATRICIO, F. R. A.; PRADO, J. S. M.; THOMAZIELLO, R. A.; BETTIOL, W.; DaMATTa, F. M. Coffee growth, pest and yield responses to free-air CO₂ enrichment. **Climatic Change**, v. 132, n. 2, p. 307-320, 2015.

HADDAD, F.; MAFFIA, L. A.; MIZUBUTI, E. S. G.; TEIXEIRA H. Biological control of coffee leaf rust by antagonistic bacteria under field conditions in Brazil. **Biological Control**, v. 49, n. 2, p.114-119, 2009.

HAMADA, E.; GHINI, R.; MARENGO, J. A.; THOMAZ, M. C. Projeções de mudanças climáticas para o Brasil no final do século XXI. In: GHINI, R.; HAMADA, E.; BETTIOL, W. (Ed.). **Impactos das mudanças climáticas sobre doenças de importantes culturas no Brasil**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2011. p. 43-74.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Synthesis report: summary for policymakers. In: PACHAURI, R. K.; MEYER, L. (Ed.). **Climate change 2014: synthesis report**. 31 p. Genebra, 2015.

KUSHALAPPA, A. C. Biology and epidemy. In: KUSHALAPPA, A. C.; ESKES, A. B. (Ed.). **Coffee rust: epidemiology, resistance, and management**. Boca Raton: CRC, 1989. p. 13-80.

MATIELLO, J. B; ALMEIDA, S. R. **A ferrugem do cafeeiro no Brasil e o seu controle**. Varginha: Fundação Procafé, 2006. 105 p.

MENDES, L.; GHINI, R.; BETTIOL, W. Effects of elevated atmospheric carbon dioxide on the biological control of coffee leaf rust under controlled conditions. **IOBC/WPRS Bulletin**, n. 78 p. 189-192, 2012.

PEREIRA, A. P.; CAMARGO, A. P.; CAMARGO, M. B. P. **Agrometeorologia de cafezais no Brasil**. Campinas: Instituto Agronômico, 2008. 127 p.

SALUSTIANO, M. E.; POZZA, E. A.; FERRAZ FILHO, A. C.; BOTELHO, A. O.; ALVES, E. Variabilidade em dez populações de *Hemileia vastatrix* em relação à germinação e ao comprimento do tudo germinativo. **Ciência Agrotécnica**, v. 32, n. 5, p. 1651-1656, 2008.

SILVA, M. C.; VÁRZEA, V.; GUERRA-GUIMARÃES, L.; AZINHEIRA, H. G.; FERNANDEZ, D.; PETITOT, A. S.; BERTRAND, B.; LASHERMES, P.; NICOLE, M. Coffee resistance to the main diseases: leaf rust and coffee berry disease. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 18, n. 1, p.119-147, 2006.

TOZZI, F. R. O.; GHINI, R. Impacto do aumento da concentração atmosférica de dióxido de carbono sobre a ferrugem e o crescimento do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 8, p. 933-941, 2016.

VÁRZEA, V. M. P.; MARQUES, D. V. Population variability of *Hemileia vastatrix* vs. coffee durable resistance. In: ZAMBOLIM, L.; ZAMBOLIM E. M.; VÁRZEA, V. M. P. (Ed.). **Durable resistance to coffee leaf rust**. Viçosa: Ed. da UFV: DFP, 2005. p. 53-74.

WU, D. X.; WANG, G. X.; BAI, Y. F.; LIAO, J. X. Effects of elevated CO₂ concentration on growth, water use, yield and grain quality of wheat under two soil water levels. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 104, n. 3, p. 493-507, 2004.

ZAMBOLIM, L. Current status and management of coffee leaf rust in Brazil. **Tropical Plant Pathology**, v. 41, n. 1, p. 1-8, 2016.

ZAMBOLIM, L.; VALE, F. X. R.; ZAMBOLIM, E. M. Doenças do cafeeiro. In: KIMATI, H.; AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L. E. (Ed.). **Manual de fitopatologia: volume 2: doenças das plantas cultivadas**. 4. ed. São Paulo: Ceres, 2005. p.165-180.

Impacto das mudanças climáticas sobre a distribuição geográfica das ferrugens do milho

Emília Hamada, Elizabeth de Oliveira, Elena Charlotte Landau, Sulimar Munira Caparoci Nogueira e Raquel Ghini

Introdução

O milho é cultivado em todo o território nacional, principalmente nos Estados do Paraná, Mato Grosso, Minas Gerais, Rio Grande do Sul, São Paulo, Mato Grosso do Sul, Santa Catarina e Bahia (Figura 1).

Atualmente, essa cultura expande-se para novas áreas do Estado do Mato Grosso e do sul do Pará. Dependendo da região geográfica, o milho é cultivado em épocas distintas, essencialmente em safra de verão e em safra de outono (safrinha). Em algumas dessas regiões, é cultivado nessas duas épocas havendo duas safras anuais. Em geral, ocorre grande variação na época de semeadura do milho, seja na safra de verão ou na safra de outono. Nas regiões quentes do País, há cultivo de milho irrigado, o que contribui para maior variação na data de semeadura. O cultivo em safra de verão e em safrinha, e as variações na época de semeadura contribuem para proporcionar a sobreposição de cultivos, e a permanência de plantas de milho no campo durante todo o ano, o que favorece a proliferação e a disseminação de doenças e de insetos-praga.

Área Plantada com Milho no Brasil de 2010 a 2014

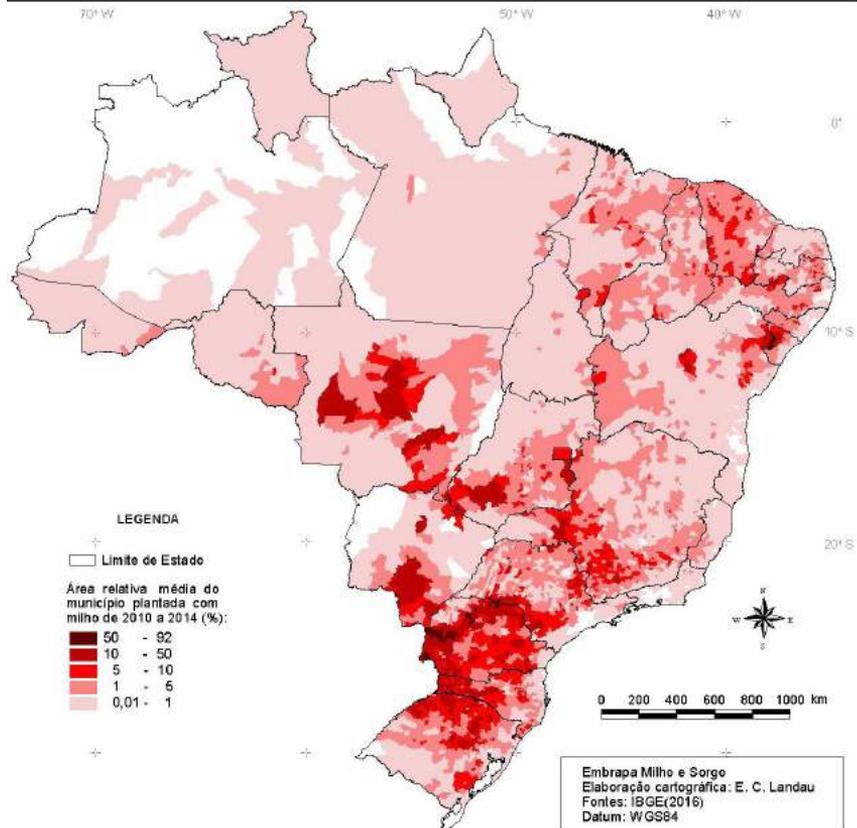


Figura 1. Concentração geográfica de plantios de milho no Brasil de 2010 a 2014
Fonte: IBGE (2016).

A totalidade da área cultivada com milho, atualmente, no Brasil, abrange cerca de 17 milhões de hectares, com produção total de cerca de 87 milhões de toneladas, sendo a produtividade variável nos diferentes Estados e regiões (CONAB, 2017). Encontram-se atualmente disponíveis no mercado sementes de mais de 200 cultivares de milho.

Os níveis de incidência ou de severidade das doenças do milho variam em função do grau de suscetibilidade da cultivar, da agressividade do patógeno, e das condições favoráveis do ambiente, especialmente do clima, determinando a importância relativa da doença para a cultura. O clima pode ser fator decisivo no desenvolvimento e na severidade de muitas doenças vegetais, incluindo as da cultura do milho. A determinação dos valores das variáveis climáticas que causam essa influência contribui para o desenvolvimento de modelos matemáticos para previsão da curva de progresso da doença na área. Ademais, o conhecimento dos valores dessas variáveis climáticas, associado à disponibilidade de programas computacionais de geoespacialização, permite, atualmente, a elaboração de mapas de risco climático para doenças, por meio da espacialização dessas condições climáticas na área geográfica de interesse, identificando regiões com clima favorável e com clima desfavorável para a doença em cada época do ano.

Neste capítulo, são analisados possíveis impactos das mudanças climáticas sobre a distribuição geográfica das ferrugens do milho no Brasil.

Danos por doenças foliares na cultura do milho

Várias espécies de fungos, bactérias, vírus e nematoides podem infectar a planta de milho, causando doença especificamente nas folhas, nas espigas, no colmo, nas raízes ou, de forma sistêmica, na planta inteira (OLIVEIRA et al., 2004, 2008; REIS et al., 2004; SHURTLEFF, 1992). Essas doenças prejudicam de forma diferenciada o desenvolvimento e a produção da planta de milho, e causam danos variáveis em função da intensidade de ocorrência.

Caracteristicamente, as doenças foliares reduzem a área fotossintética da planta por causa da formação de lesões ou de pústulas, em decorrência do crescimento e multiplicação do patógeno agente causal da doença. Comumente, os sintomas das doenças foliares do milho aparecem na fase de florescimento e de produção das plantas, primeiro nas folhas baixas, e progredem, podendo atingir todas as folhas. Quando ocorrem em alta severidade, as doenças foliares podem prejudicar o enchimento dos grãos e, conseqüentemente, a produção.

Os danos causados pelas ferrugens na produção do milho são elevados quando ocorrem em alta severidade (DUDIENAS et al., 2013; OLIVEIRA et al., 2005). O milho pode ser atacado pela ferrugem comum, causada por *Puccinia sorghi*, pela ferrugem polissora, causada pelo fungo *Puccinia polysora* e pela ferrugem tropical ou branca, causada pelo fungo *Physopella zae*. Em geral, as ferrugens são mais severas no milho a partir do florescimento das plantas, embora a ferrugem comum possa ser observada nas plântulas de milho desde os estádios iniciais de desenvolvimento. Os fungos *Puccinia polysora* e *Physopella zae* infectam apenas o milho e *Puccinia sorghi* infecta, além do milho, espécies de trevo (*Oxalis* spp.) (OLIVEIRA et al., 2004; SHURTLEFF, 1992).

Entre os fatores que podem influenciar a ocorrência e a severidade das ferrugens destacam-se, além do nível de suscetibilidade do genótipo de milho, a predominância de condições climáticas favoráveis ao desenvolvimento dos fungos agentes causais dessas doenças (PINTO et al., 2007; SHURTLEFF, 1992). Uma alternativa para evitar, ou, pelo menos, reduzir a severidade das ferrugens na cultura do milho e minimizar possíveis danos, é evitar semeaduras em épocas que possam expor a cultura em sua fase de maior suscetibilidade (a partir da fase de florescimento) a condições climáticas que sejam favoráveis ao desenvolvimento desses fungos fitopatogênicos (PINTO et al., 2007).

Dessa forma, a possibilidade de realizar previsões para as épocas e regiões do território nacional, em que as condições climáticas poderão favorecer o desenvolvimento dessas doenças em alta severidade, ainda que sujeitas às eventuais ocorrências de alterações imprevisíveis do clima, pode contribuir para minimizar possíveis prejuízos na cultura do milho. Além disso, o conhecimento do efeito potencial das mudanças climáticas sobre a geografia das áreas de risco, áreas que são atualmente favoráveis à alta severidade dessas doenças, poderá contribuir para o direcionamento futuro de pesquisas visando adaptação aos possíveis efeitos prejudiciais dessas mudanças no clima para a cultura do milho.

Como as doenças foliares atingem, praticamente, todas as plantas na área em que ocorrem, sendo variável apenas a severidade dessa ocorrência, o nível de dano na produção de grãos é diretamente proporcional à severidade da doença, e ao nível de suscetibilidade da cultivar de milho atacada.

Condições do clima, especialmente a temperatura, a umidade relativa, a formação de orvalho, a presença de cerração e a ocorrência de chuvas, influenciam na fisiologia da planta e na germinação, crescimento e reprodução dos agentes patogênicos e de seus vetores, quando existentes.

A expressão da resistência da planta a uma determinada doença pode ser influenciada pela temperatura ambiente. Existem genótipos que se comportam como resistentes ou suscetíveis a determinada doença, dependendo da temperatura ambiente (STAKMAN; HARRAR, 1957).

A determinação precisa dos efeitos do clima, principalmente da temperatura, da umidade relativa, da formação de orvalho - que proporciona água livre na superfície da folha, essencial à germinação dos esporos de algumas espécies de fungos -, associada ao conhecimento da forma de dispersão dos agentes causais de

doenças, pode permitir o desenvolvimento de modelos matemáticos para a previsão de epidemias. Esses modelos podem prever a expansão da doença na área. Face à disponibilidade atual de programas computacionais para geoespacialização de dados, é possível elaborar mapas indicativos das regiões que apresentam condições climáticas que favorecem a incidência e severidade de doenças do milho, em níveis que podem causar danos, representando essencialmente o risco climático de danos por doença para essa cultura. Esses mapas de risco climático podem ser elaborados considerando duas situações: clima favorável e clima não favorável ao desenvolvimento da doença em alta severidade.

Mapa de risco climático de dano como ferramenta para manejo de doença na cultura do milho

Na análise de um mapa indicativo das regiões geográficas com clima favorável à alta severidade de determinada doença na cultura do milho, vários aspectos devem ser considerados:

- 1) Como é possível elaborar mapas do risco climático para cada mês do ano, é necessário considerar para a análise o(s) mapa(s) correspondente(s) ao mês(es) em que as plantas de milho, na área em que se pretende realizar a semeadura, se encontrarão em fase de maior suscetibilidade à doença em questão. Para várias doenças foliares, esse período corresponde às fases de florescimento e de produção, e a semeadura poderia ser planejada de forma a evitar a exposição das plantas, nessas fases, ao risco do clima favorável à doença da qual se pretende escapar. Dependendo do risco e da magnitude dos possíveis danos, pode-se também optar pela semeadura de cultivares com resistência genética.

2) É importante conhecer: a) a forma e a extensão dos danos que a doença pode causar; b) as formas de dispersão do agente causal e se sobrevive nos restos da cultura de milho, com acúmulo de inóculo, se não houver rotação; c) se existem outros hospedeiros e vetores para o agente causal; d) quais os fatores que podem favorecer ou restringir o desenvolvimento da doença; e) se pode ser significativo o efeito do microclima na severidade dessa doença; e f) se existem disponíveis no mercado sementes de cultivares de milho resistentes e/ou se existem alternativas para o controle químico.

Sendo conhecidos esses aspectos, o mapa de risco climático pode ser analisado e contribuir para a identificação da época mais adequada para a semeadura, visando escapar da doença, evitando-se as condições climáticas favoráveis ao seu desenvolvimento. Essa análise pode alertar também para a conveniência de se utilizar cultivares resistentes à doença que pode oferecer risco de danos, e para a necessidade de adotar outras medidas de controle, como a rotação de culturas, ou mesmo a possível intervenção por meio de controle químico.

Ressalta-se que apenas a prevalência das condições climáticas que favorecem a alta severidade da doença não significa que a doença ocorrerá. Se não houver a presença de inóculo do patógeno, se a cultivar de milho for resistente, ou se não ocorrer(em) outra(s) condição(ões) necessária(s), como determinado nível de intensidade luminosa, ausência de microrganismos antagônicos, a doença pode até ocorrer, mas em níveis de baixa severidade, e não causará danos econômicos.

É muito importante observar os intervalos de temperatura e de umidade relativa que foram utilizados para a elaboração do mapa que se encontra em análise. Em geral, intervalos muito amplos podem indicar a ocorrência da doença em níveis de severidade muito variáveis, incluindo a simples presença, o que não necessariamente causa danos significativos.

Quando intervalos de temperatura e umidade relativa muito abrangentes são espacializados podem resultar em mapas com extensas áreas de risco climático para uma determinada doença que, conhecidamente, não se encontra ocorrendo em surtos epidêmicos nem causando danos. Nesse caso, é possível que a maioria das cultivares de milho, atualmente disponíveis no mercado de sementes, possua resistência genética a essa doença. Quando o mapa de risco climático é elaborado com base em intervalos de variáveis climáticas restritos indica, com maior probabilidade (embora não determinada), a possibilidade de ocorrência da doença em nível de dano, se presentes as outras condições necessárias ao seu desenvolvimento. Portanto, é importante analisar o mapa de risco climático observando o intervalo das variáveis climáticas utilizado para a sua elaboração.

O mapa de risco climático abrange todas as regiões geográficas, independentemente da presença da cultura do milho, pois indica apenas, potencialmente, a ocorrência de clima favorável à doença, em contraposição às áreas não favoráveis à doença. Opcionalmente, pode-se sobrepor o mapa do risco climático ao mapa da área cultivada com milho.

A influência do clima na severidade da doença necessita ser previamente determinada experimentalmente por fitopatologistas. Quanto mais precisa a determinação das condições climáticas que favorecem a doença em alta severidade, e não apenas sua ocorrência, maior precisão terá o mapa de risco climático. Essas determinações necessitam ser feitas considerando-se a escala de notas para avaliação da severidade para as doenças foliares do milho, efetuando-se o corte para determinação do intervalo de clima favorável na nota da escala a partir da qual a doença causará dano expressivo na produção. Com base nesse intervalo pode ser elaborado o mapa de risco climático.

Atualmente, embora se encontrem disponíveis na literatura informações sobre a influência do clima para diversas doenças do milho, em geral, essas informações abrangem intervalos amplos de temperatura em que a doença pode ocorrer, sem referência a determinações do nível de severidade da doença em cada condição de temperatura em particular. Outras vezes, a informação disponível refere-se a uma única condição, por exemplo: “a ferrugem comum do milho é favorecida por temperatura em torno de 16°C a 23°C e umidade relativa acima de 90%” (SHURTLEFF, 1992). Muitas vezes, os relatos da influência do clima sobre a doença são extraídos de monitoramentos feitos em campo. Há carência de relatos de experimentos conduzidos especificamente para essas determinações.

O mapa de risco climático pode ser validado com base na experiência de fitopatologistas da cultura do milho. Contudo, considerando-se a grande extensão territorial em que o milho é cultivado, essa validação também é limitada.

Porém, apesar dessas limitações, o mapa de risco climático elaborado com base nas informações atualmente disponíveis pode ser útil ao técnico que conhece bem a cultura. Pode também despertar o interesse para o direcionamento de pesquisas para determinar com maior precisão os efeitos do clima sobre as doenças do milho e, para desenvolver mapas precisos, restritos para determinadas microrregiões, e validar esses mapas com base em dados de monitoramento da incidência e severidade de doenças da cultura para tais microrregiões.

Os mapas de risco climático podem ser também elaborados considerando-se as médias de variáveis climáticas dentro de períodos de tempo inferiores a um mês inteiro, de acordo com a conveniência para cada microrregião em questão, o que também poderia aumentar a precisão da previsão a ser extraída do mapa.

Da mesma forma que é possível espacializar no território nacional as médias de variáveis climáticas dos últimos 30 anos para obter mapas mensais do risco climático de danos por doenças na cultura do milho, é também possível espacializar as médias de variáveis climáticas prognosticadas para os anos futuros, para a obtenção dos mapas de risco climático futuro de danos por doenças nessa cultura. Esses mapas indicam as macrorregiões que, no futuro, potencialmente apresentarão condições de clima favorável ou desfavorável à ocorrência de danos pela doença em questão, independentemente da presença atual da cultura do milho nessas regiões.

A comparação dos mapas de risco climático futuro para uma determinada doença, com o mapa de risco climático atual para essa mesma doença, permite identificar as modificações que ocorrerão na geografia do clima favorável. Regiões com clima atualmente favorável à doença, dentro das épocas em que atualmente se semeia o milho, poderão tornar-se desfavoráveis no futuro. Entretanto, em certos casos, poderão tornar-se regiões com clima tão desfavorável para a doença quanto para o milho.

A comparação entre mapas de risco climático atual e futuro de danos por doenças na cultura do milho constitui análise do impacto potencial que as mudanças climáticas poderão causar para as doenças nessa cultura, e pode contribuir para orientar o desenvolvimento de pesquisas no sentido de mitigar possíveis efeitos maléficos.

Variação geográfica da favorabilidade climática atual e futura para as ferrugens do milho

Para avaliar o impacto potencial das mudanças climáticas sobre a distribuição geográfica da favorabilidade do clima para o desenvolvimento da ferrugem comum, da ferrugem polissora e da ferrugem

tropical do milho foram utilizadas a base de dados e a metodologia descritas no Capítulo 2.

Na elaboração dos mapas de distribuição da favorabilidade climática para a ocorrência da ferrugem tropical e da ferrugem comum foram utilizados intervalos de temperatura e de umidade relativa favoráveis ao desenvolvimento e à disseminação da doença, sendo favoráveis à ferrugem tropical as temperaturas médias entre 22°C e 34°C e umidade relativa acima de 80% (CASELA et al., 2006), e à ferrugem comum, as temperaturas médias entre 16°C e 23°C e umidade relativa superior a 80% (SCHURTLEFF, 1992). Para os mapas de ferrugem polissora foi adotado o modelo de severidade proposto por Godoy et al. (1999), que quantificaram a influência da temperatura e da duração do período de molhamento foliar em ambiente controlado. Posteriormente, para a distinção do risco à ferrugem polissora, considerou-se como favorável à doença a severidade superior a 25%. Os mapas foram confeccionados inicialmente para o período de referência (1961-1990) e, após verificação e validação dos resultados conforme relatos na literatura, a metodologia foi aplicada considerando as projeções de clima do futuro, obtendo-se os mapas de favorabilidade climática para os períodos de 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100.

Os mapas de favorabilidade climática da ferrugem comum, ferrugem polissora e ferrugem tropical para os cenários futuros (Figuras 2, 3, 4, 5, 6 e 7) indicam que, de um modo geral, haverá redução da área geográfica favorável ao desenvolvimento dessas doenças no País, em relação ao clima de referência (Tabela 1). Tal redução é mais evidente para as ferrugens polissora e tropical.



Figura 2. Áreas com clima favorável ao desenvolvimento da ferrugem comum do milho (*Puccinia sorghi*), nos meses de janeiro a junho, para o clima de referência (1961-1990) e climas futuros (2011-2040, 2041-2070 e 2070-2100), no cenário A2.

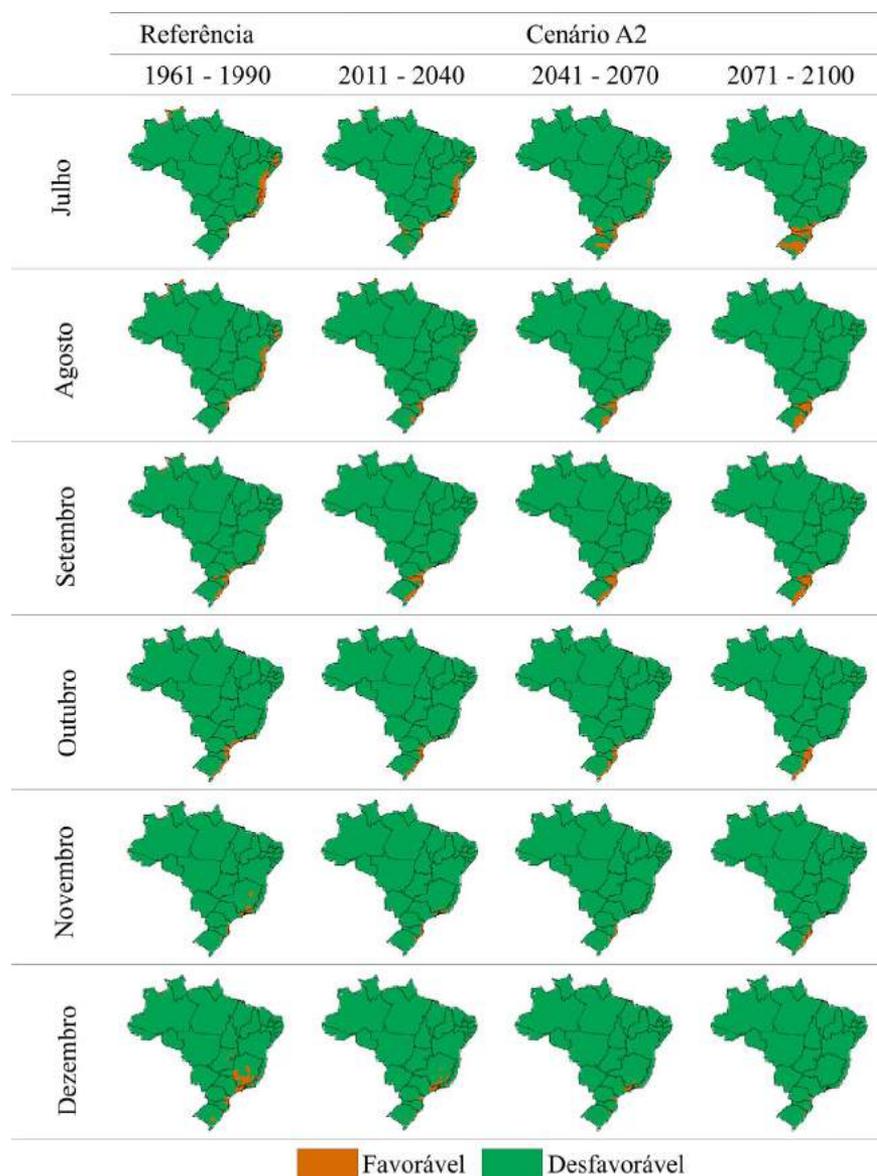


Figura 3. Áreas com clima favorável ao desenvolvimento da ferrugem comum do milho (*Puccinia sorghi*), nos meses de julho a dezembro, para o clima de referência (1961-1990) e climas futuros (2011-2040, 2041-2070 e 2070-2100), no cenário A2.

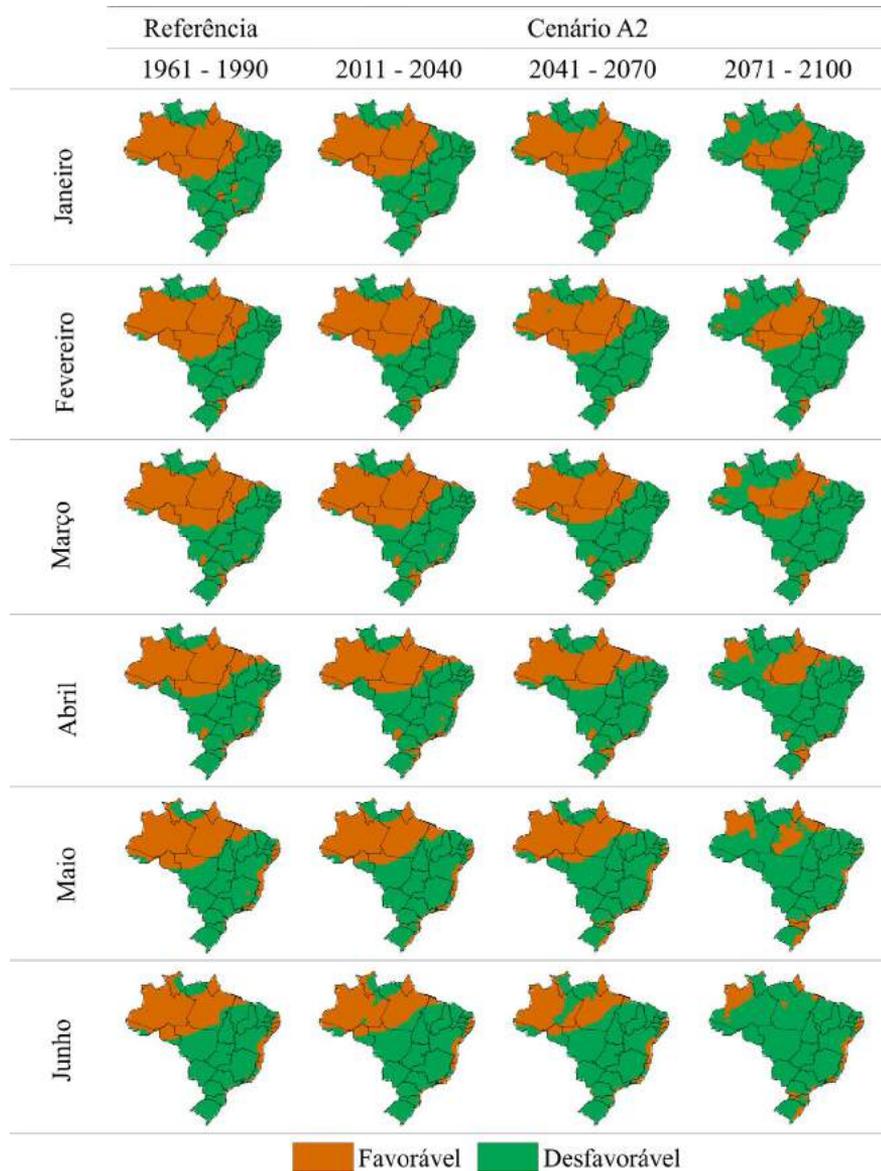


Figura 4. Áreas com clima favorável ao desenvolvimento da ferrugem polissora do milho (*Puccinia polysora*), nos meses de janeiro a junho, para o clima de referência (1961-1990) e climas futuros (2011-2040, 2041-2070 e 2070-2100), no cenário A2.

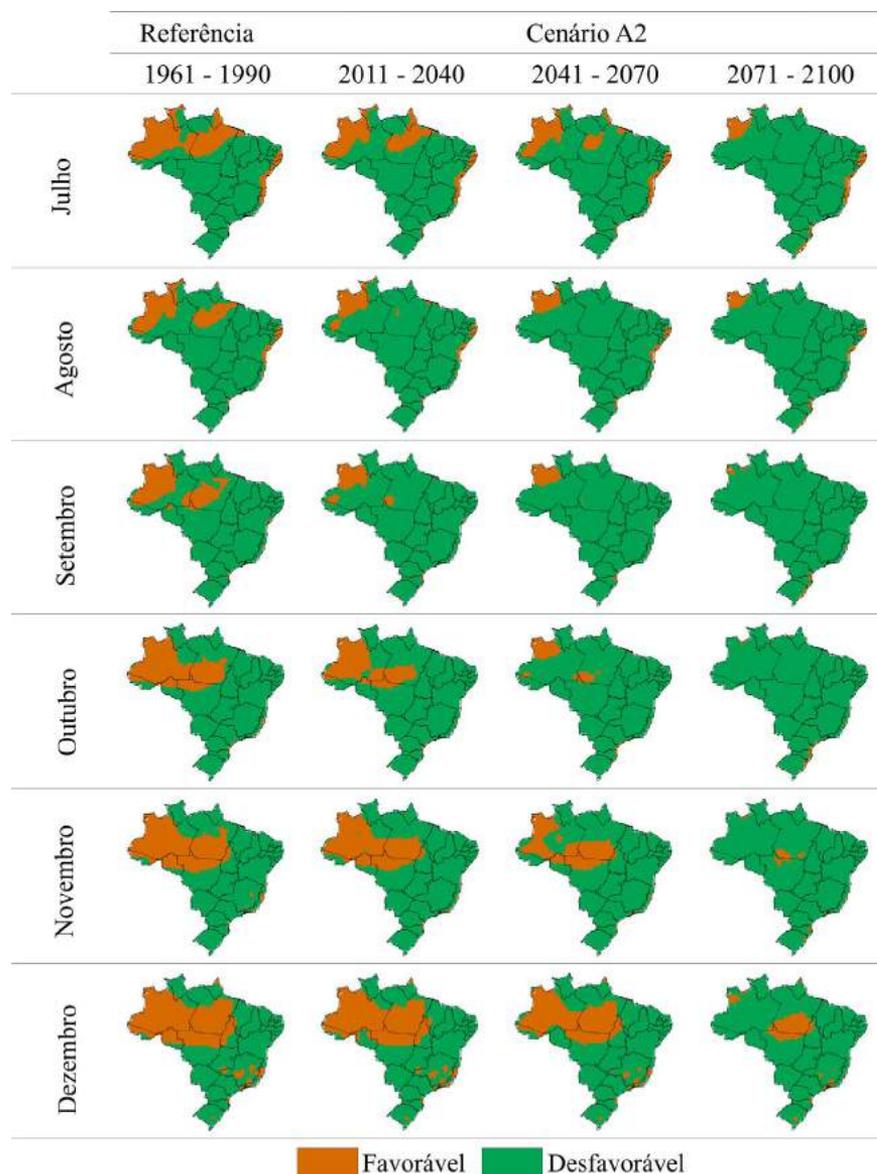


Figura 5. Áreas com clima favorável ao desenvolvimento da ferrugem polissora do milho (*Puccinia polysora*), nos meses de julho a dezembro, para o clima de referência (1961-1990) e climas futuros (2011-2040, 2041-2070 e 2070-2100), no cenário A2.

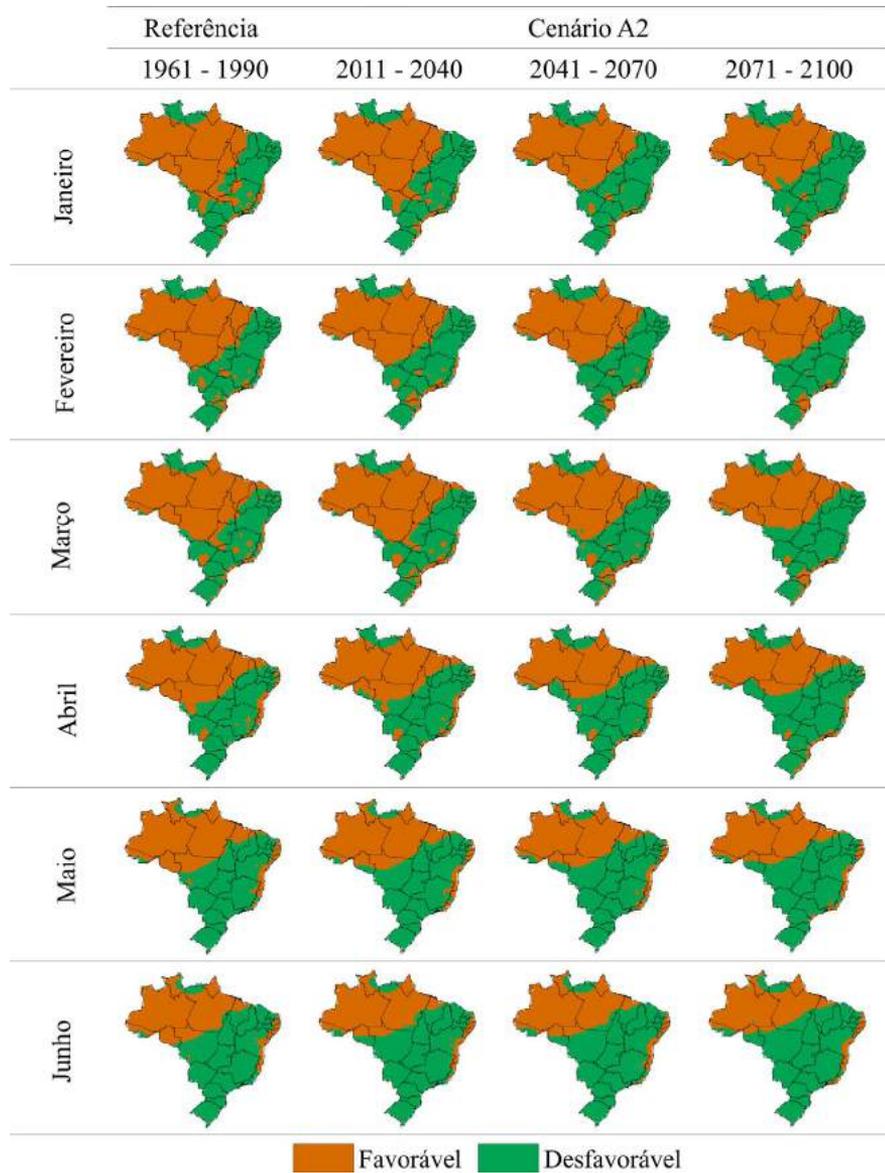


Figura 6. Áreas com clima favorável ao desenvolvimento da ferrugem tropical do milho (*Physopella zae*), nos meses de janeiro a junho, para o clima de referência (1961-1990) e climas futuros (2011-2040, 2041-2070 e 2070-2100), no cenário A2.

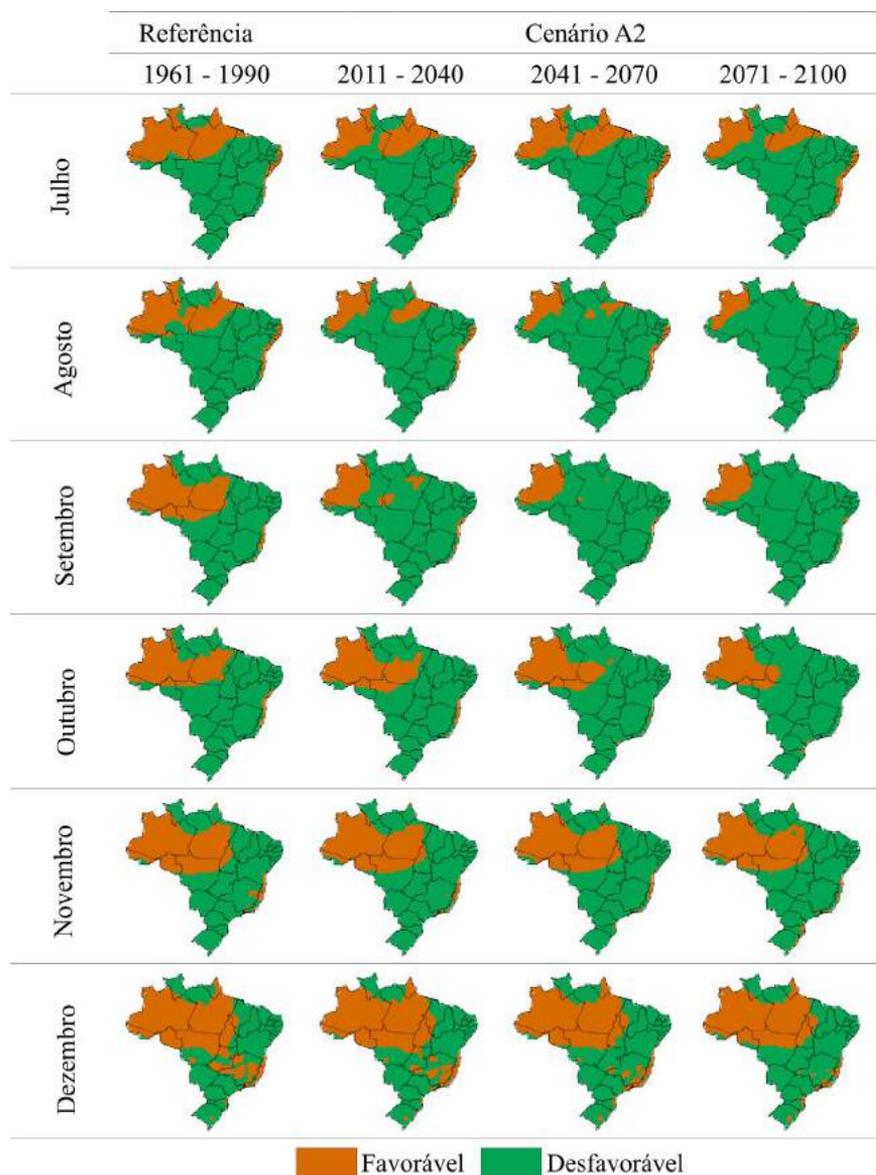


Figura 7. Áreas com clima favorável ao desenvolvimento da ferrugem tropical do milho (*Physopella zaeae*), nos meses de julho a dezembro, para o clima de referência (1961-1990) e climas futuros (2011-2040, 2041-2070 e 2070-2100), no cenário A2.

Tabela 1. Área (1000 km²) de ocorrência favorável ao desenvolvimento das ferrugens do milho no Brasil, para o período de referência (média de 1961-1990) e futuro (2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100, cenário A2).

Mês	Referência 1961-1990	Cenário A2 2011-2040	2041-2070	2071-2100
Ferrugem comum				
Janeiro	154,8	63,4	27,3	10,7
Fevereiro	179,5	96,0	38,0	10,8
Março	250,9	186,3	87,1	32,4
Abril	391,0	276,6	258,8	192,0
Mai	413,5	447,9	412,5	427,9
Junho	406,5	329,5	331,7	432,0
Julho	311,4	252,6	204,9	294,0
Agosto	196,8	98,2	116,4	168,6
Setembro	156,1	143,3	136,9	179,5
Outubro	123,4	78,4	83,2	123,1
Novembro	85,0	52,4	32,7	56,4
Dezembro	243,5	89,5	50,0	13,6
Ferrugem polissora				
Janeiro	4.197,3	3.955,8	3.513,2	1.837,6
Fevereiro	4.452,9	4.295,9	3.965,9	2.334,1
Março	4.500,6	4.333,4	3.914,8	2.258,0
Abril	4.121,2	3.842,1	3.441,9	1.912,0
Mai	3.965,2	3.634,5	3.357,1	1.505,8
Junho	3.533,1	3.193,3	2.734,4	930,1
Julho	2.372,5	1.704,7	1.236,4	529,2
Agosto	1.567,3	763,1	525,7	310,5
Setembro	1.564,1	645,8	390,9	91,5
Outubro	2.292,1	1.718,7	571,5	63,7
Novembro	2.796,3	2.447,0	1.766,3	195,8
Dezembro	3.476,6	3.215,8	2.679,9	841,9
Ferrugem tropical				
Janeiro	5.389,1	5.197,5	4.715,4	4.573,4
Fevereiro	5.161,7	5.070,5	4.920,3	4.807,3
Março	5.304,0	5.295,7	5.098,6	4.676,8
Abril	4.909,4	4.604,1	4.227,2	4.065,9
Mai	4.389,4	4.154,7	3.961,6	3.717,8
Junho	3.879,9	3.687,1	3.589,6	3.303,3
Julho	2.870,1	2.349,9	2.397,1	1.948,1
Agosto	2.462,0	1.501,4	1.112,5	793,7
Setembro	2.552,8	1.411,9	1.052,8	983,0
Outubro	2.968,2	2.458,8	2.133,2	1.791,1
Novembro	3.430,1	3.212,9	3.231,1	3.055,3
Dezembro	4.522,4	4.442,1	4.080,4	3.850,4

Em várias regiões, incluindo os Estados do Paraná, São Paulo, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, o milho tem sido cultivado principalmente em plantios de segunda época (safrinha). Nessas regiões, é cultivado em duas safras, sendo a semeadura feita nos meses de outubro/novembro (safra normal) e nos meses de janeiro/fevereiro (safrinha), e a colheita é realizada nos períodos de janeiro a março (safra normal) e de abril a junho (safrinha).

É importante observar que, à exceção da ferrugem comum, as outras ferrugens prejudicam essa cultura, essencialmente, a partir do florescimento, que ocorre em torno de 60 dias após a semeadura. Portanto, deve-se considerar a favorabilidade do clima para o desenvolvimento dessas doenças, observando-se a época de semeadura e o período de susceptibilidade das plantas.

A área favorável ao desenvolvimento da ferrugem polissora e da ferrugem tropical será reduzida tanto no período da safra normal como no período da safrinha. A principal alteração do clima responsável por esse resultado é a redução da umidade relativa média para níveis desfavoráveis à ocorrência da doença, ou seja, valores inferiores a 70%. Para a ferrugem comum, por outro lado, essa tendência tende a ser variável ao longo dos meses do ano considerando-se as previsões futuras.

A ferrugem comum apresenta área favorável restrita entre as regiões Sudeste, Sul e litoral do País. No futuro, verifica-se a tendência da doença incidir mais em direção à região sul do País (Figuras 2 e 3).

Como a ferrugem polissora (Figuras 4 e 5) e a ferrugem tropical (Figuras 6 e 7) são favorecidas por alta umidade relativa, associada a temperaturas mais elevadas que aquelas que favorecem a ferrugem comum, observa-se tendência de concentração das áreas favoráveis a essas doenças na região Norte, de janeiro a junho e em dezembro, para o clima de referência e clima futuro projetado

para 2071-2100. De janeiro a março, nas regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul, as áreas favoráveis a essas doenças são restritas e menores nos meses seguintes. Algumas áreas das regiões Nordeste e Sul também são atualmente favoráveis, mas tendem a se tornar desfavoráveis climaticamente no futuro. As áreas mais propícias à doença localizam-se, atualmente, no norte e centro de Mato Grosso e de Tocantins, de janeiro a março, diminuindo de abril a junho, na safrinha. O noroeste de Minas Gerais é mais propício à doença em janeiro; e o sul de Mato Grosso do Sul e as faixas próximas ao litoral de São Paulo, Paraná e Santa Catarina em março e abril. Os resultados são concordantes com Casela et al. (2006) que observaram que, atualmente, nas regiões produtoras de milho, a ferrugem polissora encontra-se distribuída no Centro-Oeste, noroeste de Minas Gerais, São Paulo e parte do Paraná. No futuro, a tendência é de redução da favorabilidade climática à doença, em todas as áreas do País.

Os resultados obtidos mostram para as previsões de clima futuro áreas favoráveis à ferrugem polissora e à ferrugem tropical, concentradas principalmente na Região Norte, onde, hoje, praticamente não é cultivado milho. Contudo, algumas áreas nas Regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul, onde há intenso cultivo desse cereal, permanecerão favoráveis ao desenvolvimento dessas doenças. Dentro desse cenário prognosticado, é importante considerar também as regiões e os meses que serão ainda favoráveis ao cultivo futuro do milho, para estimar a real importância que poderão ter essas doenças no futuro.

Os mapas mensais indicativos das áreas atualmente com clima favorável ao desenvolvimento das ferrugens podem ser úteis para o planejamento do cultivo desse cereal. A semeadura em épocas que possam resultar na exposição das plantas em fase de susceptibilidade (a partir do florescimento) às condições de clima favorável ao desenvolvimento da ferrugem polissora ou da ferrugem tropical

deve ser evitada. O uso de cultivares de milho com resistência genética a essas doenças é recomendável para essas áreas e épocas.

Para o clima futuro, projetado para os períodos de 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100, cenário A2, prevê-se uma redução da favorabilidade do ambiente à ocorrência das ferrugens do milho no Brasil.

Considerações finais

Os mapas elaborados para análise do impacto potencial das mudanças climáticas sobre as ferrugens do milho apontam, de forma geral, para uma possível redução das áreas favoráveis. Contudo, para interpretar esses resultados e avaliar a magnitude desse efeito, seria importante verificar também, se as novas áreas desfavoráveis a essas doenças poderiam ser também desfavoráveis ao desenvolvimento da própria cultura do milho.

Alternativas para controle de doenças, como o desenvolvimento de genótipos de milho resistentes e adaptados às condições climáticas prognosticadas para o futuro, assim como outras soluções, continuam sendo de fundamental importância para a adaptação da cultura às mudanças climáticas.

Referências

CASELA, C. R.; FERREIRA, A. S.; PINTO, N. F. J. A. **Doenças na cultura do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2006. 14 p. (Circular técnica, 83). Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPMS/19627/1/Circ_83.pdf>. Acesso em: 13 nov. 2008.

CONAB (Brasil). **Acompanhamento da safra brasileira: grãos: safra 2017/2017**, v. 4, n. 5 2017. Brasília, DF, 2017. 162 p. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17_02_13_12_03_45_boletim_graos_fevereiro_2017.pdf>. Acesso em: 14 de fev. 2017.

DUDIENAS, C.; FANTIN, G. M.; DUARTE, A. P.; TICELLI, M.; BÁRBARO, I. M.; FREITAS, R. S.; LEÃO, P. C. L.; CAZENTINI FILHO, G.; BOLONHEZI, D.; PÂNTANO, A. P. Severity of southern rust in maize cultivars and its effect on yield. **Summa Phytopathologica**, v. 39, n. 1, p. 16-23, 2013.

GODOY, C. V.; AMORIM, L.; BERGAMIM FILHO, A. Influência da duração do molhamento foliar e da temperatura no desenvolvimento da ferrugem do milho, causada por *Puccinia polysora*. **Fitopatologia Brasileira**, v. 24, n. 2, p.160-165, 1999.

OLIVEIRA, E.; FERNANDES, F. T.; CASELA, C. R.; PINTO, N. F. J. de A.; FERREIRA, A. da S. Diagnose e controle de doenças na cultura do milho. In: GALVAO, J. C. C.; MIRANDA, G. V. (Ed.). **Tecnologias de produção do milho**. Viçosa: UFV, 2004. p. 227-267.

OLIVEIRA, E.; FERNANDES, F. T.; PINTO, N. F. J. de A. **Doenças do milho: identificação e controle**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2005. 84 p.

OLIVEIRA, E.; FERNANDES, F. T.; PINTO, N. F. J. A. **Identificação e controle de doenças na cultura do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2008. 157p.

PINTO, N. F. J. de A.; OLIVEIRA, E.; FERNANDES, F. T. **Manejo das principais doenças do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2007. 16 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 92).

REIS, E. M.; CASA, R. T.; BRESOLIN, A. C. R. **Manual de diagnose e controle de doenças do milho**. 2. ed. Lages: Graphel, 2004. 144 p.

SHURTLEFF, M. C. **Compendium of corn diseases**. 2nd ed. St. Paul: APS, 1992. 105 p.

STAKMAN, E. C.; HARRAR, J. G. **Principles of plant pathology**. New York: Ronald Press, 1957. 581 p.

Impacto potencial das mudanças climáticas sobre a distribuição geográfica do cancro-bacteriano da videira no Brasil

Francislene Angelotti, Emília Hamada,
Ana Rosa Peixoto e Lucas da Ressuceição Garrido

Introdução

O cancro-bacteriano da videira, causado pela bactéria *Xanthomonas campestris* pv. *viticola*, é uma doença de importância econômica para a cultura, podendo reduzir significativamente a produção (LIMA et al., 1999). O programa oficial de controle do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa) incluiu a bactéria e os focos iniciais foram erradicados na maioria dos estados produtores de uva. Assim, o surgimento de novos focos é uma contínua preocupação, pois ainda não existem cultivares resistentes à doença e as medidas de controle não são totalmente eficazes.

A doença ocorre com maior intensidade no período chuvoso, associado a temperaturas acima de 25°C (NASCIMENTO et al., 2006). Assim, essa doença poderá ser uma ameaça no cenário climático futuro que prevê o aumento da temperatura, principalmente para regiões produtoras de uva, que ainda não têm a presença do patógeno.

Atualmente, uma das metodologias para prever os impactos de problemas fitossanitários frente às mudanças climáticas é a modelagem. O aumento no conjunto de dados climáticos, a maior cobertura

geográfica e a maior variedade de medições têm proporcionado um progresso significativo para modelagem climática, aumentando a complexidade e a confiabilidade desses modelos nos últimos anos. Assim, esta ferramenta tem contribuído para simular a distribuição geográfica e temporal de pragas e doenças, permitindo o desenvolvimento de estratégias de controle e a adoção de medidas de mitigação e adaptação (HAMADA et al., 2015).

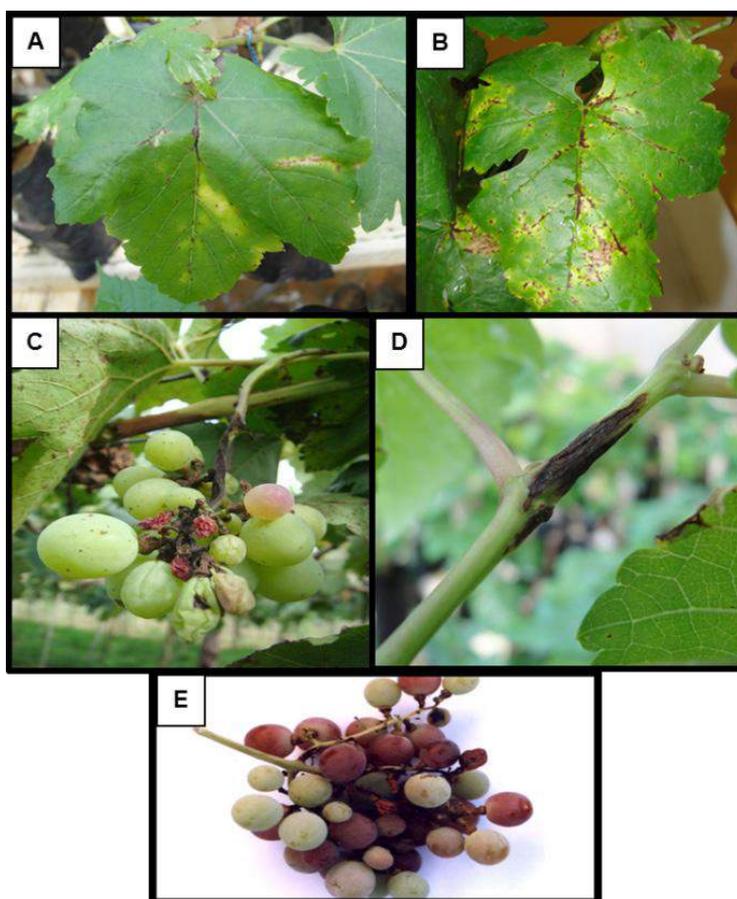
Cancro-bacteriano da videira no Brasil

O cancro-bacteriano é uma doença importante da videira no Brasil e representa alto potencial de risco ao desenvolvimento da viticultura nacional (ARAÚJO et al., 2005). A doença apresenta caráter sistêmico sendo facilmente disseminada, tornando seu controle ainda mais difícil.

No Brasil, a doença foi relatada em 1998 nos estados da Bahia, Pernambuco e Piauí (LIMA et al., 1999) sendo, posteriormente, observado no Ceará (FREIRE; OLIVEIRA, 2001), Goiás (JUNQUEIRA et al., 2006), Minas Gerais (JUNQUEIRA et al., 2006; MARQUES, 2009), Paraná (TOMAZ et al., 2011), Roraima (HALFELD-VIEIRA; NECHET, 2006) e São Paulo (RODRIGUES NETO et al., 2011). No entanto, foi erradicada da maioria desses estados, estando presente atualmente apenas na Bahia, Ceará, Pernambuco e Roraima (BRASIL, 2013), onde se encontra sob controle oficial.

Em plantas infectadas, os sintomas nas folhas são caracterizados por pequenas lesões escuras e angulares, com ou sem halos amarelos, as quais ao coalescerem necrosam grandes áreas do limbo foliar (Figura 1). As nervuras se apresentam necrosadas, sobretudo na face abaxial do limbo foliar (FREIRE; OLIVEIRA, 2001; MALAVOLTA JÚNIOR et al., 1999; NAYUDU, 1972). Nos ramos, pecíolos e engaços as manchas de coloração escura, alongadas

e irregulares, são sintomas típicos da doença. Com a evolução da infecção, as lesões se transformam em cancos, podendo atingir até 5 cm nos ramos, se aprofundando nos tecidos e provocando colapso no transporte da seiva (FREIRE; OLIVEIRA, 2001), sendo este um sintoma muito importante para a confirmação da doença, quando as lesões foliares não são características e na ausência de cancos distintos na planta. As bagas são desuniformes em tamanho e cor, podendo apresentar lesões necróticas (NASCIMENTO et al., 2005).



Fotos: Ana Rosa Peixoto (A,B eD) e Matheus Silva e Silva C e E).

Figura 1. Sintomas do cancro-bacteriano da videira: (A) Pequenas lesões escuras e angulares, com ou sem halos amarelos; (B) lesões coalescidas que necrosam áreas do limbo foliar; (C) cancro no engaço; (D) mancha de coloração escura, alongada e irregular (cancro) em ramo de videira; (E) bagas desuniformes em tamanho e cor.

A penetração da bactéria ocorre tanto por meio de ferimentos, prin-

principalmente aqueles causados por tratos culturais, ventos fortes (NASCIMENTO; MARIANO, 2004) e danos nos tricomas, quanto por meio de aberturas naturais, como os estômatos (ARAÚJO, 2001). Após a penetração, a bactéria se multiplica rapidamente, colonizando os espaços intercelulares, invadindo o sistema vascular e, conseqüentemente, causando infecções sistêmicas (ARAÚJO, 2001; NASCIMENTO; MARIANO, 2004).

A *Xanthomonas campestris* pv. *viticola* pode ser introduzida em parreirais saudáveis por meio de mudas ou bacelos infectados, os quais darão origem a plantas doentes (NASCIMENTO et al., 2005). A disseminação do patógeno ocorre a partir de restos culturais de videira infectados presentes nos parreirais, que podem ser transportados em veículos, contentores e aderidos a roupas. As operações de desbaste, desbrota, poda, torção de ramos e raleio de cachos também disseminam as bactérias por causa de injúrias causadas nas plantas (ARAÚJO, 2001; LOPES, 2006). A irrigação também atua disseminando a bactéria, por meio dos respingos. (ARAÚJO, 2001) (Figura 1).

Temperaturas de 25°C a 30°C e a alta umidade relativa do ar proporcionam condições favoráveis ao desenvolvimento da doença em campo (CHAND et al., 1991). A bactéria sobrevive de um ciclo para o outro nos cancos de plantas infectadas ou epifiticamente na parte aérea de plantas assintomáticas (ARAÚJO, 2001; ARAÚJO et al., 2005). No solo, a sobrevivência de *Xanthomonas campestris* pv. *viticola* pode durar até 80 dias em restos culturais, sendo reduzida a 10 dias quando estes são incorporados em sistemas de compostagem (SILVA et al., 2012).

Quando inoculada artificialmente, *Xanthomonas campestris* pv. *viticola* é capaz de causar infecção em plantas de mangueira (*Mangifera indica* L.), cajueiro (*Anacardium occidentale* L.), umbuzeiro (*Spondias tuberosa* Arruda), cajá-manga (*Spondias dulcis* Forst.), aroeira (*Schinus terebenthifolius* Radii) (ARAÚJO, 2001), nim

(*Azadirachta indica* Juss) (MALAVOLTA JÚNIOR; ALMEIDA, 2000), alecrim (*Alternanthera tenella* Colla), breo (*Amaranthus* sp. L.), soja-perene (*Glycine* sp. L.), fedegoso (*Senna obtusifolia* (L.) Irwin e Barneby), brilhantina (*Pilea* sp. L.), burra-leiteira (*Chamaesyce hirta* (L.) Millsp.), capim-barbicha-de-leão (*Eragrostis pilosa* Beauv.) e capim-mão-de-sapo (*Dactyloctenium aegyptium* (L.) Beauv.) (PEIXOTO et al., 2007), bem como, em tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.) e feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* L.) (SANTOS et al., 2014), demonstrando que estas plantas, podem servir como hospedeiros alternativos para a bactéria.

Os viticultores do Submédio do Vale São Francisco utilizam produtos à base de cobre, seja fungicida ou cobre quelatizado, no manejo do cancro-bacteriano, apesar de não haver registro de produto para o controle dessa doença (AGROFIT, 2016). Segundo Barbosa et al. (2016), um dos produtos mais utilizados pelos produtores é a “calda louca” (mistura de fungicida, geralmente, mancozeb, com oxiclreto de cobre ou hidróxido de cobre). Outra opção de controle químico, em todas as fases fenológicas da planta, é a mistura de fosfito com cobre. No entanto, deve-se levar em consideração que o uso indiscriminado de cúpricos pode levar à seleção de isolados tolerantes ao cobre, como já foi verificado por Marques et al. (2009). Foi evidenciado por Naue et al. (2014), que a erradicação da bactéria presente em bacelos de videira pelo uso de termoterapia, bactericidas e sanitizantes não é satisfatório. Entretanto, foi verificado por Carvalho (2016), a redução da população de *Xanthomonas campestris* pv. *viticola* em mudas das cultivares Isabel e Red Globe, que tiveram os bacelos submetidos ao tratamento de termoterapia a 52°C, durante 45 minutos. O autor recomenda que esta prática seja inserida no manejo do cancro-bacteriano. Adicionalmente, recomenda-se utilizar práticas que objetivam a redução da disseminação da bactéria, como a cultura de tecidos, que é muito utilizada na propagação de plantas livres

de patógenos e, no caso da videira, já foi considerada uma prática eficiente (SILVA et al., 2012).

Em áreas de cultivo de videiras, a prática cultural mais utilizada a fim de evitar a disseminação do patógeno é a não realização da poda de produção durante o período chuvoso, sendo assim, a produção é concentrada em apenas um ciclo, no segundo semestre, quando a ausência ou ocorrência esparsa de chuvas desfavorece a doença (SILVA, 2009). O uso de cultivares resistentes pode ser uma alternativa de controle, em virtude da ausência de práticas eficientes que atuem sobre o patógeno, reduzindo sua densidade populacional (CHAND, 1992).

Outras medidas são indicadas no manejo do cancro-bacteriano da videira como: desinfestação de veículos, máquinas, implementos, equipamentos e material de colheita, destruição de material contaminado, controle químico com produtos recomendados pela pesquisa, eliminação de hospedeiras alternativas da bactéria, bem como, eliminação de plantas com sintomas e das circunvizinhas, incluindo as raízes (BRASIL, 2006).

Mapeamento dos impactos das mudanças climáticas sobre o cancro-bacteriano da videira no Brasil

Para avaliar o impacto potencial das mudanças climáticas sobre a distribuição geográfica da favorabilidade do clima para o desenvolvimento do cancro-bacteriano da videira foram utilizadas a base de dados e a metodologia descritas no Capítulo 2.

Com base nas informações existentes na literatura, os mapas de favorabilidade do cancro-bacteriano da videira foram elaborados levando-se em consideração as combinações de temperatura e umidade relativa apresentadas na Tabela 1, considerando-se como: desfavorável quando a umidade relativa for inferior a 70% e tem-

peratura inferior a 16°C e quando a umidade relativa for inferior a 50% para qualquer temperatura; pouco favorável quando a umidade relativa estiver na faixa entre 50% e 60% e temperatura superior a 16°C e umidade entre 60% e 70% com temperatura entre 16°C e 20°C, e favorável quando a umidade estiver entre 60% e 70% com temperatura acima de 20°C e umidade relativa acima de 70% e temperatura ultrapassando 16°C. Esses critérios foram utilizados nas funções lógicas no Sistema de Informação Geográfica (SIG), gerando-se mapas mensais de faixas de favorabilidade para o cancro da videira. Após a elaboração dos mapas mensais para o clima de referência (1961-1990), os mesmos foram avaliados e validados por pesquisadores da Embrapa e de instituições parceiras. Após a validação, foram aplicados os mesmos critérios considerando-se as projeções de clima do futuro, obtendo-se, desta forma, os mapas de favorabilidade climática para os períodos de 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100, dos cenários de gases de efeito estufa A2 e B1 (Figuras 2, 3 e 4).

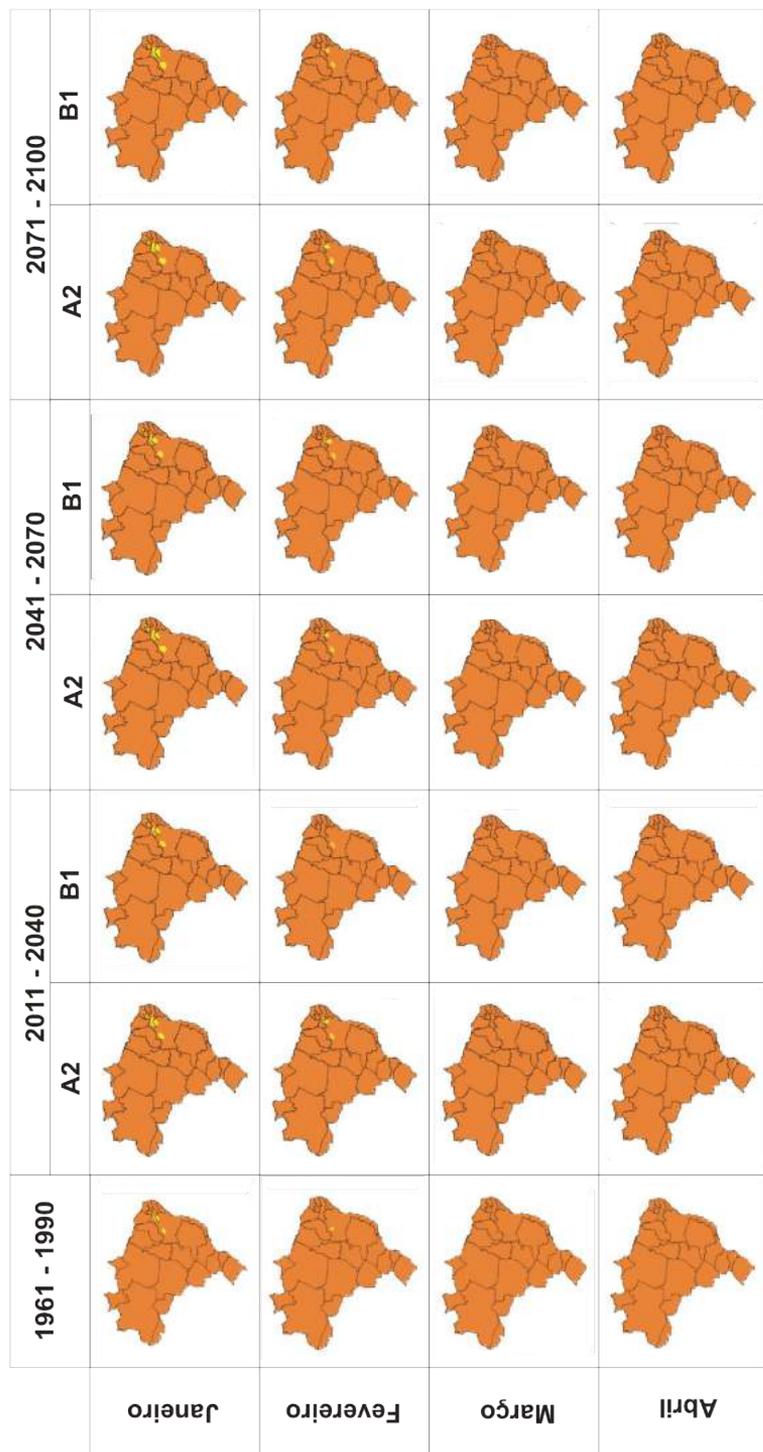
Tabela 1. Faixas de favorabilidade ao desenvolvimento da bactéria *Xanthomonas campestris* pv. *viticola*.

Temperatura (°C)	Umidade relativa (%)			
	< 50	50 ≤ U < 60	60 ≤ U < 70	U ≥ 70
< 16	Desfavorável	Desfavorável	Desfavorável	Pouco favorável
16 ≤ T < 20	Desfavorável	Pouco favorável	Pouco favorável	Favorável
20 ≤ T < 24	Desfavorável	Pouco favorável	Favorável	Favorável
24 ≤ T < 28	Desfavorável	Pouco favorável	Favorável	Favorável
T ≥ 28	Desfavorável	Pouco favorável	Favorável	Favorável

Os mapas elaborados do clima futuro (2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100, cenários A2 e B1) indicaram que, de um modo geral,

não haverá modificações na favorabilidade do ambiente à ocorrência desta doença em relação ao clima de referência (1961-1990) (Figuras 2, 3 e 4).

No clima de referência é possível observar o alto risco potencial de ocorrência do cancro-bacteriano da videira, nos meses de janeiro a maio, em todo território brasileiro (Figura 2). Nesses meses, 97% do território nacional, apresentaram condições climáticas favoráveis ao desenvolvimento da bactéria *Xanthomonas campestris* pv. *viticola* (Figura 5).



■ Desfavorável ■ Pouco favorável ■ Favorável

Figura 2. Favorabilidade climática à ocorrência da *Xanthomonas campestris* pv. *viticola* para o período de referência (1961-1990) e futuro (2011-2040, 2041-2070, 2071-2100, cenários A2 e B1) nos meses de janeiro a abril no Brasil.

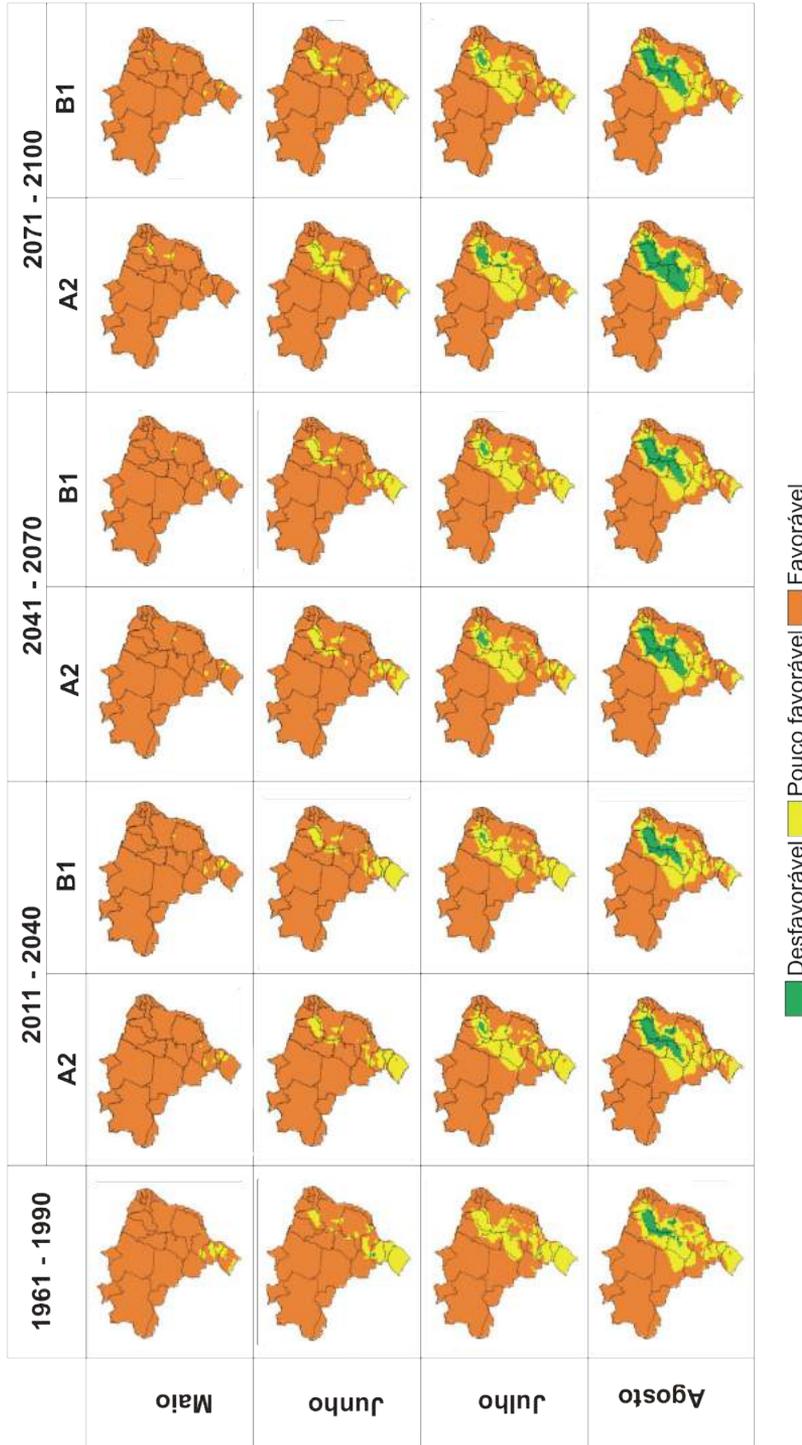
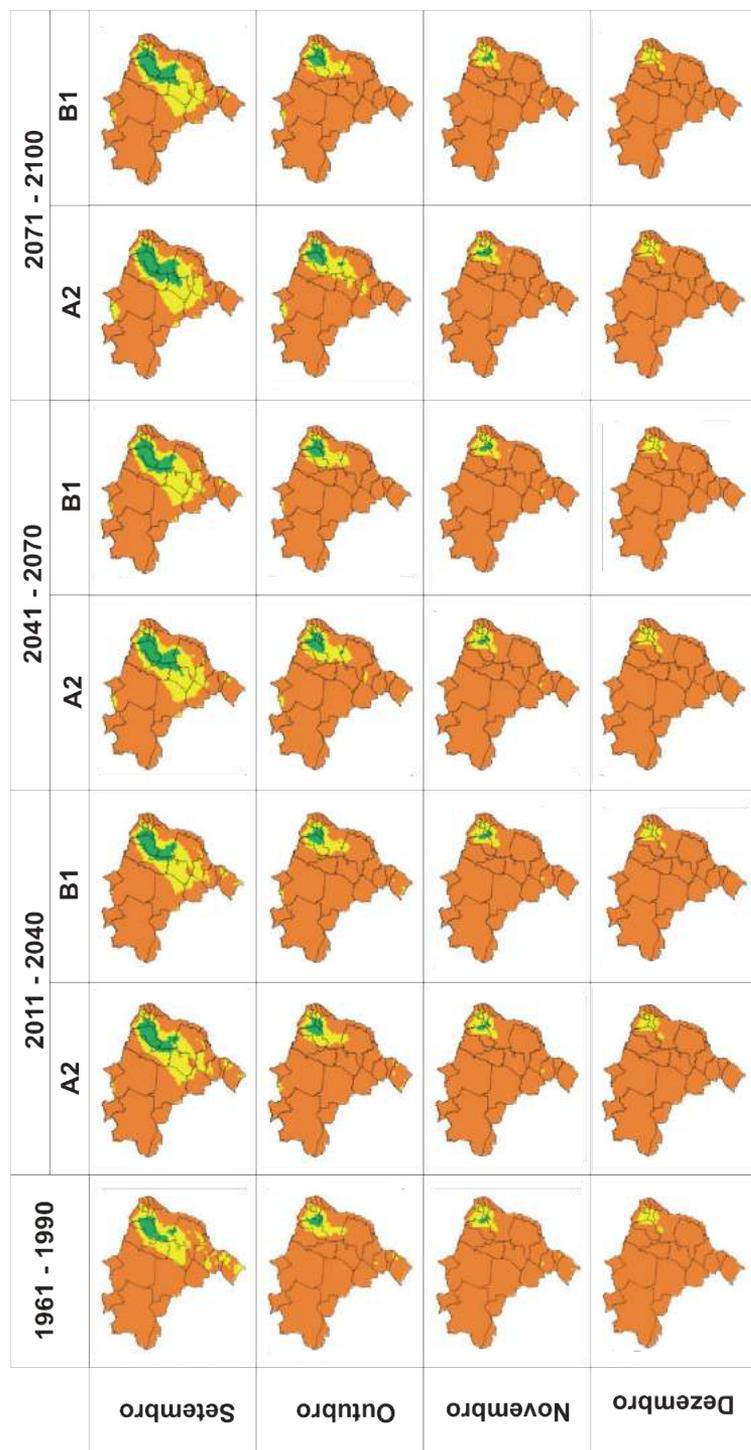


Figura 3. Favorabilidade climática à ocorrência da *Xanthomonas campestris* pv. *viticola* para o período de referência (1961-1990) e futuro (2011-2040, 2041-2070, 2071-2100, cenários A2 e B1) nos meses de maio a agosto no Brasil.



■ Desfavorável ■ Pouco favorável ■ Favorável

Figura 4. Favorabilidade climática à ocorrência da *Xanthomonas campestris* pv. *viticola* para o período de referência (1961-1990) e futuro (2011-2040, 2041-2070, 2071-2100, cenários A2 e B1) nos meses de setembro a dezembro no Brasil.

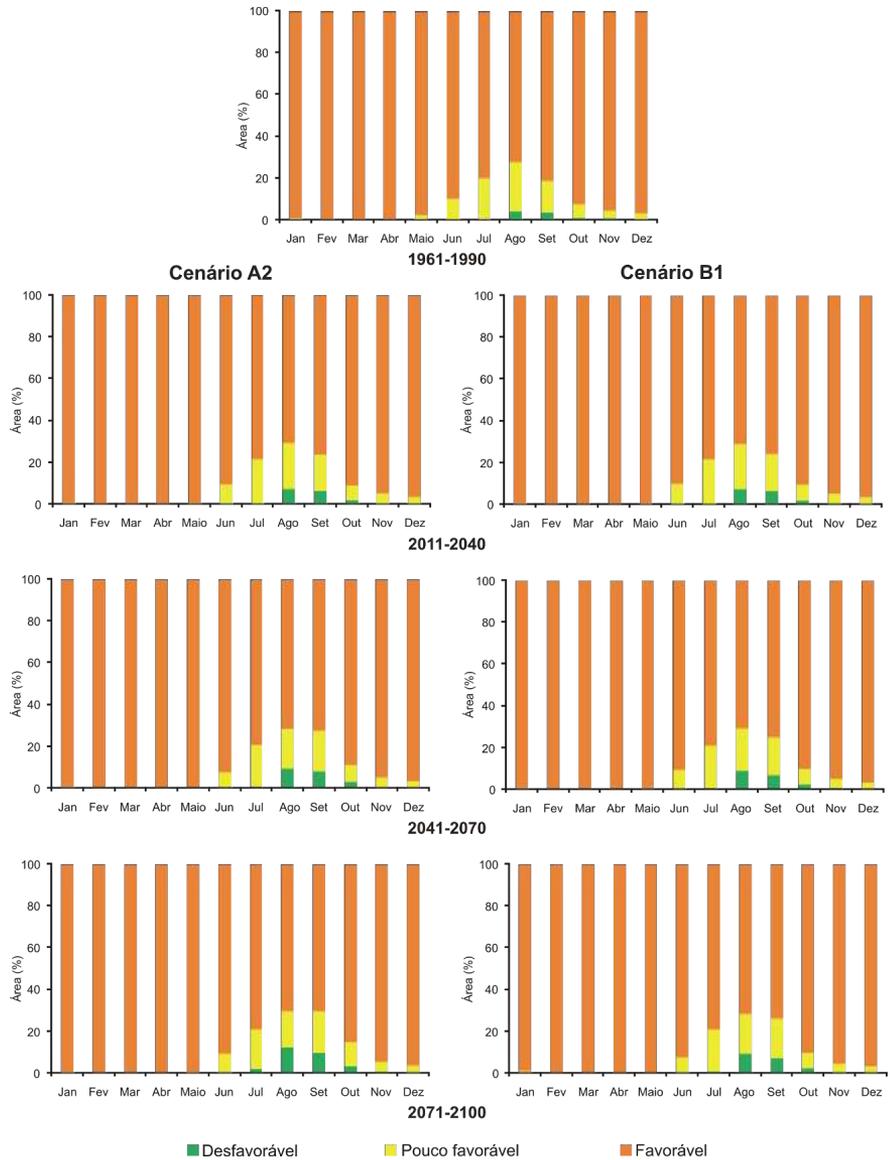


Figura 5. Área estimada das classes de favorabilidade da *Xanthomonas campestris* pv. *viticola* ao longo dos meses do ano para o período de referência (1961-1990) e futuro (2011-2040, 2041-2070, 2071-2100, cenários A2 e B1) para o Brasil.

Isso decorre do fato de as altas temperaturas coincidirem com período chuvoso, para a maioria das regiões. A favorabilidade do clima atual ressalta a importância de medidas de controle que objetivem a prevenção da entrada e o estabelecimento da bactéria *Xanthomonas campestris* pv. *viticola* em áreas ainda isentas. Isso tem sido realizado pelo Mapa, por meio de medidas quarentenárias e a criação de legislações fitossanitárias, por meio da proibição, fiscalização e interceptação de plantas e/ou partes vegetais, objetivando impedir a entrada deste patógeno que apresenta alto potencial destrutivo.

Ainda, avaliando os mapas de distribuição geográfica para o clima de referência, verificou-se que para a região Sul, nos meses de junho a agosto, com a queda da temperatura, houve uma mudança da área favorável para pouco favorável. E no Submédio do Vale São Francisco, a partir de julho até dezembro, a favorabilidade também diminuiu, apresentando áreas desfavoráveis à ocorrência da doença nos meses de agosto a novembro (Figuras 2, 3 e 4). Nessa região, o período correspondente ao segundo semestre do ano é caracterizado por meses secos, com baixa probabilidade de chuva.

Atualmente, esta bactéria está presente apenas nos estados de Pernambuco, Bahia, Ceará, e Roraima. Destes, Pernambuco e Bahia apresentam maior representatividade na produção de uvas de mesa e já adotaram como tática de manejo a realização de podas de produção apenas no segundo semestre do ano (GUIMARÃES et al., 2016; LOPES, 2006).

Na média anual, a área favorável à ocorrência do cancro da videira no Brasil está em torno de 92,0%, apresentando 7,2% de área pouco favorável e 0,9% desfavorável (Figura 6). No cenário B1, para o período de 2071-2100, a área favorável deverá se manter com 91,3% e o mesmo ocorrerá para as demais classes. A área pouco favorável com 6,9% e a área desfavorável com 1,7%. Para o cenário futuro A2, haverá pequena alteração e o mesmo período

de 2071- 2100 poderá apresentar, aproximadamente, 90,2% para a área favorável, 7,3% para a área pouco favorável e 2,5% para a área desfavorável (Figura 6).

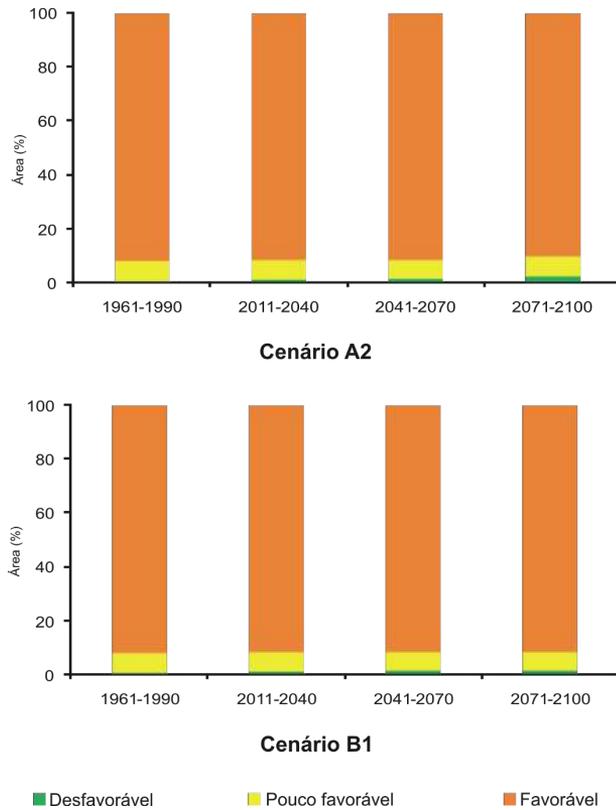


Figura 6. Área estimada das classes de favorabilidade da *Xanthomonas campestris* pv. *viticola*, média anual, para o período de referência (1961-1990) e futuro (2011-2040, 2041-2070, 2071-2100, cenários A2 e B1) para o Brasil.

Para as regiões vitícolas de Bento Gonçalves, norte do Paraná e leste de São Paulo, as medidas de fiscalização para evitar a entrada da bactéria por meio de material propagativo contaminado deverão continuar com o mesmo rigor, pois estas regiões continuarão apresentando ambiente favorável à ocorrência desta doença (Figuras 2, 3 e 4). A bactéria *Xanthomonas campestris* pv. *viticola*

se desenvolve em uma ampla faixa de temperatura, apresentado condições ideais em torno de 27°C a 29°C e alta umidade (LIMA, 2000; NASCIMENTO, 2004).

O uso de modelos matemáticos é uma ferramenta importante para a predição sobre os possíveis impactos das mudanças climáticas sobre problemas fitossanitários. Se por um lado esses modelos, baseados em princípios físicos, descrevem características do clima atual e, com considerável confiança, permitem prever as mudanças do clima futuro, por outro, a relação ambiente-patógeno-hospedeiro é bastante complexa, necessitando de conhecimentos sobre os possíveis impactos no metabolismo da planta hospedeira, fases fenológicas com maior disposição, alterações na morfologia da planta, além da adaptação de patógenos e a presença de genes de resistência. Uma maneira de aprimorar o uso de modelos é incorporar novos conhecimentos a fim de torná-los mais robustos. Pois, apesar das limitações, a modelagem ainda é um dos meios que permitem o desenvolvimento de estratégias de controle de maneira rápida e baixo custo (HAMADA; GHINI, 2015).

Considerações finais

Os mapas de distribuição geográfica e temporal do cancro-bacteriano evidenciaram que a favorabilidade do ambiente à ocorrência cancro da videira no Brasil, nos cenários climáticos futuros, continuará a mesma. Assim, os estados que apresentam a incidência deste patógeno deverá continuar com manejo adequado para reduzir a disseminação da *Xanthomonas campestris* pv. *viticola*. O papel da Defesa Agropecuária, de manter as áreas de produção livre da bactéria, continuará sendo um serviço essencial para sanidade dos parreirais, visto que o clima continuará favorável à ocorrência do cancro-bacteriano.

Referências

AGROFIT. **Sistema de produtos agrotóxicos e fitossanitários**. Brasília, DF: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, Secretaria de Defesa Agropecuária, 2016. Disponível em: <http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons>. Acesso em: 26 maio 2017.

ARAÚJO, J. S. P. **Perfil epidemiológico e subsídios para o controle de *Xanthomonas campestris* pv. *viticola* (Nayudu) Dye, agente do cancro bacteriano da videira (*Vitis vinifera*) no Brasil**. 2001. 121 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

ARAÚJO, J. S. P.; REIS JÚNIOR, F. B.; CRUZ, G. B.; OLIVEIRA, B. C.; ROBBS, C. F.; RIBEIRO, R. L. D.; POLIDORO, J. C. Produção e caracterização de anticorpos policlonais contra *Xanthomonas campestris* pv. *viticola*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 3, p. 305-309, 2005.

BARBOSA, M. A. G.; RIBEIRO JUNIOR, P. M.; BATISTA, D. C. Manejo do cancro bacteriano da videira no Vale do São Francisco In: GAMA, M. A. S.; NICOLI, A.; GUIMARAES, L. M. P.; LOPES, U. P.; MICHEREFF, S. J. (Org.). **Estado da arte em fitobacterioses tropicais**. Recife: EDUFRPE, 2016. p. 229-242.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução normativa n. 9, de 20 de abril de 2006. Define as cultivares e seus respectivos graus suscetibilidade à bactéria... **Diário Oficial da União**, 26 de abril de 2006. Seção 1, p. 1.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução normativa n. 59, de 18 de dezembro de 2013. **Diário Oficial da União**, 19 dez. 2013. Seção 1, p. 91-92.

CARVALHO, F. C. Q. **Termoterapia e controle biológico para o manejo do cancro bacteriano em videira**. 2016. 91 f. Tese (Doutorado em Fitopatologia) – Universidade Federal rural de Pernambuco, Recife.

CHAND, R. Sources of resistance to grapevine bacterial canker disease in *Vitis*. **Indian Journal of Agricultural Sciences**, v. 31, n. 2, p. 83-86, 1992.

CHAND, R.; PATIL, P. B.; KISHUM, R. Management of bacterial canker disease (*Xanthomonas campestris* pv. *viticola*) of grape vine (*Vitis vinifera*) by pruning. **Indian Journal of Agricultural Sciences**, v. 61, n. 3, p. 220-222, 1991.

FREIRE, F. das C. O.; OLIVEIRA, A. D. S. de. **Ocorrência do cancro-bacteriano da videira no Estado do Ceará**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2001. 2 p. (Embrapa Agroindústria Tropical. Comunicado técnico, 62).

HAMADA, E.; ANGELOTTI, F.; GARRIDO, L. da R.; GHINI, R. Cenários futuros de epidemia do oídio da videira com as mudanças climáticas para o Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, p. 454-470, 2015. Número especial.

HAMADA, E.; GHINI, R. Mudanças climáticas e seus impactos sobre a distribuição de pragas agrícolas. In: SUGAYAMA, R. L.; SILVA, M. L. da.; SILVA, S. X. de B.; RIBEIRO, L. C.; RANGEL, L. E. P. (Ed.). **Defesa vegetal: fundamentos, ferramentas, políticas e perspectivas**. Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Defesa Agropecuária, 2015. p. 433-447.

HALFELD-VIEIRA, B. A.; NECHET, K. L. Bacterial canker of grapevine in Roraima, Brazil. **Fitopatologia Brasileira**, v. 31, n. 6, p. 604, 2006.

JUNQUEIRA, N. T. V.; JUNQUEIRA, K. P.; BRAGA, M. F.; VAZ, C. F.; SANTOS, E. C.; JUNQUEIRA, L. P.; SOUZA, L. S.; LIMA, C. A. Ocorrência do cancro bacteriano da videira na região do entorno do Distrito Federal. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 19, 2006, Cabo Frio. **Proceedings...** Rio de Janeiro: SBF, 2006. p. 323.

LIMAM, F. **Cancro bacteriano da videira causado por *Xanthomonas campestris* pv. *viticola***: epidemiologia e manejo. Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2000. 22 p. (Embrapa Semi-Árido. Circular técnica, 54).

LIMA, M. F.; FERREIRA, M. A. S. V.; MOREIRA, W. A.; DIANESE, J. C. Bacterial canker of grapevine in Brazil. **Fitopatologia Brasileira**, v. 24, n. 3, p. 440-443, 1999.

LOPES, D. B. Manejo sustentável de fitobacteriose: cancro bacteriano da videira (*Xanthomonas campestris* pv. *viticola*). **Fitopatologia Brasileira**, v. 31, p. 83-85, 2006. Suplemento. Edição dos anais do XXXIX Congresso Brasileiro de Fitopatologia, Salvador, 2006.

MALAVOLTA JÚNIOR, V. A.; ALMEIDA, I. M. G. Patogenicidade de *Xanthomonas campestris* pv. *viticola* em neem. **Summa Phytopathologica**, v. 26, n. 1, p. 287, 2000.

MALAVOLTA JÚNIOR, V. A.; ALMEIDA, I. M. G.; SUGIMORI, M. H.; RIBEIRO, I. J. A.; RODRIGUES NETO, J.; PIRES, E. J. P. NOGUEIRA, E. M. C. Ocorrência de *Xanthomonas campestris* pv. *viticola* em videira no Brasil. **Summa Phytopathologica**, v. 25, n. 3, p. 262-264, 1999.

MARQUES, E.; UESUGI, C. H.; FERREIRA, M. A. S. V. Sensitivity to copper in *Xanthomonas campestris* pv. *viticola*. **Tropical Plant Pathology**, v. 34, n. 6, p. 406-411, 2009.

NASCIMENTO, A. R. P.; MARIANO, R. L. R. Cancro bacteriano da videira: etiologia, epidemiologia e medidas de controle. **Ciência Rural**, v. 34, n.1, p. 301-307, 2004.

NASCIMENTO, A. R. P.; MARIANO, R. L. R.; GAMA, M. A. S. Métodos de preservação e crescimento de *Xanthomonas campestris* pv. *viticola* em meio de cultura variando temperatura, pH e concentração de NaCl. **Fitopatologia Brasileira**, v. 30, n. 6, p. 650-654, 2005.

NASCIMENTO, A. R. P.; MICHEREFF, S. J.; MARIANO, R. L. M.; VIANA, I. O. Reação de clones de videira a *Xanthomonas campestris* pv. *viticola*, baseada nos componentes epidemiológicos do cancro bacteriano. **Ciência Rural**, v. 36, n. 1, p. 1-7, 2006.

NAUE, C. R.; COSTA, V. S. O.; BARBOSA, M. A. G.; BATISTA, D. C.; SOUZA, E. B.; MARIANO, R. L. R. *Xanthomonas campestris* pv. *viticola* on grapevine cutting tools and water: survival and disinfection. **Journal of Plant Pathology**, v. 96, n. 3, p. 451-458, 2014.

NAYUDU, M. V. *Pseudomonas viticola* sp. nov., incitant of a new bacterial disease of grape vine. **Journal of Phytopathology**, v. 73, n. 2, p. 183-186, 1972.

RODRIGUES NETO, J.; DETÉFANO, S. A. L.; RODRIGUES, L. M. R.; PELLOSO, D. S.; OLIVEIRA JÚNIOR, L. C. Grapevine bacterial canker in the state of São Paulo, Brazil: detection and eradication. **Tropical Plant Pathology**, v. 36, n. 1, p. 42-44, 2011.

PEIXOTO, A. R.; MARIANO, R. L. R.; MOREIRA, J. O. T.; VIANA, I. O. Hospedeiros alternativos de *Xanthomonas campestris* pv. *viticola*. **Fitopatologia Brasileira**, v. 32, n. 2, p. 161-164, 2007.

SANTOS, M. M.; PEIXOTO, A. R.; PESSOA, E. S.; GAMA, M. A.; MARIANO, R. L. R.; BARBOSA, M. A. G.; PAZ, C. D. Identificação de potenciais plantas hospedeiras alternativas de *Xanthomonas campestris* pv. *viticola*. **Ciência Rural**, v. 44, p. 595-598, 2014.

SILVA, A. M. F. **Limpeza clonal de videira com cancro-bacteriano e sobrevivência de *Xanthomonas campestris* pv. *viticola* em tecidos infectados**. 2009. 45 f. Tese (Doutorado em Fitopatologia) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

SILVA, A. M. F.; MENEZES, E. F.; SOUZA, E. B.; MELO, N. F.; MARIANO, R. L. R. Sobrevivência de *Xanthomonas campestris* pv. *viticola* em tecido infectado de videira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 34, n. 3, p. 757-765, 2012.

TOMAZ, R.; SCREMIN, R. M.; FERREIRA, M. A. S. V.; BARBOSA, M. A. G. Detecção e erradicação de videiras com sintomas do cancro bacteriano no Estado do Paraná. **Tropical Plant Pathology**, v. 36, p. 896, 2011. Suplemento

Influência das mudanças climáticas nas zonas de ocorrência da ferrugem do eucalipto na região Sul do Brasil

Celso Garcia Auer, Gabriela Scheinpflug Brito,
Marcos Silveira Wrege e Álvaro Figueredo dos Santos

Introdução

O Brasil é um dos maiores produtores internacionais de madeira de eucalipto, com cerca de 5,6 milhões de hectares plantados em 2015, sendo que 11,6% do total dos plantios concentram-se na região Sul (INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES, 2016). As principais finalidades dos plantios são: papel e celulose, seguidos do setor de siderurgia a carvão vegetal e de painéis de madeira.

As condições brasileiras propiciam excelentes rendimentos de produtividade com plantios intensivos de eucaliptos; contudo seu cultivo pode ter limitações relacionadas às condições edáficas, climáticas e ataque de pragas e de doenças. A região Sul do Brasil apresenta verão com temperaturas altas e inverno com temperaturas mais amenas, associadas com alta umidade relativa do ar (WREGE et al., 2011), fatores que favorecem a ocorrência de várias doenças de plantas.

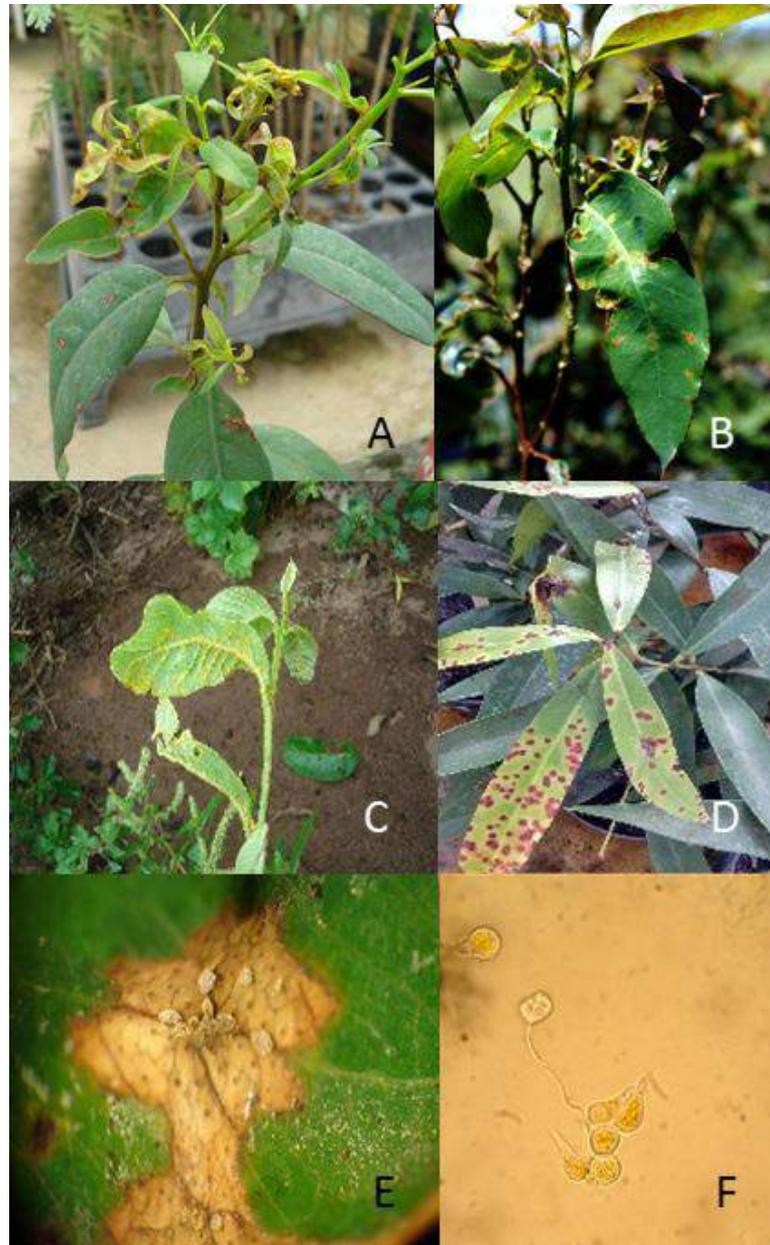
Os plantios comerciais com eucaliptos foram considerados livres de doenças importantes até a década de 1970. Entretanto, com o avanço da eucaliptocultura, surgiram várias epidemias destacando-se o cancro, a ferrugem e as manchas foliares (ALFENAS et al., 2009; AUER et al., 2016). A ferrugem causada pelo fungo *Puccinia psidii* Winter tem sido considerada a mais preocupante pelos

impactos potenciais que causa em clones comerciais suscetíveis, derivados de híbridos (AUER; SANTOS, 2011).

O fungo *Puccinia psidii* é nativo da América do Sul (FERREIRA, 1989) e foi descrito pela primeira vez no Brasil em 1884, em folhas de goiabeira. Está presente em folhas, flores e frutos de espécies nativas da família Myrtaceae (Figuras 1A a 1D), sendo denominada de ferrugem das mirtáceas. Contudo, adaptou-se ao eucalipto e seu impacto principal tem sido em viveiros e plantios jovens (FERREIRA, 1989).

A ferrugem do eucalipto atinge mudas e árvores jovens (Figura 1A e 1B) ou na rebrota de tocos, geralmente com até dois ou três anos de vida, dependendo da espécie. O fungo produz uredósporos, os principais propágulos que infectam as folhas e brotações produzindo pústulas (Figura 1E) de cor amarelada, em função da coloração dos uredósporos (Figura 1F). A doença reduz a capacidade fotossintética das plantas, por atacar as folhas jovens e as brotações, diminuindo o rendimento volumétrico dos plantios. Em casos severos, pode levar as plantas à morte (AUER et al., 2010) e à redução de produção de celulose (FURTADO et al., 2009). A ferrugem pode ser controlada com fungicidas em viveiro e plantios jovens (SANTOS; AUER, 2011) ou pelo plantio de clones resistentes ao patógeno (ALFENAS et al., 2009).

A combinação das condições favoráveis para a ferrugem (temperaturas amenas e alta umidade relativa do ar) pode ser encontrada na maior parte do território brasileiro (ALFENAS et al., 2009; FERREIRA, 1989). Temperaturas que variam entre 18°C a 25°C e período mínimo de oito horas de umidade relativa acima de 90% são favoráveis à doença (FERREIRA, 1989; RUIZ, 1988).



Fotos: Celso Garcia Auer.

Figura 1. Ferrugem das mirtáceas causada por *Puccinia psidii*. (A) Muda de *Eucalyptus grandis* com sintomas nas folhas jovens. (B) Árvore jovem de *Eucalyptus grandis* com ferrugem. (C) Brotação de goiaba (*Psidium guajava*) com pústulas de ferrugem. (D) Planta de jambo (*Syzygium jambos*) com queima de ponteiro decorrente da ferrugem. (E) Detalhe de pústula ao microscópio. (F) Detalhe dos uredósporos ao microscópio.

Além dos fatores bióticos danosos à silvicultura, as espécies cultivadas poderão ser impactadas em seu desenvolvimento com as mudanças nos padrões climáticos, principalmente pelas projeções futuras de aumento de temperatura e de mudança no regime de chuvas. Assim, o cultivo do eucalipto deverá ser reavaliado, buscando-se novos sistemas de cultivo que minimizem os efeitos das mudanças climáticas, pois as plantas deverão ser afetadas, bem como as doenças serão desenvolvidas. Embora se projete a intensificação destas mudanças ao longo do século atual, existem incertezas de como os padrões das doenças serão alterados.

Apesar das projeções indicarem mudanças de outras variáveis climáticas, a temperatura e a precipitação são os principais fatores abióticos que interferem no desenvolvimento das doenças. Certamente, com o aumento da precipitação, as condições ambientais serão mais propícias ao desenvolvimento de doenças fúngicas. O incremento das condições favoráveis, no tocante à temperatura, ocorre até o momento em que os limites superiores são atingidos, além dos quais efeitos deletérios começam a ser detectados na germinação de esporos e crescimento dos fitopatógenos (GARRETT et al., 2006).

Vários estudos foram feitos sobre o zoneamento das condições de favorabilidade da ferrugem em âmbito mundial (BOOTH et al., 2000; BOOTH; JOVANOVIĆ, 2012), contudo, a escala de estudo necessita ser menor para ser mais precisa. No Brasil, o zoneamento da ferrugem foi estabelecido para o país (ALVARES et al., 2016) e também para alguns estados como São Paulo (SILVA et al., 2013) e Paraná (BORA et al., 2016). Nesta ótica, a doença é claramente influenciada pelas condições climáticas presentes, e com a previsão de alterações nos padrões climáticos mundiais a importância das doenças em eucalipto pode aumentar ou reduzir (ALFENAS et al., 2009).

Séries temporais de dados climáticos analisadas no Brasil revelaram incrementos nas médias das temperaturas mínimas do ar, variando conforme a região. Em média, em três décadas, teria havido um aumento generalizado de 1,5°C (RICCE et al., 2008; STEINMETZ et al., 2005).

Dessa forma, dentro de uma perspectiva de alterações nos padrões de temperatura e da pluviosidade, o impacto de tais alterações foi analisado quanto à distribuição espacial da ferrugem do eucalipto na região Sul do Brasil, segundo as estações do ano, desenvolvida por Brito (2013). Mapas atuais e cenários futuros foram construídos a partir de um período base, referente às normais climáticas entre 1961-1990 para o molhamento foliar (HAMADA et al., 2008) e de 1976-2005 para as demais variáveis (WREGGE et al., 2011) e dos cenários de mudanças climáticas do 4º Relatório do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 2007), abordando um cenário menos pessimista (B1) e um cenário mais pessimista (A2) para as próximas décadas (MEEHL; STOCKER, 2007). O cenário A2 considera a manutenção dos padrões de emissões de gases de efeito estufa (GEE) observados nas últimas décadas, o que implicaria em concentrações atmosféricas de CO₂ de cerca de 850 ppm no ano de 2100, enquanto o B1 é o cenário de menores emissões ou cenário menos pessimista, tendendo à estabilização das emissões de GEE e concentração, no final deste século, de cerca de 550 ppm (NAKICENOVIC et al., 2000).

Para elaborar os mapas, com o uso dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG), foram utilizadas as temperaturas médias mensais e as médias mensais do período de molhamento foliar, variáveis correlacionadas aos parâmetros do processo de infecção da planta pelo fungo.

Para determinar a faixa de temperatura ótima utilizou-se como referência dados originais dos trabalhos de Ruiz (1988) e Masson

(2009). A faixa de temperatura ideal para infecção da planta é de 18 a 25°C, enquanto que temperaturas entre 15 a 18°C e entre 25 a 30°C são consideradas intermediárias, e temperaturas inferiores a 15°C ou superiores a 30°C são consideradas desfavoráveis para infecção (RUIZ, 1988). O período de molhamento foliar de 4 horas foi adotado como período mínimo para infecção, com base em levantamentos de índice de severidade da ferrugem no litoral da Bahia por Masson (2009), onde altos índices de infecção podem ser registrados com mais de 3 horas de período de molhamento foliar. Os mapas das estações do ano foram gerados a partir da média das variáveis mensais (por exemplo, o verão é formado por dezembro, janeiro e fevereiro).

A ferrugem em eucalipto no período atual

A ferrugem do eucalipto é comumente encontrada nas regiões Sudeste e Nordeste do Brasil (estados de Minas Gerais, São Paulo, Espírito Santo e Bahia), onde existe a maioria dos plantios comerciais de eucalipto, e condições climáticas favoráveis (ALVARES et al., 2016). Na região Sul do Brasil, a área de ocorrência nos três estados vem aumentando, parte pela expansão da eucaliptocultura com base em espécies ou clones suscetíveis, e parte atribuída às mudanças climáticas globais com o aumento da temperatura e redução de áreas favoráveis à ocorrência de geadas (AUER; SANTOS, 2011).

A distribuição espacial da ferrugem depende das condições geográficas locais, como foi evidenciado por Silva et al. (2013). As epidemias tendem ser maiores no sentido do Norte para o Sul no estado de São Paulo. As temperaturas amenas, maior umidade relativa do ar, maior potencial de inóculo pela existência de grande número de mirtáceas nativas suscetíveis na Mata Atlântica, seriam fatores para explicar esta situação. Outro aspecto a ser abordado

é que sob condições de temperaturas mais altas e menor umidade relativa do ar pode haver redução na severidade da ferrugem, por exemplo, em certas épocas do ano no estado de São Paulo (FURTADO et al., 2008) e no Paraná (BORA et al., 2016).

Alvares et al. (2016), ao utilizar o modelo de Ruiz et al. (1989) e aplicar uma nova variável Tng (temperatura média noturna), mostraram que as zonas climáticas favoráveis para a ferrugem do eucalipto são muito dinâmicas com alta variabilidade temporal e espacial no Brasil. Este tipo de resultado pode ser visualizado ao longo das estações do ano para a região Sul (Figura 2), onde o percentual de área favorável à doença decresce do verão para o inverno, voltando a aumentar na primavera (Figura 5).

O estágio fenológico da árvore também é importante, pois o fungo necessita de tecidos jovens para infectar e desenvolver a doença (RUIZ et al., 1989). Assim, materiais genéticos que apresentem uma fase juvenil mais extensa tornam-se suscetíveis por um período maior de tempo impactando negativamente o seu crescimento.

Cenários climáticos futuros para a ferrugem em eucalipto

A tendência futura do comportamento da ferrugem do eucalipto na região Sul do Brasil é de maior amplitude da área de ocorrência, em razão do aumento da favorabilidade. Prevê-se o aumento da temperatura do ar para faixas térmicas favoráveis ao desenvolvimento da doença, que permitiria a expansão da ferrugem para localidades atualmente consideradas desfavoráveis ou pouco favoráveis (Figuras 3 e 4). Simulações feitas por Mafia et al. (2011) mostraram que a importância da ferrugem passaria de alta, para um potencial futuro médio, para todo o Brasil, sem explicitar a região Sul. Estudo de Moraes et al., (2008 citado por MAFIA et al., 2011), indicou a concentração das áreas favoráveis à doença nas regiões Sudeste e Sul, ao longo das décadas de 2020, 2050 e 2080.

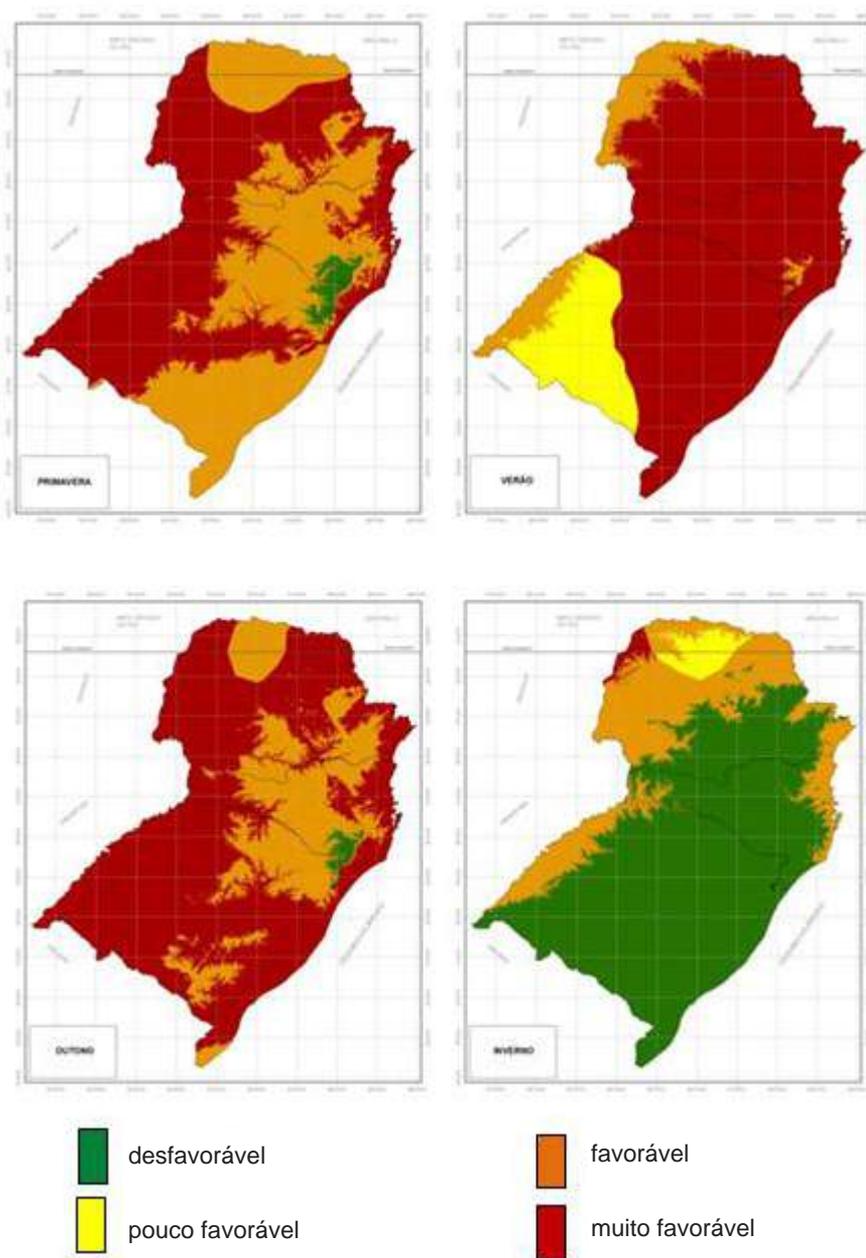


Figura 2. Zonas de ocorrência da ferrugem do eucalipto na região Sul do Brasil no período atual.

Existe uma relação muito estreita entre a temperatura e a altitude e pode-se dizer que, na média, ocorre decréscimo de 0,8°C na temperatura do ar a cada 100 metros de altitude. Assim, as zonas de menor altitude, na região Sul do Brasil são mais quentes, favorecendo o desenvolvimento do patógeno e conseqüentemente da ferrugem, principalmente nas latitudes menores, como o Norte e Noroeste do Paraná. Com os aumentos de temperatura do ar, projetados pelos cenários do IPCC, a tendência é de aumentar a área apta à ocorrência da doença, expandindo-se para zonas mais ao Sul e nas regiões de maior altitude, onde atualmente ainda é muito frio para a germinação de uredósporos e infecção por *Puccinia psidii*.

Outro aspecto está relacionado com o efeito da temperatura no hospedeiro. As áreas mais frias são inadequadas para o plantio das espécies de eucalipto mais produtivas e também suscetíveis à ferrugem, como por exemplo *Eucalyptus grandis* e o híbrido “urograndis”. Com a expansão das áreas plantadas, principalmente nas zonas de maior altitude, é esperado que haja maior registro de ocorrências da doença nessas regiões, onde, atualmente, ainda não é possível realizar o seu plantio, exceto das espécies mais adaptadas ao clima mais frio, como *Eucalyptus benthamii*, que não apresenta registro de suscetibilidade em condições de campo (SCHULTZ, 2011), somente em condições experimentais (ALFENAS et al., 2009). Outra espécie plantada em regiões frias é *Eucalyptus dunnii*, pouco suscetível em plantios comerciais.

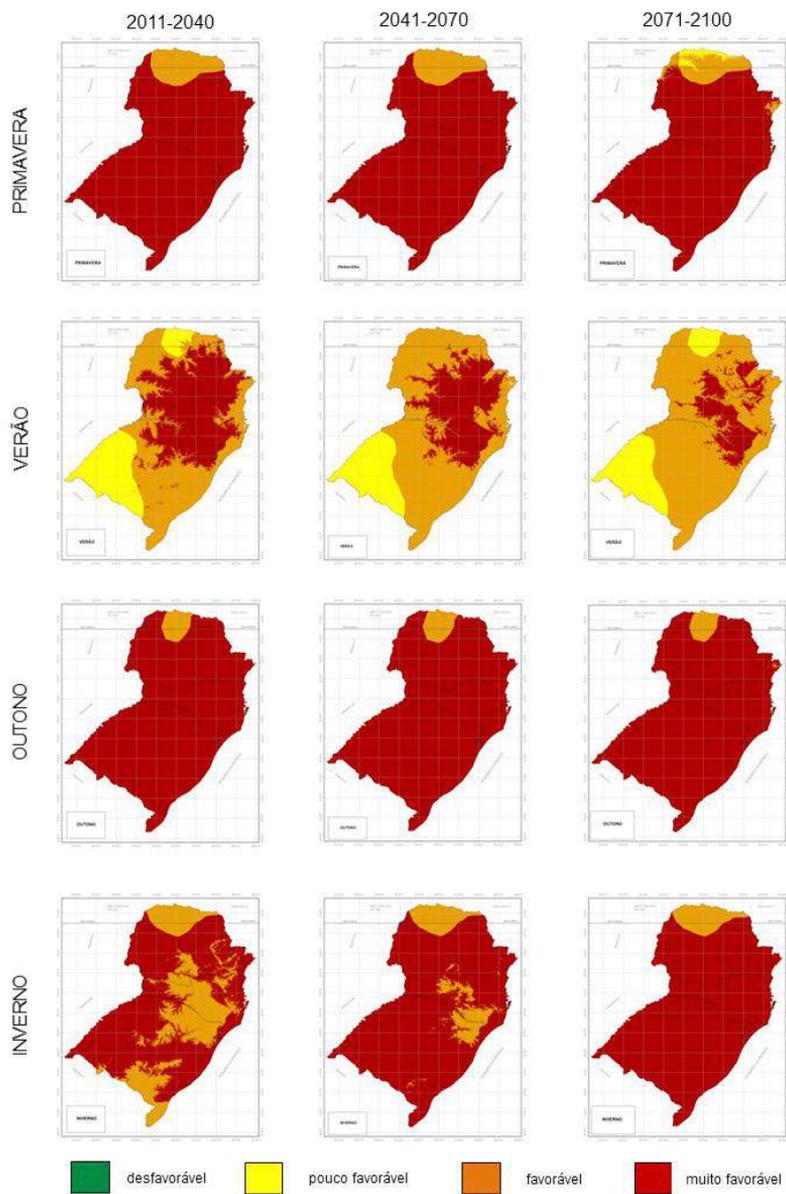


Figura 3. Zonas de ocorrência da ferrugem do eucalipto na região Sul do Brasil no cenário futuro B1 da mudança climática nos períodos 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100.

Influência das mudanças climáticas nas zonas de ocorrência da ferrugem do eucalipto na região Sul do Brasil

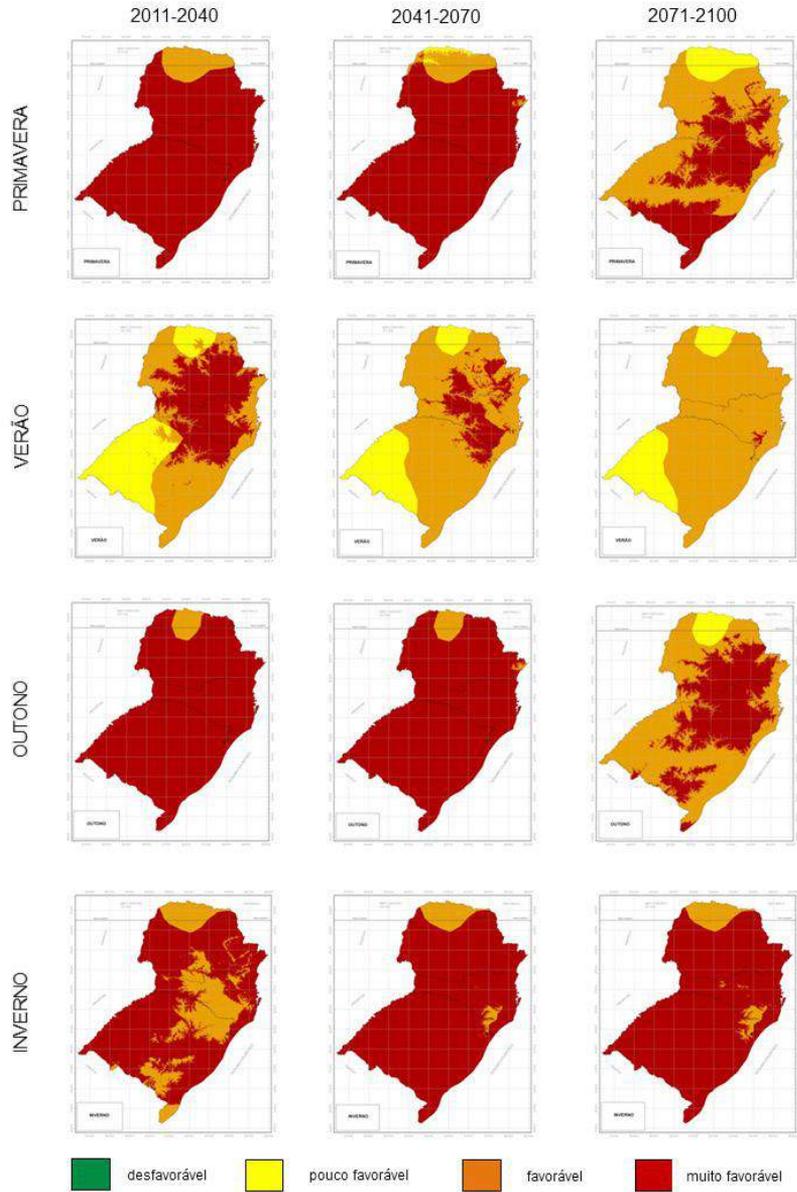


Figura 4. Zonas de ocorrência da ferrugem do eucalipto na região Sul do Brasil no cenário futuro A2 da mudança climática nos períodos 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100.

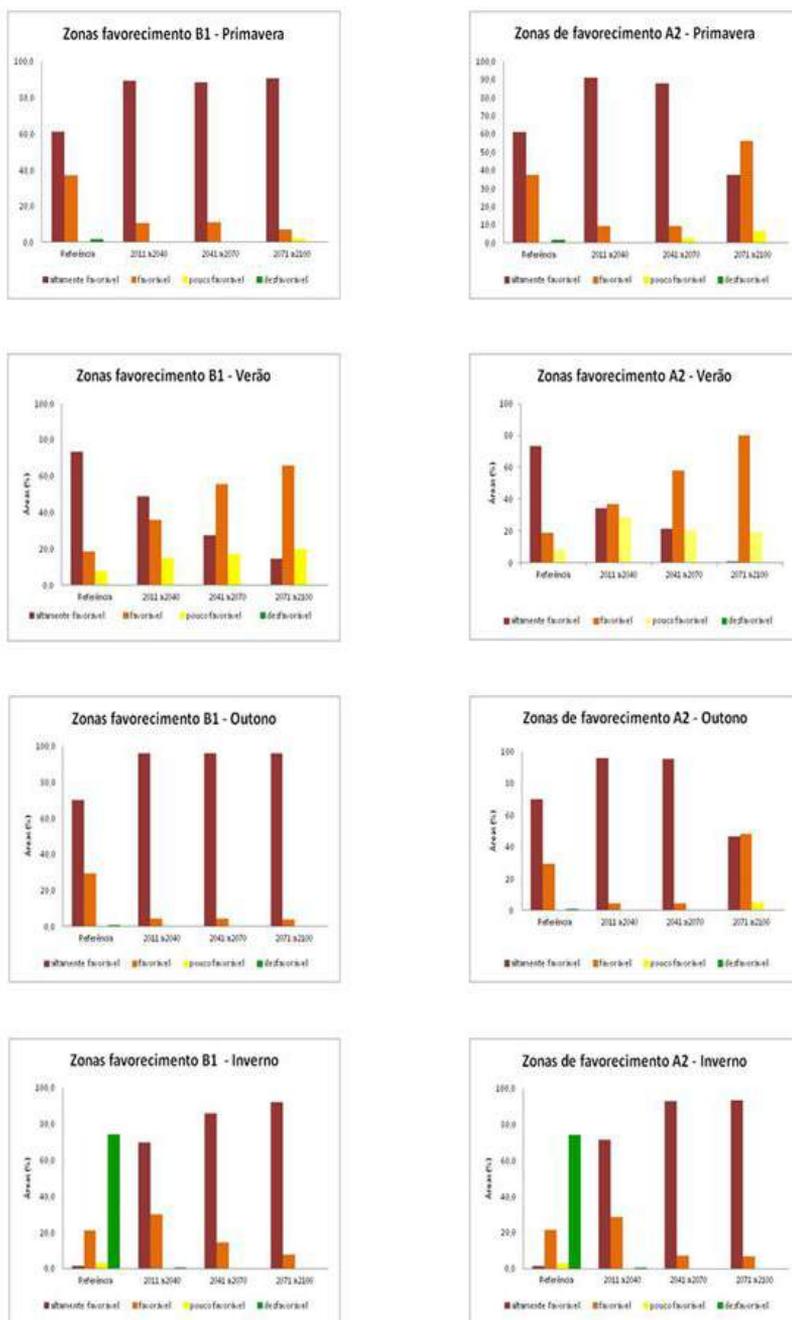


Figura 5. Variação da área de favorecimento de ocorrência da ferrugem do eucalipto na região Sul do Brasil nas décadas de 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100 (cenários B1 e A2) nas estações do ano, em função das mudanças climáticas.

Em relação à umidade relativa do ar, é esperado que ocorra aumento significativo em cenários climáticos futuros, o que atualmente já é bastante elevada na região Sul do Brasil, contribuindo, também, para aumentar o risco de ocorrência da doença. A umidade relativa do ar é baixa apenas nas regiões situadas no interior do continente, mais distantes das zonas costeiras, como a Fronteira Oeste do Rio Grande do Sul. Apesar das temperaturas serem mais elevadas nesta região, existe baixo risco de ocorrência da doença, pelo fato da umidade relativa do ar ser baixa.

As condições devem se tornar mais favoráveis ao desenvolvimento do fungo nas estações do ano consideradas mais frias, como o outono, a primavera, e o inverno (Figuras 3, 4 e 5). Na situação presente (Figura 2), existe uma favorabilidade maior no verão em relação às outras estações, e condições desfavoráveis no inverno. Analisando as projeções e o cenário climático futuro B1 percebe-se que a favorabilidade praticamente aumenta em todas as estações (Figuras 3 e 5), ao longo das décadas, com maior incremento no cenário A2 (Figuras 4 e 5). Quando se consideram os cenários climáticos B1 e A2, a favorabilidade à ferrugem do eucalipto passa de muito favorável a favorável, e pouco favorável por causa das temperaturas médias se tornarem elevadas, passando à faixa de temperatura desfavorável à germinação de uredósporos e infecção por *Puccinia psidii*.

A tendência, assim, é de aumentar o tempo em que as condições climáticas são favoráveis, podendo intensificar a incidência de áreas com ataque do fungo, principalmente nas zonas de maior altitude, devido ao aumento de temperatura, risco que atualmente é menor, por causa de temperaturas baixas, desfavoráveis ao desenvolvimento do patógeno, embora a umidade relativa do ar seja alta.

As zonas de menor risco à doença na região Sul do Brasil ficarão concentradas nas regiões Norte do Paraná, principalmente no Vale

do Paranapanema e na Fronteira Oeste do Rio Grande do Sul, devido à baixa umidade relativa do ar, e além disso, à temperaturas do ar desfavoráveis, muito elevadas para o desenvolvimento do fungo. As regiões de altitude devem passar de favoráveis a muito favoráveis, por oferecerem condições climáticas favoráveis, principalmente a umidade relativa e as temperaturas do ar. As maiores alterações são esperadas para o inverno, que passa da condição de desfavorável, na maior parte de sua área, para favorável e muito favorável. No verão, espera-se situação inversa, quando as regiões passam de muito favorável, na maior parte da área, para pouco favorável e a favorável (Figuras 3 e 4), devido ao aumento de temperatura e redução da umidade relativa do ar, e da redução do período de chuvas.

Considerações finais

O eucalipto é a principal espécie florestal plantada em sistema intensivo de cultivo no Brasil e provavelmente continuará sendo dessa forma por muitas décadas, mantendo a tendência atual de expandir a área de plantio para novas regiões, onde novas doenças potenciais poderão surgir. As variações de temperatura, de pluviosidade e de umidade relativa do ar que ocorrerão em função das mudanças climáticas, em um primeiro momento, tendem a favorecer os plantios comerciais de espécies e híbridos do gênero *Eucalyptus*. Por outro lado, os mesmos fatores que favorecem a expansão da área de aptidão para o eucalipto na região Sul tendem a favorecer o desenvolvimento das doenças, entre elas a ferrugem do eucalipto. O aumento de área favorável à ferrugem na região Sul é esperado por causa da redução do frio, aumento da pluviosidade e da umidade relativa do ar, principalmente nos períodos mais frios. No verão, preveem-se condições muito desfavoráveis à ferrugem, principalmente no cenário climático futuro mais pessimista A2.

Deve-se considerar que as projeções apresentadas neste capítulo precisam ser avaliadas, pois existem outros fatores que podem interferir no ciclo das relações patógeno-hospedeiro, dentre estes os materiais genéticos plantados e suas respostas às mudanças climáticas. Com certeza, o cenário atual do clima não será o mesmo no futuro, o que torna fundamental acompanhar a epidemiologia da ferrugem do eucalipto nas próximas décadas. O desenvolvimento de pesquisas relacionadas aos efeitos diretos da temperatura sobre a ferrugem causada por *Puccinia psidii*, da resposta de clones comerciais e de sua resistência às mudanças climáticas, bem como as ações de mitigação dos gases de efeito estufa visando atenuar os efeitos das mudanças climáticas, são estratégicos e podem auxiliar no controle desta doença no futuro.

Referências

- ALFENAS, A. C.; ZAUZA, E. A. V.; MAFIA, R. G.; ASSIS, T. F. **Clonagem e doenças de eucalipto**. Viçosa, MG: Ed. da UFV, 2009. 500 p.
- ALVARES, C. A.; SENTELHAS, P. C.; MATTOS, E. M.; MIRANDA, A. C.; MORAES, W. B.; SILVA, P. M. M.; FURTADO, E. L.; STAPE, J. L. Climatic favourability zones for *Eucalyptus* rust in Brazil. **Forest Pathology**, v. 47, n. 1, e12301, 2016.
- AUER, C. G.; SANTOS, A. F. dos. Doenças em eucaliptos destinados à produção de energia na região Sul do Brasil. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 31, n. 68, p. 373-379, 2011.
- AUER, C. G.; SANTOS, A. F. dos. BORA, K. C.; **A ferrugem do eucalipto na região Sul do Brasil**. Colombo: Embrapa Florestas, 2010. (Embrapa Florestas. Comunicado técnico, 252).
- AUER, C. G.; SANTOS, A. F. dos; FURTADO, E. L. Doenças do eucalipto. In: AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L. E. A. **Manual de fitopatologia**; doenças das plantas cultivadas. 5. ed. Ouro Fino: Agrônômica Ceres, 2016. v. 2, p. 359-372.

BOOTH, T. H.; JOVANOVIĆ, T. Assessing vulnerable areas for *Puccinia psidii* (eucalyptus rust) in Australia. **Australasian Plant Pathology**, v. 41, n. 4, p. 425-429, 2012.

BOOTH, T. H.; OLD, K. M.; JOVANOVIĆ, T. A preliminary assessment of high risk areas for *Puccinia psidii* (*Eucalyptus* rust) in the Neotropics and Australia. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 82, n. 1-3, p. 295-301, 2000.

BORA, K. C.; BRITO, G. S.; AUER, C. G.; SANTOS, A. F. dos; WREGGE, M. S. Favorabilidade climática para a ferrugem do eucalipto no estado do Paraná. **Summa Phytopathologica**, v. 42, n. 1, p. 24-42, 2016.

BRITO, G. S. **Cenários climáticos futuros para a ocorrência da ferrugem do eucalipto na região sul do Brasil**. 2013. 78 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

FERREIRA, F. A. **Patologia florestal**; principais doenças florestais no Brasil. Viçosa, MG: SIF, 1989. 570 p.

FURTADO, E. L.; DIAS, D. C.; OHTTO, C. T.; ROSA, D. D. **Doenças do eucalipto no Brasil**. Botucatu: [s. n.], 2009. 74 p.

FURTADO, E. L.; SANTOS, C. A. G.; MASSON, M. V. Impacto potencial das mudanças climáticas sobre a ferrugem-do-eucalipto no Estado de São Paulo. In: GHINI, R.; HAMADA, E. (Ed.). **Mudanças climáticas**: impactos sobre doenças de plantas no Brasil. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. p. 273-286.

GARRETT, K. A.; DENDY, S. P.; FRANK, E. E.; ROUSE, M. N.; TRAVERS, S. E. Climate change effects on plant disease: genomes to ecosystems. **Annual Review of Phytopathology**, v. 44, p. 489-509, 2006.

HAMADA, E.; GONÇALVES, R. R. V.; MARENGO, J. A.; GHINI, R. Cenários climáticos futuros para o Brasil. In: GHINI, R.; HAMADA, E. (Ed.). **Mudanças climáticas**: impactos sobre doenças de plantas no Brasil. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. v. 1, p. 25-73.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório IBÁ**. São Paulo, 2016. 100 p.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, **Forth Assessment Report**. 2007. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/report/ar4/>>. Acesso em: 28 abr. 2017.

MAFIA, R. G.; ALFENAS A. C.; LOOS. R. A. Impacto potencial das mudanças climáticas sobre doenças na eucaliptocultura no Brasil. In: GHINI, R.; HAMADA, E.; BETTIOL, W. (Ed.). **Impactos das mudanças climáticas sobre doenças de importantes culturas no Brasil**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2011. p. 213-225.

MASSON, M. V. **Ferrugem do eucalipto**: planejamento evasivo, estimativa de dano e análise da viabilidade do controle químico. 2009. 167 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Proteção de plantas), Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu.

MEEHL, G. A.; STOCKER, T. F. (Coord.). Global climate projections. In: SOLOMON, S., QIN, D.; MANNING, M.; CHEN, Z.; MARQUIS, M.; AVERYT, K. B.; TIGNOR, M.; MILLER, H. L. (Ed.). **Climate change 2007: the physical science basis: contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge: Cambridge University Press, 2007. p. 747-845.

NAKICENOVIC, N.; AICAMO, J.; GRUBLER, A; et al. **Special report on emissions scenarios (SRES), a special report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge: Cambridge University, 2000. Disponível em: <<http://pure.iiasa.ac.at/6101/2/sres-en.pdf>>. Acesso em: 28.abr. 2017

RICCE, W. da S.; CARAMORI, P. H.; CAVIGLIONE, J. H.; MORAIS, H.; PEREIRA, L. M. P. Estudo das temperaturas mínimas e máximas no Estado do Paraná. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA, 8., 2008, Alto Caparaó. **Anais...** Uberlândia: Ed. da UFU, 2008. p. 200-210.

RUIZ, R. A. R. **Epidemiologia e controle químico da ferrugem (*Puccinia psidii* Winter) do eucalipto**. 1988. 108 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

RUIZ, R. A. R.; ALFENAS, A. C.; FERREIRA, F. A.; VALE, F. X. R. Influência da temperatura, do tempo de molhamento foliar, do fotoperíodo e da intensidade de luz sobre a infecção de *Puccinia psidii* em eucalipto. **Fitopatologia Brasileira**, v. 14, n. 6, p. 55-61, 1989.

SANTOS, A. F. dos; AUER, C. G. **Controle químico da ferrugem do eucalipto em plantios jovens**. Colombo: Embrapa Florestas, 2011. 3 p. (Embrapa Florestas. Comunicado técnico, 274).

SCHULTZ, B. **Doenças bióticas e abióticas em *Eucalyptus benthamii* Maiden.** 2011. 101 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

STEINMETZ, S.; SIQUEIRA, O. J. W.; WREGE, M. S.; HERTER, F. G.; REISSER JÚNIOR, C. Aumento da temperatura mínima do ar na região de Pelotas, sua relação com o aquecimento global e possíveis consequências para o arroz irrigado no Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 14., 2005, Campinas. **Anais...** Campinas: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 2005. 1CD-ROM.

WREGE, M. S.; STEINMETZ, S.; REISSER JÚNIOR, C.; ALMEIDA, I. R. **Atlas climático da região Sul do Brasil:** estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Pelotas: Embrapa Clima Temperado; Colombo: Embrapa Florestas, 2011. 336 p.

Efeitos do aquecimento global sobre pragas de oleaginosas

Adeney de Freitas Bueno, Orcial Ceolin Bortolotto,
Regiane Cristina Oliveira de Freitas Bueno, Emília Hamada,
Bruna Magda Favetti e Gabriela Vieira Silva

Introdução

Os cenários climáticos futuros indicam aumento da temperatura global, além de alterações na umidade relativa e taxas de dióxido de carbono (CO_2) da atmosfera terrestre. Essas mudanças no clima estão ocorrendo em decorrência das alterações na composição química da atmosfera, resultantes da intensificação de atividades antrópicas, como a elevação da concentração de gases de efeito estufa, principalmente o CO_2 , metano (CH_4) e óxidos de nitrogênio (NO_x), que levam a modificações intensas no regime climático global (COSTA, 2004; GHINI et al., 2008). Isso interfere nas condições ambientais e, conseqüentemente, na infestação de pragas e na produção agrícola mundial de diferentes culturas (EEROLA, 2003; NÓBREGA, 2008), como a soja, colza, girassol e amendoim, entre outras.

Discussões sobre as mudanças climáticas em escala global têm sido realizadas por iniciativa do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, que levaram à criação, em 1988, do “*Intergovernmental Panel on Climate Change*” (IPCC). O IPCC é um órgão de referência e autoridade científica em relação ao aquecimento global, e tem como finalidade fornecer informações científicas sobre eventos climáticos e fazer previsões sobre mudanças futuras, contando

com a parceria de diversos centros de pesquisa em todo o mundo (MARENGO; VALVERDE, 2007). O Quarto Relatório do IPCC prevê que a temperatura média global deve sofrer elevação entre 1,4°C a 5,8°C em decorrência, principalmente, do aumento da concentração dos gases de efeito estufa (CHRISTENSEN et al., 2007). Isso traz consequências indesejáveis, como a alteração na disponibilidade de recursos hídricos, mudanças significativas nos agroecossistemas e a extinção ou favorecimento de algumas espécies de artrópodes que impactam de forma favorável (inimigos naturais e outros insetos benéficos) ou desfavorável (pragas) na produção de culturas agrícolas de importância mundial, como as oleaginosas (EEROLA, 2003; ESTAY et al., 2009).

Entre os gases que causam o efeito estufa está o CO₂. Apesar desse efeito maléfico, principalmente quando em concentrações mais elevadas, este gás é um componente essencial para a fotossíntese das plantas e, conseqüentemente, indispensável para a produtividade dos agroecossistemas. Além dos possíveis impactos sobre a fotossíntese, acredita-se que nas próximas décadas, alterações na concentração de CO₂ em nível global poderão ter também influência sobre a distribuição e abundância de diversas espécies de artrópodes de importância agrônômica (ROOT et al., 2003). Isso ocorrerá porque o aumento da concentração de CO₂ traz, entre outras consequências, uma elevação da temperatura. Isso terá um efeito importante sobre o desenvolvimento e sobrevivência dos insetos. A maioria dos artrópodes é pecilotérmica e, portanto, tem crescimento que segue uma curva sigmóide, em que a sobrevivência e a fecundidade são influenciadas negativamente por temperaturas extremas (límitrofes - altas ou baixas). Entre esses limites extremos há geralmente uma relação linear positiva entre o desenvolvimento do artrópode e a temperatura (BOWLER; TERBLANCHE, 2008). Sendo assim, mesmo que numa visão simplificada das possíveis interações que podem ocorrer, mudanças

na temperatura, usualmente associadas às alterações na precipitação, terão efeitos diretos e indiretos na abundância e na adaptação dos artrópodes nos diferentes agroecossistemas (MCLAUGHLIN et al., 2002), influenciando seu desenvolvimento, reprodução, comportamento e ocorrência nos diferentes níveis tróficos, ou seja, nos organismos que causam prejuízo para as diferentes culturas, nos seus competidores e também nos inimigos naturais dessas pragas (PATTERSON et al., 1999; SALVADORI; PARRA, 1990; ULRICH; HOPPER, 2008). Na literatura científica existem alguns estudos reportando a influência das alterações do clima em invertebrados que ocorrem nos agroecossistemas, demonstrando a importância desse tema para o futuro da agricultura mundial (STIREMAN et al., 2005) e, conseqüentemente, para o cultivo de plantas de interesse agrônômico como as oleaginosas.

É importante salientar que o sucesso ou o fracasso de uma espécie de artrópode frente às mudanças climáticas pode variar em decorrência das circunstâncias ecológicas de cada sistema e do organismo em questão, que pode diferir em sua capacidade de adaptação. Isso ocorre porque os artrópodes podem apresentar estratégias variadas para evitar os extremos térmicos, como esconder-se em buracos, debaixo de folhas ou realizar suas atividades ao amanhecer e/ou entardecer (GULLAN; CRANSTON, 2008). Esses podem, ainda, alterar o comportamento realizando migração, ou entrando em quiescência ou diapausa, por exemplo. A quiescência é um estado de “dormência” como consequência das condições ambientais adversas, como mudanças súbitas de temperaturas, não antecipadas e acíclicas, geralmente de curta duração. Diferentemente, a diapausa caracteriza-se pela interrupção temporária do desenvolvimento ou da atividade reprodutiva (NECHOLS et al., 1999).

A inserção da diapausa em um ciclo de vida requer mecanismos de percepção do monitoramento ambiental para ativar mecanismos que alteram o desenvolvimento, diminuindo a atividade metabólica

para preservar somente as atividades vitais (DENLINGER, 2002). Portanto, é comum que os insetos que habitam sistemas agrícolas, com longos períodos com baixas temperaturas, principalmente nas regiões de clima temperado, tenham a capacidade de entrar em diapausa. Em contrapartida, os insetos comumente encontrados nas regiões sub e neotropicais caracterizam-se por simplesmente interromper as atividades metabólicas pelo período com temperaturas extremas.

Apesar dos modelos climáticos globais projetarem maior aumento de temperatura próximo aos pólos, com menor efeito da elevação da temperatura sobre as pragas de regiões tropicais, como o Brasil, espera-se que alguns insetos menos tolerantes às mudanças térmicas tenham também os ciclos de vida comprometidos mesmo nestas regiões (CHRISTENSEN et al., 2007). Assim, tentar entender as alterações na composição da entomofauna da agricultura frente às mudanças climáticas permitirá ao agricultor se preparar para os efeitos do aquecimento global e mitigar possíveis efeitos negativos sobre o manejo integrado de pragas (MIP) nessas culturas. Portanto, neste capítulo serão abordados os possíveis efeitos práticos do aquecimento global sobre as pragas nas culturas da soja, girassol, colza e amendoim. Tal informação pode interferir no MIP dessas culturas, mesmo que utilizando uma abordagem mais simplificada desses sistemas produtivos e mais focada nos efeitos das alterações da temperatura sobre os artrópodes. É importante esclarecer que não é pretensão dos autores esgotar todas as possibilidades de impacto do aquecimento global sobre essas pragas. Nesse contexto, é importante destacar que as mudanças climáticas são um conjunto de eventos climáticos muito mais complexos do que apenas o simples aumento da temperatura e, diferentes interações no sistema praga, planta hospedeira e inimigos naturais podem ocorrer e são de difícil previsão e estudo.

Possíveis efeitos das alterações da temperatura e umidade relativa sobre as pragas

Pragas de raízes

Curculionídeos-das-raízes (tribo Naupactini) (Coleoptera: Curculionidae)

Os curculionídeos-das-raízes são pequenos besouros que medem em torno de 10 a 20 mm de comprimento na fase adulta (GALLO et al., 2002). Esses insetos são polípagos, com maior importância em citros, mas ocasionalmente podem também causar danos às culturas da soja e do amendoim (BORTOLOTTI, 2008; MAY, 1966). Os principais danos são ocasionados pela fase jovem, que se alimenta do sistema radicular dessas culturas. Embora os adultos alimentem-se da área foliar das plantas, a sua capacidade de desfolha usualmente é pequena, não sendo suficiente para reduzir a produtividade da cultura, a menos que associado a outros insetos desfolhadores mais destrutivos.

Como na maioria dos artrópodes, alterações na temperatura têm efeitos diretos sobre a biologia desses insetos. O período embrionário dos curculionídeos-das-raízes varia de acordo com a temperatura e a espécie. Por exemplo, *Naupactus versatilis* (Hustache) e *Naupactus cervinus* (Boheman) não se desenvolvem em temperaturas superiores a 28°C e 30°C, respectivamente. Por outro lado, *Parapantomorus fluctuosus* (Boheman) se desenvolve em temperaturas de até 32°C e o ciclo de desenvolvimento é mais rápido em relação às outras espécies. De forma geral, não ocorre impacto da temperatura na viabilidade dos ovos nas diferentes temperaturas em que há o desenvolvimento dos insetos (GUEDES; PARRA, 2007). Sendo assim, é possível afirmar que a temperatura tem influência sobre o desenvolvimento desse grupo de insetos. Porém,

o conhecimento das espécies ocorrentes faz-se necessário, pois apresentam variabilidade de comportamento intra-específico.

Assim, a alteração do regime de temperatura pode favorecer a ocorrência de uma espécie (*Parapantomorus fluctuosus*) em detrimento das demais (*Naupactus versatilis* e *Naupactus cervinus*), o que pode aumentar a ocorrência destes curculionídeos na agricultura brasileira, visto que *Parapantomorus fluctuosus* tem um ciclo de desenvolvimento mais rápido e pode ter maior número de gerações por ano e conseqüentemente aumentar a população de forma mais eficiente. Entretanto, na previsão dos efeitos das mudanças climáticas sobre pragas, além do impacto direto sobre o ciclo biológico dos insetos (como o que ocorre com a alteração da temperatura) é também importante avaliar a capacidade destrutiva do inseto, a eficiência dos métodos de controle, entre outros fatores, para melhor prever as possíveis conseqüências dessas mudanças no cenário agrícola em formação.

Pragas que atacam plântulas, pecíolos e caules

***Elasmopalpus lignosellus* (Zeller) (Lepidoptera: Pyralidae)**

Os adultos dessa praga são pequenas mariposas de cor cinza-amarelada, com cerca de 20 mm de envergadura. O dano é causado pela fase jovem, conhecida por lagarta-elasmo, que mede aproximadamente 16 mm, de coloração de esverdeada a azulada (SOSA-GÓMEZ et al., 2010). Esse inseto é uma praga polífaga que pode ocorrer nas culturas da soja e amendoim, entre outras. A lagarta de *Elasmopalpus lignosellus* recém-eclodida penetra na região do colo da planta abrindo uma galeria no interior do caule que interrompe o fluxo de nutrientes na planta. Isso provoca a murcha e em seguida pode levar a planta à morte (GALLO et al., 2002) ou ao seu tombamento. Tem-se observado que essa praga é problema em

anos de seca e em regiões com solo arenoso, visto que em razão das lagartas permanecerem predominantemente sobre a superfície, a ocorrência de chuvas diminui o número de insetos e, em solos que drenam facilmente a água, este controle físico não acontece. Portanto, alterações climáticas que aumentem a escassez de chuvas podem favorecer a ocorrência dessa espécie. Entretanto, a complexidade de interações entre a praga, planta hospedeira e o meio ambiente também precisa ser levada em consideração, além de apenas a relação simplificada entre inseto e estiagem.

Nesse contexto, com relação aos efeitos da temperatura sobre a praga, as faixas ótimas para o crescimento populacional da lagarta-elasma (reprodução e sobrevivência) variam entre 27°C e 33°C. Os limiares, mínimo e máximo, para o desenvolvimento são 9,3°C \pm 1,8°C e 37,9°C \pm 0,7°C, respectivamente (SANDHU et al., 2010a, 2010b). Embora, a fecundidade da lagarta-elasma seja drasticamente reduzida quando a temperatura é muito elevada (>33°C), ainda é superior comparando-se às temperaturas baixas (<18°C) (SANDHU et al., 2010b). Portanto, essa praga apresenta boa capacidade de adaptação em locais com temperaturas mais elevadas e possivelmente será mais tolerante ao aquecimento global, principalmente se associado ao aumento da temperatura, ocorrer redução dos índices pluviométricos, o que beneficiaria a ocorrência desta espécie como já destacado no parágrafo anterior.

***Agrotis ipsilon* (Hufnagel) (Lepidoptera: Noctuidae)**

Os adultos dessa praga são mariposas com aproximadamente 35 mm de envergadura. As asas anteriores são marrons com algumas manchas pretas e as posteriores semitransparentes. As lagartas, de hábito noturno, são insetos polívoros que atacam uma diversidade de plantas cultivadas, como a soja, amendoim e girassol, cortando as plantas rente ao solo (GALLO et al., 2002). Essa injúria

pode causar redução drástica no estande e conseqüentemente na produção da lavoura atacada. Por apresentarem o hábito de que quando tocadas, enrolarem-se como uma rosca na tentativa de se protegerem, os insetos da espécie *Agrotis ipsilon* são conhecidos como lagarta-rosca.

Diferentemente da maioria dos artrópodes, essa espécie é mais tolerante aos efeitos das alterações de temperatura. Na faixa de 18°C a 30°C, os aspectos biológicos mais relevantes (tempo de desenvolvimento, peso de larva e pupa e tamanho de cápsula cefálica) dessa praga não foram afetados pelas alterações na temperatura, ressaltando-se que na temperatura de 18°C o índice de sobrevivência do inseto é menor em relação à temperatura mais elevada (30°C) (SANTOS; SHIELDS, 1998). Em razão das temperaturas mais altas não acelerarem a taxa de desenvolvimento da praga, o que na prática, não acarreta maior número de gerações do inseto sobre as culturas agrícolas, é possível esperar-se um baixo impacto da alteração da temperatura sobre essa espécie no campo.

É sempre importante lembrar que as mudanças climáticas englobam vários fatores abióticos. Podem ser esperadas alterações tanto nos índices pluviométricos, refletindo na variação da umidade, quanto na temperatura, radiação, etc., que provocam diferentes efeitos na fisiologia das plantas cultivadas e podem direta ou indiretamente influenciar o “status” dessa praga na agricultura brasileira.

***Maruca vitrata* (Fabricius) (Lepidoptera: Crambidae)**

Os adultos da espécie *Maruca vitrata* são mariposas pequenas que medem cerca de 20 a 23 mm de envergadura, de cor marrom-clara com manchas brancas na asa anterior (SOSA-GOMEZ et al., 2010). As fêmeas são de hábito noturno e vivem em torno de 4 a 8 dias (SHARMA, 1998) com capacidade de colocar até 400 ovos nesse

período (JACKAI et al., 1990a; OKEYO-OWUOR; OCHIENG, 1981). As lagartas, que são polífagas, se alimentam de flores e vagens de mais de 39 espécies de plantas (ARODOKOUN et al., 2003; RATHORE; LAL, 1998). Na cultura da soja, as lagartas broqueiam as axilas, hastes e pecíolos das plantas, apresentando hábitos e danos semelhantes ao da broca-das-axilas. Porém, o dano mais importante de *Maruca vitrata* ocorre no período reprodutivo da soja quando este inseto broqueia as vagens (SOSA-GÓMEZ et al., 2010).

A alteração da temperatura afeta a oviposição dessa espécie, com ocorrência de maior número de ovos na faixa de temperatura entre 25°C e 27°C quando comparada a temperaturas inferiores (20°C a 22°C). Além disso, o incremento de temperatura (de 20°C a 27°C) acelera o desenvolvimento da praga, reduzindo as fases de pré-oviposição e longevidade das fêmeas adultas. Assim, é possível concluir que a temperatura ótima para reprodução da *Maruca vitrata* é de 25°C, com constante térmica de 342,2 graus-dia (CHI et al., 2005). Portanto, a predominância da temperatura ambiente próxima a 25°C pode favorecer a ocorrência dessa praga em decorrência da aceleração do ciclo biológico, principalmente considerando que não há quiescência nessa espécie (TAYLOR, 1967).

Esta praga tem capacidade de, ao longo do ano, desenvolver-se em diversos hospedeiros. Isso ocorre principalmente em locais que adotam sistemas de cultivo mais intensos, como o plantio da segunda safra ou safra de inverno. Entretanto, a elevação da temperatura acima de 25°C poderá prejudicar o desenvolvimento de *Maruca vitrata* e/ou deslocar a área de ocorrência desta praga para regiões mais próximas da temperatura ideal para o seu desenvolvimento. Atualmente, a distribuição geográfica dessa espécie é bastante generalizada, indo desde Cabo Verde, na África, até o oeste das Índias e nas Américas (SHARMA, 1998). Está distribuída nas regiões tropicais e subtropicais do mundo, embora

a provável região de origem seja o continente Asiático, entre as regiões da Indonésia e Malásia (MARGAM et al., 2011).

Além dos hospedeiros cultivados, plantas hospedeiras alternativas desempenham papel importante no processo de adaptação do artrópode às alterações da temperatura. Na ausência dos cultivos comerciais, durante o período de entressafra, a *Maruca vitrata* é capaz de sobreviver em plantas espontâneas, como a *Vigna triloba*, *Crotalaria* spp., *Phaseolus* spp. (TAYLOR, 1967), que podem ser mais resistentes aos efeitos do aquecimento global em relação às plantas cultivadas e terem, portanto, importante papel nos possíveis efeitos do aquecimento global sobre esta praga.

Pragas de parte aérea

Anticarsia gemmatalis (Hübner) (Lepidoptera: Eribidae)

Uma das principais pragas desfolhadoras da soja é a lagarta-da-soja, que possui ampla distribuição geográfica, sendo encontrada em clima tropical e subtropical (FORD et al., 1975). Os adultos dessa espécie sofrem redução drástica na atividade de cópula quando expostos às temperaturas extremas de 15°C e 35°C, enquanto entre 20°C a 30°C, além de um maior número de cópulas, há também maior oviposição. Fêmeas de *Anticarsia gemmatalis* mantidas a 25°C são mais fecundas e ovipositam maior número de ovos viáveis. Temperaturas acima de 30°C afetam negativamente a longevidade dos adultos e a emergência dos ovos (MILANO et al., 2008), tendo viabilidade nula a 31°C (SILVA et al., 2012).

O período larval da *Anticarsia gemmatalis* é reduzido em aproximadamente 10 dias elevando-se a temperatura de 25°C para 34°C (SILVA et al., 2012). Isso ocorre porque o aumento da temperatura acelera o metabolismo desse inseto encurtando o ciclo de vida (HOCHACHKA; SOMERO, 1984). Entretanto, em altas temperatu-

ras, essa redução drástica do ciclo de vida da lagarta-da-soja pode fazer com que as formas jovens não tenham tempo suficiente para consumir a quantidade de alimento necessária para suprir as necessidades nutricionais. Isso causa a morte das pupas, fase que o inseto mais utiliza as reservas nutricionais para completar a metamorfose para a fase adulta.

Em condições adversas de elevadas temperaturas, *Anticarsia gemmatalis* pode economizar energia, aumentando a duração da fase larval. Por exemplo, lagartas expostas a temperaturas acima de 31°C reduzem a movimentação, em um comportamento típico de economia de energia. Mesmo assim, a aceleração do metabolismo e a consequente redução do ciclo de vida desse inseto causada pela elevação da temperatura induz o menor ganho de peso e aumenta a mortalidade pupal. Lagartas dessa praga expostas a 37°C têm peso de pupa menor com nenhuma emergência de adultos (SILVA et al., 2012).

Considerando as faixas de favorabilidade para *Anticarsia gemmatalis*, estabelecidas com base na temperatura (°C) e umidade relativa do ar (UR) (%) (Tabela 1), pode-se observar a evolução projetada da importância dessa praga no Brasil levando em consideração o período de referência de 1961 a 1990 e o futuro no período de 2071 a 2100, no cenário A2 (Figura 1), baseando-se no clima projetado pelos modelos climáticos globais do Quarto Relatório do IPCC. Enquanto os efeitos da temperatura sobre os insetos são amplamente descritos na literatura científica, a quantidade de informações para umidade é mais restrita. Entretanto, considerando a experiência dos pesquisadores da Embrapa Soja em criação de laboratório dessa espécie por mais de 40 anos foi possível dividir a favorabilidade da umidade em pelo menos três grandes faixas como pode ser observado na Figura 1.

Tabela 1. Faixas de favorabilidade para o desenvolvimento e reprodução de *Anticarsia gemmatalis* (Lepidoptera: Noctuidae).

Temperatura (°C)	Umidade relativa do ar (UR) (%)		
	UR < 50	50 ≤ UR < 70	UR ≥ 70
< 20	Desfavorável	Desfavorável	Desfavorável
20 ≤ T < 25	Desfavorável	Favorável	Favorável
25 ≤ T ≤ 28	Desfavorável	Favorável	Muito favorável
28 < T < 31	Desfavorável	Favorável	Favorável
≥ 31	Desfavorável	Desfavorável	Desfavorável

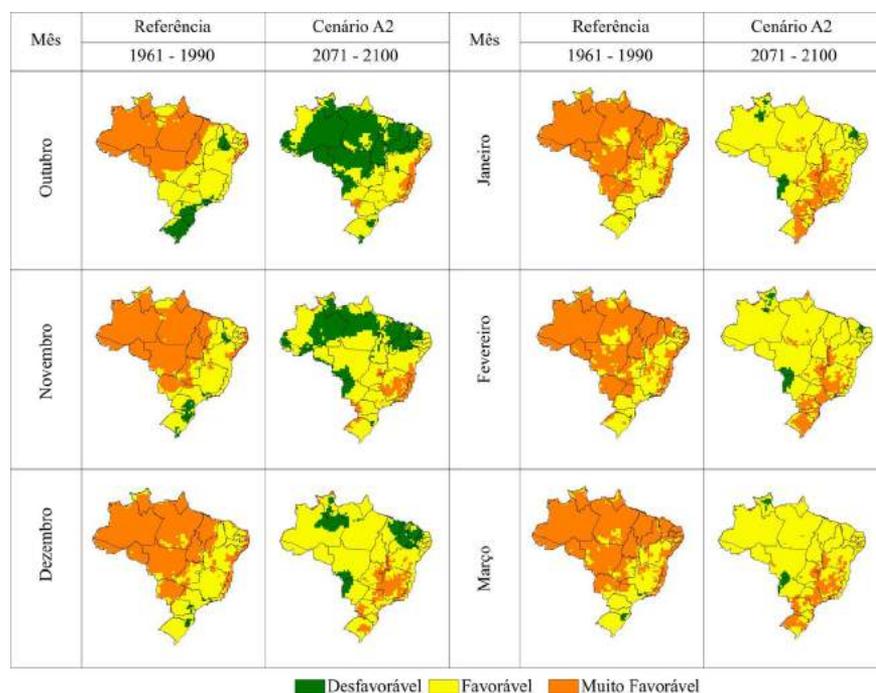


Figura 1. Favorabilidade climática à ocorrência da *Anticarsia gemmatalis* (Lepidoptera: Noctuidae) para o período de referência (1961-1990) e futuro (2071-2100), cenário A2, nos meses de outubro a março no Brasil.

A análise foi realizada entre os meses de outubro a março que é o período de cultivo de soja no Brasil. No futuro, em geral, para o Brasil, o prognóstico é de diminuição das áreas da classe “muito

favorável”, passando para a classe “favorável”, explicado pela elevação da temperatura média a longo prazo, para o final do século 21, ocasionando efeitos deletérios para ocorrência dessa praga em 2071 a 2100 (Figura 1). No entanto, considerando a região Sul, a favorabilidade à ocorrência do inseto aumentará, com áreas passando de “favoráveis” para “muito favoráveis” nos meses de janeiro a março, pois mesmo com a elevação da temperatura, a condição climática ainda continuará a ser benéfica ao desenvolvimento da *Anticarsia gemmatalis*.

É importante levar em consideração que o aquecimento global mais tênue, que pode ocorrer em áreas específicas com a elevação, por exemplo, de temperaturas médias de 25°C para 28°C, permite ao inseto se adaptar facilmente a essas variações, encurtando o seu ciclo e assim aumentando a incidência nas culturas. A habilidade de completar o ciclo de vida dos insetos fitófagos nos hospedeiros e ambiente onde são encontrados representa o sucesso de sua adaptação (BALE et al., 2002). Nesse contexto, destaca-se a rápida adaptação que essa espécie pode apresentar frente às mudanças das condições climáticas. *Anticarsia gemmatalis* apresenta na temperatura de 28°C viabilidade dos ovos baixa, mas que ocorre somente na primeira geração do inseto, com aumento nas gerações seguintes indicando a capacidade de seleção e adaptação da praga frente à alteração dos fatores mencionados (SILVA et al., 2012).

Ainda, em uma perspectiva global, é importante salientar que áreas mais frias, onde temperaturas baixas são fatores abióticos que causam mortalidade de *Anticarsia gemmatalis*, vão se tornar mais favoráveis para a ocorrência de surtos desta praga, trazendo mudanças importantes no cenário agrícola (SILVA et al., 2012). Em síntese, o aumento da temperatura deverá estender a amplitude geográfica de alguns insetos-praga principalmente nas altas latitudes, onde as temperaturas mais baixas são limitadoras

do desenvolvimento de algumas espécies (ANDREW; HUGHES, 2005; MUSOLIN; NUMATA, 2003). Além do aumento da distribuição geográfica, para os insetos multivoltinos (que têm várias gerações por ano), o número de gerações também deverá aumentar (JÖNSSON et al., 2009; PORTER et al., 1991). Porém, predizer a dinâmica da população de *Anticarsia gemmatalis* no futuro e sua distribuição geográfica é algo bastante complexo e passível de erros em função das diferentes interações às quais essa espécie está sujeita.

Complexo de Plusiinae: lagartas falsa-medideiras (Lepidoptera: Noctuidae)

Essas lagartas são comumente denominadas falsa-medideiras, por se deslocarem medindo palmos em decorrência de apresentarem apenas dois pares de falsas pernas abdominais (SOSA-GOMEZ et al., 2010). Elas constituem um complexo de espécies associado à soja, sendo, dentre elas, a *Chrysodeixis includens* Walker a espécie mais importante, seguida de *Rachiplusia nu* (Guenée) e *Trichoplusia ni* (Hubner) (BUENO, 2008; MORAES et al., 1991).

Chrysodeixis includens foi por muito tempo referida como *Pseudoplusia includens* (Walker) e mesmo publicações recentes ainda continuam usando essa nomenclatura. Entretanto, Goater et al. (2003), ao reavaliar o gênero *Pseudoplusia*, o reclassificaram para o gênero *Chrysodeixis*, a classificação válida atualmente (MOSCARDI et al., 2012). Sendo assim, apesar dessa aparente discussão com relação à classificação dessa praga, neste livro, será adotado o nome de *Chrysodeixis includens* como sendo a forma correta.

A importância de *Chrysodeixis includens* é ressaltada pela ocorrência em um grande número de hospedeiros, que pode chegar a 73 espécies de plantas, pertencentes a 29 famílias distintas, entre as

quais estão as culturas da soja, algodão, feijão, fumo, girassol, hortaliças, entre outras (EICHLIN; CUNNINGHAM, 1978; HERZOG, 1980). Na cultura da soja, a lagarta falsa-medideira vem ocorrendo cada vez com maior frequência nos últimos anos. Anteriormente, esse lepidóptero era relatado apenas como praga secundária, com ocorrência esporádica, mas na atualidade é considerado praga-chave dessa cultura (TECNOLOGIAS..., 2011).

Quando analisado o efeito da temperatura sobre alguns aspectos biológicos de *Chrysodeixis includens*, verifica-se que, em temperaturas que oscilam entre 15°C e 26°C, as lagartas dessa espécie apresentam maior taxa de desenvolvimento e crescimento relativo, além do menor período de desenvolvimento larval quando comparado com lagartas mantidas em temperaturas mais baixas entre 10°C a 21°C (STAMP; OSIER, 1998). Isso pode justificar a ocorrência dos surtos mais intensos dessa praga principalmente no período mais quente do ano, quando temperaturas no patamar de 30°C são frequentemente atingidas juntamente com a menor ocorrência de chuvas (baixa UR).

Com relação a possíveis diferenças entre as espécies de lagartas desse grupo, os dados disponíveis demonstram que a espécie *Chrysodeixis includens* apresenta maior potencial de dano à cultura da soja quando comparada à espécie *Trichoplusia ni*, mas isto pode variar de cultura para cultura, apesar de ainda não haver muitos dados disponíveis na literatura científica sobre este assunto. A influência da temperatura sobre os aspectos biológicos de *Chrysodeixis includens* foi estudada mais detalhadamente por Mason e Mack (1984), em câmaras climatizadas com UR de 65%. Os autores verificaram que a longevidade das fêmeas adultas pode variar de 6,5 a 17,9 dias, nas temperaturas extremas de 17°C e 35°C. A fecundidade média foi maior com o aumento da temperatura, passando de 162 (a 17°C) para 274 ovos por fêmea (a 26°C) e mantendo-se elevada até os 32°C, quando as fêmeas

ovipositaram aproximadamente 250 ovos por fêmea. Entretanto, na temperatura extrema de 35°C, a fecundidade caiu para 100 ovos, demonstrando ser desfavorável para o inseto. A taxa de oviposição diária apresentou resultados similares à fecundidade total. O número médio de ovos por dia aumentou gradualmente com a temperatura, passando de 9,1 para 26,9 ovos dia⁻¹ a 17°C e 29°C, respectivamente. A 32°C as fêmeas atingiram a média de 27,5 ovos dia⁻¹, enquanto essa média voltou a cair para 16,9 ovos dia⁻¹ quando os insetos foram submetidos a 35°C. Esses resultados demonstram que a praga mantém um desenvolvimento favorável na faixa entre 26°C e 32°C.

Na espécie *Trichoplusia ni*, também ocorre influência da temperatura nas características biológicas como, por exemplo, a redução do tempo de desenvolvimento (ovo-adulto) com o aumento da temperatura (TOBA et al., 1973). Embora alguns indivíduos atinjam a fase adulta mesmo em temperatura extrema (35°C), os mesmos ficam deformados (PALUMBO et al., 1999). Na faixa entre 26°C e 32,2°C, todos os indivíduos se desenvolvem normalmente, entretanto, os adultos dessa espécie têm a fecundidade e frequência de cópula reduzidas em temperatura em torno de 32°C. Outro aspecto biológico dessa espécie que pode ser influenciado negativamente pelo incremento da temperatura são as posturas da segunda geração da praga, que não eclodem quando são expostas a 32,2°C (LINCOLN et al., 1984).

Isso pode explicar o porquê da espécie *Chrysodeixis includens* ser mais abundante entre os plusíneos nos plantios de soja em áreas do norte do Paraná até as regiões Centro-Oeste e Norte do Brasil. As demais espécies de lepidópteros dessa subfamília são encontradas com maior facilidade apenas no Estado do Rio Grande do Sul, que apresenta temperaturas mais baixas em relação ao restante do País. Sendo assim, um efeito esperado caso ocorra a elevação da temperatura será a alteração da distribuição espacial de

Chrysodeixis includens que pode passar a ser importante na região Sul do País e talvez reduzir sua importância na região Central, podendo deslocar a ocorrência das demais espécies do grupo para regiões mais frias ao sul do continente. Entretanto, essa predição pode sofrer alterações, pois a ocorrência de diferentes fatores que interferem neste sistema o torna bastante complexo.

Considerando-se a favorabilidade climática ao desenvolvimento e reprodução de *Chrysodeixis includens* baseada na temperatura média mensal (Tabela 2), foram elaborados mapas de prognóstico de favorabilidade no período de referência de 1961 a 1990 e período futuro de 2071 a 2100, cenário A2, baseando-se nas projeções de modelos climáticos globais do Quarto Relatório do IPCC e nos meses de cultivo de soja no Brasil (outubro a março). Observa-se no período de 1961 a 1990 que o País apresenta-se com áreas predominantemente classificadas em “muito favorável” e “favorável” ao inseto, com exceção de partes da região Sul do País, nos meses de outubro e novembro, principalmente (Figura 2). Considerando as projeções de aumento da temperatura média no final do século 21, esta situação será bastante alterada, com diminuição da favorabilidade, em geral, para o País, resultando em predominância de áreas “pouco favoráveis” nos meses de outubro a dezembro e de “favorável” nos meses de janeiro a março. No entanto, considerando-se em particular as regiões Sul e Sudeste e os estados mais ao sul da região Nordeste, a favorabilidade irá aumentar no futuro, passando de áreas “favoráveis” para “muito favoráveis”. Isso se deve ao fato da elevação da temperatura no período de 2071 a 2100 nessas regiões ainda não atingir o limiar superior de temperatura prejudicial ao desenvolvimento da *Chrysodeixis includens*, definida nas faixas adotadas (Tabela 2).

Tabela 2. Faixas de favorabilidade para o desenvolvimento e reprodução de *Chrysodeixis includens* (Lepidoptera: Noctuidae).

Temperatura (°C)	Favorabilidade
≤ 17	Desfavorável
$17 < T \leq 20$	Pouco favorável
$20 < T \leq 25$	Favorável
$25 < T \leq 28$	Muito favorável
$28 < T \leq 30$	Favorável
$30 < T \leq 32$	Pouco favorável
> 32	Desfavorável

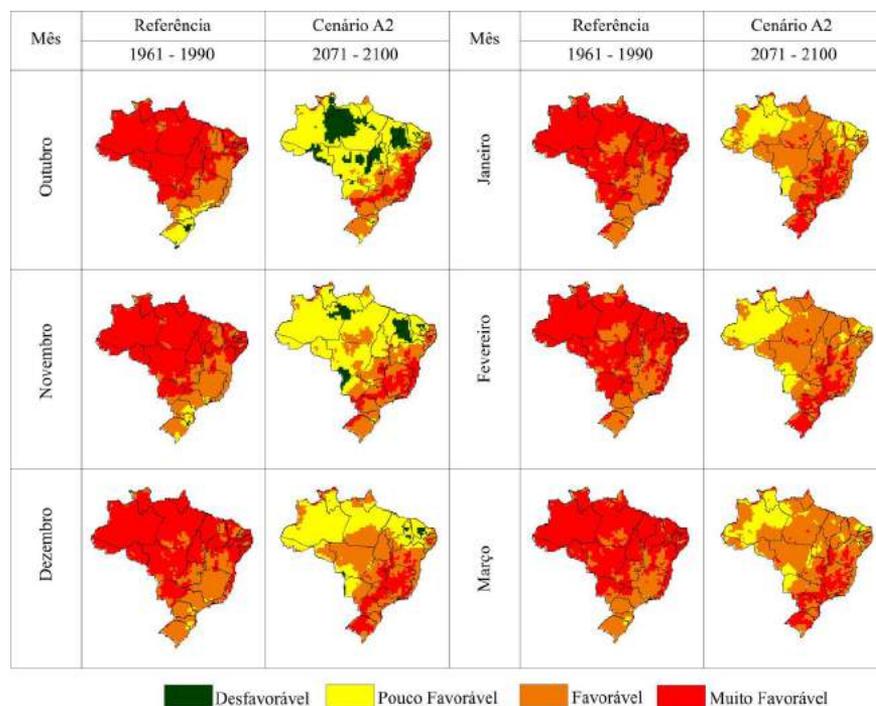


Figura 2. Favorabilidade climática à ocorrência da *Chrysodeixis includens* (Lepidoptera: Noctuidae) para o período de referência (1961-1990) e futuro (2071-2100), cenário A2, nos meses de outubro a março no Brasil.

Gênero *Spodoptera* (Lepidoptera: Noctuidae)

O gênero *Spodoptera* tem grande importância econômica por englobar várias espécies que causam danos a diferentes culturas. Cerca de 50% das espécies desse gênero constituem pragas agrícolas, apresentando alto grau de polifagia, alimentando-se de diferentes culturas de interesse econômico, como por exemplo, cereais e pastagens (POGUE, 2002), hortaliças (SILVA et al., 1968), eucalipto (SANTOS et al., 1980) e soja (BUENO et al., 2011), além de inúmeras plantas daninhas. A polifagia permite que essas pragas tenham sempre hospedeiros disponíveis para sua alimentação o que, em países tropicais (TEIXEIRA et al., 2001) como o Brasil, favorece a reprodução contínua desses noctuídeos, aumentando suas populações durante todo ano. Esse gênero constitui um grupo de pragas que pode ser beneficiado pela elevação da temperatura em razão da prévia adaptação aos trópicos. Porém, há algumas outras espécies de *Spodoptera* que ocorrem também em regiões temperadas, sendo este gênero representado por um total de 16 espécies na região Neotropical (TEIXEIRA et al., 2001) tornando as generalizações para todo o grupo mais difíceis e sujeitas a maiores probabilidades de erros.

***Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae)**

Caracterizada como praga polífaga, essa espécie é frequentemente encontrada alimentando-se de gramíneas, mas pode ocasionalmente ser encontrada também atacando as lavouras de soja, amendoim e girassol, entre outras. Isso ocorre principalmente quando a cultura do milho é circunvizinha a cultivos com outras plantas ou quando se trata de um cultivo de segunda-safra, onde as pragas migram das áreas cultivadas na primeira safra (BUENO et al., 2011).

Com relação aos possíveis efeitos da elevação da temperatura, é importante salientar que a temperatura de 25°C é a mais adequada ao desenvolvimento dessa espécie. No entanto, em temperaturas mais elevadas de até 32°C, todas as fases da *Spodoptera frugiperda* aceleram o desenvolvimento, o que pode aumentar o número de gerações da praga por ano (AFONSO et al., 2009; BUSATO et al., 2005), indicando que ela pode se beneficiar das alterações na temperatura. Entretanto, o impacto da elevação da temperatura na biologia dos insetos pode ser variável, pois mesmo a *Spodoptera frugiperda* tendo a capacidade de completar o ciclo nas temperaturas entre 18°C e 32°C e de encurtar o ciclo em temperaturas elevadas, em condições extremas de temperatura ocorre à redução na viabilidade dos insetos, com aumento da mortalidade nas diferentes fases do desenvolvimento (BUSATO et al., 2005). Além disso, salienta-se que em temperaturas extremas (15°C e 35°C) a atividade de cópula dos adultos é muito reduzida, com faixa ótima para atividade de cópula de *Spodoptera frugiperda* entre 20°C e 30°C (MILANO et al., 2008).

Em simulação de aquecimento térmico para o Estado do Rio Grande do Sul, Afonso et al. (2009) constataram que a elevação de 1°C, 3°C e 5,8°C pode acarretar no aumento de uma, 6 a 12 e 9 a 14 gerações a mais de *Spodoptera frugiperda* biótipo “arroz”, por ano, respectivamente. Para o biótipo “milho”, a elevação de 1°C, 3°C e 5,8°C pode aumentar 3 a 8, 6 a 10 e 8 a 13 gerações ao ano, respectivamente. Portanto, pode-se esperar que o aumento de temperatura até o máximo de 30°C irá beneficiar essa espécie fazendo até que a mesma ocorra em culturas ou áreas onde as baixas temperaturas eram efeito limitante para sua ocorrência antes desse aquecimento.

***Spodoptera cosmioides* (Walker) (Lepidoptera: Noctuidae)**

Atualmente é crescente o registro do aparecimento da *Spodoptera cosmioides*, conhecida popularmente como lagarta-preta, com ocorrência em lavouras de soja, muitas vezes em infestações mistas com outras espécies do mesmo gênero. Essa espécie pode causar danos na fase vegetativa em decorrência da desfolha e, na fase reprodutiva, quando se alimenta de vagens e folhas das plantas de soja. *Spodoptera cosmioides* e *Spodoptera eridania* (Cramer) formam o principal grupo de pragas que atacam as vagens de soja (GAZZONI; YORINORI, 1995). Em condições de laboratório, a faixa térmica ideal para o desenvolvimento desse inseto é de 25°C a 28°C, o que permite a ocorrência de 9,6 a 11,7 gerações anuais da praga. De forma geral, como também observado para outras espécies de artrópodes, a duração dos estádios imaturos de *Spodoptera cosmioides* é inversamente proporcional ao aumento de temperatura e o período ovo-pupa pode variar de 26,1 (32°C) a 167,8 dias (14°C). O aumento da temperatura também pode afetar negativamente a sobrevivência das lagartas que pode ser bastante reduzida na temperatura de 32°C. No geral, a viabilidade de ovos é baixa e varia entre 42% (14°C) a 11,3% (32°C). Os valores de limiar térmico inferior para as fases de ovo, lagarta, pré-pupa, pupa e período ovo-adulto são 9,34°C; 11,65°C; 9,65°C; 11,08°C e 11,23°C, respectivamente (BAVARESCO et al., 2002).

***Spodoptera eridania* (Cramer) (Lepidoptera: Noctuidae)**

Spodoptera eridania, conhecida popularmente como lagarta-das-vagens, como as demais espécies do gênero, se destaca pela gama de hospedeiros na qual ocorre. Vários autores citam lagartas dessa espécie alimentando-se da folhagem de diferentes famílias de plantas de importância econômica (SCRIBER, 1981; SOO HOO; FRAENKEL, 1966). Na cultura da soja, *Spodoptera eridania* vem ga-

nhando importância, ocorrendo tanto no período vegetativo quanto no reprodutivo da cultura e, embora esteja ocorrendo em áreas de soja em praticamente todo o Brasil, é no Centro-Oeste que esta lagarta é reconhecida como praga-chave (BUENO et al., 2007).

Em condições de laboratório, acima de 31°C *Spodoptera eridania* se desenvolve insatisfatoriamente, não chegando à fase de pupa; com elevação de temperatura de 25°C a 31°C as fases larval (total) e pré-pupal são reduzidas (BORTOLOTTI et al., 2012). Quando os insetos são submetidos à temperatura de 34°C, o terceiro e quarto instar da praga são particularmente afetados, ocorrendo prolongamento da duração larval. Em relação às pupas, o aumento da temperatura reduz o peso do inseto, demonstrando que nessa fase a praga é prejudicada com temperaturas acima de 28°C. Na temperatura de 31°C ocorre a menor razão sexual de *Spodoptera eridania*, diferindo das temperaturas de 25°C e 28°C (BORTOLOTTI et al., 2012). Assim, verifica-se que as temperaturas entre 25°C e 28°C são mais favoráveis ao desenvolvimento da espécie. No entanto, a variação na razão sexual pode ocorrer não só pelas condições adversas das temperaturas extremas, mas também pela escassez de alimentos (LAUGÉ, 1985) e, portanto, a influência da temperatura sobre a planta hospedeira terá também uma grande influência indireta sobre o desenvolvimento dessa praga.

***Chloridea virescens* (Fabricius) (Lepidoptera: Noctuidae)**

É crescente a ocorrência de lagarta-das-maçãs, *Chloridea virescens*, em áreas de soja no Brasil. Esse inseto, praga de importância primária em algodão, ocorre em lavouras de soja como desfolhadora (nos estádios iniciais da planta), e destruidora de vagens (no estágio reprodutivo da planta) (SOSA-GOMEZ et al., 2010). Embora a importância econômica tenha crescido nas últimas safras, ainda há uma grande escassez de trabalhos básicos, como

o efeito da temperatura sobre a biologia dessa espécie. Apesar de se conhecer que o aumento da temperatura acelera a fase larval de *Chloridea virescens*, os resultados podem variar de acordo com a dieta alimentar da praga (SOUZA, 1981). Em dieta natural, a fase larval é prolongada somente quando os insetos são submetidos à temperatura de 20°C. A partir dessa temperatura, a duração (dias) da fase jovem não difere entre as temperaturas até o limite térmico superior de desenvolvimento (SOUZA, 1981). Entretanto, em dieta artificial, as maiores temperaturas ocasionaram redução da fase jovem da praga e, considerando o peso das lagartas, as mais pesadas ocorrem em temperatura de 20°C. Em relação ao peso médio de pupas, os maiores valores são obtidos a 20°C quando alimentadas em dieta artificial e 20°C e 25°C quando alimentadas com folha de algodoeiro (*Gossypum* sp.). Apesar dessas diferenças, a fecundidade das fêmeas é afetada somente na temperatura extrema de 35°C, quando as mariposas não ovipositam. A viabilidade de ovos é baixa em todas as temperaturas, ressaltando-se que nas temperaturas de 20°C e 25°C o número de lagartas eclodidas é superior ao observado a 30°C, na dieta artificial e natural. No geral, a longevidade de adultos também reduz de acordo com o aumento da temperatura. Esses resultados indicam que a faixa de temperatura mais apropriada para o desenvolvimento da praga é entre 20°C e 25°C. A constante térmica de *Chloridea virescens* é de 625,69 graus-dia (SOUZA, 1981).

Embora a praga tenha importância reconhecida em algodão, recentemente tem ocorrido na cultura da soja e a avaliação do impacto da elevação da temperatura neste contexto não pode ser considerada de forma isolada, pois os resultados poderão sofrer alterações pelas combinações dos fatores. Entretanto, de forma geral, salienta-se que as maiores temperaturas, até o limite de 30°C poderão favorecer o inseto, pois embora apresente menor viabilidade de ovos, os indivíduos selecionados irão completar o ciclo com maior

velocidade, visto que a fase de pupa, assim como a fecundidade da praga não são afetadas por essa temperatura. Assim, acredita-se que a praga poderá causar perdas de produtividade em diversas regiões sojicultoras, visto a sua capacidade de adaptação em diferentes temperaturas.

***Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae)**

A espécie possui ampla distribuição geográfica no mundo, sendo, no Brasil, detectada na safra 2012/2013 se alimentando de culturas como soja, algodão e citros (BUENO et al., 2014; CZEPAK, 2013). Na cultura da soja, as lagartas se alimentam de brotos, cotilédones, folhas, hastes, porém tem preferência por estruturas reprodutivas, causando injúrias nos grãos semelhantes às lagartas de *Spodoptera*.

Esse lepidóptero apresenta melhor adaptação em temperaturas próximas às temperaturas ótimas (25°C a 30°C) (KUNJUN et al., 1993). O limiar mínimo estimado para o desenvolvimento de *Helicoverpa armigera* são próximos de 11-12°C, sendo necessário aproximadamente 475 graus-dias (ovo-adulto) (MIRONIDIS; SAVOPOULOU-SOULTANI, 2008). O menor limiar de desenvolvimento de 10,5°C foi estimado para os ovos, 11,3°C para as larvas e 13,8°C para as pupas de *Helicoverpa armigera* e a constante térmica de 51, 215,1 e 151,8 graus-dias, respectivamente (JALLOW; MATSUMURA, 2001). A UR afeta os estádios imaturos dessa praga (ovo e larva). Em geral, o desenvolvimento dos estádios imaturos é mais rápido quanto maior for a umidade. Quando a UR for 22,5%; 38%; 64%; 80% e 100%, a fase de larva pode durar 26; 24,08; 21,70; 20,83 e 19,38 dias, respectivamente. Em pupas e adultos não ocorre influência da UR (KUNJUN et al., 1993). Esses resultados indicam que locais com temperatura e umidade mais elevadas são favoráveis à maior pressão populacional dessa espécie de praga.

Helicoverpa armigera mantida por três gerações em diferentes temperaturas mostra uma adaptação a partir da primeira geração, uma vez que completa seu desenvolvimento ovo-adulto em várias temperaturas (constantes de 20; 22,5; 25; 27,5 e 30°C; flutuantes de 13,5-25°C e 18-32°C), exceto em condições extremas de 15°C e 35°C. Os indivíduos que completam seu desenvolvimento na primeira geração dão origem aos indivíduos da segunda e terceira geração, no entanto, apenas as temperaturas flutuantes e as constantes de 22,5, 25 e 27°C originam descendentes. Na terceira geração apenas as temperaturas constantes de 25 e 27,5°C e a temperatura flutuante de 13,5-25,5°C da segunda geração sobrevivem (ALVES, 2017). Os resultados mostram que um aumento de temperatura pode afetar negativamente o desenvolvimento dessa espécie, sugerindo uma redução em sua ocorrência em consequência das mudanças climáticas. Mas como o aumento da temperatura é gradativo e não abrupto, a aclimatação frente a uma nova faixa de temperatura pode favorecer a seleção dos indivíduos com consequente adaptação a temperaturas altas (ALVES, 2017).

***Plutella xylostella* (Linnaeus) (Lepidoptera: Plutellidae)**

Conhecida popularmente como traça-das-crucíferas, essa espécie é uma das principais pragas em lavouras de canola, e no sul do Brasil é reconhecida como inseto de maior importância para essa oleaginosa (DOMICIANO, et al., 1996). As lagartas recém-eclo-didas penetram na folha e se alimentam do parênquima foliar. A ocorrência dessa praga é geralmente maior na fase vegetativa da cultura e, geralmente, está correlacionada com períodos de maior estiagem (METCALF; FLINT, 1962). A faixa ótima de temperatura para o desenvolvimento da traça-das-crucíferas é entre 30°C e 35°C (GOLIZADEH et al., 2007). O limiar mínimo estimado para o desenvolvimento da praga é de 7,06°C e 7,84°C e a partir de 35°C

as larvas recém-eclodidas não conseguem atingir o segundo instar (GOLIZADEH et al., 2007). A duração do ciclo de vida do inseto varia de acordo com a cultura hospedeira, porém, de maneira geral, correlaciona-se negativamente com a temperatura, indicando uma tendência à adaptação em regiões em que ocorrem temperaturas mais elevadas.

***Bemisia tabaci* (Gennadius) (Hemiptera: Aleyrodidae)**

A mosca-branca biótipo B, é um inseto sugador de hábito cosmopolita, que tem mais de 600 espécies de plantas como hospedeiras (BROWN et al., 1995; HAJI et al., 1998) pertencentes às famílias Fabaceae, Cucurbitaceae, Malvaceae, Solanaceae, entre outras (LOURENÇÃO; NAGAI, 1994). A importância desse inseto é acentuada, pois quando o inseto está infectado, ele pode transmitir mais de 15 espécies de vírus patogênicos de plantas, induzindo diferentes desordens fisiológicas (BROWN, 1994), que prejudicam o desenvolvimento normal da cultura hospedeira e, conseqüentemente, trazem prejuízos econômicos ao agricultor.

A espécie *Bemisia tabaci* tem importância econômica crescente na soja, por ser transmissora do vírus da necrose-da-haste, que com a evolução dos sintomas, pode levar a planta à morte (MARUBAYASHI et al., 2010). A ocorrência da mosca-branca na soja, além de outras oleaginosas, é geralmente associada ao clima quente e seco. Isso ocorre porque a temperatura exerce grande influência sobre o desenvolvimento desse inseto. No geral, a faixa ótima de temperatura para o desenvolvimento é de 26°C a 30°C. Ao contrário, as temperaturas extremas de 15°C ou 35°C são desfavoráveis ao desenvolvimento da praga em decorrência do reduzido índice de sobrevivência (ALBERGARIA; CIVIDANES, 2002; QIU et al., 2003). Apesar do efeito negativo das temperaturas extremas (15°C e 35°C), os resultados de pesquisas indicam que

a praga é mais tolerante às temperaturas elevadas (>32°C) do que quando comparado às temperaturas mais baixas (<17°C) (QIU et al., 2003), mostrando o potencial destrutivo desse inseto em um cenário futuro de aquecimento global.

Vaquinhas (Coleoptera: Chrysomelidae)

As vaquinhas são pequenos besouros que na fase adulta medem cerca de 5 a 6 mm de comprimento e se alimentam de folhas e brotos das mais diferentes plantas cultivadas, com preferência pelas folhas mais tenras. O prejuízo causado por esses insetos pode ser motivado pela desfolha causada pelos adultos ou pelas larvas que vivem no solo e se alimentam das raízes das plantas (SOSA-GÓMEZ et al., 2010). Existem várias espécies que constituem essa família sendo *Cerotoma arcuata* (Olivier) e *Diabrotica speciosa* (Germar) frequentemente encontradas atacando as oleaginosas.

***Cerotoma arcuata* (Olivier) (Coleoptera: Chrysomelidae)**

Cerotoma arcuata apresenta correlação negativa entre o incremento de temperatura (de 18°C a 32°C) e a duração (dias) das fases de desenvolvimento do inseto (ovo, larva-adulto e adulto-ovo). A faixa de temperatura ótima para a viabilidade das fases de desenvolvimento desse inseto varia entre 20°C e 30°C. Em temperaturas extremas de 18°C e 32°C, a viabilidade das larvas é afetada negativamente, indicando que essas temperaturas são desfavoráveis para o desenvolvimento da fase jovem da praga (NAVA; PARRA, 2003).

***Diabrotica speciosa* (Germar) (Coleoptera: Chrysomelidae)**

Na faixa de 18°C a 32°C, observa-se que o aumento da temperatura é inversamente correlacionado ao período de duração ovo-adulto. Apesar da redução do período embrionário, a viabilidade dos ovos não é afetada pelo incremento na temperatura. Semelhante ao descrito anteriormente para a outra espécie de vaquinha (*Cerotoma arcuata*), a faixa de temperatura favorável para o desenvolvimento da fase larva-adulto do inseto é entre 20°C e 30°C, pois a viabilidade é reduzida nas temperaturas extremas (18°C e 32°C). As constantes térmicas da fase de ovo, período larva-adulto e período ovo-adulto foram 119,1; 355,9 e 474,9 graus-dia, respectivamente (MILANEZ; PARRA, 2000). Quando avaliado o modelo de constante térmica em campo, verificou-se que foram necessários 448,9 graus-dia para a praga completar o ciclo e os resultados demonstraram que, para estimar a emergência de adultos do solo, o acompanhamento da temperatura do solo é mais representativo do que a temperatura do ar (ÁVILA et al., 2002). Portanto, os resultados existentes indicam que a elevação da temperatura até o limite de 30°C é benéfica à ocorrência desses insetos (*Cerotoma arcuata* e *Diabrotica speciosa*), sendo que temperaturas acima deste limite superior podem ser desfavoráveis, em consequência do aumento de mortalidade da fase jovem.

Tripes (Thysanoptera: Thripidae)

Nas culturas da soja, amendoim e girassol, podem ocorrer algumas espécies de tripes que, em condições favoráveis ao seu desenvolvimento, podem causar sérios danos às culturas. A espécie *Frankiniella schultzei* (Trybom) junto à *Caliothrips brasiliensis* (Morgan) podem ser frequentemente encontradas em lavouras de soja. Os tripes, de forma geral, ocorrem com maior frequência em épocas de estiagem e em períodos de temperaturas

mais elevadas. Em amendoim, a espécie mais daninha para a cultura é a *Enneothrips flavens* (Moulton) (GALLO et al., 2002), entretanto, também podem ocorrer infestações da espécie *Frankiniella occidentalis* (Pergande) (LOWRY et al., 1992). Essa espécie é altamente polífaga e apresenta mais de 244 espécies de plantas como hospedeiros potenciais, divididos em 62 famílias (GONZÁLES, 1999). Para a espécie *Frankiniella occidentalis*, verificou-se em cultivo de morango (*Fragraria x ananassa* Duchesne) que dentro da faixa de temperatura de 16°C a 31°C o desenvolvimento do inseto (ovo-adulto) é mais rápido quanto maior for a temperatura (NONDILLO et al., 2008; SANTANA, 2009). De forma geral, considerando-se os aspectos biológicos da praga, a faixa ótima para o desenvolvimento varia entre 25°C e 28°C. A temperatura base e a constante térmica para o ciclo biológico (ovo-adulto) são de 9,88°C e 211,86 graus-dia, respectivamente. Em temperatura média de 17,19°C a 20,27°C a praga pode apresentar entre 12,6 e 17,9 gerações por ano, respectivamente (NONDILLO et al., 2008). Quando consideradas as temperaturas oscilantes de 1°C a 11°C, 18°C a 24°C, 21°C a 27°C e 26°C a 30°C ocorre menor índice de mortalidade de *Frankiniella occidentalis* nas temperaturas mais elevadas (SANTANA, 2009), indicando que a praga apresenta melhor adaptação nessas condições. Porém, ressalta-se que esses resultados podem variar de acordo com a planta hospedeira e região. Em amendoim, o inseto requer 253,9 graus-dia para completar o ciclo (ovo-adulto) (LOWRY et al., 1992), ou seja, sobre este hospedeiro o tempo de calor requerido, em relação ao que foi verificado em morango, é maior. Com essas informações, é possível estimar o número de gerações da praga de cada região produtora, porém deve-se considerar também a planta hospedeira no qual a praga vem ocorrendo. De forma geral, acredita-se que nas regiões com temperaturas mais elevadas é provável que ocorram maiores infestações do inseto, podendo causar sérios problemas nas culturas de soja e amendoim.

Ácaros

Os ácaros são pequenos artrópodes (menores que 1 mm) que se alimentam do tecido vegetal das plantas cultivadas, prejudicando seu desenvolvimento, causando clorose e morte do tecido atacado (SOSA-GÓMEZ et al., 2010). São pragas polífitas e muito comuns entre as oleaginosas. A ocorrência de diversas espécies desses artrópodes vem aumentando na agricultura brasileira nos últimos anos.

Tetranychus urticae (Koch) (Acari: Tetranychidae)

Em áreas de soja, vêm sendo constantemente encontrados ácaros tetraniquídeos sobre as folhas das plantas. Geralmente, a ocorrência da praga é favorecida por períodos de maior temperatura (20°C a 30°C) (BERTOLLO, 2007; NAHER et al., 2008; PRASLICKA; HUSZÁR, 2004) e clima seco (CHINNIAH, 2009). A temperatura base da fase de ovo, jovem e ovo-adulto é de 11,2°C, 10,9°C e 11°C, respectivamente. A viabilidade de ovos da praga é desfavorecida em temperaturas muito baixas ($\leq 15^\circ\text{C}$), ao passo que esta característica é favorecida com o acréscimo de temperatura (entre 20°C e 30°C) (BERTOLLO, 2007; PRASLICKA; HUSZÁR, 2004). O aumento da temperatura pode favorecer o estabelecimento de colônias de *Tetranychus urticae* nos diferentes agroecossistemas, pois quanto maior a temperatura (15°C a 30°C) maior é a taxa de sobrevivência dos ácaros imaturos não-acasalados desta espécie (BERTOLLO, 2007). As temperaturas mais elevadas favorecem também a fecundidade dessa praga, que alcança o pico na faixa entre 25°C e 30°C (BOUNFOUR; TANIGOSHI, 2001; NAHER et al., 2008). Ademais, temperaturas mais elevadas também favorecem a viabilidade dos ovos e a viabilidade máxima é alcançada na temperatura de 30°C. Entretanto, em temperaturas ainda maiores (35°C), a viabilidade é re-

duzida, desfavorecendo a sobrevivência da praga (PRASLICKA; HUSZÁR, 2004).

Apesar desse desfavorecimento em temperaturas extremas (35°C), essa espécie de ácaro está entre as pragas mais tolerantes ao efeito da elevação da temperatura que atacam as oleaginosas, na atualidade, discutidas nesse capítulo. Nesse contexto, o acréscimo de apenas 1°C na temperatura pode aumentar a população de ácaros em 1,184%, enquanto o acréscimo de 1% na UR pode reduzir sua população em 0,218% e 1 mm chuva corresponderá a uma redução populacional de 0,195% de ácaro (CHINNIAH et al., 2009). Assim, é possível concluir que o ácaro *Tetranychus urticae* poderá ser muito favorecido em caso de temperaturas mais elevadas e clima mais seco, podendo causar sérios danos às culturas das oleaginosas nas regiões mais quentes do País, principalmente quando associadas a épocas de estiagem.

***Polyphagotarsonemus latus* (Banks) (Acari: Tarsonemidae)**

O ácaro-branco é uma praga de ocorrência frequente em vários locais das regiões tropicais e subtropicais se adaptando facilmente às mais diferentes condições ambientais por causa de seu amplo espectro de plantas hospedeiras (> 60 famílias). Esse artrópode apresenta uma grande relação com a temperatura e UR. Quando ocorre $UR < 30\%$, a faixa ótima para o desenvolvimento da praga é entre 25°C e 30°C, enquanto quando $30\% < UR < 80\%$, a faixa ótima está entre 20°C e 25°C. Quando a UR oscila entre 80% e 90%, a temperatura ótima apresenta-se entre 15°C e 20°C. As maiores temperaturas (30°C) associadas à baixa UR acarretam a mortalidade de *Polyphagotarsonemus latus*, principalmente nas fases de ninfa e adulto. A constante térmica nas condições de 25°C e 90% de UR é de 18,49 graus-dia (JONES; BROWN, 1983).

O incremento de temperatura (na faixa entre 18°C e 28°C) acelera os estádios imaturos da praga, porém em temperaturas de 32°C ocorre um leve retardamento no estágio de ovo. Todos os estádios imaturos da praga são atrasados na temperatura de 15°C (FERREIRA et al., 2006). O limiar térmico inferior da praga em videiras é de 11,23°C; 9,45°C; 12,19°C e 9,71°C, respectivamente, para as fases de ovo, larva, pupa e período de ovo-adulto e a constante térmica apresentou valores de 28,51; 14,59; 8,33 e 62,73 graus-dia. Embora a 32°C acelere as diferentes fases do inseto, a temperatura ótima é de 25°C, situação em que a praga apresenta a maior longevidade, com maior número de gerações na temperatura média de 27,7°C e UR de 59,5%.

Sendo assim, à luz do conhecimento atual e, principalmente, simplificando bastante as interações complexas possíveis em um cenário futuro frente à elevação da temperatura, é possível prever os problemas com ácaros fitófagos, pois estes podem ter sua população muito aumentada. Entre as espécies mais adaptadas ao clima quente seco está o *Tetranychus urticae*, mais favorecida que *Polyphagotarsonemus latus* em temperaturas elevadas.

Complexo de percevejos das vagens (Hemiptera: Pentatomidae)

A cultura da soja é atacada por várias espécies de artrópodes sugadores pertencentes à ordem Hemiptera. Entre eles, o complexo de percevejos que atacam as sementes está entre o grupo de pragas-chave da cultura (TECNOLOGIAS..., 2011). Entre as principais espécies de percevejos que atacam a soja no Brasil estão: *Nezara viridula* (Linnaeus), *Euschistus heros* (Fabricius) e *Piezodorus guildinii* (Westwood) (PANIZZI et al., 2000). Grandes variações na distribuição e abundância dessas espécies têm sido observadas nas diferentes regiões produtoras dessa oleaginosa

no País. Nesse sentido, a espécie *Nezara viridula* tem ocorrido frequentemente e em maiores níveis populacionais na região Sul do Brasil. Diferentemente, *Euschistus heros* tem sido mais frequente e abundante nas regiões produtoras de soja que têm clima mais quente desde o norte e o oeste do Estado do Paraná até o Brasil Central e norte do País. Sobrepondo na zona de ocorrência dessas duas espécies, *Piezodorus guildinii* é abundante numa grande extensão territorial que vai desde os estados mais frios, como o Rio Grande do Sul, até regiões mais quentes como o Estado do Piauí (CORREIA, 1982; GALILEO et al., 1977; GAZZONI et al., 1988; PANIZZI; SLANSKY JUNIOR, 1985). Aparentemente, as diferenças climáticas nessas regiões produtoras parecem ser responsáveis por boa parte das variações observadas entre as populações das referidas espécies (CIVIDANES, 1992) e por isso espera-se que a elevação da temperatura tenha impacto significativo sobre a distribuição e ocorrência desses artrópodes nas culturas de oleaginosas em todo o mundo.

***Nezara viridula* (Linnaeus) (Hemiptera: Pentatomidae)**

O percevejo-verde, *Nezara viridula*, é cosmopolita, ocorrendo nas regiões tropicais e subtropicais das Américas, Austrália, Ásia, África e Europa, produzindo de cinco a seis gerações por ano (PANIZZI et al., 2000). Ele é encontrado praticamente em todas as regiões onde a soja é cultivada no mundo (JACKAI et al., 1990b). No Brasil, sua ocorrência tem sido observada principalmente nos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul (PANIZZI; CORRÊA-FERREIRA, 1997; PANIZZI; SLANSKY, 1985). Como os demais artrópodes de importância agrônômica discutidos nesse capítulo, esse inseto também sofre alterações nas características biológicas em consequência da elevação da temperatura. Em regiões mais frias, onde baixas temperaturas são fator abiótico limitante para o

desenvolvimento desse inseto, é possível esperar que a elevação da temperatura favoreça a sua ocorrência, sendo que o efeito contrário deve ser esperado em regiões mais quentes. Assim, como para as demais espécies de artrópodes de interesse agrônomo, o que deve ser observado com o aquecimento global é a alteração geográfica da área de ocorrência dessa espécie. No Japão, os dados dos últimos 45 anos indicam que as condições climáticas se tornaram mais favoráveis para a sobrevivência de *Nezara viridula* com deslocamento da amplitude de distribuição de *Nezara viridula* de 85 km para o norte, em razão dos invernos mais amenos, que favoreceram a sobrevivência da espécie e a ocupação da área (TOUGOU et al., 2009).

Entretanto, a elevação da temperatura pode favorecer a ocorrência de surtos dessa praga até o limite térmico superior dos insetos, visto que em altas temperaturas (27/37°C) *Nezara viridula* tem menor sobrevivência ninfal e redução da reprodução quando comparados a insetos mantidos em temperaturas mais baixas (10/20°C e 20/30°C) (VELASCO; WALTER, 1993). Assim, o efeito do aquecimento global, que pode favorecer a ocorrência de *Nezara viridula* no Japão, pode desfavorecer a ocorrência deste inseto no Brasil, que é um país de clima mais quente. Inclusive, no Brasil a distribuição geográfica dessa espécie está mais concentrada nos estados do sul do País, onde as temperaturas médias são menores (VIVAN; PANIZZI, 2006). Considerando que a temperatura ótima para a sobrevivência e o desenvolvimento dessa espécie de percevejo é de 25°C (ALI; EWIESS, 1977), conclui-se que a biologia dessa espécie pode sofrer impacto negativo com a elevação em alguns graus das normais térmicas das regiões produtoras de soja no Brasil. Entretanto, deve considerar-se que isso pode variar de acordo com o tipo genético da espécie. No Brasil existem basicamente três tipos genéticos de *Nezara viridula*: tipo G (f. *smaragdula*), tipo O (f. *torquata*) e tipo Y (f. *aurantiaca*) (VIVAN; PANIZZI, 2005). No geral, o índice de

mortalidade das ninfas reduz conforme aumenta a temperatura (na faixa entre 15°C e 30°C), independente do tipo genético de *Nezara viridula*, assim como acelera o estágio ninfal (CIVIDANES; PARRA, 1994a; VIVAN; PANIZZI, 2005).

Além da influência do aquecimento global sobre a praga, é importante também tentar prever o impacto das possíveis combinações dessa variável com outros fatores abióticos, como a fotofase, por exemplo, que afeta a fecundidade de *Nezara viridula* diferentemente nos tipos genéticos existentes. O tipo O é o único que oviposita na combinação temperatura/fotofase 15°C 10 hL⁻¹, demonstrando ser mais adaptado às condições de frio. Na combinação 22°C 12 hL⁻¹ ocorre o pico de ovos por fêmea para os três tipos genéticos, porém, enquanto os tipos O e G ovipositam 114,7 e 147,7 ovos por fêmea, o tipo Y apresenta fecundidade muito inferior, com uma média de apenas 34,5 ovos por fêmea. Na combinação de 29°C 14 hL⁻¹, a fêmea tipo Y não oviposita, demonstrando ser inapta a essa condição, assim como verificado na combinação 15°C 10 hL⁻¹. A fecundidade das fêmeas dos tipos genéticos O e G não difere entre si na combinação 29°C 14 hL⁻¹, e para ambos os tipos genéticos o número de ovos é inferior à combinação 22°C/12 hL⁻¹. O fato da espécie *Nezara viridula* do tipo genético O ser o único que tem capacidade de se reproduzir na combinação 15°C 10 hL⁻¹ justifica o fato de ser o mais encontrado na região Sul do Brasil, onde as temperaturas são mais baixas (VIVAN; PANIZZI, 2005).

Em outro estudo, conduzido em laboratório, Cividanes e Parra (1994b) verificaram que o aumento de temperatura na faixa entre 20°C e 30°C reduz o período de incubação dos ovos de *Nezara viridula*. O período de pré-oviposição e a viabilidade dos ovos não são afetados pela temperatura, entretanto, a viabilidade ninfal da praga é afetada negativamente no extremo térmico superior (30°C). Efeito negativo das temperaturas mais elevadas também ocorre na fecundidade das fêmeas, que apresentaram pico máximo

de oviposição na temperatura de 20°C, enquanto nas faixas de 28°C e 30°C os insetos não realizam posturas. Esses resultados demonstram que as temperaturas mais elevadas desfavorecem os aspectos biológicos da praga, de forma que tenham maior probabilidade de sucesso em regiões mais frias.

É importante destacar que cada espécie de artrópode pode responder diferentemente aos impactos do aquecimento global. Por exemplo, outra espécie do gênero *Nezara*, a espécie *Nezara antenatta*, apresenta comportamento diferente do *Nezara viridula*. *Nezara antenatta* está se deslocando das regiões mais quentes no Japão em direção a habitats com maior altitude, em busca de temperaturas mais amenas (TOUGOU et al., 2009). Além disso, as variabilidades genéticas dentro de uma mesma espécie também podem responder diferentemente à temperatura, o que torna importante ter conhecimento destas informações, para que uma previsão de ocorrência da praga em lavouras de diferentes regiões possa ser realizada de forma segura.

***Euschistus heros* (Fabricius) (Hemiptera: Pentatomidae)**

Outra espécie de percevejo de grande importância na soja é o percevejo-marrom, *Euschistus heros*. Essa espécie é nativa da região Neotropical, ocorrendo na América do Sul e no Panamá (ROLSTON, 1968). Esta praga era relativamente rara na década de 1970, mas atualmente deixou de ser praga-secundária e passou a assumir a posição de praga-chave da soja, sendo considerada uma das principais e mais abundantes pragas da cultura no Brasil, notadamente nas regiões mais quentes, do norte do Estado do Paraná ao Centro-Oeste brasileiro (CIVIDANES; PARRA, 1994a; PANIZZI; SLANSKY, 1985).

A mudança de “status” da praga é atribuída a diversos fatores, sendo o aumento das temperaturas médias globais nas regiões produtoras da soja considerado como um dos mais importantes. A elevação da temperatura pode afetar o tempo de desenvolvimento do inseto, influenciando diretamente o número de gerações que ocorrem em função da diminuição da duração da fase ninfal dessa espécie de percevejo, existindo uma aceleração de desenvolvimento maior na faixa de temperatura de 20°C a 26°C do que entre 26°C a 30°C. Em relação à fecundidade, os maiores valores acontecem na faixa de temperatura que varia de 26°C a 28°C, com ocorrência de baixa fecundidade quando as fêmeas são mantidas a 20°C (CIVIDANES, 1992). Contudo, a viabilidade da fase ninfal não é afetada entre as temperaturas de 20°C a 30°C (CIVIDANES; PARRA, 1994a). Os valores da constante térmica e do limite térmico inferior de desenvolvimento são conhecidos para ovo, ninfa e adulto, sendo de 66,1 graus-dias e 13,6°C, 261,8 graus-dia e 14,4°C e 327,8 graus-dia e 14,2°C, respectivamente (CIVIDANES, 1992). Dessa forma, é possível prever que a adaptação dessa espécie de percevejo ocorra principalmente em regiões com temperaturas mais elevadas. Consequentemente, conclui-se que essa espécie pode se adaptar facilmente aos efeitos da elevação da temperatura, o que pode auxiliar a explicar as altas populações presentes nos plantios de soja atualmente.

Empregando-se faixas de favorabilidade climática ao desenvolvimento e reprodução de *Euschistus heros* baseada na temperatura média mensal (Tabela 3), foram elaborados mapas de prognóstico de favorabilidade no período de referência de 1961 a 1990 e período futuro de 2071 a 2100, cenário A2, baseando-se nas projeções de modelos climáticos globais do Quarto Relatório do IPCC e durante os meses de cultivo de soja no Brasil (outubro a março). No período de 1961 a 1990, o Brasil apresenta-se com condições climáticas consideradas “favoráveis” ou “muito favoráveis”, com ex-

ceção de áreas “pouco favoráveis” na região Sul, nos meses de outubro e novembro (Figura 3). No período de 2071 a 2100, considerando as projeções de aumento da temperatura, essa situação será bastante alterada, com predominância no País, em geral, de áreas “favoráveis” nos meses de janeiro a março e de “pouco favoráveis” nos meses de outubro a dezembro, nas regiões Sul e Sudeste, nos estados mais ao sul da região Nordeste e parte do Centro-Oeste. No entanto, a análise realizada indica aumento da favorabilidade no futuro, passando de áreas “pouco favoráveis” e “favoráveis” para “muito favoráveis”. Isso se deve ao fato de a elevação da temperatura no período de 2071 a 2100 nessas regiões ainda não atingir o limiar superior de temperatura prejudicial ao desenvolvimento do inseto, definido nas faixas adotadas (Tabela 3).

Tabela 3. Faixas de favorabilidade para o desenvolvimento e reprodução de *Euschistus heros* (Hemiptera: Pentatomidae).

Temperatura (°C)	Favorabilidade
< 14	Desfavorável
$14 \leq T < 20$	Pouco favorável
$20 \leq T < 26$	Favorável
$26 \leq T \leq 28$	Muito favorável
$28 < T < 30$	Favorável
$30 \leq T < 32$	Pouco favorável
≥ 32	Desfavorável

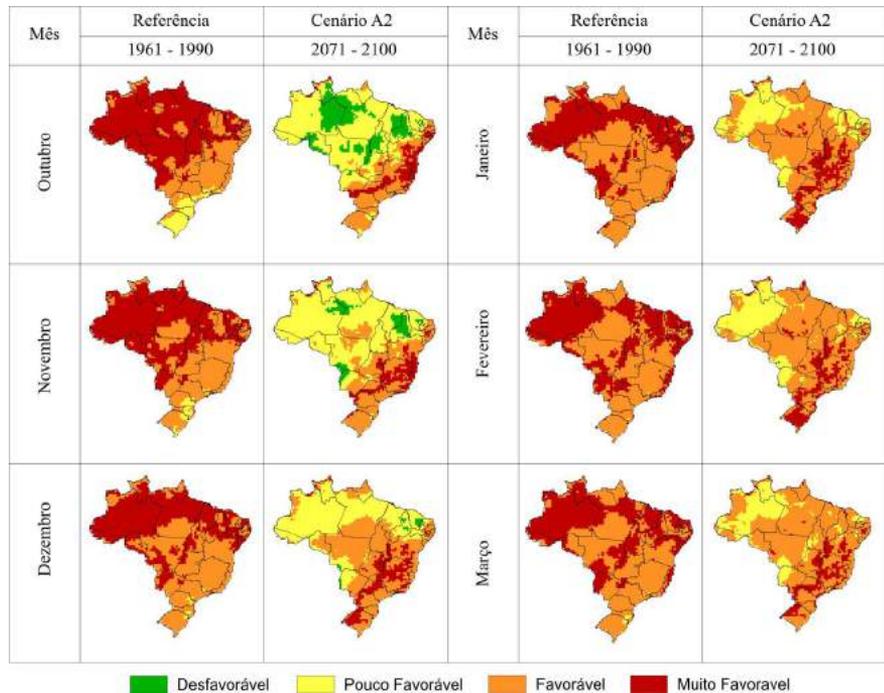


Figura 3. Favorabilidade climática à ocorrência de *Euschistus heros* (Hemiptera: Pentatomidae) para o período de referência (1961-1990) e futuro (2071-2100), cenário A2, nos meses de outubro a março no Brasil.

Piezodorus guildinii (Westwood) (Hemiptera: Pentatomidae)

Além do *Euschistus heros*, o percevejo-verde-pequeno *Piezodorus guildinii* também é uma espécie muito bem adaptada às regiões mais quentes. *Piezodorus guildinii*, conhecido como percevejo-verde-pequeno, é encontrado desde o sul dos Estados Unidos até a Argentina, na América do Sul. No Uruguai, é a praga mais abundante e de maior importância econômica nas lavouras de soja (ZERBINO, 2007, 2009, 2010; ZERBINO et al., 2010). No Brasil, esse percevejo era raramente encontrado na década de 1970, porém, subseqüentemente tornou-se mais comum, e atualmente ocorre em praticamente todo território nacional, sendo encontrado desde o Rio Grande do Sul até o Estado do Piauí.

O período de incubação de ovos, assim como o ciclo de vida de *Piezodorus guildinii* são reduzidos com a elevação da temperatura de 20°C para 30°C, sendo que a viabilidade de ovos e ninfas não é comprometida (CIVIDANES; PARRA, 1994b). Ainda de acordo com o estudo de Cividanes e Parra (1994b), a longevidade dos adultos pode variar de acordo com o sexo. Os machos apresentaram maior longevidade a 20°C, e a menor, a 28°C. Para a longevidade de fêmeas, não se observou diferença entre as temperaturas. A temperatura ótima para a fecundidade da praga ocorre em 26°C, ressaltando-se que a 20°C, 22°C, 28°C e 30°C não ocorrem diferenças para este parâmetro biológico. Esse resultado pode justificar a ocorrência de *Piezodorus guildinii* em regiões mais frias, ao sul do Brasil. Também a 26°C ocorre a maior proporção de fêmeas que ovipositam (96%). Nos extremos de 20°C e 30°C, esse número é de apenas 24% e 52%, respectivamente. Embora seja reduzido em ambas as temperaturas, observa-se que no extremo superior ocorre maior quantidade de fêmeas que ovipositam, embora isso não se reflita em maior fecundidade da praga. A viabilidade de ovos de *Piezodorus guildinii* foi reduzida à medida em que as fêmeas envelhecem; na temperatura de 20°C, a redução foi drástica se comparada às demais temperaturas. Também não há diferença entre os limites térmicos inferiores das fases de ovo, ninfa e ciclo biológico (ovo-adulto), indicando que o inseto apresenta a mesma sensibilidade em relação às baixas temperaturas.

No Estado do Acre, onde as temperaturas médias no verão variam de 25°C a 29°C, os percevejos sugadores de sementes mais abundantes são *Euschistus heros* e *Piezodorus guildinii* (THOMAZINI, 2001), reforçando a idéia que estas espécies são as mais adaptadas a temperaturas mais elevadas dentre o complexo de espécies de percevejos pragas da soja no Brasil. Aparentemente, *Piezodorus guildinii* é a espécie de percevejo menos afetada pelas alterações de temperatura, visto que é bem adaptada ao clima de regiões quentes e frias do Brasil.

Outras espécies de percevejos

Edessa meditabunda (Fabricius) (Hemiptera: Pentatomidae)

Dentro da família Pentatomidae, o gênero *Edessa* destaca-se por apresentar o maior número de espécies (SILVA et al., 2006). Dentre essas, *Edessa meditabunda* é uma das principais, podendo ser encontrada nas culturas de soja e girassol, onde pode provocar retenção foliar, deformações e diminuição do tamanho das sementes, redução do teor de óleo e do poder germinativo das sementes e, conseqüentemente, da produtividade da lavoura (GALLO et al., 2002; LOURENÇÃO et al., 1999; VERNETTI, 1983). Esse pentatomídeo Neotropical é considerado praga de várias espécies de solanáceas e de leguminosas, sendo a soja a sua hospedeira de maior importância econômica (PANIZZI et al., 2000). Na Argentina, é considerada uma praga importante dessa cultura (RIZZO, 1972), ocorrendo de duas a três gerações por ano (RIZZO, 1971). No Brasil, na década de 70, era a segunda espécie mais abundante, particularmente, no início do período reprodutivo da soja em algumas áreas do Rio Grande do Sul (GALILEO et al., 1977).

A alteração dos fatores abióticos pode impactar os parâmetros biológicos de *Edessa meditabunda* e, dentre esses, a temperatura certamente é o que mais causa alterações no desenvolvimento. A temperatura de 15°C não é favorável ao desenvolvimento das ninfas, que vivem no máximo até o segundo instar sob esta condição. Todavia, o aumento da temperatura reduz a duração média do período de incubação dos ovos, o que pode favorecer a ocorrência do inseto. Entretanto, a temperatura de 30°C causa efeitos negativos ao percevejo, ocorrendo baixa longevidade e baixa taxa de sobrevivência do período ninfal, além de não ocorrer oviposição. Portanto, é provável que essa temperatura esteja próxima do limite térmico superior de desenvolvimento dessa espécie. Em 25°C a fecundidade média e o número médio de posturas por fêmea é

menor em relação à temperatura de 20°C, porém a temperatura de 25°C proporciona maior potencial de crescimento populacional. Portanto, de forma geral, a temperatura de 15°C é letal para a fase jovem de *Edessa mediotabunda* e a temperatura de 30°C impossibilita a reprodução, enquanto a temperatura de 25°C é a melhor para o desenvolvimento e reprodução da espécie. Concluiu-se, portanto, que essa espécie não é muito adaptada à elevação de temperatura e pode ser severamente desfavorecida por essas alterações do clima.

***Dichelops melacanthus* (Dallas) (Hemiptera: Pentatomidae)**

Os percevejos do gênero *Dichelops* são exclusivamente Neotropicais e estão distribuídos por diversos países da América do Sul. Nesse gênero, a espécie *Dichelops melacanthus* é uma espécie frequentemente observada no Brasil. Essa espécie é muito semelhante e fácil de confundir com *Dichelops furcatus* (Fabricius) (GRAZIA, 1978), que tem sido observada em regiões brasileiras produtoras de soja desde a década de 1970 (PANIZZI et al., 1977) e *Dichelops phoenix* (Grazia), que tem poucos registros no Brasil (GRAZIA, 1978).

Conhecido como percevejo barriga-verde, *Dichelops melacanthus* ocorre em culturas de verão, como por exemplo, a soja. Porém, existem relatos, cada vez mais frequentes, da presença desse percevejo também em culturas de inverno. A temperatura, como na maioria dos insetos, é de fundamental importância para o desenvolvimento dessa praga. Apesar da importância, ainda existem poucos estudos que objetivam avaliar a influência de tal fator na espécie.

As ninfas de *Dichelops melacanthus*, quando submetidas ao desenvolvimento em temperaturas de 15°C e 20°C, não completam o segundo instar ninfal, apresentando 100% e 96,7% de mortalidade,

respectivamente. Em 25°C a mortalidade de *Dichelops melacanthus* cai para 56%, sendo mais baixa que nas demais temperaturas. O tempo de desenvolvimento de fêmeas e machos também é melhor em 25°C (CHOCOROSQUI; PANIZZI, 2002). Assim, são necessários mais estudos sobre o assunto para se compreender e poder estimar os efeitos da elevação da temperatura sobre as características biológicas da espécie.

***Chinavia* (Orian) (Hemiptera: Pentatomidae)**

O gênero *Chinavia* era tratado como subgênero de *Acrosternum* até pouco tempo atrás. Esse gênero reúne espécies bastante comuns com distribuição nas regiões Afrotropical, Neártica e Neotropical (SCHWERTNER; GRAZIA, 2006). Esses percevejos são pragas de importância secundária na cultura da soja no Brasil e por isso há uma grande escassez de estudos concernentes ao impacto da temperatura sobre a biologia desse inseto. No entanto, com base no impacto que a alteração da temperatura causa nas diferentes espécies de percevejos, é possível afirmar que também atue sobre a biologia dos insetos desse gênero. Ao considerar o incremento na temperatura de 25°C para 30°C observa-se que ocorre ligeira redução no período de desenvolvimento da praga, acompanhada, porém de maior índice de mortalidade, assim como redução na viabilidade dos ovos. Essas alterações sugerem que os efeitos da elevação da temperatura podem ser prejudiciais ao desenvolvimento dessa espécie, mas, em geral, ainda há uma carência muito grande de estudos nessa linha para que uma previsão mais precisa possa ser realizada.

***Thyanta perditor* (Fabricius) (Hemiptera: Pentatomidae)**

Thyanta perditor é um percevejo de importância secundária, que pode ser encontrado nas Américas, desde alguns estados dos Estados Unidos, América Central e América do Sul (PANIZZI et al., 2000). Esse inseto é encontrado frequentemente em diversas culturas, dentre elas as oleaginosas soja e girassol (MALAGUIDO; PANIZZI, 1998; PANIZZI et al., 2000; WALDBAUER, 1977). O dano na soja causa enrugamento da casca da vagem e amarelecimento dos cotilédones da planta (WALDBAUER, 1977). Entretanto, para que o inseto cause danos à cultura, é necessário que se desenvolva inicialmente sobre gramíneas hospedeiras, pois quando esses insetos têm apenas soja disponível para alimentação, geralmente não atingem a fase adulta (PANIZZI; HERZOG, 1984). Desse modo, os danos que podem ser ocasionados na cultura provavelmente serão menores em razão do menor potencial daninho das ninfas desses percevejos.

A temperatura de aproximadamente 26°C reduz a duração da fase de ovo assim como a longevidade dos adultos, em contrapartida, é favorável para os aspectos biológicos de fecundidade e taxa de oviposição diária, que foram superiores em relação aos valores obtidos na temperatura de 21,36°C (AMARAL FILHO et al., 1992). Esses resultados indicam que em locais com temperaturas mais elevadas, *Thyanta perditor* tem maior potencial para causar danos aos cultivos do que em regiões frias, porém, faltam estudos para estabelecer qual o limite superior que não afeta a biologia desse inseto-praga.

***Nysius natalensis* Evans (Hemiptera: Orsillidae)**

Nysius é um gênero cosmopolita, do qual muitas espécies são pragas importantes para agricultura e horticultura (HE et al., 2003). *Nysius natalensis*, *Nysius binotatus* (Germar), *Nysius pallidus* Evans and, *Nysius stali* são os mais abundantes (SLATER, 1964). A presença de *Nysius natalensis* na cultura de girassol pode reduzir o rendimento dos grãos, o teor de óleo e a germinação de sementes.

O surto dessa praga ocorre geralmente no final do verão, sendo a temperatura um fator de grande influência. Parâmetros como a longevidade da espécie são inversamente proporcionais ao aumento da temperatura. Em relação à oviposição, a temperatura ótima varia entre 26°C e 28°C, enquanto abaixo de 15°C não ocorre oviposição. A faixa ótima de temperatura para o desenvolvimento como um todo varia entre 26°C e 36°C. De maneira geral, a espécie requer temperaturas acima do limiar mínimo de 14°C (fase de ovo), 13,97°C (fase de ninfa) e 15,2°C (fase de ovo), 14,8°C (fase adulta) para completar os diferentes estágios de desenvolvimento desse inseto.

Outros insetos

***Astylus variegatus* (Germar) (Coleoptera: Dasytidae)**

Em campo a ocorrência de *Astylus variegatus* está geralmente associada à oferta de alimento (pólen) e elevadas temperaturas. Na faixa de 19°C a 27°C, as temperaturas máximas sempre favorecem o incremento populacional dessa espécie (MATIOLI; FIGUEIRA, 1988). Porém, apesar de aparentemente beneficiado pelo aquecimento global, até o momento, há poucos relatos da ocorrência de adultos causando danos à cultura da soja. Sendo assim, exceto se o efeito do aumento da temperatura também alterar seu hábito

alimentar, não se espera que esse inseto venha a se tornar praga de oleaginosas, de forma que exija alterações no manejo integrado de pragas para seu controle nessa cultura.

***Brevicoryne brassicae* (Linnaeus) (Hemiptera: Aphididae)**

O pulgão ceroso, *Brevicoryne brassicae*, se distribui nas regiões temperadas e subtropicais do mundo, causando danos em muitas espécies de brássicas (ELLIS; SINGH, 1993). De acordo com Turnock (1990), *Brevicoryne brassicae* é a principal praga das crucíferas do noroeste dos EUA. No Brasil, é considerado como uma das pragas mais prejudiciais em hortaliças (LONGHINI; BUSOLI, 1993). O dano causado se dá através da sucção de seiva nas folhas, brotos e inflorescências, podendo causar prejuízos, porém, os danos provocados são pequenos quando o ataque ocorre em fase adiantada do enchimento de grãos, após o completo desenvolvimento das siliquas (INSECTES..., 1985; THOMAS, 1984). Do mesmo modo que ocorre em outros grupos de insetos, o desenvolvimento dos pulgões depende da temperatura (CAMPBELL et al., 1974; RO et al., 1998). Dois parâmetros estão relacionados com o efeito da temperatura sobre esses organismos: os limites térmicos superior e inferior de desenvolvimento (CIVIDANES, 2003).

O limite térmico inferior de desenvolvimento de ninfa a adulto de *Brevicoryne brassicae* é de 4,5°C (CIVIDANES, 2003). Segundo o mesmo autor, o limite térmico superior situa-se entre as temperaturas de 27°C a 30°C, o que passa a ser desfavorável. A duração da fase ninfal é reduzida nas temperaturas de 15°C a 25°C, tendendo a estabilizar-se a partir de 25°C.

***Myzus persicae* (Sulzer) (Hemiptera: Aphididae)**

O pulgão-verde, *Myzus persicae*, tem distribuição mundial, podendo causar danos em inúmeras culturas, além de transmitir viroses às plantas (MINKS; HARREWIJN, 1987). No Brasil, essa espécie é indicada como uma das pragas-chave nos cultivos da couve e da batata, havendo registros dessa praga em lavouras de colza.

A duração do tempo de desenvolvimento dos diferentes instares de *Myzus persicae* é menor na faixa de 15°C a 20°C, mostrando-se constante entre 20°C a 25°C, sendo as temperaturas entre 23°C e 25°C as que proporcionaram as melhores condições térmicas para o crescimento populacional da praga. O limite térmico inferior de desenvolvimento é de 2,2°C (CIVIDANES; SOUZA, 2003). A temperatura de 30°C é totalmente desfavorável ao desenvolvimento de *Myzus persicae*, com 100% de mortalidade de ninfas, o que sugere que o limite térmico superior de desenvolvimento do pulgão encontra-se abaixo desta temperatura (CIVIDANES; SOUZA, 2003). O baixo limite térmico inferior de desenvolvimento de *Myzus persicae* (2,2°C), a maior fecundidade a 15°C e maior crescimento populacional na faixa de 23°C a 25°C evidenciam que o pulgão está adaptado a condições climáticas em que predominam temperaturas amenas (CIVIDANES; SOUZA, 2003). Assim, *Myzus persicae*, embora seja encontrado esporadicamente na cultura de colza, não é uma praga em potencial ao se considerar o aumento de temperatura em função do aquecimento global.

Efeitos das alterações das concentrações de dióxido de carbono

Há evidências de que o aumento da concentração de CO₂ na atmosfera aumentará a susceptibilidade da soja aos insetos-praga, mas há muitas facetas sobre o metabolismo desta planta

que tem potencial para alterar o comportamento alimentar das pragas (CASTEEL et al., 2008; DERMODY et al., 2008; HAMILTON et al., 2009; ZAVALA et al., 2008). Atualmente, a soja tolera 30% de desfolha no período vegetativo e 15% no período reprodutivo, sem qualquer redução de produtividade, em comparação à testemunha sem desfolha (BATISTELA et al., 2012) ou uma população de 20 lagartas ($\geq 1,5$ cm) por metro linear da cultura (TECNOLOGIAS..., 2011). Entretanto, pode haver um aumento da capacidade de desfolha das lagartas em ambientes com maior concentração de CO_2 . As espécies *Anticarsia gemmatalis* e *Chrysodeixis includens* que consomem cerca de 90 cm^2 , e as lagarta-das-vagens, *Spodoptera cosmioides*, que consomem cerca de 180 cm^2 para completar a fase larval na cultura da soja (BUENO et al., 2011), podem necessitar de maior consumo de folhas no futuro. O maior consumo foliar de desfolhadores em plantas de soja submetidas a atmosferas enriquecidas com CO_2 pode estar associado ao aumento da relação carbono:nitrogênio (C:N) na folha. O desenvolvimento dos insetos desfolhadores é limitado pela disponibilidade de nitrogênio na dieta e a alteração na relação C:N na planta pode influenciar o desenvolvimento desses, estimulando a herbivoria em consequência da à necessidade de alimentação compensatória para ingestão de mais nitrogênio. Porém, em Fabaceas, onde o N pode ser obtido por meio de relações simbióticas com bactérias nitrificantes presentes no solo, não há evidências de que a elevada concentração de CO_2 reduza a concentração de N nas folhas (TAUB; WANG, 2008). Hamilton et al. (2009) também contestam esta hipótese ao verificar que coleópteros desfolhadores preferem folhas provenientes de plantas desenvolvidas em ambiente rico em CO_2 comparadas às desenvolvidas em ambientes com concentração normal de CO_2 . Esperava-se que em condições de campo, caso as parcelas com plantas sob atmosfera enriquecida com CO_2 fossem menos adequadas, os insetos se deslocariam para parcelas onde a relação C:N seria melhor. Sendo assim, outra explicação para uma

maior desfolha em soja sob atmosfera enriquecida com CO₂ seria a redução de alantoína nas folhas provenientes de atmosferas ricas em CO₂. Esse elemento não é uma fonte ideal de nitrogênio para os insetos herbívoros, portanto é possível que o aumento de consumo foliar possa estar relacionado à maior preferência dos insetos a folhas com baixa concentração de alantoína (DERMODY et al., 2008).

A lagarta *Chrysodeixis includens* pode incrementar a capacidade de ingestão em até 80% quando alimentada com plantas desenvolvidas em ambientes com elevada concentração de CO₂. Em folhas de soja oriundas de ambientes com elevada concentração de CO₂ (650 μmol mol⁻¹) houve estímulo à alimentação da praga, quando comparada à concentração testemunha (350 μmol mol⁻¹), provavelmente em razão da maior concentração de N e água na planta (LINCOLN et al., 1984). O resultado sugere que em situação de elevação na concentração de CO₂ terrestre, esse inseto-praga poderá ocasionar danos muito severos à cultura, por ser um ambiente favorável ao seu desenvolvimento.

O aumento de concentração de CO₂ atmosférico também pode reduzir a capacidade de defesa da planta, pela redução na expressão de inibidores de proteinases (ZAVALA et al., 2008). Essa redução afetaria coleópteros desfolhadores que apresentam proteinases no trato digestivo, que não seriam afetados pelos inibidores, melhorando a capacidade de digestão do material vegetal. Adultos de *Popillia japonica* Newman, (Coleoptera: Scarabaeidae) apresentaram maior longevidade e fecundidade quanto alimentados com folhas de soja que cresceram em ambientes com elevado CO₂ (550 μmol mol⁻¹) quando comparados com insetos alimentados com folhas desenvolvidas em atmosfera normal (O'NEILL et al., 2008). Isoflavonas e inibidores de proteinase estão envolvidos no mecanismo de defesa da planta, mas até o momento não há evidências de que mudanças na concentração de gases na atmosfera possam alterar estes mecanismos de defesa (HAMILTON et al., 2009).

Efeitos das alterações na radiação ultravioleta

Outro fator que pode ter influência no dano causado por desfolhadores é a incidência e intensidade de radiação UV-B. As folhas de soja expostas à radiação solar UV são menos preferidas por *Anticarsia gemmatalis*, provavelmente por causa da presença de maiores níveis de compostos fenólicos solúveis, quando comparadas com as de plantas desenvolvidas sob cobertura plástica (ZAVALA et al., 2001). A incidência de raios solares UV-B sobre plantas de soja incrementa a presença de compostos fenólicos em 21% e as altas temperaturas (38°C a 30°C) reduzem essas concentrações de compostos fenólicos nas folhas em média 14% (KOTI et al., 2007). Isso indica que a intensidade da radiação UV-B pode ter uma importante influência nas interações entre as plantas e os insetos fitófagos.

Nesse contexto, é importante destacar que a incidência de radiação UV-B pode variar em relação à latitude e à altitude. Regiões mais ao norte apresentam maior incidência de radiação UV-B. Assim, é possível que haja uma alteração da incidência de UV no decorrer das próximas décadas, como resultado das mudanças climáticas que estão ocorrendo em nosso planeta (KIRCHHOFF et al., 2000; KOTI et al., 2007). Uma consequência negativa desse aumento da radiação UV-B poderá ser a desativação de organismos entomopatogênicos e com isso indiretamente favorecer a ocorrência de surtos de pragas que eram anteriormente mantidas sob controle graças a esses entomopatógenos (IGNOFFO; GARCIA, 1996; SAJAP et al., 2007).

Considerações finais

É importante esclarecer que os possíveis efeitos do aquecimento global sobre as pragas de oleaginosas foram analisados nesse capítulo sob uma ótica bastante simplificada, onde o efeito da temperatura foi o mais destacado em vista do maior número de trabalhos existentes na literatura científica sobre o assunto. Entretanto, a quase totalidade dos resultados experimentais com temperatura utilizada nesse capítulo foi obtida sob temperaturas constantes, em experimentos conduzidos em condições controladas de laboratório. Para melhor prever o que realmente poderá ocorrer no cenário de mudanças climáticas são necessários ainda mais estudos, principalmente com relação ao efeito de temperaturas flutuantes, o que se aproxima mais da realidade que ocorre nas condições de campo. Além disso, considerar que o aquecimento global pode oferecer a esses insetos temperaturas ótimas para o desenvolvimento, sem mudança na qualidade do alimento, pode indicar que isso permitirá um crescimento mais rápido, com menor mortalidade das populações (ALBERGARIA; CIVIDANES, 2002; VIVAN; PANIZZI, 2005). Entretanto, há diferentes interações entre as mudanças climáticas e o metabolismo de plantas e de cada espécie de artrópode, como já comentado anteriormente no decorrer desse capítulo, que pode potencialmente alterar de forma negativa ou positiva o “status” dessas pragas nos agroecossistemas das oleaginosas (CASTEEL et al., 2008; HAMILTON et al., 2009).

Complementarmente, salienta-se que a questão do possível aquecimento global ocorre de forma lenta, o que pode possibilitar aos insetos se adaptarem mais facilmente a esse cenário, mesmo quando em temperaturas extremas, ao contrário do que muitas vezes destacado nesse capítulo por avaliar experimentos de curta duração, onde o efeito do aumento da temperatura pode ser muito mais drástico do que poderá ocorrer na realidade. Assim, embora os estudos sugiram condições de temperatura desfavoráveis para

algumas pragas, o processo de adaptação dos insetos pode trazer resultados diferentes, o que não pode ser ignorado, apesar de bastante imprevisível, por depender de diferentes variáveis. Apesar dessas incógnitas, que podem ser consideradas possíveis lacunas da pesquisa científica, os estudos apresentados em condições de laboratório em temperatura constante são de grande valia, principalmente pela elucidação da variabilidade de comportamento existente entre as espécies, sendo possível, assim, projetar quais as pragas podem ser mais potencialmente daninhas em um cenário de elevação da temperatura média global. Desse modo, em razão da gama de fatores que podem influenciar o comportamento desses insetos, tentar prever as alterações da entomofauna nesses sistemas agrícolas em um cenário de mudanças climáticas é desafiador e importante para ser possível mitigar efeitos negativos que as mudanças possam ter sobre o manejo dessas pragas. Por fim, considera-se que esta tarefa é muito difícil de ser realizada com precisão e por isso passível de grandes erros, visto que, interações variadas entre praga, inimigos naturais, planta hospedeira e clima podem ocorrer no futuro. Apesar disso, as pesquisas nessa linha precisam prosseguir e receber mais incentivos dos órgãos de fomento federais, estaduais e privados.

Referências

AFONSO, A. P. S.; WREGGE, M.; MARTINS, J. F. da S.; NAVA, D. E. Simulação do zoneamento ecológico da lagarta-do-cartucho no Rio Grande do Sul com o aumento de temperatura. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 76, n. 4, p. 607-612, 2009.

ALBERGARIA, N. M. M. S.; CIVIDANES, F. J. Exigências térmicas de *Bemisia tabaci* (Genn.) Biótipo B (Hemiptera: Aleyrodidae). **Neotropical Entomology**, v. 31, n. 3, p. 359-363, 2002.

ALVES, C. A. **Impacto de diferentes temperaturas nas características biológicas de *Helicoverpa armigera* (Hübner, 1808) (Lepidoptera: Noctuidae) durante três gerações.** 2017. 51 f. (Mestrado em Proteção de Plantas) - Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP, Botucatu.

AMARAL FILHO, B. F.; LIMA, C. C.; SILVA, C. M. R.; CONSOLI, F. L. Influência de temperatura no estágio de ovo e adulto de *Thyanta perditor* (Fabricius, 1794) (Heteroptera, Pentatomidae). **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, v. 21, n. 1, p. 15-20, 1992.

ANDREW, N. R.; HUGHES, L. Diversity and assemblage structure of phytophagous Hemiptera along a latitudinal gradient: predicting the potential impacts of climate change. **Global Ecology & Biogeography**, v. 14, n. 3, p. 249-262, 2005.

ARODOKOUN, D. Y.; TAMÒ, M.; CLOUTIER, C.; ADEOTI, R. The importance of alternative host plants for the annual cycle of the legume pod borer, *Maruca vitrata* Fabricius (Lepidoptera: Pyralidae). **Insect Science and its Application**, v. 23, n. 2, p. 103-113, 2003.

ÁVILA, C. J.; MILANEZ, J. M.; PARRA, J. R. P. Previsão de ocorrência de *Diabrotica speciosa* utilizando-se o modelo de graus-dia de laboratório. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 4, p. 427-432, 2002.

BALE, J. S.; MASTERS, G. J.; HODKINSON, I. D.; AWMACK, C.; BEZEMER, T. M.; BROWN, V. K.; BUTTERFIELD, J.; BUSE, A.; COULSON, J. C.; FARRAR, J.; GOOD, J. E. G.; HARRINGTON, R.; HARTLEY, S.; JONES, T. H.; LINDROTH, R. L.; PRESS, M. C.; SYMRNIODIS, I.; WATT, A.; WHITTAKER, J. B. Herbivory in global climate change research: direct effects of rising temperature on insect herbivores. **Global Change Biology**, v. 8, n. 1, p. 1-16, 2002.

BATISTELA, M. J.; BUENO, A. F.; NISHIKAWA, M. A. N.; BUENO, R. C. O. F.; HIDALGO, G.; SILVA, L.; CORBO, E.; SILVA, R. B. Re-evaluation of leaf-lamina consumer thresholds for IPM decisions in short-season soybeans using artificial defoliation. **Crop Protection**, v. 32, n. 1, p. 7-11, 2012.

BAVARESCO, A.; GARCIA, M.; GRUTZMACHER, A. D.; FORESTI, J.; RINGENBERG, R. Biologia e exigências térmicas de *Spodoptera cosmioides* (Walk.) (Lepidoptera: Noctuidae). **Neotropical Entomology**, v. 31, n. 1, p. 49-54, 2002.

BERTOLLO, E. C. **Efeito da temperatura e do hospedeiro na biologia do ácaro-rajado, *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae).** 2007. 111 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Passo Fundo, Rio Grande do Sul, 2007.

BOUNFOUR, M.; TANIGOSHI, L. K. Effect of temperature on development and demographic parameters of *Tetranychus urticae* and *Eotetranychus carpini borealis* (acari: Tetranychidae). **Annals of the Entomological Society of America**, v. 94, n. 3, p. 400-404, 2001.

BORTOLOTTO, O. C. **Ocorrência e aspectos biológicos de curculionídeos-das-raízes em soja [*Glycine Max (L.) Merrill*]**. 2008. 70 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.

BORTOLOTTO, O. C.; BUENO, A. F.; FRUGERY, A.P.; BARBOSA, G.; SILVA, G. V.; POMARI, A. F. Aspectos biológicos de *Euschistus heros* (Hemiptera: Pentatomidae) e *Spodoptera eridania* (Lepidoptera: Noctuidae) em diferentes temperaturas: possíveis impactos do aquecimento global. In: WORKSHOP SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS E PROBLEMAS FITOSSANITÁRIOS, 2012, Jaguariúna. **Anais...** Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2012. 6 p. 1 CD-ROM.

BOWLER, K.; TERBLANCHE, J. S. Insect thermal tolerance: what is the role of ontogeny, ageing and senescence? **Biological Reviews**, v. 83, n. 3, p. 339-355, 2008.

BROWN, J. K. Current status of *Bemisia tabaci* as a plant pest and virus vector in agroecosystems worldwide. **FAO Plant Protection Bulletin**, v. 42, n. 1/2, p. 3-32, 1994.

BROWN, J. K.; FROHLICH, D. R.; ROSSEL, R. C. The sweetpotato or silverleaf whiteflies: biotypes of *Bemisia tabaci* or a species complex? **Annual Review of Entomology**, v. 40, p. 511-534, 1995.

BUENO, R. C. O. F. **Bases biológicas para utilização de *Trichogramma pretiosum* Riley, 1879 (Hymenoptera: Trichogrammatidae) para controle de *Pseudoplusia includens* (Walker, 1857) e *Anticarsia gemmatalis* Hübner, 1818 (Lepidoptera: Noctuidae) em soja**. 2008. 119 f. (Doutorado em Agronomia). Universidade Estadual de São Paulo, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba.

BUENO, R. C. O.; BUENO, A. F.; MOSCARDI, F.; PARRA, J. R. P.; HOFFMANN-CAMPO, C. B. Lepidopteran larva consumption of soybean foliage: basis for developing multiple-species economic thresholds for pest management decisions. **Pest Management Science**, v. 67, n. 2, p. 170-174, 2011.

BUENO, R. C. O. F.; PARRA, J. R. P.; BUENO, A. F.; MOSCARDI, F.; OLIVEIRA, J. R. G.; CAMILLO, M. F. Sem barreira. **Revista Cultivar**, v. 9, n. 93, p. 12-15, 2007.

BUENO, R. C. O. F.; YAMAMOTO, P. T.; CARVALHO, M. M.; BUENO, N. M. Occurrence of *Helicoverpa armigera* (Hübner, 1808) on citrus in the state of Sao Paulo, Brazil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 36, n. 2, p. 520-523, 2014.

BUSATO, G. R.; GRUTZMACHER, A. D.; GARCIA, M. S.; GIOLO, F. P.; ZOTTI, M. J.; BANDEIRA, J. M. Exigências térmicas e estimativa do número de gerações dos biótipos “milho” e “arroz” de *Spodoptera frugiperda*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 4, p. 329-335, 2005.

CASTEEL, C. L.; O'NEILL, B. F.; ZAVALA, J. A.; BILGIN, D. D.; BERENBAUM, M. R.; DELUCIA, E. H. Transcriptional profiling reveals elevated CO₂ and elevated O₃ alter resistance of soybean (*Glycine max*) to Japanese beetles (*Popillia japonica*). **Plant, Cell & Environment**, v. 31, n. 4, p. 419-434, 2008.

CAMPBELL, A.; FRAZER, B. D.; GILBERT, N.; GUITIERREZ, A. P.; MACKAUER, M. Temperature requirements of some aphids and their parasites. **Journal of Applied Ecology**, v. 11, n. 2, p. 431-438, 1974.

CHI, Y.; SAKAMAKI, Y.; TSUDA, K.; KUSIGEMATI, K. Effect of temperature on oviposition and adult longevity of the legume pod borer, *Maruca vitrata* (Fabricius) (Lepidoptera: Crambidae). **Japanese Journal of Applied Entomology and Zoology**, v. 49, n. 1, p. 29-32. 2005.

CHINNIAH, C.; VINOTH KUMAR, S.; MUTHIAH, C.; RAJAVEL, D. S. Population dynamics of two spotted spider mite, *Tetranychus urticae* Koch in brinjal ecosystem. **Karnataka Journal of Agricultural Sciences**, v. 22, n. 3, p. 734-735, 2009.

CHOCOROSQUI, V. R.; PANIZZI, A. R. Influência da temperatura na biologia de ninfas de *Dichelops melacanthus* (Dallas, 1851) (Heteroptera: Pentatomidae). **Semina**, v. 23, n. 2, p. 217-220, 2002.

CHRISTENSEN, J. H.; HEWITSON, B.; BUSUIOC, A.; CHEN, A.; GAO, X.; HELD, I.; JONES, R.; KOLLI, R. K.; KWON, W. T.; LAPRISE, R.; MAGAÑA RUEDA, V.; MEARNS, L.; MENÉNDEZ, C. G.; RÄISÄNEN, J.; RINKE, A.; SARR, A. P. W. Regional Climate Projections. In: SOLOMON, S.; QIN, D.; MANNING, M.; CHEN, Z.; MARQUIS, M.; AVERYT, K. B.; TIGNOR, M.; MILLER, H. L. (Ed.). **Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge: Cambridge University, 2007. p. 847-940.

CIVIDANES, F. J. **Determinação das exigências térmicas de *Nezara viridula* (L., 1758), *Piezodorus guildinii* (West., 1837) e *Euschistus heros* (Fabr., 1758) (Heteroptera: Pentatomidae) visando ao seu zoneamento ecológico.** 1992. 100 f. Tese (Doutorado em Entomologia) - Universidade Estadual de São Paulo, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 1992.

CIVIDANES, F. J. Exigências térmicas de *Brevicoryne brassicae* e previsão de picos populacionais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 5, p. 561-566, 2003.

CIVIDANES, F. J.; PARRA, J. R. P. Biologia em diferentes temperaturas e exigências térmicas de percevejos pragas da soja. II. *Euschistus heros* (Fabr.) (Heteroptera: Pentatomidae). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 29, n. 12, p. 1841-1846, 1994a.

CIVIDANES, F. J.; PARRA, J. R. P. Biologia em diferentes temperaturas e exigências térmicas de percevejos pragas da soja. III. *Piezodorus guildinii* (West.) (Heteroptera: Pentatomidae). **Científica**, v. 22, n. 2, p. 177-186, 1994b.

CIVIDANES, F. J.; SOUZA, V. P. Exigências térmicas e tabela de vida e fertilidade de *Mysus Persicae* (Sulzer) (Hemiptera: Aphididae) em laboratório. **Neotropical Entomology**, v. 32, n. 3, p. 413-419, 2003.

CORREIA, A. C. B. do. Manejo de pragas da soja. **Informe Agropecuário**, v. 8, n. 94, p. 47-56, 1982.

COSTA, P. M. F. **Efeitos da alta concentração de CO₂ sobre o crescimento e o estabelecimento de plântulas do jatobá de mata *Hymenaea courbaril* L. var. *Stilbocarpa* (Heyne) Lee & Langenheim (Leguminosae, caesalpinioideae, detarieae).** 2004. 88 f. Dissertação (Mestrado em Biologia Celular e Estrutural) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

CZEPAK, C.; ALBERNAZ, K. C.; VIVAN, L. M.; GUIMARÃES, H. O.; CARVALHAIS, T. Primeiro registro de ocorrência de *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 43, n. 1, p. 110-113, 2013.

DENLINGER, D. L. Regulation of diapause. *Annual Review of Entomology*, v. 47, p. 93-122, 2002.

DERMODY, O.; O'NEILL, B. F.; ZANGERL, A. R.; BERENBAUM, M. R.; DELUCIA, E. H. Effects of elevated CO₂ and O₃ on leaf damage and insect abundance in a soybean agroecosystem. **Arthropod-Plant Interactions**, v. 2, n. 3, p. 125-135, 2008.

DOMICIANO, N. L.; BRÁULIO, S. **Pragas da canola**: bases preliminares para manejo de pragas no Paraná. Londrina: Iapar, 1996. 20 p. (Iapar. Informe de Pesquisa, 120).

EEROLA, T. T. Mudanças climáticas globais: passado, presente e futuro. In: **FÓRUM DE ECOLOGIA**, 2003, Florianópolis. [Trabalhos apresentados...] Florianópolis: Udesc, 2003. 10 p. Disponível em: <http://aguassubterraneas.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/28/2014/04/eerola_mc.pdf>. Acesso em: 22 set. 2009.

EICHLIN, T. D.; CUNNINGHAM, H. B. **The Plusiinae (Lepidoptera: Noctuidae) of America North of Mexico, emphasizing genitalia and larval morphology**. Beltsville: USDA Agricultural Research Service, 1978. 122 p. (Technical Bulletin, 1567).

ELLIS, P. R.; SINGH, R. A review of the host plants of the cabbage aphid, *Brevicoryne brassicae* (Homoptera, Aphididae). **IOBC/WPRS Bulletin**, v. 16, n. 5, p. 192-201, 1993.

ESTAY, S. A.; LIMA, M.; LABRA, F. A. Predicting insect pest status under climate change scenarios: combining experimental data and population dynamics modelling. **Journal of Applied Entomology**, n. 133, n. 7, p. 491-499, 2009.

FERREIRA, R. C. F.; OLIVEIRA, J. V. de; HAJI, F. N. P.; GONDIM JÚNIOR., M. G. C. Biologia, exigências térmicas e tabela de vida de fertilidade do ácaro-branco *Polyphagotarsonemus latus* (Banks) (Acari: Tarsonemidae) em videira (*Vitis vinifera* L.) cv. Itália. **Neotropical Entomology**, v. 35, n. 1, p. 126-132, 2006.

FORD, B. J.; STRAYER, J. R.; REID, J.; BLOUNT, V. N.; RIDDLE, T. C. **The literature of arthropods associated with soybean, a bibliography of the velvetbean caterpillar *Anticarsia gemmatilis* Hübner (Lepidoptera: Noctuidae)**. Urbana: Illinois National History Survey, 1975. 15 p. (Biological Notes, 92).

GALILEO, M. H. M.; GASTAL, H. A. O. de; GRAZIA, J. Levantamento populacional de Pentatomidae (Hemiptera) em cultura de soja (*Glycine Max* (L.) Merr.) no município de Guaíba, RS. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 37, n. 1, p. 111-120, 1977.

GALLO, D.; NAKANO, O.; SILVEIRANETO, S.; CARVALHO, R. P. L.; BAPTISTA, G. C.; BERTI FILHO, E.; PARRA, J. R. P.; ZUCHI, R. A.; ALVES, S. B.; VENDRAMIM, J. D.; MARCHIN, L. C.; LOPES, J. R. S.; OMOTO, C. **Entomologia Agrícola**. Piracicaba: Fealq, 2002, 920 p.

GAZZONI, D. L.; YORINORI, J. T. Manual de identificação de pragas e doenças da soja. Brasília, DF: Embrapa-SPI, 1995. 128 p. (Embrapa-SPI. Manuais de Identificação de Pragas e Doenças, 1).

GAZZONI, D. L.; OLIVEIRA, E. B. de; CORSO, I. C.; CORRÊA-FERREIRA, B. S.; VILLAS BÔAS, G. L.; MOSCARDI, F.; PANIZZI, A. R. **Manejo de pragas de soja**. Londrina: Embrapa CNPSO, 1988. 44 p. (EMBRAPA/CNPSO. Circular técnica, 5).

GHINI, R.; HAMADA, E.; BETTIOL, W. Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre as doenças de plantas. **Revisão Anual de Patologia de Plantas**, v. 16, p. 1-37, 2008.

GOATER, B.; RONKAY, L.; FIBIGER, M. **Noctuidae Europeae**. Soro: Entomological Press, 2003. 452 p.

GOLIZADEH, A.; KAMALI, K.; FATHIPOUR, Y.; ABBASIPOUR, H. Temperature-dependent development of diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepdoptera: Plutellidae) on two brassicaceus host plants. **Insect Science**, v. 14, n. 4, p. 309-316, 2007.

GONZÁLES, R. **El trips de California y otros tisanopteros de importancia hortifrutícola en Chile (Thysanoptera: Thripidae)**. Santiago: Universidad de Chile, Facultad de Ciências Agronómicas, 1999, 149 p.

GRAZIA, J. Revisão do gênero *Dichelops* Spinola, 1837 (Heteroptera, Pentatomidae, Pentatomini). **Iheringia**, v. 53, p. 3-119, 1978.

GUEDES, J. V. C.; PARRA, J. R. P. Aspectos biológicos do período embrionário dos curculionídeos-das-raízes dos citros. **Neotropical Entomology**, v. 36, n. 2, p. 192-196, 2007.

GULLAN, P. J.; CRANSTON, P. S. **Os insetos: um resumo de entomologia**. São Paulo: Rocca, 2008. 440 p.

Haji, F. N. P.; LIMA, M. F.; MATTOS, M. A. de A.; MOREIRA, A. N.; ALENCAR, J. A. de; BARBOSA, F. R. Levantamento de plantas hospedeiras de mosca branca *Bemisia* spp. no Submedio do Vale Sao Francisco nos anos de 1996 a 1998. In: ENCONTRO LATINO AMERICANO E DO CARIBE SOBRE MOSCAS BRANCAS E GEMINIVIRUS, 8., 1999, Recife. **Anais e mini-resumos...** Recife: IPA, 1999. p. 128.

HAMILTON, J. G.; DERMODY, O.; ALDEA, M.; ZANGERL, A. R.; ROGERS, A.; BERENBAUM, M. R.; DELUCIA, E. H. Anthropogenic changes in tropospheric composition increase susceptibility of soybean to insect herbivory. **Environmental Entomology**, v. 34, n. 2, p. 479-485, 2009.

HE, X.; WANG, Q.; CARPENTER, A. Thermal requirements for the development and reproduction of *Nysus huttoni* White (Heteroptera: Lygaeidae). **Journal of Economic Entomology**, v. 96, n. 4, p. 1119-1125, 2003.

HERZOG, D. C. Sampling soybean looper on soybean. In: KOGAN, M.; HERZOG, D. C. (Ed.). **Sampling methods in soybean entomology**. New York: Springer-Verlag, 1980. p. 140-168.

HOCHACHKA, P. W.; SOMERO, G. N. Temperature adaptation. In: HOCHACHKA P. W.; SOMMERO, G. N. (Eds). **Biochemical adaptation**. Princeton, NJ: Princeton University , 1984. p. 355-449.

IGNOFFO, C. M.; GARCIA, C. Simulated sunlight-UV sensitivity of experimental dust formulations of the nuclear polyhedrosis virus of *Helicoverpa/Heliothis*. **Journal of Invertebrate Pathology**, v. 67, n. 2, p. 192-194, 1996.

INSECTES et autres revageurs. In: **COLZA d'hiver**. Paris: Cetiom, 1985. p. 55.

JACKAI, L. E. N.; OCHIENG, R. S.; RAULSTON, J. R. Mating and oviposition behavior of the legume pod borer, *Maruca testulalis*. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 56, n. 2, p. 179-186, 1990a.

JACKAI, L. E. N.; PANIZZI, A. R.; KUNDU, G. G.; SRIVASTAVA, K. P. Insect pest of soybean in the tropics. In: SINGH, S. R. (Ed.). **Insect pests of tropical food legumes**, Chichester: Wiley, 1990b.

JALLOW, M. F. A.; MATSUMURA, M. Influence of temperature on the rate of development of *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae). **Applied Entomology and Zoology**, v. 36, n. 4, p. 427-430, 2001.

JONES V. P.; BROWN, R. D. Reproductive responses of the broad mite, *Polyphagotarsonemus latus* (Acari: Tarsonemidae), to constant temperature-humidity regimes. **Annals of Entomological Society of America**, v. 76, n. 3, p. 466-469, 1983.

JÖNSSON, A. M.; APPELBERG, G.; HARDING, S.; BÄRRING, L. Spatio-temporal impact of climate change on the activity and voltinism of the spruce bark beetle, *Ips typographus*. **Global Change Biology**, v. 15, n. 2, p. 486-499, 2009.

KIRCHHOFF, V. W. J. H.; ECHER, E.; LEME, N. P.; SILVA, A. A. A variação sazonal da radiação ultravioleta solar biologicamente ativa. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 18, n. 1, p. 63-74, 2000.

KOTI, S.; REDDY, K. R.; KAKANI, V. G.; ZHAO, D.; GAO, W. Effects of carbon dioxide, temperature and ultraviolet-B radiation and their interactions on soybean (*Glycine max* L.) growth and development. **Environmental and Experimental Botany**, v. 60, n. 1, p. 1-10, 2007.

KUNJUN, W.; YUPING C.; MINGHUI, L. Performances of bollworm cotton *Heliothis armigera* (Hubner) at different temperatures and relative humidities. **Journal of Environmental Sciences**, v. 5, n. 2, p. 158-168, 1993.

LAUGÉ, G. Sex determination: genetic and epigenetic factors. In: KERKUT, G. A.; GILBERT, L. I. (Ed.). **Comprehensive insect physiology, biochemistry, and pharmacology**. Oxford: Pergamon, 1985. p. 295-318.

LINCOLN, D. E.; SIONIT, N.; STRAIN, B. R. Growth and feeding response of *Pseudoplusia includens* (Lepidoptera: Noctuidae) to host plants grown in controlled carbon dioxide atmospheres. **Environmental Entomology**, v. 13, n. 6, p. 1527-1530, 1984.

LONGHINI, L. C. S. B.; BUSOLI, A. C. Controle integrado de *Brevicoryne brassicae* (L., 1758) (Homoptera:Aphididae) e *Ascia monuste orseis* (Latr., 1819) (Lepidoptera: Pieridae), em couve (*Brassica oleraceae* var. *acephala*). **Científica**, v. 21, n. 2, p. 231-237, 1993.

LOURENÇÃO, A. L.; NAGAI, H. Surtos populacionais de *Bemisia tabaci* no Estado de São Paulo. **Bragantia**, v. 53, n. 1, p. 53-59, 1994.

LOURENÇÃO, A. L.; PEREIRA, J. C. N. A.; MIRANDA, M. A. C.; AMBROSIANO, G. M. B. Danos de percevejos e de lagartas em cultivares e linhagens de soja de ciclos médio e semi-tardio. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, v. 28, n. 1, p. 157-167, 1999.

LOWRY, V. K.; SMITH JUNIOR., J. W.; MITCHELE F. L. Life-fertility tables for *Frankliniella fusca* (Hinds) and *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae) on peanut. **Annals of Entomological Society of America**, v. 85, n. 6, p. 744-754, 1992.

MAY, B. M. Identification of the immature forms of some common soil inhabiting weevils with notes on their biology. **New Zealand Journal Agronomic Research**, v. 9, n. 2, p. 286-316, 1966.

MALAGUIDO, A. B.; PANIZZI, A. R. Pentatomofauna associated with sunflower in Northern Paraná State, Brazil. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, v. 27, n. 3, p. 473-475, 1998.

MARENCO, J. A.; VALVERDE, M. C. Caracterização do clima no século XX e cenário de mudanças de clima para o Brasil no século XXI usando modelos do IPCC-AR4. **Revista Multiciência**, n. 8, p. 5-28, 2007.

MARUBAYASHI, J. M.; YUKI, V. A.; WUTKE, E. B. Transmissão do *Cowpea mild mottle virus* pela mosca branca *Bemisia tabaci* biótipo B para plantas de feijão e soja. **Summa Phytopathologica**, v. 36, n. 2, p. 158-160, 2010.

MARGAM, V. M.; COATES, B. S.; BA, M. N.; SUN, W.; BINSO-DABIRE, C. L.; BAOUA, I.; ISHIVAKU, M. F.; SKUKLE, J. T.; HELLMICH, R. L.; COVAS, F. G.; RAMASAMY, S.; ARMSTRONG, J.; PITTENDRIGH, B. R.; MURDOCK, L. L. Geographic distribution of phylogenetically-distinct legume pod borer, *Maruca vitrata* (Lepidoptera: Pyraloidea: Crambidae). **Molecular Biology Reports**, v. 38, n. 2, p. 893-903, 2011.

MASON, L. J.; MACK, T. P. Influence of temperature on oviposition and adult female longevity for the soybean looper, *Pseudoplusia includens* (Walker) (Lepidoptera: Noctuidae). **Environmental Entomology**, v. 13, n. 2, p. 379-383, 1984.

MATIOLI, J. C.; FIGUEIRA, A. R. Dinâmica populacional e efeitos da temperatura ambiental e precipitação pluviométrica sobre *Astylus variegatus* (germar, 1824) e *A. sexmaculatus* (Perty, 1830) (Coleoptera; Dasytidae). **Anais Esalq**, v. 45, n. 1, p. 125-142, 1988.

MCLAUGHLIN, J. F.; HELLMANN, J. J.; BOGGS, C. L.; EHRLICH, P. R. Climate change hastens population extinctions. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 99, n. 9, p. 6070-6074, 2002.

METCALF, C. I.; FLINT, W. P. **Destructive and useful insects: their habits and control**. 4. ed. New York: McGraw-Hill, 1962. 1087 p.

MILANEZ, J. M.; PARRA, J. R. P. Biologia e exigências térmicas de *Diabrotica speciosa* (Germar) (Coleoptera: Chrysomelidae) em laboratório. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**. v. 29, n. 1, p. 23-29, 2000.

MILANO, P.; BERTI FILHO, E.; PARRA, J. R. P.; CÔNSOLI, F. L. Influência da temperatura na frequência de cópula de *Anticarsia gemmatalis* Hübner e *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). **Neotropical Entomology**, v. 37, n. 5, p. 528-535, 2008.

MINKS, A. K.; HARREWIJN, P. **Aphids: their biology, natural enemies, and control**. New York, Elsevier, 1987. 450 p.

MIRONIDIS, G. K.; SAVOPOULOU-SOULTANI, M. Development, survivorship, and reproduction of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) under constant and alternating temperatures. **Environmental Entomology**, v. 37, n. 1, p. 16-28, 2008.

MORAES, R. R. de; LOECK, A. E.; BELARMINO, L. C. Flutuação populacional de Plusiinae e *Anticarsia gemmatalis* Hübner, 1818 (Lepidoptera: Noctuidae) em soja no Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 26, n. 1, p. 51-56, 1991.

MOSCARDI, F.; BUENO, A. F.; SOSA-GÓMES, D. R.; ROGGIA, S.; HOFFMANN-CAMPO, C. B.; POMARI, A. F.; CORSO, I. C.; CAVAGUCHI, S. A. Ártropodes que atacam as folhas da soja. In: HOFFMANN-CAMPO, C. B.; CÔRREA-FERREIRA, B. S.; MOSCARDI, F. (Ed.). **Soja: manejo integrado de insetos e outros artrópodes-praga**. Embrapa, Brasília, DF, p. 213-334, 2012.

MUSOLIN, D. L.; NUMATA, H. Timing of diapause induction and its life-history consequences in *Nezara viridula*: is it costly to expand the distribution range? **Ecological Entomology**, v. 28, n. 6, p. 694-703, 2003.

NAHER, N.; ISLAM, M. W.; KHALEQUZZAMAN, M.; HAQUE, M. M. Study on the developmental stages of spider mite (*Tetranychus urticae* Koch) infesting country bean. **Journal of Bio-Science**, v. 16, p. 109-114, 2008.

NAVA, D. E.; PARRA, J. R. P. Biology of *Cerotoma arcuatus* (Coleoptera: Chrysomelidae) and field validation of a laboratory model for temperature requirements. **Journal of Economic Entomology**, v. 96, n. 3, p. 609-614, 2003.

NECHOLS, J. R.; TAUBER, M. J.; TAUBER, C. A.; MASAKI, S. Adaptations to hazardous seasonal conditions: dormancy, migration and polyphenism, p. 159-200. In: HUFFAKER, C. B.; GUTIERREZ, A. P. (Ed.). **Ecological entomology**. 2nd ed. New York: J. Wiley, 1999. 756 p.

NÓBREGA, R. N. **Modelagem de impactos do desmatamento nos recursos hídricos da bacia do Rio Jamari (RO) utilizando dados de superfície e do TRMM**. 238 f. Tese (Doutorado em Geociência) - UFCG Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

NONDILLO, A.; REDAELLI, L. R.; BOTTON, M.; PINENT, S. M. J.; GITZ, R. Exigências térmicas e estimativa do número de gerações anuais de *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae) em morangueiro. **Neotropical Entomology**, v. 37, n. 6, p. 646-650, 2008.

OKEYO-OWUOR, J. B.; OCHIENG, R. Studies on the legume pod-borer *Maruca testulalis* (Geyer) – 1: Life cycle and behavior. **Insect Science and its Application**, v. 1, n 3, p. 263-268, 1981.

O'NEILL, B. F.; ZANGERL, A. R.; DELUCIA, E. H.; BERENBAUM, M. R. Longevity and fecundity of japanese beetle (*Popillia japonica*) on foliage grown under elevated carbon dioxide. **Environmental Entomology**, v. 37, n. 2, p. 601-607, 2008.

PALUMBO, J. C.; REYES, F.; AMAIA, A.; LEDESMA, L.; CARY, L. **Development and consumption rates for Lepidopterous larvae as influenced by host-plant and temperature**. 1999. Tucson: University of Arizona, College of Agriculture, 1999. 10 p. (Vegetable: A College of Agriculture Report, 44).

PANIZZI, A. R.; CORRÊA, B. S.; GAZZONI, D. L.; OLIVEIRA, E. B.; NEWMAN, G. G.; TURNIPSEED, S. G. **Insetos da soja no Brasil**. Londrina: EMBRAPA-CNPSo, 1977. 20 p. (EMBRAPA-CNPSo. Boletim técnico, 1).

PANIZZI A. R.; CORRÊA-FERREIRA, B. S. Dynamics in the insect fauna adaptation to soybean in the tropics. **Trends in Entomology**, v. 1, p. 71-88, 1997.

PANIZZI, A. R.; HERZOG, D. C. Biology of *Thyanta perditor* (Hemiptera: Pentatomidae). **Annals of the Entomological Society of America**, v. 77, n. 6, p. 646-650, 1984.

PANIZZI, A. R.; MCPHERSON, J. E.; JAMES, D. G.; JAVAHERY, M.; MCPHERSON, R. M. Stink bugs (Pentatomidae). In: SCHAEFER, C. W.; PANIZZI, A. R. (Ed.). **Heteroptera of Economic Entomology**. Boca Raton: CRC, 2000. p. 421-474.

PANIZZI, A. R.; SLANSKY JUNIOR, F. Review of phytophagous pentatomids (Hemiptera: Pentatomidae) associated with soybean in the Americas. **The Florida Entomologist**, v. 68, n. 1, p. 184-214, 1985.

PATTERSON, D. T.; WESTBROOK, J. K.; JOYCE, R. J. V.; LINGREN, P. D.; ROGASIK, J. Weeds, Insects, and Diseases. **Climatic Change**, v. 43, n. 4, p. 711-727, 1999.

POGUE, G. M. A world revision of the genus *Spodoptera* Guenée (Lepidoptera: Noctuidae). **Memoirs of the American Entomological Society**, v. 43, p. 1-202, 2002.

PORTER, J. H.; PARRY, M. L.; CARTER, T. R. The potential effects of climatic change on agricultural insect pests. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 57, n. 1-3, p. 221-240, 1991.

- PRASLICKA, J.; HUSZÁR, J. Influence of temperature and host plants on the development and fecundity of the spider mite *Tetranychus urticae* (Acarina: Tetranychidae). **Plant Protection Science**, v. 40, n. 4, p. 141-144, 2004.
- QIU, B.-L.; REN, S. X.; MANDOUR, N. S.; LIN, L. Effects of temperature on the development and reproduction of *Bemisia tabaci* B biotype (Homoptera: Aleyrodidae). **Entomologia Sinica**, v. 10, n. 1, p. 43-49, 2003.
- RATHORE, Y. S.; LAL, S. S. Phylogenetic relationship of host plants of *Maruca vitrata*. **Indian Journal of Pulses Research**, v. 11, n. 2, p. 152-155, 1998.
- RIZZO, H. F. E. Aspectos morfológicos y biológicos de *Edessa mediatubunda* (F.) (Hemiptera, Pentatomidae). **Revista Peruana de Entomología**, v. 14, p. 272-281, 1971.
- RIZZO, H. F. E. Insectos y otros animales enemigos de la soja [*Glycine max* (L.) Merrill] en la Argentina. **Fitotecnia Latinoamericana**, v. 8, n. 1, p. 44-49, 1972.
- RO, T. H.; LONG, G. E.; TOBA, H. H. Predicting phenology of green peach aphid (Homoptera: Aphididae) using degree-days. **Environmental Entomology**, v. 27, n. 2, p. 337-343, 1998.
- ROLSTON, H. F. E. Aspectos morfológicos e biológicos de *Nezara viridula* (L.) (Hemiptera: Pentatomidae). **Agronomia Tropical**, v. 18, p. 249-274, 1968.
- ROOT, T. L.; PRICE, J. T.; HALL, K. R.; SCHNEIDER, S. H.; ROSENZWEIG, C.; POUNDS, J. A. Fingerprints of global warming on wild animals and plants. **Nature**, v. 421, n. 6918, p. 57-60, 2003.
- SAJAP, A. S.; BAKIR, M. A.; KADIR, H. A.; SAMAD, N. A. Effect of pH, rearing temperature and sunlight on infectivity of Malaysian isolate of nucleopolyhedrovirus to larvae of *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae). **International Journal of Tropical Insect Science**, v. 27, n. 2, p. 108-113, 2007.
- SALVADORI, J. R.; PARRA, J. R. P. Efeito da temperatura na biologia e exigências térmicas de *Pseudaletia sequax* (Lepidoptera: Noctuidae), em dieta artificial. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 25, n. 12, p.1693-1700, 1990.
- SANDHU, H. S.; NUCESSLY, G. S.; WEBB, S. E.; CHERRY, R. H.; GILBERT, R. A. Life table studies of *Elasmopalpus lignosellus* (Lepidoptera: Pyralidae) on sugarcane. **Entomological Society of America**, v. 39, n. 6, p. 2025-2032, 2010a.

SANDHU, H. S.; NUSSLY, G. S.; WEBB, S. E.; CHERRY, R. H.; GILBERT, R. A. Temperature-dependent development of lesser cornstalk borer, *Elasmopalpus lignosellus* (Lepidoptera: Pyralidae) on sugarcane under laboratory conditions. **Environmental Entomology**, v. 39, n. 3, p. 1012-1020, 2010b.

SANTANA, A. G. **Biologia e tabela de vida de *Orius insidiosus* (Say, 1832) (Hemiptera: Anthocoridae) e de *Frankliniella occidentalis* (Pergande, 1895) (Thysanoptera: Thripidae) em temperaturas alternantes**. Lavras: Ed. da Ufla, 2009. 118 p.

SANTOS, G. P.; COSENZA, G. W.; ALBINO, J. C. Biologia de *Spodoptera latifascia* (Walker, 1856) (Lepidoptera: Noctuidae) sobre folhas de eucalipto. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 24, n. 2, p. 153-155, 1980.

SANTOS, L.; SHIELDS, E. J. Temperature and diet effect on black cutworm (Lepidoptera: Noctuidae) larval development. **Journal of Economic Entomology**, v. 91, n. 1, p. 267-273, 1998.

SCHWERTNER, C. F.; GRAZIA, J. Nomenclator entomologicus 58: O gênero *Chinavia* Orian nas Américas. **Informativo da Sociedade Entomológica do Brasil**, v. 31, p. 3, 2006.

SCRIBER, J. M. Sequential diets, metabolic costs and growth of *Spodoptera eridania* (Lepidoptera: Noctuidae) feeding upon dill, lima bean and cabbage. **Oecologia**, v. 51, n. 2, p. 175-180, 1981.

SHARMA, H. C. Bionomics, host plant resistance, and management of the legume pod borer, *Maruca vitrata*: a review. **Crop Protection**, v. 17, n. 5, p. 373-386, 1998.

SILVA, A. G. A.; GONÇALVES, C. R.; GALVÃO, D. M.; GONÇALVES, A. J. L.; GOMES, J.; SILVA, M. M.; SIMONI, L. **Quarto catálogo dos insetos que vivem nas plantas do Brasil: seus parasitos e predadores: insetos, hospedeiros e inimigos naturais**. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, 1968. Part. 2, t. 1. 622 p.

SILVA, D. M.; HOFFMANN-CAMPO, C. B.; BUENO, A. F.; BUENO, R. C. O. F.; DE OLIVEIRA, M. C. N.; MOSCARDI, F. Biological characteristics of *Anticarsia gemmatilis* (Lepidoptera: Noctuidae) for three consecutive generations under different temperatures: understanding the possible impact of global warming on a soybean pest. **Bulletin of Entomological Research**, v. 102, n. 3, p. 285-292, 2012.

SILVA, E. J. E.; FERNANDES, J. A. M.; GRAZIA, J. Caracterização do grupo *Edessa rufomarginata* e descrição de sete novas espécies (Heteroptera, Pentatomidae, Edessinae). **Iheringia. Série Zoologia**, v. 96, n. 3, p. 345-362, 2006.

SLATER, J. A. Results of the Lound University Expedition in 1950-51. Chapter II. Hemiptera (Heteroptera): Lygaeidae. In: HANSTRON, B.; BRINCK, P.; RUDEBECK, G. (Ed.). **South African Animal Life**. Halmstad: [s. n.], 1964. p. 15-228.

SOO HOO, C. F.; FRAENKEL, G. The selection of food plants in a polyphagous insect, *Prodenia eridania* (Cramer). **Journal of Insect Physiology**, v. 12, n. 6, p. 693-709, 1966.

SOSA-GÓMEZ, D. R.; CORRÊA-FERREIRA, B. S.; HOFFMANN-CAMPO, C. B.; CORSO, I. C.; OLIVEIRA, L. J.; MOSCARDI, F.; PANIZZI, A. R.; BUENO, A. de F.; HIROSE, E. **Manual de identificação de insetos e outros invertebrados da cultura da soja**. 2. ed. Londrina: Embrapa Soja, 2010. 90 p. il. (Embrapa Soja. Documentos, 269).

SOUZA, A. R. R. **Biologia comparada de *Heliothis virescens* (Fabr., 1781) (Lepidoptera-Noctuidae) a diferentes temperaturas, em meios natural e artificial**. 1981. 86 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba.

STAMP, N. E.; OSIER, T. L. Response of five insect herbivores to multiple allelochemicals under fluctuating temperatures. **Entomologia Experimentalis et Applicata**. v. 88, n. 1, p. 81-96, 1998.

STIREMAN, J. O.; DYER, L. A.; JANZEN, D. H.; SINGER, M. S.; LILL, J. T.; MARQUIS, R. J.; RICKLEFS, R. E.; GENTRY, G. L.; HALLWACHS, W.; COLEY, P. D.; BARONE, J. A.; GREENEY, H. F.; CONNAHS, H.; BARBOSA, P.; MORAIS, H. C.; DINIZ, I. R. Climatic unpredictability and parasitism of caterpillars: implications of global warming. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 102, n. 48, p. 17384-17387, 2005.

TAUB, D. R.; WANG, X. Why are nitrogen concentrations in plant tissues lower under elevated CO₂? A critical examination of the hypotheses. **Journal of Integrative Plant Biology**, v. 50, n. 11, p. 1365-1374, 2008.

TAYLOR, T. A. The bionomics of *Maruca testulalis* Gey. (Lepidoptera: Pyralidae), a major pest of cowpeas in Nigeria. **Journal of the West African Science Association**, v. 12, p. 111-129, 1967.

TECNOLOGIAS de produção de soja - região central do Brasil 2011. Londrina: Embrapa Soja, 2010. 255 p. (Embrapa Soja. Sistemas de Produção, 14).

TEIXEIRA, E. P.; NOVO, J. P. S.; STEIN, C. P.; GODOY, I. J. Primeiro registro da ocorrência de *Spodoptera albula* (Walker) (Lepdoptera: Noctuidae) atacando amendoim (*Arachis hypogaea* L.) no Estado de São Paulo. **Neotropical Entomology**, v. 30, n. 4, p. 723-724, 2001.

THOMAS, P. Weeds, insects and diseases, 10. In: CANOLA growers manual. Lacombe, [s. n.], 1984. p.1020-1062.

THOMAZINI, M. J. Insetos associados à cultura da soja no estado do Acre, Brasil. **Acta Amazonica**, v. 31, n. 4, p. 673-681, 2001.

TOBA H. H.; KISHABA, A. N.; PANGALDAN, R; VAIL, P. V. Temperature and the development of the cabbage looper. **Annals of the Entomological Society of America**, v. 66, n. 5, p. 965-974, 1973.

TOUGOU, D.; MUSOLIN, D. L.; FUJISAKI, K. Some like it hot! Rapid climate change promotes changes in distribution ranges of *Nezara viridula* and *Nezara antennata* in Japan. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 130, n. 3, p. 249-258, 2009.

TURNOCK, W. J. Integrated pest management for insect control. In: INTERNATIONAL CANOLA CONFERENCE., 1990, Atlanta. **Proceedings...** Atlanta: Potash & Phosphate Institute, 1990. p. 181-200.

ULRICHS, C.; HOPPER, K. R. Predicting insect distributions from climate and habitat data. **Biocontrol**, v. 53, n. 6, p. 881-894, 2008.

VELASCO, L. R. I.; WALTER, G. H. Influence of temperature on survival and reproduction of *Nezara viridula* (L.) (Hemiptera: Pentatomidae). **Australian Journal of Entomology**, v. 32, n. 3, p. 225-228, 1993.

VERNETTI, E. **Soja: planta, clima, pragas moléstia, invasoras**. Campinas: Fundação Cargill, 1983. 463 p.

VIVAN, L. M.; PANIZZI, A. R. Nymphal and adult performance of genetically determined types of *Nezara viridula* (L.) (Heteroptera: Pentatomidae), under different temperature and photoperiodic conditions. **Neotropical Entomology**, v. 34, n. 6, p. 911-915, 2005.

VIVAN, L. M.; PANIZZI, A. R. Geographical distribution of genetically determined types of *Nezara viridula* (L.) (Heteroptera: pentatomidae) in Brazil. **Neotropical Entomology**, v. 35, n. 2, p. 175-181, 2006.

WALDBAUER, G. P. Damage to soybean seeds by South American stink bugs. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, v. 6, n. 2, p. 223-229, 1977.

ZAVALA, J. A.; CASTEEL, C. L.; DELUCIA, E. H.; BERENBAUM, M. R. Anthropogenic increase in carbon dioxide compromises plant defense against invasive insects. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 105, n. 13, p. 5129-5133, 2008.

ZAVALA, J. A.; SCOPEL, A. L.; BALLARÉ, C. L. Effects of ambient UV-B radiation on soybean crops: impact on leaf herbivory by *Anticarsia gemmatilis*. **Plant Ecology**, v. 156, n. 2, p. 121-130, 2001.

ZERBINO, M. S. Avances en el control químico de insectos en soja. In: JORNADA DE CULTIVOS DE VERANO, 2007, Colonia. **Trabajos presentados...** Colonia: INIA, 2007. (Actividades de Difusión, 505).

ZERBINO, M. S. Avances en el control químico de chinches en soja. In: JORNADA DE CULTIVOS DE VERANO, 2009, Colonia. **Trabajos presentados...** Colonia: INIA, 2009. 25 p. (Actividades de Difusión, 583).

ZERBINO, M. S. Manejo de chinches en soja. **Revista INIA**, v. 23, p. 24-27, 2010.

ZERBINO, M. S.; SILVA, F. A. C; PANIZZI, A. R. Avanços recentes sobre a interação plantas hospedeiras/percevejos no Uruguai. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENTOMOLOGIA, 23, 2010, Natal. **Resumos...**, Natal: UFRN, 2010. p. 968.

Efeito do aquecimento global sobre as pragas da cana-de-açúcar

Sergio Antonio De Bortoli, Ricardo Antonio Polanczyk, Alessandra Marieli Vacari, Caroline Placidi De Bortoli e Rogério Teixeira Duarte

Introdução

As mudanças climáticas estão associadas intimamente com o aquecimento global, elevação nos níveis de CO₂ atmosférico e com as mudanças regionais relacionadas à precipitação pluviométrica (NEUMEISTER, 2010). Essas variações têm a capacidade de interferir diretamente na fisiologia, comportamento e no desenvolvimento dos insetos, envolvendo fatores que determinam modificações em sua mortalidade e taxa de crescimento, fecundidade, diapausa e dispersão. Isso pode ocasionar o surgimento de novas pragas e o desaparecimento de insetos anteriormente considerados problema para a cultura (BALE et al., 2002; CORNELISSEN, 2011; GUTIERREZ et al., 2008; JEPSEN et al., 2008; ZISKA et al., 2011).

A temperatura é um dos principais fatores que delimitam a sobrevivência e reprodução de insetos e em patamares extremos pode causar significativa mortalidade, representando um potencial que deve ser explorado para o desenvolvimento de estratégias de controle de pragas ambientalmente mais seguras.

O estresse provocado pela temperatura tem resultado em adaptações para as diferentes espécies de insetos, que desenvolvem mecanismos fisiológicos e comportamentais. A influência deste fator

abiótico pode se caracterizar por um simples movimento do inseto, expondo-se aos raios solares para um incremento da temperatura corporal, como também por complexas situações, como a preparação de insetos para transpor períodos de rigorosos invernos, por exemplo, aumentando a composição de substâncias crio-protetoras na hemolinfa (HALLMAN; DENLINGER, 1998).

Calor e frio, os chamados extremos de temperatura, têm sido manipulados com a tentativa de controle de insetos desde que se começou a trabalhar os métodos de controle de pragas, estando, nesse caso, classificados normalmente na categoria de controle físico (ABROL, 2013).

As alterações climáticas devem afetar uma grande variedade de sistemas físicos e biológicos, bem como setores da atividade humana, entre eles a agricultura, devendo ela interagir com outros fatores, em especial os econômicos e sociais (SEGUIN, 2010). Ao considerar as alterações no funcionamento ecofisiológico da produção vegetal, é necessário analisar o estímulo da fotossíntese pela elevação da concentração de CO_2 atmosférico, o que deve afetar as relações multitróficas. É evidente que uma alteração na temperatura global pode ser bastante variável em sua repercussão biológica, em que temperaturas mais altas são geralmente favoráveis para o desenvolvimento em climas frios e temperados e, no geral, desfavoráveis nas regiões mais quentes. Assim, mudanças nas plantas decorrentes dos efeitos de aumento da temperatura devem repercutir diretamente em todas as relações tróficas existentes.

Nesse sentido, pesquisadores têm relatado que nas interações tritróficas entre parasitoides/predadores/pragas/plantas, divergências entre as preferências termais resultaram na quebra da sincronização temporal ou geográfica entre os parasitoides e seus hospedeiros, podendo provocar surtos populacionais das pragas (BUSOLI, 2010).

A cana-de-açúcar é atacada por uma série de insetos-praga, desde sua implantação até o corte e a colheita. Após a instalação da cultura deve-se atentar ao ataque de pragas, as quais são responsáveis por perdas nas lavouras, sendo as mais importantes a broca da cana-de-açúcar, *Diatraea saccharalis* Fabricius (Lepidoptera: Crambidae), e a cigarrinha-da-raiz, *Mahanarva fimbriolata* (Stål) (Hemiptera: Cercopidae).

As brocas atacando plantas novas de cana-de-açúcar, com até quatro meses de idade, causam a morte da gema apical, podendo provocar a morte da planta; produzindo o sintoma vulgarmente conhecido como “coração morto”. Em plantas adultas, as perfurações e galerias provocadas pelas lagartas nos colmos causam brotações laterais, enraizamento aéreo, perda de peso, afinamento do colmo, atrofia de entrenós e morte da planta, resultando em queda do rendimento agrícola (MENDONÇA, 1996).

Através das perfurações feitas pelas brocas e por rachaduras do colmo, há entrada de fungos (*Fusarium moniliforme* e *Colletotrichum falcatum*) causadores da podridão vermelha, responsável pela queda no rendimento industrial, a qual é provocada pela inversão da sacarose, diminuição da pureza do caldo e contaminação no processo de fermentação (PLANALSUCAR, 1982). No geral, para cada 1% de intensidade de infestação (I.I.), ocorre perda em açúcar recuperável correspondente a 0,48% em kg de açúcar por tonelada de cana; 1,4% em litros de álcool por tonelada de cana e 0,1385% em perda de peso no campo, além de considerar também 0,094 toneladas de açúcar por tonelada de cana, como fator oficial de conversão de tonelada de cana em tonelada de açúcar recuperável pela indústria, dados relativos à região Centro-Sul (MACEDO; BOTELHO, 1988).

Segundo Almeida et al. (2008), experimentos conduzidos em telados e campo indicam que para cada 1% de I.I. da broca da cana-

de-açúcar, ocorrem perdas médias de 0,77% na produção de cana, acrescidas de 0,25% na produção de açúcar e 0,20% na produção de álcool. Os autores lembram ainda que as perdas no campo foram representadas por plantas quebradas e mortas, que permanecem no canavial, e as perdas em açúcar e álcool referem-se aos danos do complexo broca-podridão vermelha, que ocorrem nas canas danificadas que foram levadas à indústria.

Outra praga importante da cana-de-açúcar é a cigarrinha-da-raiz, cuja infestação tem aumentado com a expansão da colheita mecanizada, em função dos resíduos de palha deixados sobre o solo. Para combatê-la, é importante conhecer seu ciclo de vida. Os ovos são depositados nas bainhas próximas à base das touceiras, nos resíduos vegetais e na superfície do solo. Dessa forma, a palha remanescente da colheita mecanizada serve de proteção aos ovos. Cada fêmea pode colocar em média 340 ovos, que após 20 dias originarão as ninfas (formas jovens). As ninfas inicialmente são ativas, movimentando-se em busca de alimento. Algumas se fixam, imediatamente, nos coletores e radículas na base da planta e começam a sugar seiva e fabricar a espuma na qual, em pouco tempo, ficam cobertas e protegidas principalmente, contra dessecação.

Os adultos durante o dia ficam escondidos dentro dos cartuchos ou na parte inferior das folhas. Geralmente, o ciclo de *Mahanarva fimbriolata* principia-se com o início do período das chuvas. A ausência do inseto de maio a setembro/outubro é decorrente da associação de falta de água, queda de temperatura e redução do fotoperíodo. O primeiro pico populacional de adultos da cigarrinha frequentemente ocorre em novembro/dezembro quando, encontrando condições favoráveis de temperatura e umidade, o inseto dá sequência ao seu ciclo por mais duas gerações, até chegar a março-abril, quando reencontra a situação desfavorável.

A alimentação dos adultos da cigarrinha gera a queima da cana-de-açúcar em decorrência das toxinas injetadas que causam redução no tamanho e espessura dos entrenós, que ficam curtos e fibrosos. Os sintomas iniciam-se nas folhas que primeiramente apresentam pequenas manchas amarelas. Com o passar do tempo, tornam-se avermelhadas e, finalmente, opacas, reduzindo sensivelmente a capacidade de fotossíntese da planta e, por consequência, o conteúdo de sacarose do colmo. As ninfas causam desordem fisiológica em decorrência das picadas que atingem os tecidos vasculares da raiz (xilema) e os deterioram, dificultando ou impedindo o fluxo de água e nutrientes. A morte das raízes ocasiona desequilíbrio na fisiologia da planta, caracterizado pela desidratação do colmo, que o torna oco e fino, com posterior aparecimento de rugas na superfície externa. Pode ocasionar também morte dos perfilhos, quebra da dominância apical com o aparecimento de brotações laterais e mudança na arquitetura das plantas, que ficam com as folhas espalmadas, semelhantes a folhas de palmeiras. A segunda geração da cigarrinha-das-raízes, geralmente em janeiro, ocasiona as maiores perdas à produção.

A base para o combate destas duas importantes pragas na cana-de-açúcar é o controle biológico, sendo utilizado para a broca com o parasitoide *Cotesia flavipes* (Cameron) (Hymenoptera: Braconidae) e para a cigarrinha com o fungo *Metarhizium anisopliae* (Metsch.) Sorok. Assim, não somente os herbívoros, como também os inimigos naturais, podem ser influenciados diretamente pelo aquecimento global.

Ecotérmicos

Os ecotérmicos, denominação atual dos poiquilotérmicos ou peilotérmicos, são os seres vivos que têm a temperatura corpórea variando com a do ambiente em que vivem e exploram, uma vez

que eles não dispõem de mecanismos específicos para tal função (HIGLEY et al., 1986).

Os insetos, como organismos ecotérmicos, apresentam a temperatura do corpo como resultado da troca de calor entre o indivíduo e o ambiente, e, como resultado, suas funções biológicas, como metabolismo, período de vida dos diferentes ínstares, alimentação, nutrição, entre outros, são diretamente afetados por ela, sendo a temperatura o fator abiótico que mais interfere na taxa de crescimento e na taxa de conversão do alimento ingerido pelas espécies (ANGILLETTA et al., 2002; GILBERT; RAWORTH, 1996; HADDAD; PARRA, 1984).

A razão sexual (número de fêmeas em relação ao número total de indivíduos da população) é um parâmetro biológico que também pode ser ajustado em razão de fatores ambientais, sendo que alguns insetos podem mudar sua razão sexual e até mesmo estabelecer a razão sexual de sua progênie em função do ambiente. Rodrigues et al. (2004) citaram que a razão sexual de *Lysiphlebus testaceipes* (Cresson) (Hymenoptera: Braconidae) aumentou com o acréscimo da temperatura, sendo o mesmo fenômeno verificado por Silva (2004), com *Gargaphia torresi* (Lima) (Hemiptera: Tingidae), e por Gonçalves et al. (2008), com *Edessa meditabunda* (Fabricius) (Hemiptera: Pentatomidae).

Estudos básicos que visam elucidar o efeito da temperatura no desenvolvimento de insetos são importantes e imprescindíveis à entomologia econômica, porém deve-se ressaltar que quando se trata do efeito da temperatura sobre uma espécie, seu micro-habitat deve ser considerado fortemente, pois muitas vezes a temperatura do ambiente explorado pelo inseto é significativamente diferente daquela do micro-habitat (GOLD et al., 1987). Assim, a distribuição de insetos pelas plantas depende do tipo de estrutura do vegetal e de sua localização, podendo estes fatores influenciar diretamente

a temperatura, em função da exposição a radiações, ventos, chuvas, entre outros (KAPPEL; QUAMME, 1993; KUHRT et al., 2006a, 2006b).

Stoekli et al. (2005) citam que a distribuição de *Carpocapsa pomonella* L. (Lepidoptera: Olethreutidae) em plantas de macieira, em duas localidades da Suíça, se deu em função do aspecto da copa e que plantas dispostas no lado norte foram mais infestadas em relação àquelas do lado sul, havendo influência direta do microclima, da fenologia do fruto e da direção do vento na preferência para a oviposição. De acordo com Bloem et al. (2006), adultos da referida espécie tiveram a capacidade de perceber diferenças de temperatura, e que, em condições de laboratório, a oviposição foi realizada, preferencialmente, em locais onde a temperatura foi mais elevada, com o objetivo de acelerar o desenvolvimento (KUHRT et al., 2006a, 2006b). Ainda em relação a essa espécie, Kuhrt et al. (2005) citam que lagartas preferiram se alimentar no lado mais aquecido do fruto.

A temperatura do micro-habitat de um inseto nem sempre é a mesma daquela do ambiente, sendo os insetos com comportamento endofítico diretamente influenciados por esse fenômeno. Segundo Ferro e Southwick (1984), a temperatura de uma folha exposta ao sol pode ser até 10°C maior que a do ambiente, expondo, assim, insetos minadores de folhas a temperaturas bem maiores que a do ambiente que os envolve. Saudreau et al. (2007) citam que a temperatura de frutos de maçã expostos ao sol pode ser superior à do ambiente em até 5°C.

Efeito da alta temperatura

Os insetos são vulneráveis à exposição a altas temperaturas, de modo que o sol, bem como qualquer fonte de aquecimento artificial pode, em poucos minutos, elevar a temperatura do corpo desses animais a níveis letais. Ademais, a manutenção do balanço hídrico pode ser um desafio para esses indivíduos quando expostos a altos índices de temperatura. Porém, os insetos possuem uma variedade de alternativas fisiológicas e comportamentais que podem minimizar o problema do superaquecimento. Um dos comportamentos mais simples para se defender das altas temperaturas consiste em se colocar à sombra na superfície foliar, o que pode reduzir significativamente a temperatura corpórea em poucos minutos. Como uma segunda linha de defesa para altas temperaturas, os insetos apresentam adaptações fisiológicas e bioquímicas para prevenir injúrias provocadas por estresses térmicos. Outros mecanismos, como tremer o corpo e perder água por evaporação, também consistem em estratégias utilizadas pelos insetos para diminuir a temperatura corporal (DENLINGER; YOCUM, 1998).

Enquanto os efeitos deletérios das altas temperaturas são relativamente óbvios, os insetos podem, em alguns casos, utilizar as altas temperaturas em seu benefício. Assim, infecções não letais por vírus, bactérias, protozoários e fungos podem auxiliar os insetos a se defender (HEINRICH, 1993), uma vez que nessas normalmente ocorre elevação da temperatura corpórea, o que pode ser prejudicial ao parasitismo e à predação.

Além disso, com a elevação da temperatura, alguns insetos podem escapar de ataques de predadores, como citam Wehner et al. (1992) para a formiga *Cataglyphis bombycina* Roger (Hymenoptera: Formicidae), que sai para se alimentar quando a temperatura do solo se eleva ao ponto de não permitir a atividade de lagartos.

Efeito do termoperíodo no desenvolvimento dos insetos

O ciclo diário da temperatura ambiente, o termoperíodo, influencia o comportamento diário de um organismo, tanto quanto o sazonal, com variação de respostas entre espécies e entre habitats. No caso dos insetos, o termoperíodo influencia o ritmo biológico diário, taxa de crescimento, determinação de diapausa e resistência ao frio, mortalidade e a razão sexual (BECK, 1983; COLINET et al., 2006; PETAVY et al., 2001).

A relação entre a temperatura e o desenvolvimento de um inseto pode ser extremamente sensível às flutuações de temperatura. Ao se variar o termoperíodo ocorre aumento na taxa de crescimento, o que normalmente não se encontra em temperaturas constantes. O termoperíodo tem efeito sobre o desenvolvimento do inseto, sendo mais rápido em temperatura mais constante, em comparação a temperatura semelhante à da média diária, porém com oscilações (ASOU et al., 2006; BRAKEFIELD; MAZZOTTA, 1995).

Estudos têm sido realizados e os resultados encontrados são, muitas das vezes, controversos. Para lepidópteros, em geral, atividades como alimentação e oviposição são influenciadas pelo termoperíodo, o que afeta significativamente o desenvolvimento dos insetos. Nesse sentido, Hagstrum e Hagstrum (1970) relataram que os períodos embrionário e larval foram muito afetados com a oscilação da temperatura, enquanto os estudos realizados por Liu et al. (1995) mostraram que o efeito do termoperíodo pode ser diferente entre espécies e entre estágios de desenvolvimento, como ocorre, por exemplo, em *Pseudaletia unipunctata* (Haworth) (Lepidoptera: Noctuidae), na qual a oscilação de temperatura acelerou o desenvolvimento de lagartas, mas sobre ovos o efeito foi inverso.

O tempo de exposição a diferentes temperaturas pode ter efeito significativo na biologia dos insetos. Nesse sentido, Hagstrum e Miliken (1991) analisaram a influência de diferentes termoperíodos

em 17 espécies e observaram que em temperaturas entre 25°C e 30°C, o período de desenvolvimento foi menor em temperaturas constantes quando comparado com termoperíodos. Porém, trabalhando com temperaturas abaixo de 25°C, o período de desenvolvimento foi maior em temperaturas constantes, sendo que esta diferença tende a ser maior quanto maiores são as amplitudes dos termoperíodos.

Algumas espécies apresentam aceleração de desenvolvimento quando submetidas a termoperíodos em decorrência, especialmente, do efeito da oscilação da temperatura na conversão de alimentos. De acordo com Beck (1983), a flutuação da temperatura pode exercer um efeito “liga/desliga” nas atividades enzimáticas, afetando diretamente o crescimento dos insetos, particularmente quanto ao tempo para se completar as diferentes fases de desenvolvimento.

Estudos realizados por Howell e Schmidt (2002) mostraram que *Cydia pomonella* (Linnaeus) (Lepidoptera: Tortricidae) pode suportar temperaturas elevadas no campo, desde que sejam de pequena duração (3 horas por dia, por exemplo), o que não ocorre quando as temperaturas são elevadas e constantes. Howell e Neven (2000) observaram que lagartas submetidas constantemente a 35°C tiveram seu desenvolvimento altamente prejudicado; já lagartas expostas à mesma temperatura, porém oscilante, ou seja, curtos períodos de alta temperatura combinados com outros de temperaturas mais amenas não apresentaram efeitos negativos no desenvolvimento. Deve-se destacar também que no sul da França, região produtora de maçãs, a temperatura no campo pode chegar até a 42°C, porém em períodos que não ultrapassam três horas, o que não inviabilizou o desenvolvimento de *Cydia pomonella*, mesmo sabendo-se que a temperatura máxima para o desenvolvimento da espécie esteja entre 29°C e 33°C. Destaca-se que a determinação desta faixa de temperatura foi realizada com valores constantes, o que evidente-

mente não acontece no campo, onde o mais importante é o tempo de exposição (GOLD et al., 1987; HOWELL; SCHMIDT, 2002; ROCK; SHAFFER, 1983).

Scomparin (2009) concluiu que os termoperíodos de 12h a 15°C e 12h a 20°C aceleraram o desenvolvimento de *Cydia pomonella* e influenciaram a razão sexual, sendo essa diferente para insetos criados em temperaturas constantes. Verificou também que em linhagens sensíveis e resistentes a inseticidas, o termoperíodo diminui a razão sexual da espécie, e que, em maçãs expostas ao sol, o período de desenvolvimento de *Cydia pomonella* foi cinco dias mais curto do que em frutos situados em condições de sombra. Situação parecida ocorre com insetos de comportamento endofítico. Pincebourde (2005) realizou uma análise comparativa entre as temperaturas máxima e mínima de desenvolvimento de insetos endofíticos e ectofíticos e concluiu que, de forma geral, os endofíticos possuem essas temperaturas mais altas em aproximadamente 5°C.

Outro ponto que deve ser destacado é que o efeito do termoperíodo nos insetos-praga deve ser conhecido, visto que os modelos fenológicos de previsão de ocorrência são construídos baseando-se nesses estudos. Howell e Schmidt (2002) criticaram os modelos baseados em dados obtidos em temperaturas constantes, uma vez que não representam a realidade.

Sinergismo da temperatura no manejo integrado de pragas

A influência da temperatura nas reações bioquímicas dos artrópodes e as consequências resultantes podem aumentar ou diminuir a efetividade do manejo integrado de pragas (MIP). Consumo alimentar, dispersão e taxa de reprodução, entre outros parâmetros biológicos, para os artrópodes-praga e seus inimigos naturais ge-

ralmente aumentam com a elevação da temperatura dentro da faixa de 10°C a 40°C (SILVEIRA NETO et al., 1976). Essa variação pode levar a uma modificação no comportamento animal. A temperatura também influencia a expressão de genes nas plantas, bem como em microrganismos patogênicos e alguns genes que codificam aleloquímicos de planta ou toxinas de microrganismos, que podem ser ativos dependendo da temperatura ambiente. As propriedades físicas e químicas dos agrotóxicos também são diretamente afetadas pela temperatura, bem como sua volatilização e a degradação (DE BORTOLI, 2010).

O sinergismo entre temperatura e MIP quase nunca é analisado quando são trabalhadas as mais variadas estratégias de manejo, e os extremos de temperatura podem conduzir a falhas na implementação das mesmas, ou às vezes, elas podem ser efetivas em uma estreita variação desse parâmetro abiótico. Assim, o crescimento populacional de uma praga é função direta da temperatura, e em temperaturas mais elevadas podem ter um incremento mais rápido, atingindo o nível de dano econômico mais rapidamente (DE BORTOLI, 2010).

Em situações de extremos de temperatura, tanto pragas como seus hospedeiros podem ser diferentemente estressados, como muitas vezes ocorre em casas de vegetação, nas quais alguns ácaros, por exemplo, têm o tempo de geração reduzido e o consumo aumentado em razão das temperaturas mais elevadas. Ademais, as plantas podem sofrer estresses por deficiência de água, situação que conduz a severas reduções de produtividade (HEINEMANN et al., 2016).

Temperatura X controle químico

Estabilidade, vaporização, penetração, atividade e degradação de agrotóxicos são dependentes de processos físicos e bioquímicos que se dão em razões e proporções diferentes com as variações de temperatura. Geralmente essas reações ocorrem mais rapidamente em temperaturas mais elevadas, não obstante, nem sempre apresentam resposta linear. Muitos inseticidas, como alguns piretroides, são mais eficientes e têm um maior poder de choque em temperaturas mais baixas (Tabela 1).

Tabela 1. Toxicidade (LD_{50} em 24 horas) e relação mortalidade/choque (RMC) para *Musca domestica* de quatro piretroides em três diferentes temperaturas.

	18°C		25°C		32°C	
	LD_{50}	RMC	LD_{50}	RMC	LD_{50}	RMC
Aletrina	355,7	10,7	455,1	5,33	414,2	3,3
Cipermetrina	3,27	9,7	7,3	9,70	31,7	18,7
Flucitrinato	29,3	13,8	62,5	11,4	264,0	28,3
Permetrina	28,3	2,9	53,3	2,67	101,3	2,1

Fonte: Scott e Georghiou (1984).

Em laboratório, a vaporização e a penetração de clorpirifós são maiores em 24°C que em 12°C ; se isso ocorre em campo, haverá menor efeito residual do produto e menor penetração nos insetos em temperaturas mais elevadas (HILL et al., 1996). Normalmente, a eficiência de um produto é função da inter-relação entre a vaporização e a penetração cuticular, enquanto a ação residual normalmente é mais longa em baixas temperaturas em razão da redução na vaporização. Além disso, em baixas temperaturas, a degradação de inseticidas por microrganismos é inibida, resultando em períodos residuais mais longos (FELSOT, 1989).

Temperatura X controle biológico

O controle biológico, natural ou aumentativo, é outro componente do manejo de pragas que sofre influência direta da temperatura. Na literatura, são encontrados inúmeros exemplos mostrando a variação na eficiência de parasitismo, predação e de agentes entomopatogênicos quando submetidos a diferentes gradientes de temperatura e termoperíodos.

Fonseca et al. (2001) observaram que a temperatura afeta a duração e a viabilidade das fases imaturas do predador *Chrysoperla externa* (Hagen) (Neuroptera: Chrysopidae), e nas temperaturas mais elevadas a velocidade de desenvolvimento e o número de presas consumidas são maiores.

O número médio de adultos de *Trichogramma galloi* Zucchi (Hymenoptera: Trichogrammatidae), importante parasitoide de ovos de *Diatraea saccharalis*, varia em função da temperatura (20°C a 32°C), com umidade relativa de 60% ± 10% e fotofase de 14h (CÔNSOLI et al., 2000). Observações de Geremias (2008) indicam que temperaturas extremas (18°C a 38°C) causaram diminuição na taxa de parasitismo e atividade de *Trichogramma galloi*, e, em geral, baixas temperaturas provocaram diminuição do metabolismo do inseto com consequente alongamento de seus estágios e estádios de desenvolvimento. O inverso ocorreu quando houve exposição a elevadas temperaturas. Segundo Gillott (2005), isso se dá até certo limite, a partir do qual o metabolismo acaba sendo prejudicado, afetando negativamente o desenvolvimento do inseto, podendo, inclusive, levá-lo à morte.

Efeito do aquecimento global sobre pragas da cana-de-açúcar e seus inimigos naturais

Além dos efeitos diretos, as modificações resultantes do aquecimento global também influenciam indiretamente os insetos, por meio de mudanças na morfologia, fisiologia e bioquímica das plantas hospedeiras (KAZAKIS et al., 2007; LAKE; WADE, 2009; MARIN et al., 2013; MASTERS et al., 1998; THUILLER et al., 2005; YUAN et al., 2009) e também por provocar alterações nos inimigos naturais (CORNELLISEN, 2011; THOMSON et al., 2010). Essas relações estão sintetizadas na Figura 1, adaptada de Hughes (2000).

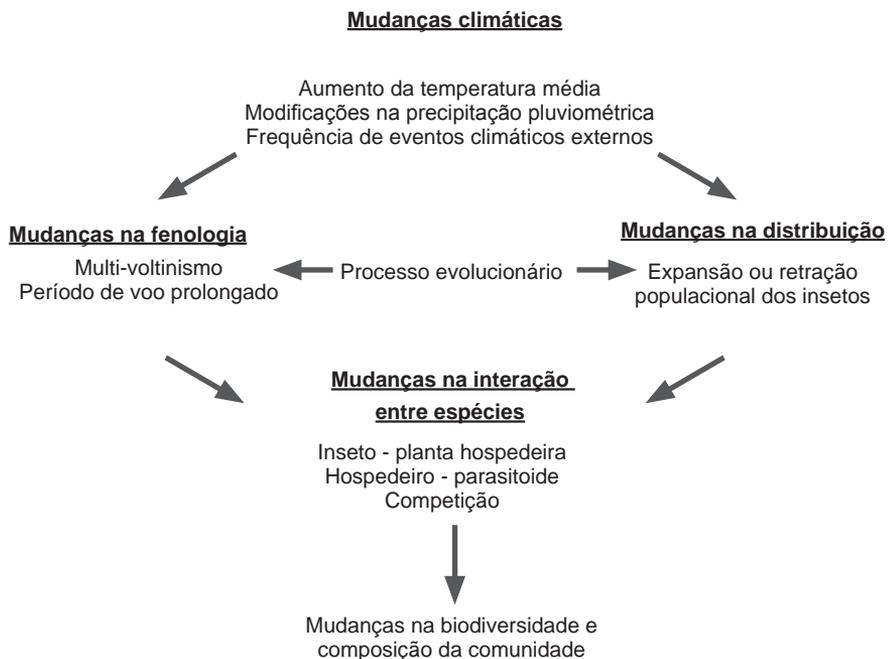


Figura 1. Efeito potencial das mudanças climáticas na biodiversidade e na composição da comunidade de espécies de insetos em determinado ecossistema
Fonte: Adaptado de Hughes (2000).

Dentro desse contexto, a temperatura apresenta relação importante com a variabilidade no desenvolvimento de uma espécie, responsável por induzir a mudanças na duração do ciclo biológico, densidade populacional, composição genética, distribuição geográfica, migração e extinção (BALE et al., 2002; CHU; CHAO, 2000; PORTER et al., 1991).

Dentre esses fatores, a duração do ciclo biológico da broca da cana-de-açúcar, *D. saccharalis*, está intimamente relacionada com a variação na temperatura, o que interfere no número de gerações durante o ano e na flutuação e densidade populacional para diferentes regiões (BOTELHO et al., 1978; HAYWARD, 1943; MELO; PARRA, 1988; TERAN, 1979).

As mudanças no ciclo biológico de determinada espécie de inseto podem interferir negativamente quanto ao sincronismo fenológico entre sua população e a cultura em que está estabelecida, podendo também estar relacionada com outras relações tróficas, como predadores e parasitoides (ASCH; VISSER, 2007; KENDAL et al., 2000; KLAPWIJK et al., 2010; LIEBHOLD et al., 2004; PARADIS et al., 1999). O assincronismo entre a planta e o inseto-praga pode influenciar na disponibilidade e qualidade do substrato alimentar e, conseqüentemente, poderá prejudicar o desenvolvimento e a sobrevivência da população da espécie. Assim, o decréscimo na qualidade e quantidade do artrópode poderá influenciar negativamente nas relações com seus inimigos naturais (BUTLER; O'NEIL, 2007; GODFRAY, 1994; HARVEY et al., 1999; WANG et al., 2007).

No cultivo de cana-de-açúcar, o assincronismo fenológico é um fator que pode estar intimamente ligado às densidades populacionais de *Diatraea saccharalis* e de seus inimigos naturais, não interferindo tanto na densidade populacional dos taquinídeos quando comparados a *Cotesia flavipes*, ambos parasitoides, por

apresentarem aspecto de polifagia em relação à especificidade do último (BELSHAW, 1994; HAWKINS, 1994; ROSSI; FOWLER, 2003).

Esse resultado também tem relação com a origem desses agentes de controle biológico, sendo os taquinídeos nativos da América do Sul, com elevado sincronismo em relação a *Diatraea saccharalis*, em decorrência da baixa interferência do ambiente para com sua população, enquanto a população de *Cotesia flavipes*, introduzida da Índia e Paquistão, é mais afetada pela condições ambientais de determinada região (ROSSI; FOWLER, 2003). Presume-se então que, com o aumento da temperatura global, essas relações sejam cada vez mais afetadas e, conseqüentemente, menor será a eficiência do controle biológico com tais inimigos naturais, principalmente *Cotesia flavipes*, ainda muito empregado como agente regulador populacional de *Diatraea saccharalis*.

Além das relações tróficas correlacionadas com o ciclo biológico dos insetos, o número de gerações de determinada espécie-praga é outro parâmetro que poderá sofrer modificações com o aumento da temperatura do planeta. No caso de espécies que apresentam várias gerações ao longo do ano, altas temperaturas poderão acelerar o desenvolvimento do inseto, de forma a aumentar o número de gerações e, conseqüentemente, acarretar em maior distribuição geográfica e danos à cultura (MASTERS et al., 1998; PARMESAN et al., 1999; POLLARD; YATES, 1993; TOBIN et al., 2008).

Dentre estas espécies multivoltinas da cultura da cana-de-açúcar, *Diatraea saccharalis* apresenta normalmente de quatro a cinco gerações anuais (MELO; PARRA, 1988) e *Mahanarva fimbriolata* entre duas e três gerações (GARCIA, 2006). Nesse sentido, com as mudanças climáticas relacionadas ao aumento de temperatura, tais espécies poderão apresentar um número de gerações acima dos

valores apresentados, acentuando a problemática dessas pragas em algumas regiões canavieiras do País, de acordo, principalmente, com o limiar de temperatura das espécies.

Já para o besouro da raiz da cana-de-açúcar, *Migdolus fryanus* Westwood (Coleoptera: Vesperidae), por apresentar ciclo biológico de mais de 12 meses, a prolongada exposição a altas temperaturas, relacionadas ao aquecimento global, poderá determinar unicamente a migração desta espécie para áreas de maior latitude (BALE et al., 2002).

A variação na temperatura ao longo do ano também tem a capacidade de influenciar o comportamento de voo de muitas espécies de insetos (WIKTELIUS, 1981), estando relacionada com a distribuição e a migração desses em diferentes ecossistemas. Com a elevação da temperatura do planeta, muitas mudanças podem recair sobre a época do ano em que essas espécies de artrópodes iniciariam o voo, antecipando a ocorrência de migração (LASTUVKA, 2009; WOIWOD, 1997; ZHOU et al., 1995). Pesquisas evidenciam a influência das mudanças climáticas sobre a distribuição dos insetos, principalmente daqueles da ordem Lepidoptera (BATALDEN et al., 2007; KIRITANI, 2006; LASTUVKA, 2009; ZIPKIN et al., 2012).

Dentre as pragas de cana-de-açúcar da ordem Lepidoptera, a espécie *Diatraea saccharalis*, em razão das condições climáticas favoráveis a seu desenvolvimento populacional, está amplamente difundida em todas as regiões canavieiras do país (DINARDO-MIRANDA, 2008). Com o aquecimento global, o aumento na sua distribuição poderá ser mais contundente em regiões anteriormente consideradas mais frias, com possível migração populacional de áreas com temperaturas muito elevadas a seu desenvolvimento. Esta relação também é válida para outras espécies-praga do cultivo de cana-de-açúcar, como a cigarrinha-das-raízes, encontrada principalmente na região Centro-Sul do Brasil (DINARDO-

MIRANDA, 2006). Essa espécie necessita de determinado nível de umidade no sistema radicular da planta para seu completo desenvolvimento, o que implicaria, futuramente, em migração para outras regiões com características climáticas favoráveis ao seu crescimento e reprodução.

Outro fator relacionado ao aquecimento global é a extinção de muitas espécies de insetos, que pode se concentrar principalmente em regiões consideradas tropicais. Isso porque estes artrópodes se desenvolvem, na atualidade, em condições ambientais próximas ao seu ideal, e qualquer elevação na temperatura global poderá propiciar condições adversas que corresponderão em curto espaço de tempo na eliminação destes organismos de determinado habitat (DEUTSCH et al., 2008). Em vista disso, o complexo de pragas dos diferentes cultivos de importância econômica, em especial a cultura da cana-de-açúcar, poderá sofrer mudanças significativas quanto à sua composição, distribuição e comportamento, por causa das características referentes à temperatura ótima de sobrevivência e reprodução.

Outra questão importante quanto ao aquecimento global refere-se ao período de diapausa (BALE et al., 2002). Esse processo pode ser entendido como um sistema de dormência mais evoluído, com o qual os insetos superam as condições ambientais extremas, longas e cíclicas, que podem ser induzidas antes do acontecimento das adversidades climáticas, e mantidas por determinado período (GARCIA, 2002; MANSINGH, 1971). No caso de pragas da cultura da cana-de-açúcar, esse assunto é exclusivamente direcionado à cigarrinha-da-raiz, cujo período de diapausa acontece na época em que as condições climáticas representam adversidade ao seu desenvolvimento, caracterizado principalmente pela escassez de umidade e alimento, além da temperatura (AZZI; DODSON, 1971; BYERS, 1966; PARRA, 1979). Com o aumento da temperatura global, há indicativos do aumento populacional e expansão geográfi-

ca de espécies que apresentam período de diapausa durante seu desenvolvimento (BALE et al., 2002). Porém, altas temperaturas poderão prolongar este processo, principalmente de insetos que recomeçam suas atividades a partir da primavera, com as primeiras chuvas (BUSE; GOOD, 1996), como é o caso de *Mahanarva fimbriolata*.

Em relação aos agentes de controle biológico microbiano, principalmente os fungos entomopatogênicos, o aumento da temperatura global poderá influenciar negativamente a relação desses para com o controle de pragas da cultura da cana-de-açúcar. De acordo com Lanza et al. (2009), a sobrevivência de *Metarhizium anisopliae*, um entomopatógeno importante no controle de cigarrinha na cana-de-açúcar, é influenciada pela temperatura e pelo teor de umidade do solo. Alta temperatura (31,5°C) dificulta o crescimento e a sobrevivência, enquanto temperaturas menores (26,8°C e 21,5°C) favorecem o crescimento e a sobrevivência do fungo no solo.

Com o objetivo de avaliar a eficiência em campo de quatro isolados de *Metarhizium anisopliae*, no controle de cigarrinha-das-raízes em diferentes localidades, Dinardo-Miranda et al. (2004) verificaram que em uma das localidades a temperatura foi mais amena (cerca de 3°C em média). Embora as temperaturas médias, nos três locais, estivessem dentro da faixa ótima para o desenvolvimento do fungo (25°C e 30°C), ocorreram diferenças entre as temperaturas máximas, nos dez dias seguintes às aplicações do fungo. Assim, concluíram que é provável que as temperaturas mais amenas tenham contribuído para o bom desempenho do agente de biocontrole.

Considerações finais

Apesar de relativamente recentes, as pesquisas enfocando esse aspecto já trouxeram resultados que permitem inferir sobre os efeitos das projeções climáticas na cultura da cana-de-açúcar, considerando-se as tendências futuras para o setor (MARIN; NASSIF, 2013). Ao se considerar a tendência de expansão da cultura, observada ao longo da última década, e a conjuntura atual do setor, pode-se traçar um cenário qualitativo de médio prazo levando em conta as mudanças climáticas globais e a respostas fisiológicas da cultura aos elementos climáticos mais prováveis de serem alterados nesse período. Assim, o aumento na temperatura para a cultura da cana-de-açúcar pode ser benéfico para as relações hídras solo-planta-atmosfera, reduzindo o efeito do principal fator de estresse para a cultura, aumentando as taxas de fotossíntese. Entretanto, é provável que as mudanças climáticas resultem em alterações no sistema de manejo da cultura, uma vez que plantas daninhas, pragas e doenças poderão ser beneficiadas.

Estudos recentes ilustram como as mudanças climáticas podem afetar tanto pragas como inimigos naturais em cenários climáticos atuais e futuros. As tendências gerais indicam que o aquecimento global, como resultado das alterações climáticas, pode aumentar o risco potencial de distribuição e infestação de *Schizaphis graminum* (Rondani) (Hemiptera: Aphididae) até 2100 em algumas áreas (ALJARYIAN; KUMAR, 2016). Além disso, a eficácia do parasitoide de ovos *Trichogramma* em condições climáticas estressantes, incluindo alta temperatura, diminuiu tendo menor taxa de parasitismo nessas áreas (WU et al., 2016). As mudanças climáticas e o aquecimento global poderão trazer graves consequências para a diversidade e abundância de artrópodes, e a extensão das perdas causadas por insetos-praga, o que poderá impactar na produção agrícola e segurança alimentar (SHARMA; PRABHAKAR, 2013).

DaMatta et al. (2010) demonstraram que quando ocorreu aumento da temperatura em conjunto com elevação da concentração de CO₂, a produtividade das plantas C4 foi maior, podendo ocorrer aumento significativo na fotossíntese e na produção de biomassa, mesmo sob condições irrigadas e sem restrição nutricional, como relatado por alguns autores em cana-de-açúcar (SOUZA et al., 2008; VU; ALLEN JUNIOR, 2009; VU et al., 2006). Vu et al. (2006) também verificaram que com a temperatura do ar elevada, combinada com a elevação da concentração de CO₂, ocorrem maiores índices de massa seca do colmo (+84%) e de caldo (+124%), quando comparado com o tratamento em que a concentração de CO₂ foi elevada, mantendo-se a temperatura constante.

Dessa maneira, essas alterações na planta devem conduzir a alterações no comportamento e desenvolvimento dos herbívoros, bem como das populações de inimigos naturais que dependem desses herbívoros, alterando assim as relações multitróficas dentro do agroecossistema.

Referências

ABROL, D. P. **Integrated pest management**: current concepts and ecological perspectives. San Diego: Academic Press, 2013. 584 p.

ALJARYIAN, R.; KUMAR, L. Changing global risk of invading greenbug *Schizaphis graminum* under climate change. **Crop Protection**, v. 88, p. 137-148, 2016.

ALMEIDA, L. C.; STINGEL, E.; ARRIGONI, E. B. **Monitoramento e Controle de Pragas da cana-de-açúcar**. Piracicaba: Centro de Tecnologia Canavieira, 2008. 35 p.

ANGILLETTA, M. A.; NIEWIAROWSKIB, P. H.; NAVAS, C. A. The evolution of thermal physiology in ectotherms. **Journal of Thermal Biology**, v. 27, n. 4, p. 249-268, 2002.

ASCH, M.; VISSER, M. Phenology of forest caterpillars and their host trees: the importance of synchrony. **Annual Review of Entomology**, v. 52, p. 37-55, 2007.

ASOU, H.; INOUE, T.; KOYAMA, T. Effect of thermoperiod on immature development of powdered oakblue, *Narathura bazalus* (Hewitson) (Lepidoptera: Lycaenidae). **Japanese Journal of Applied Entomology and Zoology**, v. 50, n. 3, p. 241-246, 2006.

AZZI, G. M.; DODSON, A. K. Infestação de cigarrinha da raiz em canaviais de Piracicaba – SP (*Mahanarva fimbriolata* Stal). **Brasil Açucareiro**, v. 77, n. 5, p. 36-42, 1971.

BALE, J. S.; MASTERS, G. J.; HODKINSON, I. D.; AWMACK, C.; MARTIN BEZEMER, T.; BROWN, V. K.; BUTTERFIELD, J.; BUSE, A.; COULSON, J. C.; FARRAR, J.; GOOD, J. E. G.; HARRINGTON, R.; HARTLEY, S.; JONES, T. H.; LINDROTH, R. L.; PPRES, M. C.; SHMRNIODIS, I.; WATT, A. D.; WHITTAKER, J. B. Herbivory in global climate change research: directs effects on rising temperature on insect herbivores. **Global Change Biology**, v. 8, n. 1, p. 1-16, 2002.

BATALDEN, R. V.; OBERHAUSER, K.; PETERSON, A. A. Ecological niches in sequential generations of eastern North American monarch butterflies (Lepidoptera: Danaidae): the ecology of migration and likely climate change implications. **Environmental Entomology**, v. 36, n. 6, p. 1365-1373, 2007.

BECK, S. D. Insect thermoperiodism. **Annual Review of Entomology**, v. 28, p. 91-108, 1983.

BELSHAW, R. Life history characteristics of Tachinidae (Diptera) and their effect on polyphagy. In: HAWKINS, B. A.; SHEEHAN, W. (Ed.). **Parasitoid community ecology**. Oxford: Oxford University Press, 1994. p. 145-162.

BLOEM, S.; CARPENTER, J. E.; DORN, S. Mobility of mass-reared diapaused and nondiapauses *C. pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae): effect of different constant temperature and lengths of cold storage. **Journal of Economic Entomology**, v. 99, n. 3, p. 707-713, 2006.

BOTELHO, P. S. M.; MENDES, A. C.; MACEDO, N.; SILVEIRA NETO, S. Influences of climatic factors of the sugar cane moth borer, *Diatraea saccharalis* (Fabr., 1794) (Lepidoptera: Crambidae). In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, 16., 1978, São Paulo. **Proceedings...** São Paulo: ISSCT, 1978, p.643-655.

BRAKEFIELD, P. M.; MAZZOTTA, V. Matching field and laboratory environments: effects of neglecting daily temperature variation on insect reaction norms. **Journal of Evolucionary Biology**, v. 8, n. 5, p. 559-573, 1995.

BUSE, A.; GOOD, J. E. G. Synchronization of larval emergence in winter moth (*Operophtera brumata* L.) and budburst in pedunculate oak (*Quercus robur* L.) under simulate climate change. **Ecological Entomology**, v. 21, n. 4, p. 335-343, 1996.

BUSOLI, A.C. Implicações da Temperatura no Manejo Integrado de Pragas na América do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENTOMOLOGIA, 23., 2010, Natal. **Anais...** Natal: Sociedade Brasileira de Entomologia, 2010. 1 CD-ROM.

BUTLER, C. D.; O'NEIL, R. J. Life history characteristics of *Orius insidiosus* (Say) fed diets of soybean aphid, *Aphis glycines* Matsumura and soybean thrips, *Neohydatothrips variabilis* (Beach). **Biological Control**, v. 40, n. 3, p. 339-346, 2007.

BYERS, R. A. Biology and control of a spittlebug, *Prosapia bicincta* (Homoptera: Cercopidae). **Annals of the Entomological Society of America**, v. 59, n. 6, p. 1067-1071, 1966.

CHU, Y. I.; CHAO, J. T. The impact of global change on insects. In: WANG, T. C.; WU, W. J. (Ed.). **Applied Entomology**. Taipei: National Taiwan University, 2000. p. 341-366.

COLINET, H.; RENAULT, D.; HANCE, T.; VERNON P. The impact of fluctuation thermal regimes on the survival of a cold-exposed parasitic wasp, *Aphidius colemani*. **Physiological Entomology**, v. 31, n. 3, p. 234-240, 2006.

CÔNSOLI, F. L.; PARRA, J. R. P.; VINSON, S. B. Estimating parasitoid immature mortality by comparing oviposition and pupal development of *Trichogramma galloi* Zucchi and *T. pretiosum* Riley on natural and factitious hosts. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 60, n. 3, p. 381-387, 2000.

CORNELISSEN, T. Climate change and its effects on terrestrial insects and herbivory patterns. **Neotropical Entomology**, v. 40, n. 2, p. 155-163, 2011.

DaMATTA, F. M.; GRANDIS, A.; ARENQUE, B. C.; BUCKERIDGE, M. S. Impacts of climate changes on crop physiology and food quality. **Food Research International**, v. 43, n. 7, p. 1814-1823, 2010.

DE BORTOLI, S. A. Implicações da temperatura na biologia de insetos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENTOMOLOGIA, 23., 2010, Natal. **Anais...** Natal: Sociedade Brasileira de Entomologia, 2010. 1 CD-ROM.

DENLINGER, D. L.; YOCUM, G. D. Physiology of heat sensitivity. In: HALLMAN, G. J.; DENLINGER, D. L. (Eds.). **Temperature sensitive in insects and application in integrated pest management**. Boulder: Westview, 1998. 331 p.

DEUTSCH, C. A.; TEWKSBURY, J. J.; HUEY, R. B.; SHELDON, K. S.; GHALAMBOR, C. K.; HAAK, D. C.; MARTIN, P. R. Impacts of climate warming on terrestrial ectotherms across latitude. **PNAS**, v. 105, n. 18, p. 6668-6672, 2008.

DINARDO-MIRANDA, L. L. Manejo de nematoides e pragas de solo em cana-de-açúcar. In: CAMPOS, A. P.; VALE, D. W.; ARAÚJO, E. S.; CORRADI, M. M.; YAMAUTI, M. S.; FERNANDES, O. A.; FREITAS, S. (Ed.). **Manejo integrado de pragas**. Jaboticabal: Funep, 2006. p. 59-80.

DINARDO-MIRANDA, L. L. Pragas. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. (Ed.). **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agronômico, 2008. p. 349-404.

DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; FERREIRA, J. M. G.; GARCIA Jr., C. A.; COELHO, A. L.; GIL, M. A. Eficiência de *Metarhizium anisopliae* (Metsch.) no controle de *Mahanarva fimbriolata* (Stål) (Hemiptera: Cercopidae) em cana-de-açúcar. **Neotropical Entomology**, v. 33, n. 6, p. 743-749, 2004.

FELSOT, A. S. Enhanced biodegradation of insecticides in soil: implications for agroecosystems. **Annual Review of Entomology**, v. 34, p. 453-476, 1989.

FERRO, D.; SOUTHWICK, E. E. Micro-climates of small arthropods: estimating humidity within the leaf boundary layer. **Environmental Entomology**, v. 13, n. 4, p. 926-929, 1984.

FONSECA, A. R.; CARVALHO, C. F.; SOUZA, B. Capacidade predatória e aspectos biológicos das fases imaturas de *Chrysoperla externa* (Hagen, 1861) (Neuroptera: Chrysopidae) alimentada com *Schizaphis graminum* (Rondani, 1852) (Hemiptera: Aphididae) em diferentes temperaturas. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 25, n. 2, p. 251-263, 2001.

GARCIA, J. F. **Técnica de criação e tabela de vida de *Mahanarva fimbriolata* (Stal, 1854) (Hemiptera: Cercopidae)**. 2002. 59 f. Dissertação (Mestrado em Entomologia Agrícola) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade São Paulo, Piracicaba.

GARCIA, J. F. **Bioecologia e manejo da cigarrinha-das-raízes *Mahanarva fimbriolata* (Stal, 1854) (Hemiptera: Cercopidae), em cana-de-açúcar**. 2006. 99 f. Tese (Doutorado em Entomologia Agrícola) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade São Paulo, Piracicaba.

GEREMIAS, L. D. **Seleção de linhagens e efeito da temperatura e do alimento no desenvolvimento de *Trichogramma galloi* Zucchi, 1988 (Hymenoptera: Trichogrammatidae) para controle de *Diatraea saccharalis* (Fabricius, 1794) (Lepidoptera: Crambidae) em milho.** 2008. 81 f. Dissertação (Mestrado em Entomologia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade São Paulo, Piracicaba.

GILBERT, N.; RAWORTH, D. A. Insects and temperature: a general theory. **The Canadian Entomology**, v. 128, n. 1, p. 1-13, 1996.

GILLOTT, C. **Entomology**. Dordrecht: Springer. 2005. 831 p.

GODFRAY, H. C. J. **Parasitoids: behavioural and evolutionary ecology**. Princeton: Princeton University, 1994. 488 p.

GOLD, H. J.; KENDALL, W. L.; SHAFFER, P. L. Nonlinearity and effects of microclimatic variability on a codling moth population (*C. pomonella*): a sensitivity simulation. **Ecological Modelling**, v. 37, n. 3-4, p. 139-154, 1987.

GONÇALVES, L.; ALMEIDA, F. S.; MOTA, F. M. Efeito da temperatura no desenvolvimento e reprodução de *Edessa meditabunada* (Fabricius, 1794) (Hemiptera: Pentatomidae). **Acta Biologica Paranaense**, v. 37, p. 111-121, 2008.

GUTIERREZ, A. P.; DAANE, K. M.; PONTI, L.; WALTON, V. M.; ELLIS, C. K. Prospective evaluation of the biological control of vine mealybug: refuge effects and climate. **Journal of Applied Ecology**, v. 45, n. 2, p. 524-536, 2008.

HADDAD, M. L.; PARRA, J. R. P. **Métodos para estimar os limites térmicos e faixa ótima de desenvolvimento de diferentes ciclos evolutivos dos insetos**. Piracicaba: Fealq, 1984. 12 p.

HAGSTRUM, D. W.; HAGSTRUM, W. R. A simple device for producing fluctuating temperatures, with an evaluation of the ecological significance of fluctuation temperatures. **Annals of the Entomological Society of America**, v. 63, n. 5, p. 1385-1389, 1970.

HAGSTRUM, D. W.; MILIKEN, G. A. Modeling differences in insect development times between constant and fluctuating temperatures. **Annals of the Entomological Society of America**, v. 84, n. 4, p. 369-379, 1991.

HALLMAN, G. J.; DENLINGER, D. L. Introduction: temperature sensitivity and integrated pest management. In: HALLMAN, G. J.; DENLINGER, D. L. (Ed.). **Temperature sensitivity in insects and application in integrated pest management**. Boulder: Westview, 1998. 311 p.

HARVEY, J. A.; JERVIS, M. A.; GOLDS, R.; JIANG, N.; VET, L. E. M. Development of the parasitoid, *Cotesia rubecula* (Hymenoptera: Braconidae) in *Pieris rapae* and *Pieris brassicae* (Lepidoptera: Pieridae): evidence for host regulation. **Journal of Insect Physiology**, v. 45, n. 2, p. 173-182, 1999.

HAWKINS, B. A. **Pattern and process in host-parasitoids interactions**. New York: Cambridge University, 1994. 190 p.

HAYWARD, K. J. A broca da cana-de-açúcar. **Brasil Açucareiro**, v. 22, n. 11, p. 69-74, 1943.

HEINEMANN, A. B.; RAMIREZ-VILLEGAS, J.; SOUZA, T. L. P. O.; DIDONET, A. D.; STEFANO, J. G.; BOOTE, K. J.; JANIS, A. Drought impact on rainfed common bean production areas in Brazil. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 225, n. 15, p. 57-74, 2016.

HEINRICH, B. **The hot-blooded insects**. Cambridge: Harvard University Press, 1993. 601p.

HIGLEY, L. G.; PEDIGO, L. P.; OSTLIE, K. R. Degday: a program for calculation degree-days, and assumptions behind the degree-day approach. **Environmental Entomology**, v. 15, n. 5, p. 999-1016, 1986.

HILL, B. D.; BUTTS, R. A.; SCHAALJE, G. B. Factors affecting chlorpyrifos activity against Russian wheat aphid (Homoptera: Aphididae) in wheat. **Journal of Economic Entomology**, v. 89, n. 4, p. 1004-1009, 1996.

HOWELL, J. F.; NEVEN, L. G. Physiological development time and zero development temperature of the codling moth (Lepidoptera: Tortricidae). **Annals of the Entomological Society of America**, v. 29, n. 4, p. 765-772, 2000.

HOWELL, J. F.; SCHMIDT, R. Codling moth (Lepidoptera: Tortricidae): development at constant and orchard temperatures. **Journal of Agricultural and Urban Entomology**, v. 19, n. 1, p. 15-23, 2002.

HUGHES, L. Biological consequences of global warming: is the signal already apparent? **Trends in Ecology and Evolution**, v. 15, n. 2, p. 56-61, 2000.

JEPSEN, J. U.; HAGEN, S. B.; IMS, R. A.; YOCCOZ, N. G. Climate change and outbreaks of the geometrids *Operophtera brumata* and *Epirrita autumnata* in subarctic birch forest: evidence of a recent outbreak range expansion. **Journal of Animal Ecology**, v. 77, n. 2, p. 257-264, 2008.

KAPPEL, F.; QUAMME, H. A. Orchard training systems influence early canopy development and light micro-climate within apple tree canopies. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 73, n. 1, p. 237-248, 1993.

KAZAKIS, G.; GHOSN, D.; VOGIATZAKIS, N.; PAPANASTASIS, V. P. Vascular plant diversity and climate change in the alpine zone of the Lefka Ori, Crete. **Biodiversity and Conservation**, v. 16, n. 7, p. 1603-1615, 2007.

KENDAL, B. E.; BJORNSTAD, O. N.; BASCOMPTE, J.; KEITT, T. H.; FAGAN, W. F. Dispersal, environmental correlation, and spatial synchrony in population dynamics. **The American Naturalist**, v. 155, n. 5, p. 628-636, 2000.

KIRITANI, K. Predicting impacts of global warming on population dynamics and distribution of arthropods in Japan. **Population Ecology**, v. 48, n. 1, p. 5-12, 2006.

KLAPWIJK, M. J.; GROBLER, C.; WARD, K.; WHEELER, D.; LEWIS, O. Influence of experimental warming and shading on host-parasitoid synchrony. **Global Change Biology**, v. 16, n. 1, p. 102-112, 2010.

KUHRT, U.; SAMIETZ, J.; DORN, S. Effect of plant architecture and hail nets on temperature of codling moth habitats in apple orchards. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 118, n. 3, p. 245-259, 2006a.

KUHRT, U.; SAMIETZ, J.; DORN, S. Thermal response in adult codling moth. **Physiological Entomology**, v. 31, n. 1, p. 80-88, 2006b.

KUHRT, U.; SAMIETZ, J.; DORN, S. Thermoregulation behaviour in codling moth larvae. **Physiological Entomology**, v. 30, n. 1, p. 54-61, 2005.

LAKE, J. A.; WADE, N. Plant-pathogen interactions and elevated CO₂: morphological changes in favor of pathogens. **Journal of Experimental Botany**, v. 60, n. 11, p. 3123-3131, 2009.

LANZA, L. M.; MONTEIRO, A. C.; MALHEIROS, E. B. Sensibilidade de *Metarhizium anisopliae* à temperatura e umidade em três tipos de solos. **Ciência Rural**, v. 39, n. 1, p. 6-12, 2009.

LASTUVKA, Z. Climate change and its possible influence on the occurrence and importance of insect pests. **Plant Protection Science**, v. 45, S53-S62, 2009. Special issue.

LIEBHOLD, A.; KOENIG, W. D.; BJORNSTAD, O. N. Spatial synchrony in population dynamics. **Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics**, v. 35, p. 467-490, 2004.

LIU, S.; ZHANG, G.; ZHU, J. Influence of temperature variations on rate of development in insects: analysis of case studies from entomological literature. **Annals of the Entomological Society of America**, v. 88, n. 2, p. 107-119, 1995.

MACEDO, N.; BOTELHO, P. S. M. Controle integrado da broca da cana-de-açúcar *Diatraea saccharalis* (Fabr., 1794) (Lepidoptera, Pyralidae). **Brasil Açucareiro**, v. 106, n. 2, p. 2-14, 1988.

MANSINGH, A. Physiological classification of dormancies in insects. **The Canadian Entomologist**, v. 103, n. 7, p. 983-1009, 1971.

MARIN, F. R.; JONES, J. W.; SINGELS, A.; ROYCE, F.; ASSAD, E. D.; PELLEGRINO, G. Q.; JUSTINO, F. Climate change impacts on sugarcane attainable yield in southern Brazil. **Climatic Change**, v. 117, n. 1-2, p. 227-239, 2013.

MARIN, F.; NASSIF, D. S. P. Mudanças climáticas e a cana-de-açúcar no Brasil: Fisiologia, conjuntura e cenário futuro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 2, p. 232-239, 2013.

MASTERS, G. J.; BROWN, V. K.; CLARKE, I. P.; WHITTAKER, J. B.; HOLLIER, J. A. Direct and indirect effects of climate changes on insect herbivores: Auchenorrhyncha (Homoptera). **Ecological Entomology**, v. 23, n. 1, p. 45-52, 1998.

MELO, A. B. P.; PARRA, J. R. P. Exigências térmicas e estimativas do número de gerações anuais de broca de cana-de-açúcar em quatro localidades canavieiras de São Paulo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 23, n. 7, p. 691-695, 1988.

MENDONÇA, A. F. **Pragas da cana-de-açúcar**. Maceió: Insetos & Cia, 1996. 200 p.

NEUMEISTER, L. **Climate change and crop protection: anything can happen**. Penang: PAN Asia and the Pacific, 2010. 41 p.

PARADIS, E.; BAILLIE, S. R.; SUTHERLAND, W. J.; GREGORY, R. D. Dispersal and spatial scale affect synchrony in spatial population dynamics. **Ecology Letters**, v. 2, n. 2, p. 114-120, 1999.

PARMESAN, C.; RYRHOLM, N.; STEFANESCU, C.; HILL, J. K.; THOMAS, C. D.; DESCIMON, H.; HUNTLEY, B.; KAILA, L.; KULLBERG, J.; TAMMARU, T.; TENNENT, W. J.; THOMAS, J. A.; WARREN, M. Poleward shifts in geographical ranges of butterfly species associated with regional warming. **Nature**, v. 399, n. 6736, p. 579-583, 1999.

PARRA, J. R. P. **Biologia dos insetos**. Piracicaba: Esalq, 1979. 383 p.

PETAVY, G.; DAVID, J. R.; GILBERT, P.; MORETEAU, B. Viability and rate of development at different temperatures in *Drosophila*: a comparison of constant and alternating thermal regimes. **Journal of Thermal Biology**, v. 26, n. 1, p. 29-39, 2001.

PINCEBOURDE, S. **Biophysique environnementale des insectes endophytes**. 2005. 166 f. Tese (Doutorado em Sciences de la Vie) – Universidaté François Rebelais, Tours.

PLANALSUCAR. **Guia das principais pragas da cana-de-açúcar no Brasil**. Piracicaba: Planalsucar, 1982. 28 p.

POLLARD, E.; YATES, T. J. **Monitoring butterflies for ecology and conservation**. London: Chapman & Hall, 1993. 274 p.

PORTER, J. H.; PARRY, M. L.; CARTER, T. R. The potential effects of climatic change on agricultural insect pests. **Agricultural Forest Meteorology**, v. 57, n. 1-3, p. 221-240, 1991.

ROCK, G. C.; SHAFFER, P. L. Developmental rates of codling moth (Lepidoptera: Olethreutidae) reared on apple at four constant temperatures. **Environmental Entomology**, v. 12, n. 3, p. 831-834, 1983.

RODRIGUES, S. M. M.; BUENO, V. H. P.; SAMPAIO, M. V.; SOGLIA, S. C. de M. Influência da temperatura no desenvolvimento e parasitismo de *Lysiphlebus testaceipes* (Cresson) (Hymenoptera: Braconidae: Aphidinae) em *Aphis gossypii* Glover (Hemiptera: Aphididae). **Neotropical Entomology**, v. 33, n. 3, p. 341-346, 2004.

ROSSI, M. N.; FOWLER, H. G. The sugar cane borer, *Diatraea saccharalis* (Fabr.) (Lep. Crambidae) and its parasitoids: a synchrony approach to spatial and temporal dynamics. **Journal of Applied Entomology**, v. 127, n. 4, p. 200-208, 2003.

SAUDREAU, M.; SINOQUET, H.; SANTIN, O.; MARQUIER, A.; ADAM, B.; LONGUENESSE, J. J.; GUILIONI, L.; CHELLE, M. A. 3D model for simulating the spatial and temporal distribution of temperature within ellipsoidal fruit. **Agriculture and Forest Meteorology**, v. 147, n. 1-2, p. 1-15, 2007.

SCOMPARIN, A. L. X. **Desenvolvimento de diferentes populações de *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae) em temperaturas variáveis e consequências na modelagem fenológica**. 2009. 124 f. Tese (Doutorado em Agronomia-Entomologia Agrícola) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.

SCOTT, J. G.; GEORGHIOU, G. Influence of temperature on knockdown toxicity and resistance to pyrethroids in the house fly, *Musca domestica*. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 21, n. 1, p. 53-62, 1984.

SEGUIN, B. Climate change: which impacts on agriculture? Future projections and observed changes. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENTOMOLOGIA, 23., 2010, Natal. **Anais...** Natal: Sociedade Brasileira de Entomologia, 2010. 1 CD-ROM.

SHARMA, H. C.; PRABHAKAR, C. S. Impact of climate change on pest management and food security. **Integrated pest management: current concepts and ecological perspectives**. San Diego: Academic Press, 2013. p. 23-36.

SILVA, C. A. D. Efeito da temperatura no desenvolvimento, fecundidade e longevidade de *Gargaphia torresii* Lima (Hemiptera: Tingidae). **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 48, n. 4, p. 1-8, 2004.

SILVEIRA NETO, S.; NAKANO, O.; BARBIN, D.; VILLA NOVA, N.A. **Manual de ecologia dos insetos**. São Paulo: Ceres, 1976. 419 p.

SOUZA, A. P.; GASPAR, M.; SILVA, E. A.; ULIAN, E. C.; WACLAWOSKY, A. J.; NISHIYAMA JR., M. Y.; SANTOS, R. V.; TEIXEIRA, M. M.; SOUZA, G. M.; BUCKERIDGE, M. S. Elevated CO₂ increases photosynthesis, biomass and productivity, and modifies gene expression in sugarcane. **Plant, Cell & Environment**, v. 31, n. 8, p. 1116-1127, 2008.

STOECKLI, S.; MODY, K.; DORN, S. Influence of canopy aspect and height on codling moth (Lepidoptera: Tortricidae) larval infestation in apple, and relationship between infestation and fruit size. **Journal of Economic Entomology**, v. 101, n. 1, p. 81-89, 2005.

TERAN, F. O. Dinâmica populacional de adultos de *Diatraea saccharalis* (Fabricius, 1794) em canaviais do estado de São Paulo. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, v. 8, n. 1, p. 3-17, 1979.

THOMSON, L. J.; MACFADYEN, S.; HOFFMAN, A. A. Predicting the effects of climate change on natural enemies of agricultural pests. **Biological Control**, v. 52, n. 3, p. 296-306, 2010.

THUILLER, W.; LAVOREL, S.; ARAUJO, M. B.; SYLES, M. T.; PRENTICE, C. Climate change threats to plant diversity in Europe. **PNAS**, v. 102, n. 23, p. 8245-8250, 2005.

TOBIN, P. C.; NAGARKATTI, S.; LOEB, G.; SAUNDERS, M. C. Historical and projected interactions between climate change and insect voltinism in a multivoltine species. **Global Change Biology**, v. 14, n. 5, p. 951-957, 2008.

VU, J. C. V.; ALLEN JUNIOR, L. H.; GESCH, R. W. Up-regulation of photosynthesis and sucrose metabolism enzymes in young expanding leaves of sugarcane under elevated growth CO₂. **Plant Science**, v. 171, n. 1, p. 123-131, 2006.

VU, J. C. V.; ALLEN JUNIOR, L. H. Stem juice production of the C₄ sugarcane (*Saccharum officinarum*) is enhanced by growth at double-ambient CO₂ and high temperature. **Journal of Plant Physiology**, v. 166, n. 11, p. 1141-1151, 2009.

WEHNER, R. A.; MARSH, C.; WEHNER, S. Desert ants on a thermal tightrope. **Nature**, v. 357, n. 6379, p. 586-587, 1992.

WANG, X. Y.; YANG, Z. Q.; WUB, H.; GOULD, J. R. Effects of host size on the sex ratio, clutch size, and size of adult *Spathius agrili*, an ectoparasitoid of emerald ash borer. **Biological Control**, v. 44, n. 1, p. 7-12, 2007.

WIKTELIUS, S. Diurnal flight periodicities and temperature thresholds for flight for different migrant forms of *Rhopalosiphum padi* L. (Hom., Aphididae). **Zeitschrift fur Angewandte Entomologie**, v. 92, n. 1-5, p. 449-457, 1981.

WOIWOD, I. P. Detecting the effects of climate change on Lepidoptera. **Journal of Insect Conservation**, v. 1, n. 3, p. 149-158, 1997.

WU, L. H.; HOFFMANN, A. A.; THOMSON, L. J. Potential impact of climate change on parasitism efficiency of egg parasitoids: a meta-analysis of *Trichogramma* under variable climate conditions. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 231, n. 1, p. 143-155, 2016.

YUAN, J. S.; HIMANEN, S. J.; HOLOPAINEN, J. K.; CHEN, F.; STEWART, C. N. Smelling global climate change: mitigation of function for plant volatile organic compounds. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 24, n. 6, p. 323-331, 2009.

ZHOU, X.; HARRINGTON, R.; WOIWOD, I. P.; PERRY, J. P.; BALE, J. S.; CLARK, S. J. Effects of temperature on aphid phenology. **Global Change Biology**, v. 1, n. 4, p. 303-313, 1995.

ZIPKIN, E. F.; RIES, L.; REEVES, R.; REGENTZ, J.; OBERHAUSER, K. S. Tracking climate impacts on the migratory monarch butterfly. **Global Change Biology**, v. 18, n. 10, p. 3039-3049, 2012.

ZISKA, L. H.; BLUMENTHAL, D. M.; RUNION, G. B.; HUNT JUNIOR., E. R.; SOLTERO, H. D. Invasive species and climate change: an agronomic perspective. **Climatic Change**, v. 105, n. 1-2, p. 105-113, 2011.

Efeito do aquecimento global sobre pragas das pastagens

Alexander Machado Auad, Marcy das Graças Fonseca e
Tiago Teixeira Resende

Introdução

O Brasil tem condições privilegiadas para o cultivo de gramíneas forrageiras e sua ampla extensão territorial ocupada por pastagens reflete um elevado potencial produtivo. Estima-se que o Brasil tenha aproximadamente 101,4 milhões de ha de pastagens cultivadas (IBGE, 2011), das quais aproximadamente 85% são de cultivares de *Brachiaria* spp. (MACEDO, 2006) e o restante é constituído pelos gêneros *Panicum*, *Pennisetum*, *Cynodon*, *Andropogon*, *Cenchrus*, *Digitaria*, *Paspalum*, entre outros.

O manejo inadequado das pastagens tem culminado em perda de vigor e de produtividade, assim como redução na capacidade de recuperação natural e redução da tolerância aos ataques dos insetos, resultando então na degradação das pastagens. Com o avanço desse processo, verifica-se perda da cobertura vegetal e redução no teor de matéria orgânica do solo, emitindo dióxido de carbono (CO₂) para a atmosfera. Assim, estratégias de recuperação de pastagens contribuem para mitigação da emissão de gases de efeito estufa, aumento da biomassa e da capacidade de suporte das pastagens (0,4 Unidade Animal ha⁻¹ para 0,9 Unidade Animal ha⁻¹), reduzindo a necessidade de novas áreas de pastagens. Além disso, a dieta de melhor qualidade reduzirá o tempo de abate dos

animais, diminuindo a emissão de gás metano (CH_4) por meio de fermentação entérica (PINTO et al., 2011). Segundo estes autores, a recuperação de 15 milhões de ha de pastagens degradadas, por meio de manejo adequado, corresponde à redução de 83 a 104 milhões de toneladas de CO_2 equivalente.

Em função das alterações climáticas, o CO_2 atingiu concentrações atmosféricas elevadas nos últimos 650 anos, passando de 272 ppm para 346 ppm (PACHECO; HELENE, 1990). Atualmente é registrado um valor de concentração de CO_2 em torno de 400 ppm e é esperado que esse nível dobre nos próximos 100 anos. Estima-se, também, que a temperatura média aumente de $1,1^\circ\text{C}$ a $6,4^\circ\text{C}$ até 2100 (SOLOMON, 2007).

O Brasil tem sua economia dependente de recursos naturais, o que evidencia a necessidade de se estudar a sua vulnerabilidade e risco a tais mudanças climáticas, com intuito de diminuir e remediar os impactos. Nääs et al. (2010) registraram em seus estudos o efeito da elevação da temperatura sobre os riscos da capacidade de pastoreio e no custo de produção animal. Denotando, assim, que o aumento da temperatura previsto com as mudanças climáticas culminará no aumento do custo de produção.

Ressalta-se que, apesar de o sistema de produção das pastagens promover alterações climáticas, estas podem também afetar o sistema de produção das pastagens por meio de alterações químicas e biológicas nos níveis tróficos: planta x insetos-praga x inimigos naturais. O sistema de defesa das plantas forrageiras tem a capacidade de afetar a sobrevivência, a fertilidade e o desenvolvimento de insetos fitófagos e, conseqüentemente, a sua distribuição e abundância no meio ambiente (GOULD, 1998). Os insetos, por sua vez, para minimizar a pressão exercida pelas plantas, também desenvolvem mecanismos de defesa (AGRAWAL, 1998). A investigação desse processo evolutivo subsidiará estratégias de contro-

le nas quais o principal propósito é a melhor interação entre os organismos e a busca da proximidade do equilíbrio ambiental. O impacto das mudanças climáticas tende a ser relativamente mais importante nos níveis tróficos superiores. Parasitoides, predadores são, portanto, organismos para os quais graves efeitos são esperados, uma vez que representam o terceiro nível trófico (HANCE et al., 2007).

O comprometimento das pastagens atacadas pelas principais pragas das Poaceas, cigarrinhas-das-pastagens, tem aumentado anualmente promovendo drástica redução na produção e na qualidade das forrageiras, com perspectivas de perdas mundiais na faixa de 840 milhões a 2,1 bilhões de dólares por ano (THOMPSON, 2004). Isto se deve, entre outros fatores, às ocorrências generalizadas, aos altos níveis populacionais e à severidade dos danos, além de resultar em pastagens de menor capacidade suporte (VALÉRIO; NAKANO, 1988). Segundo Holmann e Peck (2002), a produção de leite e carne em um sistema que utilize pastagem com alto nível de infestação de cigarrinhas (50 adultos m⁻²) pode ser prejudicada em até 54% e o custo da produção desses insumos pode aumentar em até 30%.

A entomofauna associada às pastagens é vasta, o que torna importante a identificação dos grupos de herbívoros e daqueles úteis, como os parasitoides, predadores e polinizadores dentro do sistema, para traçar níveis de interação desses com o meio ambiente. Nas últimas três décadas, a pesquisa em sistemas agroflorestais tem contribuído para aprimoramentos e inovações, porém, trabalhos relativos às pragas nestes sistemas são escassos e ainda permanecem inconsistentes (RAO et al., 2000). Ressalta-se que muitos insetos que geralmente não provocam danos econômicos, tais como percevejos (*Collaria oleosa*), afídeos e lagartas, têm sido registrados pelos produtores no Sistema de Atendimento ao Cidadão (SAC) da Embrapa Gado de Leite, como sérios problemas às

pastagens. A falta de conhecimento básico acerca da sobrevivência e dinâmica populacional desses insetos tem sido o principal entrave às recomendações aos produtores. Para isso, o conhecimento dos fatores abióticos que influenciam a relação planta x inseto deve ser estabelecido no cenário atual e futuro levando em consideração as mudanças climáticas.

Consequências do aquecimento global nas pragas das pastagens

As mudanças climáticas no planeta são significativas, sendo as alterações na concentração de dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), ozônio (O_3) e vapor de água as principais responsáveis pelo aquecimento global (AMEIXA, 2010). Consequentemente, prevê-se alteração no metabolismo das plantas, o que pode acarretar efeitos diretos ou indiretos na sobrevivência, na fertilidade, no desenvolvimento, no comportamento e na distribuição e abundância dos insetos no meio ambiente. Essas mudanças poderão causar alterações no atual cenário fitossanitário das pastagens do Brasil (que podem ser positivos, negativos ou neutros sobre a entomofauna), também como influenciando diretamente os métodos de controle dos insetos-praga, de forma a interferir no controle biológico, químico e resistência de plantas (Figura 1). Até o momento, são encontradas poucas pesquisas, que serão mencionadas abaixo, em relação aos efeitos do aquecimento global nos insetos-praga das pastagens e nos seus inimigos naturais.

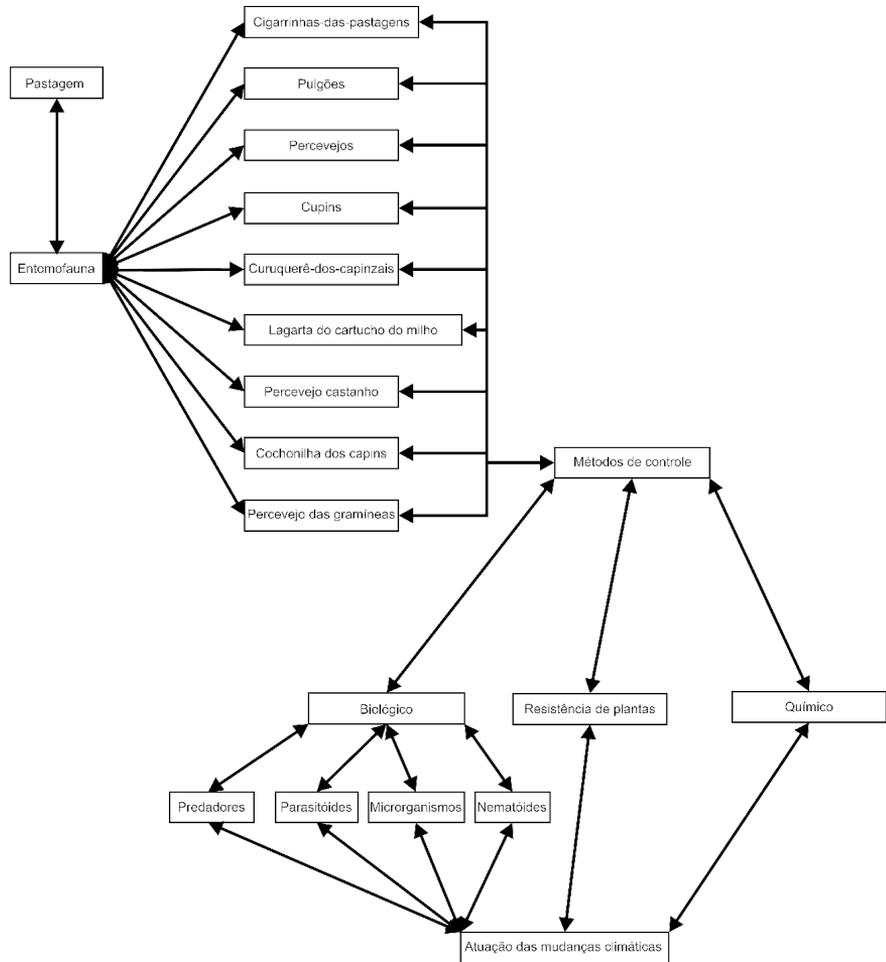


Figura 1. Principais insetos-praga das pastagens e métodos de controle, e interação desses com as mudanças climáticas.

Cigarrinhas-das-pastagens

As espécies de cigarrinhas-das-pastagens de maior ocorrência no Brasil são *Notozulia entreriana*, *Deois flavopicta*, *Deois schach*, *Deois incompleta*, *Aeneolamia selecta* (VALÉRIO; KOLLER, 1993), *Mahanarva fimbriolata* e *Mahanarva spectabilis* (AUAD et al., 2007), causando danos nas pastagens e comprometendo a oferta de forragem para os animais.

As ninfas desses insetos fixam-se na base das plantas, permanecendo protegidas por uma espuma branca característica e os adultos se alimentam da parte aérea das forrageiras. As condições climáticas, a adaptação do inseto a diferentes espécies de gramíneas, bem como o estabelecimento de extensas áreas com cultivares suscetíveis ao ataque das cigarrinhas, são fatores que têm contribuído para sua proliferação (CALDERÓN et al., 1982). As cigarrinhas ocorrem em aproximadamente 10 milhões de ha de gramíneas, causando prejuízos que variam entre 10% e 100%.

A média da duração embrionária para *Deois schach* e *Mahanarva spectabilis* decresceu gradualmente à medida que a condição térmica foi aumentada, evidenciando a dificuldade de desenvolvimento do embrião em baixas temperaturas (20°C) (AUAD et al., 2009b). O mesmo foi observado para ovos de *Mahanarva fimbriolata*, nas temperaturas de 18°C, 20°C, 22°C, 25°C, 28°C e 30°C, tendo sido registrado substancial redução do período embrionário de 62,3 dias (18°C) para 18,2 dias (30°C) e com sobrevivência acima de 68,9% na faixa de 18°C a 30°C e de 0% a 32°C (GARCIA, 2006). No período seco e frio do ano, geralmente, os ovos entram em diapausa, proporcionando período de incubação de aproximadamente 200 dias, sendo considerada uma estratégia de sobrevivência do inseto em condições adversas. No entanto, não se conhece o efeito das alterações climáticas futuras nesse processo de desenvolvimento.

No Brasil, sobre as atuais condições climáticas, normalmente são registradas três gerações das cigarrinhas das pastagens por ano agrícola, que geralmente ocorre entre os meses de outubro e abril. A duração ninfal é variável, podendo ir de 25 a mais de 40 dias, sendo que após esse estágio passam para a fase de adulto, quando vivem em torno de 10 dias. Esse parâmetro biológico é reduzido em função do aumento da temperatura e, segundo Garcia et al. (2006), para a espécie *Mahanarva fimbriolata* o limiar térmico superior para sobrevivência foi de 28°C.

Pesquisa pioneira foi realizada por Ferreira et al. (2013) em relação ao impacto do aumento da concentração de CO₂ sobre *Mahanarva spectabilis*. Os autores constataram que não houve diferença significativa na sobrevivência ninfal de *Mahanarva spectabilis* quando os insetos foram alimentados com *Brachiaria decumbens* (susceptível) e *Brachiaria brizantha* (resistente), mantidos em ambientes com diferentes concentrações de CO₂. Por outro lado, nas cultivares de capim-elefante, Roxo de Botucatu (susceptível) e Pioneiro (resistente) apresentaram porcentagem de sobrevivência das ninfas significativamente maior nos ambientes com CO₂ oscilante (368 ppm) e a 500 ppm que nos ambientes com CO₂ a 250 ppm (Tabela 1). Existe evidência que *Brachiaria decumbens* e *Brachiaria brizantha* sob altos níveis de CO₂ no futuro manterão sua suscetibilidade e resistência, respectivamente, à *Mahanarva spectabilis*, enquanto a suscetibilidade do Roxo de Botucatu aumentará e a resistência do Pioneiro diminuirá sob altos níveis de CO₂. Este estudo é de grande importância já que o controle por meio do uso de planta resistente tem sido o mais indicado para o controle das cigarrinhas-das-pastagens.

Tabela 1. Porcentagem de sobrevivência ninfal (média ± erro padrão) de *Mahanarva spectabilis* (DISTANT, 1909), em forrageiras sob ambientes com diferentes concentrações de CO₂.

Forrageira	CO ₂ =250ppm	CO ₂ oscilante	CO ₂ =500ppm
<i>Brachiaria decumbens</i>	42,22±10,07Aa	39,69±5,33Ab	42,19±6,55Ab
<i>Brachiaria brizantha</i>	2,23±1,21Ab	4,38±2,23Ac	0,63±0,42Ac
Roxo Botucatu	37,22±8,7Ba	69,37±4,98Aa	64,69±7,84Aa
Pioneiro	18,13±7,55Bb	39,69±5,76Ab	32,19±7,31Ab

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula nas linhas e pela mesma letra minúscula nas colunas não diferem entre si, pelo Teste de Tukey, a 5% de probabilidade

Fonte: Ferreira et al. (2013).

O uso de cultivar resistente é considerado o método ideal, já que as populações da praga podem ser reduzidas a níveis inferiores ao de dano econômico sem causar distúrbio ou poluição do ecossistema e, ainda, sem provocar qualquer ônus adicional ao agricultor (VENDRAMIM, 1990). A descoberta de cultivares resistentes requer período relativamente longo e, se não conduzida adequadamente, pode ser “quebrada”; assim, o conhecimento das bases da interação do inseto-praga com a planta é um ponto-chave para que seja restabelecido o fator favorável para a planta. Por exemplo, atualmente são indicadas para os produtores *Brachiaria brizantha* cv. Marandu e capim-elefante cv. Pioneiro e, caso os efeitos das variáveis climáticas estudadas alterem o padrão de resistência dessas forrageiras nos cenários climáticos futuros, será necessário o desenvolvimento de estratégias de controle adequadas à nova situação, por meio de novas tecnologias de forma econômica e ecológica, conferindo maior sustentabilidade ao sistema de produção.

Outra tentativa de minimizar os efeitos dessa praga é a utilização de inimigos naturais como controladores biológicos, opção menos nociva ao ambiente, por se tratar de uma estratégia sustentável para o manejo de praga. O uso de nematoides entomopatogênicos (NEPs) se apresenta de forma promissora, já que estes exploram o mesmo ambiente das ninfas de cigarrinhas e são conhecidamente eficazes contra outras pragas de solo e ambientes crípticos (BATISTA et al., 2010). Isolados do fungo *Metarhizium anisopliae* também têm sido alvo de pesquisas (ALMEIDA et al., 2003; PEREIRA et al., 2008; TEIXEIRA; SÁ, 2010) e indicados para os produtores rurais. A entomofauna benéfica associada às pastagens é vasta, porém não promove o equilíbrio natural das cigarrinhas-das-pastagens. Com o aquecimento global, a população de entomófagos e entomopatogênicos pode ser prejudicada ou favorecida, agravando ou amenizando, respectivamente,

o problema atual com a referida praga; além disso, insetos que atualmente não têm ocasionado danos econômicos (pragas secundárias) podem tornar-se pragas primárias.

Com o aquecimento global é esperado que espécies sejam forçadas a mudar suas distribuições pela expansão para as novas zonas climáticas e desaparecendo das áreas que se tornaram climaticamente inadequadas (HUGHES, 2000). Dessa forma, é importante conhecer o efeito da temperatura no desenvolvimento dos insetos-praga, e assim avaliar o que acontecerá nas regiões onde a espécie é problema diante do aquecimento global. Fonseca et al. (2016) avaliaram a sobrevivência e duração da fase ninfal e longevidade de adultos de *Mahanarva spectabilis* em *Brachiaria* submetidos a diferentes temperaturas. Considerando esses parâmetros biológicos, os autores concluíram que as temperaturas de 24 a 28°C são favoráveis, 20°C pouco favorável e as extremas (16 e 32°C) não favoráveis para o desenvolvimento de *Mahanarva spectabilis*. Com esses resultados, foi possível gerar mapas de distribuição no cenário climático futuro, sendo estimada a redução da ocorrência desse inseto-praga nas regiões Norte e Nordeste, manutenção das áreas favoráveis nas regiões Sudeste e Centro-Oeste, além de incremento na região Sul no ano de 2080 (Figura 2).

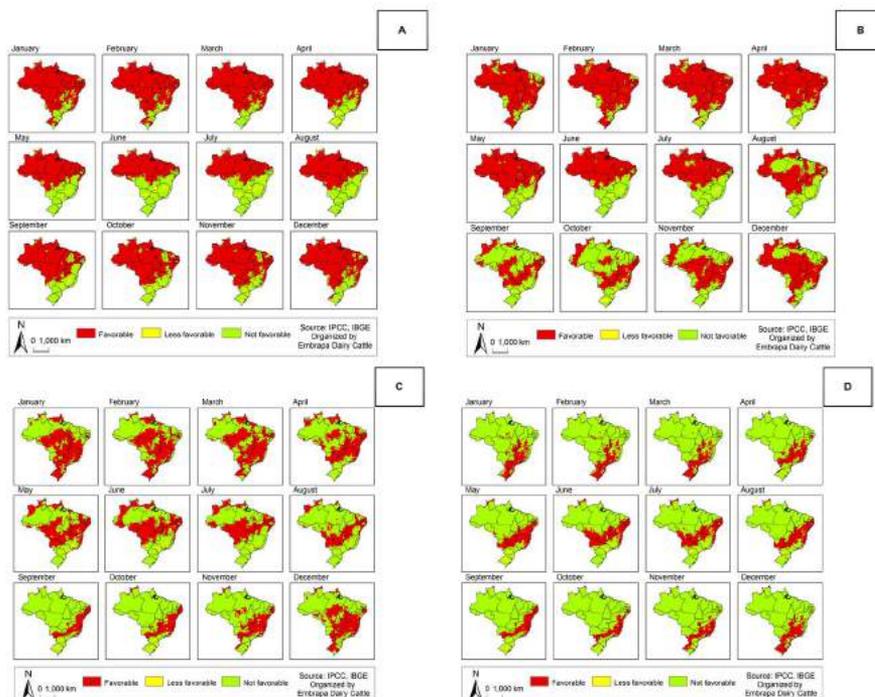


Figura 2. Cenários mensais para ocorrência de *Mahanarva spectabilis* como projetado pelo modelo climático global do quarto relatório do IPCC para o período de referência (1961-1991) (A) até os anos de 2020 (B), 2050 (C) e 2080 (D), sob o cenário de “A2” para o Brasil, considerando-se temperaturas de 24-28°C (favorável - em vermelho), 20°C (menos favorável - em amarelo), e os valores extremos (16 e 32°C) não favoráveis ao inseto (em verde)

Fonte: Fonseca et al. (2016).

Pulgões

Dentre os insetos que podem ocasionar injúrias às forrageiras, os pulgões têm se destacado (AUAD et al., 2009a). No Brasil são várias as espécies de afídeos ocasionando danos diretos, decorrentes da sucção da seiva, ou indiretos, na condição de vetores de viroses (SALVADORI, 2000), e apresentam elevado crescimento populacional (SALVADORI; TONET, 2001). Esses podem ser encontrados em diversas plantas, inclusive em pastagens durante o verão e início do outono (BARRO et al., 1992), quando é possível amostrar

Sipha flava em capim-elefante e *Cynodon*, *Rhopalosiphum padi* e *Steroneura setareae* em braquiária (OCORRÊNCIA..., 2009).

O crescimento populacional desses insetos está intimamente relacionado com fatores climáticos, sobretudo a temperatura (CIVIDANES, 2000), possibilitando prever picos populacionais, realizar as tabelas de vida, zoneamento ecológico, bem como estabelecer modelos para o seu manejo (MAIA et al., 2004), evidenciando a importância de se conhecer o efeito do aquecimento global nesses insetos.

Sipha flava

Entre as espécies de afídeos que causam injúrias em gramíneas forrageiras, *Sipha flava* tem despertado a atenção de pesquisadores por causar danos econômicos em muitas culturas, tais como sorgo, cana-de-açúcar, trigo, cevada, centeio e forrageira (BLACKMAN; EASTOP, 2000; KINDLER; DALRYMPLE, 1999). No Brasil, o capim-elefante, *Pennisetum purpureum*, está sendo comprometido pelo ataque do pulgão, *Sipha flava* em casa-de-vegetação (OLIVEIRA et al., 2009b, 2010).

Oliveira et al. (2009b) obtiveram 2,08°C como limite térmico inferior de desenvolvimento (T_b) da fase ninfal de *Sipha flava* e constataram que são necessários 192,3 graus dia (GD) para esse inseto atingir o estágio adulto. Se considerar uma região com temperatura média mensal de 25°C, pode-se estimar o número médio de quatro gerações mês⁻¹ desse afídeo. Segundo esses autores, as temperaturas de 28°C a 32°C foram desfavoráveis à sobrevivência dos diferentes ínstares e da fase ninfal; além disso, a 32°C as fêmeas não reproduziram, não sendo possível completar o ciclo biológico. Pesquisa realizada por Oliveira et al. (2009a) mostrou que as taxas líquidas de reprodução (R₀) de *Sipha flava* foram maiores nas tem-

peraturas de 12°C e 20°C, e os valores mais baixos nas temperaturas de 28°C e 32°C. Os valores médios para a capacidade inata de aumentar em número (r_m) foram negativos a 28 e 32°C (Tabela 2), indicando redução no tamanho da população em consequência da alta mortalidade e da ausência de reprodução. Com o aquecimento global previsto para o cenário futuro, fica evidente que, em regiões onde a temperatura ultrapassar a 28°C, haverá redução na ocorrência do pulgão *Sipha flava*.

Tabela 2. Parâmetros de tabela de vida de fertilidade de *Sipha flava* em diferentes temperaturas de 12°C, 16°C, 20°C, 24°C, 28°C e 32°C, UR 70% ± 10% e fotofase de 12 horas.

Temperatura (°C)	Parâmetros				
	T	R_0	r_m	λ	TD
12	36,80	18,62	0,08	1,08	8,66
16	21,90	10,92	0,11	1,11	6,30
20	21,71	14,65	0,12	1,12	5,77
24	18,78	9,71	0,12	1,12	5,77
28	10,73	0,12	-0,18	0,84	3,85
32	15,77	0,10	-0,14	0,87	4,95

T= intervalo de tempo entre cada geração; R_0 = taxa líquida de reprodução; r_m = capacidade inata de aumentar em número; λ = razão finita de aumento; TD= tempo necessário para população duplicar em número de indivíduos.

Fonte: Oliveira et al. (2009a).

Quando *Sipha flava* foi submetido a elevados níveis de CO₂ sozinho e em combinação com temperatura elevada, a sua longevidade e capacidade reprodutiva apresentou efeito negativo (AUAD et al., 2012). Esses autores relataram que esses parâmetros biológicos foram significativamente inferiores para os afídeos mantidos e alimentados de plantas crescidas em altos níveis de CO₂ (500 ppm), quando comparados àqueles mantidos em altos níveis de CO₂ e que se alimentaram de plantas crescidas em casa-de-vegetação (440 ppm) (Figura 3A). Além disso, a combinação de CO₂ e temperatura elevada reduziu significativamente a longevidade e capaci-

dade reprodutiva de *Sipha flava* (Figura 3B). Baseado nessa pesquisa, e desconsiderando uma possível adaptação desse afídeo às novas condições climáticas, é provável que a população de *Sipha flava* decresça nas condições climáticas futuras, em que se espera um aumento da concentração do nível de CO₂ e temperatura.

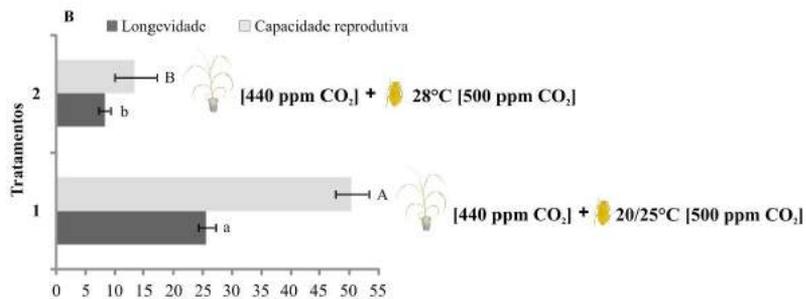
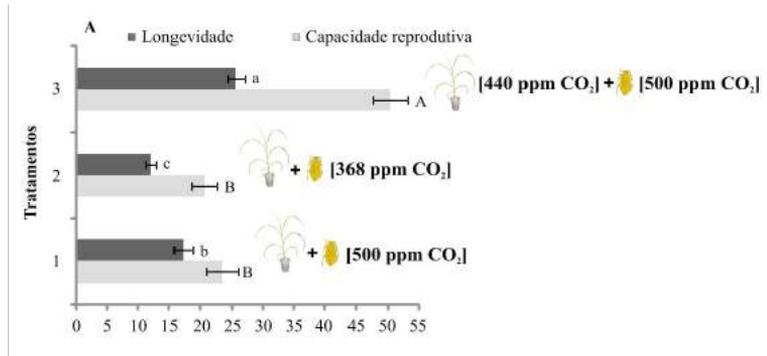


Figura 3. Performance individual de *Sipha flava*: longevidade e capacidade reprodutiva, quando submetidos aos tratamentos: (A) Tratamento 1- afídeo e forrageira mantidos em nível de CO₂ alto e constante (500 ppm); Tratamento 2- afídeo e forrageira mantidos em nível de CO₂ oscilante (368 ppm); Tratamento 3- Afídeo mantido em nível de CO₂ alto e constante (500 ppm) e alimentados de forrageiras mantidas em casa-de-vegetação (440 ppm). (B) – Ambos os Tratamentos 1 e 2 a forrageira foi crescida em casa-de-vegetação (média de CO₂ = 440 ppm). No Tratamento 1, os afídeos foram mantidos em nível de CO₂ alto e constante (500 ppm) e temperatura 25°C ± 2°C (diurna) e 20°C ± 2°C (noturna); no Tratamento 2, os afídeos foram mantidos em nível de CO₂ alto e constante (500 ppm) e temperatura alta constante de 28°C ± 2°C. Médias seguidas de mesma letra não diferiram significativamente pelo teste Tukey (P<0,05)

Fonte: Auad et al. (2012).

O crescimento das plantas em altos níveis de CO_2 implica em uma variedade de efeitos secundários na fisiologia e na composição química das plantas (TAUB, 2010) e, segundo Chen et al. (2005), crescentes níveis de CO_2 podem afetar o comportamento de forrageamento de insetos herbívoros devido às alterações nas taxas de C:N das plantas hospedeiras. Variações nas emissões de voláteis têm sido registradas em elevadas concentrações de CO_2 , dependendo da planta (O'NEILL et al., 2010; VUORINEN et al., 2004). Recentemente, Fonseca et al. (2014) constataram em olfâmetro em Y que *Sipha flava* tiveram preferência significativa para plantas crescidas em câmaras com CO_2 a 500 ppm, quando comparada com ar, com plantas crescidas em casa-de-vegetação e com plantas crescidas em CO_2 oscilante. Houve preferência significativa também para plantas crescidas em CO_2 oscilante quando comparada com ar (Figura 4). Apesar da preferência olfativa do afídeo por plantas crescidas em CO_2 elevado, o desenvolvimento biológico e reprodutivo deles nestas plantas foi negativo (AUAD et al., 2012); no entanto, essa preferência poderá contribuir para adaptação do afídeo *Sipha flava* no cenário futuro.

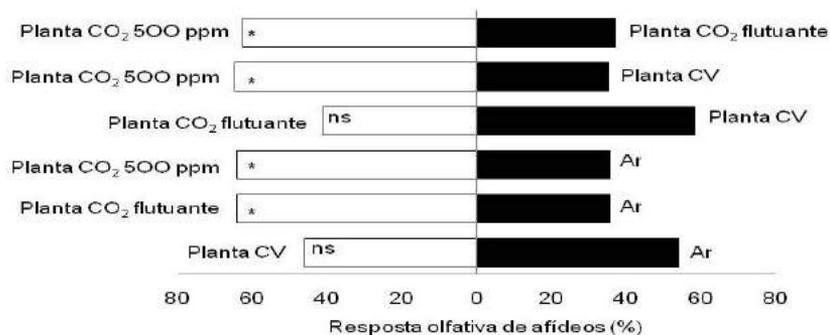


Figura 4. Respostas olfativas de *Sipha flava* para plantas de capim-elefante crescidas em câmara climática a 500 ppm, câmara climática com CO_2 oscilando (média de 368 ppm) e casa-de-vegetação (CV) (média de 440 ppm) em olfâmetro em Y. * $P < 0,05$ pelo teste Qui-quadrado; ns – não significativo

Fonte: Fonseca et al. (2014).

O CO₂ e temperatura podem também ter efeito no terceiro nível trófico. Anualmente, os predadores *Diomus seminulus*, *Chrysoperla externa* e *Harmonia axyridis* são observados alimentando-se de *Sipha flava* em gramíneas forrageiras cultivadas em casa-de-vegetação (OCORRÊNCIA..., 2009), e *Cycloneda sanguinea* foi encontrado alimentando-se de outros afídeos de forrageiras no campo, sugerindo serem inimigos naturais com grande potencial no controle biológico dos afídeos. Em pesquisa realizada por Oliveira et al. (2010) em um sistema tritrófico composto por capim-elefante, *Sipha flava* e *Chrysoperla externa* submetidos a diferentes temperaturas (12°C, 16°C, 20°C, 24°C, 28°C e 32°C), foi verificado que esse predador completou seu ciclo biológico na faixa de 16°C a 28°C e que a temperatura de 32°C foi nociva ao inseto.

Além disso, podem ocorrer alterações nos compostos químicos das plantas de forma a alterar o forrageamento dos inimigos naturais. Chen et al. (2005) forneceram a primeira evidência empírica de que mudanças no inseto-presa criado em plantas hospedeiras cultivadas em altos níveis de CO₂ podem alterar a preferência alimentar do inimigo natural. Fonseca et al. (2014) constataram que o predador *Diomus seminulus* demonstrou preferência significativa para plantas de capim-elefante crescidas em câmaras com CO₂ elevado (500 ppm) infestadas com *Sipha flava*, quando comparado com plantas não infestadas. Esse resultado sugere que o comportamento de busca desse coccinelídeo por sua presa não é afetado pela planta crescida em CO₂ elevado, sendo um inimigo natural em potencial do afídeo *Sipha flava* em altos níveis de CO₂. Já *Cycloneda sanguinea* não apresentou preferência significativa para as plantas crescidas em CO₂ e infestadas com *Sipha flava*.

Com as pesquisas realizadas da interação insetos x plantas e mudanças climáticas foi possível definir mapas de riscos para os diferentes biomas do Brasil para *Sipha flava* (Figura 5) e o predador *Chrysoperla externa* (Figura 6) (HOTT et al., 2011).

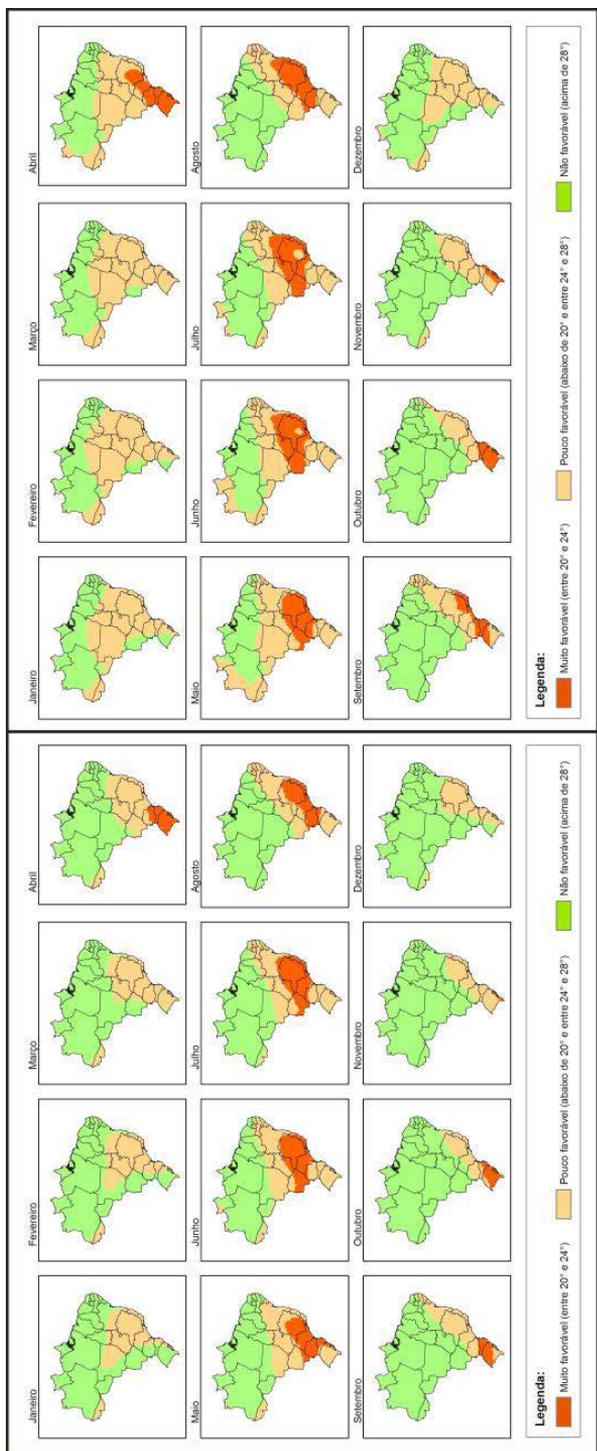


Figura 5. Cenários mensais para 2080 em A2 (cenário de altas emissões - Pessimista) e B2 (cenário de baixas emissões - Otimista) para *Spha flava*.
 Fonte: Hott et al. (2011).

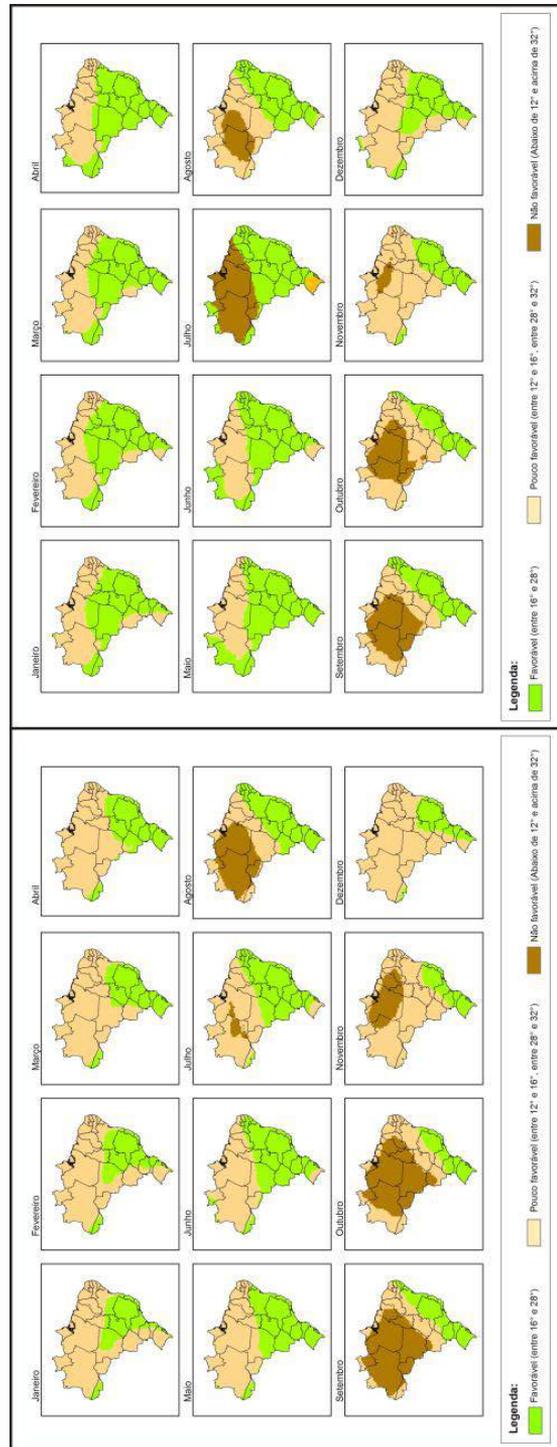


Figura 6. Cenários mensais para 2080 em A2 (cenário de altas emissões - Pessimista) e B2 (cenário de baixas emissões - Otimista) para *Chrysoperla externa*.
Fonte: Hott et al. (2011).

Rhopalosiphum padi

Essa espécie é amplamente distribuída nas regiões tropicais e subtropicais (BLACKMAN; EASTOP, 2000), afetando diversas culturas de importância econômica, como o sorgo, milho, cana-de-açúcar, aveia, centeio e cevada (JAUSET et al., 1998; ROBINSON, 1992) e servindo como vetor de vírus para gramíneas (HUTCHINSON; BALE, 1994). Apesar de ser considerada praga ocasional em braquiária, em níveis populacionais elevados pode reduzir consideravelmente a quantidade e qualidade da forragem (AUAD et al., 2009b).

De acordo com Auad et al. (2009a), as maiores taxas líquidas de reprodução do *Rhopalosiphum padi* (R_0) foram verificadas a 24°C e 28°C e a capacidade inata de aumentar em número (r_m) foi maior a 28°C. O intervalo de tempo entre cada geração (T) diminuiu com o aumento da temperatura, sendo de 21,9 e 4,08 dias a 12°C e 28°C, respectivamente. Nas condições atuais, surtos populacionais desse afídeo poderão ocorrer em regiões com temperaturas elevadas; o mesmo é previsto nos cenários climáticos futuros. Como consequência, os métodos de controle deverão acompanhar essa nova realidade.

Para o controle biológico desse afídeo, Auad et al. (2014) constataram que a temperatura entre 24°C e 28°C foram favoráveis ao desenvolvimento do predador *Harmonia axyridis* alimentados dessa presa. Já na temperatura de 32°C, esses autores constataram que 70% dos indivíduos não atingiram a fase adulta. Outro predador de *Rhopalosiphum padi* estudado por Auad et al. (2014) foi o *Chrysoperla externa*, que apresentou redução na duração com incremento da temperatura de 12 a 20°C para todos os instares larvais e estágio larval total. Além disso, verificaram que o predador completou o estágio larval total nas temperaturas entre 12 e 32°C, o que sugere melhor adaptação deste predador no cenário climático futuro.

Percevejos

Dentre os insetos fitófagos que se alimentam de gramíneas, tem-se notado considerável ocorrência dos insetos do gênero *Collaria*, os quais pertencem à ordem Hemiptera e à família Miridae. Algumas espécies são pragas e têm ampla distribuição geográfica no Brasil, Colômbia, Equador, Peru, Venezuela, Paraguai, Argentina, Uruguai, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Panamá, México e Estados Unidos (CARVALHO et al., 1981). Eles possuem vasta gama de hospedeiros de importância econômica tais como arroz, trigo, milho e diferentes forrageiras (KALVELAGE, 1987; MENEZES, 1990; VARGAS; PEDROSO, 1980). As injúrias desses percevejos vêm sendo observadas com frequência em pastagens de braquiária, capim-elefante e cynodon, limitando seu cultivo. No entanto, produtores e técnicos ainda não associaram essas injúrias ao agente causador.

Esses insetos causam injúrias nas folhas em forma de estrias esbranquiçadas, que acarretam diminuição na taxa fotossintética (AUAD et al., 2011). Em altas densidades populacionais, esse percevejo pode induzir à morte da parte aérea das plantas, causar redução do teor de matéria seca e da qualidade da forrageira. As maiores incidências coincidem com os meses de inverno, quando a temperatura está entre 14°C e 26°C (MENEZES, 1990).

Estudos realizados por Rodríguez (2011) atribuíram às mudanças climáticas a causa do aumento populacional do percevejo *Collaria scenica* na Colômbia. O autor desenvolveu um sistema de alertas agroclimáticos para esse percevejo em pastagens na savana de Bogotá. As estimativas elaboradas mostraram um aumento na população desse inseto em relação à situação atual para o ano de 2030, indicando uma adaptação da praga às mudanças de temperatura.

Para o percevejo *Collaria oleosa*, Silva (2016) registrou efeito da elevação do CO₂ na duração e sobrevivência desse percevejo. Considerando que a maior duração e menor sobrevivência induzirão à redução de número de gerações e número de indivíduos, ressalta-se que a resistência da espécie forrageira *Brachiaria brizantha* se manterá no cenário climático futuro; da mesma forma os genótipos de *Brachiaria ruziziensis* avaliados demonstraram ser resistentes na condição atual e futura, sendo indicados em regiões com o problema de *C. oleosa*.

Outra espécie de percevejo associada às forrageiras é *Blissus* sp., cujas ninfas iniciam a sucção da seiva logo após a eclosão dos ovos. No Brasil, *Blissus antillus* ocorrem em níveis mais elevados nos meses de outubro e novembro. A forma adulta desse inseto possui uma fase de resistência a baixas temperaturas, que no período frio entra em hibernação e só entra novamente em atividade quando a temperatura ultrapassa 20°C durante várias horas do dia. O desenvolvimento da fase de ovo até a emergência do adulto ocorre em aproximadamente 90 dias, com durações do período embrionário, primeiro, segundo, terceiro, quarto e quinto ínstar de 20; 21,5; 9,5; 9,5; 11,5 e 18 dias, respectivamente (VALÉRIO, 2000).

Na parte subterrânea, os percevejos-castanhos *Scaptocoris castanea* e *Scaptocoris carvalhoi* estão presentes na maioria dos estados, e seus danos são provocados pelas ninfas e adultos devido à sucção da seiva das raízes (OLIVEIRA et al., 2000). No atual cenário climático, adultos e ninfas de *Scaptocoris carvalhoi* são encontrados no solo durante todo o ano. O sintoma inicial de ataque dos percevejos-castanhos é o aparecimento de reboleiras ou manchas formadas por plantas secas, podendo atingir vários hectares e causar danos severos a diversas gramíneas forrageiras (SOUSA, 2002; VALÉRIO, 2006). Quando em altas populações, causa a morte das touceiras da gramínea forrageira, originando reboleiras que serão ocupadas por plantas invasoras.

Nos últimos anos, tem havido um grande interesse por informações relacionadas aos percevejos que atacam as forrageiras, pois a literatura é ainda escassa em relação a dados biológicos, o que torna inviável fazer previsões futuras da dinâmica populacional desses em função do aquecimento global.

Lagartas desfolhadoras

A literatura menciona as espécies *Mocis latipes* e *Spodoptera frugiperda* como importantes desfolhadoras das forrageiras (VALÉRIO, 2005). A falta de informações básicas sobre esses insetos, em pastagens, tem limitado a recomendação de táticas e estratégias de controle.

A duração do período larval de *Mocis latipes* é de 25 dias e pupal de 14 dias (VALÉRIO, 2005). Apesar de *Spodoptera frugiperda* ser praga secundária em pastagens, o ataque desse inseto em forrageiras vem sendo relatado constantemente pelo produtor. De modo geral, a faixa de temperatura para o desenvolvimento e atividade dessa espécie situa-se entre 15°C e 38°C. Dentro dessa amplitude, a temperatura influencia, entre outros fatores, a velocidade de desenvolvimento, que é maior em condições mais elevadas. A temperatura mais favorável para o desenvolvimento de *Spodoptera frugiperda* é 25°C. Afonso et al. (2008), ao realizar o zoneamento ecológico de *Spodoptera frugiperda* para a cultura do milho, verificaram que esse inseto pode atingir de 2 a 8 gerações ao ano nas condições térmicas do Rio Grande do Sul, e, com aumentos de 1°C, 3°C e 5,8°C, *Spodoptera frugiperda* pode atingir de 3 a 8, 6 a 10 e 8 a 13 gerações ao ano, respectivamente. A faixa favorável de temperatura e níveis de CO₂ em forrageiras ainda não foram pesquisadas, o que impede que sejam realizadas previsões sobre esses insetos no cenário futuro.

Cochonilha

A *Antonina graminis* vive quase que exclusivamente em gramíneas. É um inseto sugador de seiva que pode ser encontrado nos perfilhos do capim, junto aos nós sob as bainhas das folhas próximas das gemas, provocando o secamento do capim, que se manifesta principalmente em reboleiras.

O ciclo biológico é de 60 a 70 dias, havendo cinco gerações anuais (FONSECA, 1967). Segundo Silveira Neto (1976), essa cochonilha desenvolve-se melhor entre 24°C e 29°C. Com o aquecimento global, espera-se aumento da taxa metabólica do inseto e, conseqüentemente, maior número de gerações; porém, prever como os parâmetros biológicos serão afetados não é possível, devido aos poucos estudos básicos que envolvem a interferência térmica sobre esse inseto.

Outros herbívoros

Insetos como cupins, formigas cortadeiras, gafanhotos e larvas de escarabeídeos são daninhos às pastagens; no entanto, estudos referentes às mudanças climáticas são inexistentes. Ressalta-se a necessidade de estudos com esse grupo, uma vez que são insetos que, quando submetidos às condições climáticas favoráveis, tornam-se pragas, a exemplo do gafanhoto e das larvas de escarabeídeo, que alcançam explosões populacionais em regiões localizadas que apresentam condições bióticas e abióticas favoráveis. Sendo assim, é importante conhecer o comportamento desses insetos no cenário climático atual, a fim de obter subsídios para realizar estimativas futuras, prevendo o aquecimento global.

Considerações finais

Com base no que foi apresentado, fica claro que o aquecimento global terá efeitos sobre a entomofauna presente nas forrageiras. Porém, até o momento, não podem ser formados cenários, os quais ajudariam na tomada de decisão, pois mais estudos são necessários para investigar melhor as respostas dos insetos às mudanças climáticas globais.

No Brasil, a economia é dependente de recursos naturais, tornando evidente a necessidade de estudar a influência das alterações climáticas nas plantas e nos insetos-praga. Dado o impacto causado pelos herbívoros às forrageiras, é importante entender como as mudanças globais poderão influenciar a sua ecologia e, assim, avaliar se o aquecimento global poderá levar a uma melhor adaptação ou não dos insetos que são atualmente pragas.

Considerando que a entomofauna das pastagens é vasta e desconhecida, a mesma importância deve ser dada àqueles que atualmente não têm ocasionado problemas nas pastagens, visto que as mudanças climáticas globais poderão causar alterações no atual cenário da entomofauna, promovendo impactos econômicos, sociais e ambientais. Caso os efeitos das variáveis climáticas futuras sejam favoráveis aos herbívoros, será então necessária a adequação do manejo integrado de pragas de forma adequada à nova situação. Atualmente, o principal método de controle de insetos é o uso de plantas resistentes, assim a seleção de forrageiras para os cenários futuros deve ser realizada em função da manutenção dos padrões de resistência das forrageiras atuais aos insetos, além de resistência a altas temperaturas.

Sendo assim, existe um grande desafio ante as mudanças climáticas para a entomofauna geral das forrageiras, na busca de estratégias para enfrentar as alterações ecológicas dos insetos.

Referências

- AFONSO, A. P. S.; NAVA, D. E.; MARTINS, J. F. S.; WREGGE, M. S.; DIEZ-RODRIGUEZ, G. I. **Zoneamento ecológico de *Spodoptera frugiperda*, *Anastrepha fraterculus* e *Grapholita molesta* para o Rio Grande do Sul e sua relação com as mudanças climáticas globais.** Pelotas: EMBRAPA-CPACT, 2008. 23 p. (EMBRAPA-CPACT. Documentos, 252).
- AGRAWAL, A. A. Induced responses to herbivory and increased plant performance. **Science**, v. 279, n. 5354, p. 1201-1202, 1998.
- ALMEIDA, J. E. M.; BATISTA FILHO, A.; SANTOS, A. S. Avaliação do controle biológico de *Mahanarva fimbriolata* (Hemiptera: Cercopidae) com o fungo *Metarhizium anisopliae* em variedades de cana-de-açúcar e diferentes épocas de corte. **Arquivos do Instituto Biológico**. v. 70, n. 1, p. 101-103, 2003.
- AMEIXA, O. M. C. C. Aphids in a changing world. In: KINDLMANN, P; DIXON, A. F. G.; MCHAUD, J. P (Eds.). **Aphid Biodiversity under Environmental Change**. London: Spring, 2010. p. 21-40.
- AUAD A. M.; ALVES, S. O.; CARVALHO, C. A.; SILVA, D. M.; RESENDE, T. T.; VERÍSSIMO, B. A. The impact of temperature on biological aspects and life table of *Rhopalosiphum padi* (Hemiptera: Aphididae) fed with signal grass. **Florida Entomologist**, v. 92, n. 4, p. 569-577, 2009a.
- AUAD, A. M.; CARVALHO, C. A.; RESENDE, T. T. Impacto da temperatura no período embrionário de *Mahanarva spectabilis* (Distant, 1909) e *Deois schach* (Fabricius, 1787) (Hemiptera: Cercopidae). In: CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, 9., 2009, São Lorenzo, MG. **Anais...** São Paulo: SEB, 2009b.
- AUAD, A. M.; FONSECA, M. G.; RESENDE, T. T.; MADDALENA, I. S. C. P. Effect of climate change on longevity and reproduction of *Sipha flava* (Hemiptera: Aphididae). **The Florida Entomologist**, v. 95, n. 2, p. 433-444, 2012.
- AUAD, A. M.; PIMENTA, D. S.; SILVA, D. M.; MONTEIRO, P. H.; RESENDE, T. T. *Collaria oleosa* (Hemiptera: Miridae) on *Brachiaria ruziziensis* and *Penisetum purpureum* (Poaceae): characterization of injury and biological aspects. **Revista Colombiana de Entomología**, v. 37, n. 2, p. 244-248, 2011.
- AUAD, A. M.; SANTOS, J. C.; FONSECA, M. G. Effects of temperature on development and survival of *Harmonia axyridis* (Coleoptera: coccinellidae) and *Chrysoperla externa* (Neuroptera: chrysopidae) fed on *Rhopalosiphum padi* (Hemiptera: aphididae). **Florida Entomologist**, v. 97, n. 4, p. 1353-1363, 2014.

AUAD, A. M.; SIMÕES, A. D.; PEREIRA, A. V.; BRAGA, A. L. F.; SOUZA SOBRINHO, F.; LÉDO, J. F DA SILVA; OLIVEIRA, S. A.; FERREIRA, R. B. Seleção de genótipos de capim-elefante quanto a resistência à cigarrinha-das-pastagens. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 8, p. 1077-1081, 2007.

BARRO, P. J. de; MAELZER, D. A.; WALLWORK, H. The role of refuge areas in the phenology of *Rhopalosiphum padi* in the low rainfall wheat belt of South Australia. **Annals of Applied Biology**, v. 121, n. 3, p. 521-535, 1992.

BATISTA, E. S. P.; AUAD, A. M. Application methods of entomopathogenic nematodes for control of *Mahanarva spectabilis* (Hemiptera: Cercopidae). **Biocontrol Science and Technology**, v. 20, n. 10, p. 1079-1085, 2010.

BLACKMAN, R. L.; EASTOP, V. F. **Aphids on the world's crops: an identification and information guide**. 2nd ed. Chichester: Wiley, 2000. 466 p.

CALDERÓN, M.; ARANGO, G.; VARELA, F. **Cercopídeos plagas de los pastos em América Tropical biología y control**: guia de estudio para ser usada como complemento de la unidad audiotutorial sobre el tema. Cali: Ciat, 1982. 51 p.

CARVALHO, J.; FONTES, A. Míridos neotropicais, CCXXV: revisão do genero *Collaria provancher* no continente Americano (Hemiptera). **Experientiae**, v. 27, n. 2, p. 11-46, 1981.

CHEN, F. J.; FENG, G. E.; SU, J. W. An improved open-top chamber for research on the effects of elevated CO₂ on agricultural pests in the field. **Chinese Journal Ecology**, v. 24, n. 5, p. 585-590, 2005.

CIVIDANES, F. J. **Uso de graus-dia em entomologia**: com particular referência ao controle de percevejos pragas da soja. Jaboticabal: Funep, 2000. 31 p.

FERREIRA, R. B.; MORAES, J. C.; AUAD, A. M.; FONSECA, M. G. Interaction of spittlebug and forage grass under different carbon dioxide concentrations. **Journal of Pest Science**, v. 86, n. 2, p. 161-166, 2013.

FONSECA, J. P. Uma cochonilha de capim recentemente introduzida no Brasil. **O biológico**, v. 33, n. 3, p. 57-61, 1967.

FONSECA, M. G.; SANTOS, D. R.; AUAD, A. M. Impact of different carbon dioxide concentrations in the olfactory response of *Sipha flava* (Hemiptera: Aphididae) and its Predators. **Journal Insect of Behaviour**, v. 27, n. 6, p. 722-728, 2014.

FONSECA, M. G.; AUAD, A. M.; RESENDE, T. T.; HOTT, M. C.; BORGES, C.A.V. How will *Mahanarva spectabilis* (Hemiptera: Cercopidae) respond to global warming? **Journal of Insect Science**, v. 16, n. 1, p. 1-6, 2016.

GARCIA, J. F. **Bioecologia e manejo da cigarrinha das raízes, *Mahanarva fimbriolata* (Stal, 1854) (Hemiptera: Cercopidae), em cana-de-açúcar**, 2006, 99 f. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

GARCIA, J. F.; BOTELHO, P. S. M.; PARRA, J. R. P. Biology and fertility life table of *Mahanarva fimbriolata* (Stal) (Hemiptera: Cercopidae) in sugarcane. **Scientia Agrícola**, v. 63, n. 4, p. 317-320, 2006.

GOULD, F. Sustainability of transgenic insecticidal cultivars: Integrating pest genetics and ecology. **Annual Review Entomology**, v. 43, p. 701-726, 1998.

HANCE, T.; BAAREN, J. van; VERNON, P.; BOIVIN, G. Impact of temperature extremes on parasitoids in a climate change perspective. **Annual Review of Entomology** v. 52, p.107-126, 2007.

HOLMANN, F.; PECK, D. Economic damage caused by spittlebugs (Homoptera: Cercopidae) in Colombia: a first approximation of impact on animal production in *Brachiaria decumbens* pastures. **Neotropical Entomology**, v. 31, n. 2, p. 275-284, 2002.

HOTT, M. C.; FONSECA, L. D. A. M.; AUAD, A. M.; HAMADA, E.; RESENDE, J. C. Cenário futuro de temperatura para a distribuição geográfica do *Chrysoperla externa* inseto benéfico para as pastagens no Brasil. In: REUNIÓN DE LA ASOCIACION LATINOAMERICANA DE PRODUCCIÓN ANIMAL, 22., 2011, Montevideo. **Memórias...** Montevideo: ALPA, 2011.

HUGHES, L. Biological consequences of global warming: Is the signal already apparent? **Trends Ecology Evolution**, v. 15, n. 1, p. 56-61, 2000.

HUTCHINSON, L. A.; BALE, J. S. Effects of sublethal cold stress on the aphid *Rhopalosiphum padi*. **Journal of Applied Ecology**, v. 31, n. 1, p. 102-108, 1994.

IBGE. **Pesquisa Pecuária Municipal (1974-2009)**. Brasília, DF, 2011. Disponível em <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/listabl.asp?c=73&z=p&o=23>>. Acesso em: 30 ago. 2012.

JAUSET, A. M.; MUÑOZ, M. P.; PONS, X. Karyotypes of *Rhopalosiphum maidis* (Fitch) in the Lleida Basin. **Integrated Control in Cereal Crops**, v. 21, n. 8, p. 15-20, 1998.

KALVELAGE, H. 1987. *Collaria scenica* (STAL, 1859) (HEMIPTERA MIRIDAE): praga de gramíneas forrageiras na região do Planalto Catarinense, Brasil. 1987. pp. 221-222.

KINDLER, S. D.; DARLRYMPLE, R. L. Relative susceptibility of cereals and pasture grasses to the yellow sugarcane aphid (Homoptera: Aphididae). **Journal of Agricultural and Urban Entomology**, v. 16, n. 2, p. 113-122, 1999.

MACEDO, M. C. M. Aspectos edáficos relacionados com a produção de *Brachiaria brizantha* cultivar Marandu. In: BARBOSA, R. A. (Ed.). **Morte de pastos de braquiárias**. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2006. p. 35-65.

MAIA, W. J. M. S.; CARVALHO, C. F.; CRUZ, I.; SOUZA, B.; MAIA, T. J. A. Capacidade predatória e aspectos biológicos de *Chrysoperla externa* (Hagen, 1861) (Neuroptera: Chrysopidae) alimentada com *Rhopalosiphum maidis* (Fitch, 1856) (Hemiptera:Aphididae). **Ciência Agrotecnologia**, v. 28, n. 6, p. 1259-1268, 2004.

MENEZES, M. *Collaria oleosa* (Distant, 1883) (Hemiptera: Miridae), nova praga de gramíneas forrageiras no sudeste da Bahia, Brasil. **Agrotropica**, v. 2, n. 2, p. 113-118, 1990.

NÄÄS, I. A.; ROMANINI, C. E. B.; SALGADO, D. D.; LIMA, K. A. O.; VALE, M. M.; LABIGALINI, M. R.; SOUZA, S. R. L.; MENEZES, A. G.; MOURA, D. J. Impact of global warming on beef cattle production cost in Brazil. **Scientia Agricola**, v. 67, n. 1, p.1-8, 2010.

OCORRÊNCIA de afídeos (Hemiptera: Aphididae) e seus inimigos naturais em forrageiras cultivadas em casa-de-vegetação. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2009. 1 Folder.

O'NEILL, B. F.; ZANGERL, A. R.; DELUCIA, E. H.; BERENBAUM, M. R. Olfactory preferences of *Popillia japonica*, *Vanessa cardui*, and *Aphis glycines* for *Glycine max* grown under elevated CO₂. **Environmental Entomology**, v. 39, n. 4, p. 1291-1301, 2010.

OLIVEIRA, S. A.; AUAD, A. M.; SOUZA, B.; SILVA, D. M.; CARVALHO, C. A. Effect of temperature on the interaction between *Chrysoperla externa* (Neuroptera: chrysopidae) and *Sipha flava* (Hemiptera: aphididae). **European Journal of Entomology**, v. 107, n. 2, p. 183-188, 2010.

OLIVEIRA, S. A.; AUAD, A. M.; SOUZA, B.; SOUZA, L. S.; AMARAL, R. L.; SILVA, D. M. Tabela de esperança de vida e de fertilidade de *Sipha flava* (Forbes) (Hemiptera, Aphididae) alimentado com capim-elefante em diferentes temperaturas. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 53, n. 4, p. 614-619, 2009a.

OLIVEIRA, L. J.; MALAGUIDO, A. B.; NUNES JÚNIOR, J.; CORSO, I. C.; DE ANGELIS, S.; FARIAS, L. C.; HOFFMANN-CAMPO, C. B.; LANTMANN A. F. **Percevejo castanho da raiz em sistemas de produção de soja**. Londrina, Embrapa Soja, 2000. 44 p. (Embrapa Soja. Circular Técnica, 28).

OLIVEIRA, S. A.; SOUZA, B.; AUAD, A. M.; SILVA, D. M.; CARVALHO, C. A. Desenvolvimento e Reprodução de *Sipha flava* (Forbes) (Hemiptera: Aphididae) em diferentes temperaturas. **Neotropical Entomology**, v. 38, n. 3, p. 311-316, 2009b.

PACHECO, M. R. P. S.; HELENE, M. E. M. Atmosfera, fluxos de carbono e fertilização por CO₂. **Estudos Avançados**, v. 4, n. 9, p. 204-220, 1990.

PEREIRA, M. F. A.; BENEDETTI, R. A. L.; ALMEIDA J. E. M. Eficiência de *Metarhizium anisopliae* (metsch.) Sorokin no controle de *Deois flavopicta* (stal., 1854), em pastagem de capim-braquiária (*Brachiaria decumbens*). **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 75, n. 4, p. 465-469, 2008.

PINTO, S. P.; ASSAD, E. D.; ZULLO JUNIOR, J.; ÁVILA, A. M. H. **Diretrizes para uma economia verde no Brasil: avanços tecnológicos para a agricultura familiar**. Rio de Janeiro: Fundação para o Desenvolvimento Sustentável, 2011. 40 p.

RAO, M. R.; SINGH, M. P.; DAY, R. Insect pest problems in tropical agroforestry systems: Contributory factors and strategies for management. **Agroforestry Systems**, v. 50, n. 3, p. 243-277, 2000.

ROBINSON, J. Modes of resistance in barley seedlings to six aphid (Homoptera: Aphididae) species. **Journal of Economic Entomology**, v. 85, n. 6, p. 2510-2515, 1992.

RODRÍGUEZ, A. **Desarrollo de un sistema de alertas agroclimáticas tempranas para la chinche de los pastos, *Collaria scenica*, en la sabana de Bogotá**. 2011. 153 p. Trabajo de grado (Maestría em ciencias) - Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

SALVADORI, J. R. Pragas da lavoura de trigo. In: CUNHA, G. R.; BACALTCHUK, B. (Org.). **Tecnologia para produzir trigo no Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Assembleia Legislativa do Rio Grande do Sul, Comissão de Agricultura, Pecuária e cooperativismo; Passo fundo: Embrapa Trigo, 2000. p. 267-287.

SALVADORI, J. R.; TONET, G. E. L. **Manejo integrado dos pulgões de trigo**. Passo Fundo: Embrapa-CNPT, 2001. (Embrapa Trigo. Documentos, 34).

SILVA, D. M. **Avaliação de genótipos de *Brachiaria ruziziensis* com e sem aplicação de silício e diferentes concentrações de CO₂ sobre *Collaria oleosa* (Hemiptera: miridae)**, 2016, 110 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

SILVEIRA NETO, S. Controle de insetos e outras pragas de pastagens. In: SIMPÓSIO SOBRE O MANEJO DE PRAGAS DE PASTAGENS, 3., Piracicaba, SP. **Anais...** Piracicaba: Fundação Cargill, 1976. p. 137-190.

SOLOMON, S.; QIN, D.; MANNING, M.; CHEN, Z.; MARQUIS, M.; AVERYT, K. B.; TIGNOR, M.; MILLER, H. L. (Ed.). **Climate Change 2007: the physical science basis**. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2007. 996 p.

SOUSA, C. R. **Composição populacional e mobilidade no solo do percevejo castanho *Atarsocoris brachiariae* (Hemiptera:Cydnidae)**, 2002. 26 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia.

TAUB, D. Effects of rising atmospheric concentrations of carbon dioxide on plants. **Nature Education Knowledge**, v. 3, n. 10, p. 21, 2010.

TEIXEIRA, V. M.; SÁ, L. A. N. Eficiência de *Metarhizium anisopliae* (metsch) sorokin no controle de cigarrinhas-das-pastagens (Hemiptera: Cercopidae) em *Brachiaria bryzantha* em Rondônia. **Revista Verde**, v. 5, n. 3, p. 263-273, 2010.

THOMPSON, V. Associative nitrogen fixation, C4 photosynthesis, and the evolution of spittlebugs (Hemiptera: Cercopidae) as major pests of neotropical sugarcane and forage grasses. **Bulletin of Entomological Research**, v. 94, n. 3, p. 189-200, 2004.

VALÉRIO, J. R. Considerações sobre a morte de pastagens de *Brachiaria brizantha* cultivar Marandu em alguns estados do centro e norte do Brasil - enfoque entomológico. In: BARBOSA, R. A. (Ed.). **Morte de pastos de braquiárias**. Campo Grande, MS: Embrapa Gado de Corte, 2006. p. 135-150.

VALÉRIO, J. R. Insetos-praga em pastagens tropicais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 26, p. 98-1010, 2005.

VALÉRIO, J. R. **Percevejo-das-gramíneas: *Blissus leucopterus* ou *Blissus antillus*?** Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2000. (Gado de Corte Divulga, 43).

VALÉRIO, J. R.; KOLLER, W. W. Proposição para o manejo integrado das cigarrinhas-das-pastagens. **Pasturas Tropicais**, v. 15, p. 10-16, 1993.

VALÉRIO, J. R.; NAKANO, O. Danos causados pelo adulto da cigarrinha *Zulia entreciana* na produção e qualidade de *Brachiaria decumbens*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 23, n. 5, p. 447-453, 1988.

VARGAS, J.; PEDROSO, B. *Collaria scenica*: outro percevejo encontrado no arroz. **Lavoura Arrozeira**, v. 33, n. 3, p. 1- 3, 1980.

VENDRAMIM, J.D. A resistência de plantas e o manejo de pragas. In: CROCOMO, W. B. (Ed.). **Manejo integrado de pragas**. São Paulo: Unesp, 1990. p. 177-197.

VUORINEN, T.; NERG, A. M.; IBRAHIM, M. A.; REDDY, G. V. P.; HOLOPAINEN, J. D. Emission on *Plutella xylostella*- Induced compounds from cabbages grown at elevated CO₂ and orientation behavior of the natural enemies. **Plant Physiology**, v. 135, n. 4, p. 1984-1992, 2004.

Impacto potencial das mudanças climáticas sobre a distribuição geográfica do curuquerê e do ácaro-vermelho-do-algodoeiro nas regiões Nordeste e Centro-Oeste e no Estado do Tocantins

Fábio Aquino de Albuquerque, Emília Hamada
e Juliana Oliveira dos Santos

Introdução

Os insetos estão entre os organismos que mais podem ser afetados pelas mudanças climáticas em virtude de o clima ter significativa influência sobre seu desenvolvimento, reprodução e sobrevivência (BALE et al., 2002). Esses artrópodes têm o tempo entre gerações curto e a taxa de reprodução elevada, podendo responder mais rapidamente às mudanças do clima do que outros organismos que têm ciclo de vida mais longo, como as plantas e os vertebrados. O aquecimento pode afetar potencialmente muitos aspectos da ecologia e do ciclo de vida dos insetos, especialmente aqueles diretamente controlados pela energia em forma de graus-dia (temperatura acumulada necessária para o desenvolvimento). Consequentemente, esses organismos podem responder a essas alterações climáticas por meio de mudanças na fenologia, seleção de habitat e da expansão ou redução da distribuição geográfica.

O desequilíbrio nutricional das plantas, que pode comprometer o desempenho dos insetos sobre elas; a alteração no comportamento dos insetos e o aumento médio da temperatura, principal fator abiótico condicionante da vida dos insetos, são os três principais fatores concorrentes para o efeito das mudanças climáticas sobre os insetos. O primeiro fator, o desequilíbrio nutricional das plantas, pode fazer com que os insetos se alimentem mais das plantas, reduzindo a área foliar e, conseqüentemente, diminuindo sua eficiência fotossintética. Se por um lado a maior concentração de CO₂ atmosférico pode favorecer a fotossíntese, até certos limites máximos, por outro pode favorecer a herbivoria. Vários autores observaram que o crescimento de plantas em ambiente com elevada concentração de CO₂ e O₃ altera a composição química das folhas, afetando assim a palatabilidade e a qualidade nutricional delas para os insetos desfolhadores (ALLEN et al., 1988; BEZEMER; JONES, 1998; LINCOLN et al., 1993; NORBY et al., 1999; REID; FISCUS, 1998; WHITTAKER, 1999). Plantas cultivadas em elevada concentração de CO₂ e O₃, frequentemente têm menor concentração de nitrogênio e proteína solúvel (COTRUFO et al., 1998; MULCHI et al., 1992), reduzindo assim a qualidade nutricional para os herbívoros. Hamilton et al. (2005), estudando o efeito do aumento de CO₂ sobre plantas de soja, observaram que a maior concentração de açúcares no tecido foliar incrementou o número de *Popillia japonica* (Coleoptera: Scarabaeidae) em 31%. Esse incremento deveu-se principalmente à maior necessidade de consumo foliar em razão do desequilíbrio na relação C/N.

A segunda interferência provocada pelas mudanças climáticas é a alteração no comportamento dos insetos, principalmente na orientação para o acasalamento, nas comunicações intra e interespecífica e na localização para oviposição, dentre outras. Guerenstein e Hildebrand (2008) apontaram os principais efeitos do incremento de CO₂ e, conseqüentemente, da temperatura sobre os insetos

e destacaram que algumas espécies de Lepidoptera (mariposas e borboletas) podem perder a orientação para o acasalamento e também para os locais preferenciais de oviposição. Esse tipo de interferência pode comprometer a polinização de espécies florestais, pois muitas espécies dessa ordem são responsáveis pela polinização de plantas.

Finalmente, o aumento médio da temperatura, principal fator abiótico condicionante da vida dos insetos, pois são animais ecotérmicos, ou seja, se ajustam termicamente às condições ambientais. Dentre os fatores abióticos, a temperatura é a que mais influencia o desempenho dos insetos, podendo provocar alterações na duração das fases imaturas, encurtando ou alongando os ciclos biológicos. Isso tem implicações diretas no manejo dos insetos-praga, pois em situações que se têm uma ou duas gerações por ano de determinada praga, um incremento da temperatura proporcionará mais gerações e, conseqüentemente, mais insetos a serem controlados, aumentando os custos do controle e do manejo da cultura.

Em países de clima tropical, como o Brasil, essas alterações na temperatura podem contribuir ainda mais para o incremento dos problemas causados pelos insetos. Basicamente, a temperatura determina qual o nível mais baixo e o mais elevado (temperaturas-base) cujo intervalo é viável ao desenvolvimento do inseto. Mas, é a temperatura acumulada durante um determinado período de tempo (graus-dia) que determina quantas gerações daquele inseto haverá por ano. No clima tropical, é comum haver pragas multivoltinas, aquelas com mais de uma geração por ano. Para as principais espécies cultivadas (soja, milho e algodão) há algo em torno de 40 espécies de insetos causadores de danos econômicos, muitas das quais podem se hospedar em mais de uma cultura.

Uma extensa revisão sobre os efeitos da temperatura sobre insetos foi apresentada por Bale et al. (2002). Nesse trabalho, os autores

exploram os efeitos potenciais da temperatura sobre os insetos herbívoros. Assim, consideram que efeitos diretos da temperatura sobre os insetos diferem entre espécies, dependendo do ambiente e do tipo de vida e sua habilidade em se adaptar. Espécies polípagas que ocupam diferentes habitats em diferentes latitudes e altitudes e possuem elevada plasticidade genotípica e fenotípica, serão menos afetadas pelas mudanças do clima. Contudo, as diversas interações que podem ocorrer não permitem afirmar categoricamente se o incremento na temperatura favorecerá ou não os insetos de uma maneira geral. Dessa forma, os casos devem ser avaliados individualmente e os resultados para uma determinada espécie não poderão ser extrapolados para outras.

No Brasil, os estudos de temperatura sobre insetos são clássicos e bastante conhecidos. Normalmente, esses estudos foram realizados em condições controladas, em câmaras climatizadas, onde a única variável é a temperatura. Considerando apenas essa variável, tem-se que, com o incremento dos valores médios da temperatura haverá mais graus-dia disponíveis para os insetos e, com isso, ocorrerá tendência de encurtamento de ciclo fenológico, de incremento da distribuição para outras áreas e, provavelmente, de novas fontes de alimento para explorar. Obviamente que o incremento médio da temperatura será vantajoso para os insetos até certo limite superior, a partir do qual terá efeito deletério.

Os custos de controle de pragas no algodoeiro situam-se em torno de 25% do custo total de produção (BELOT et al., 2016), como pode ser observado na Tabela 1, para lagartas, bicudo e ácaros. Considerando que o incremento maior entre as pragas ocorreu no custo do controle para os ácaros, é possível ter havido maior quantidade ou intensidade de veranicos no período analisado, fato que pode ser agravado, caso as previsões das mudanças climáticas se confirmem no futuro.

Tabela 1. Número de pulverizações e custo de controle das pragas (por grupos) na cultura do algodoeiro. Safras 2012/2013 e 2013/2014.

Praga	Número de pulverizações		Custo de controle (%)	
	2012/2013	2013/2014	2012/2013	2013/2014
Lagartas	11	4	45	7
Bicudo	17	20	29,3	35
Ácaros	2	4	5,2	22

Fonte: Belot et al. (2016).

Espacialização geográfica de pragas do algodoeiro

O algodoeiro atrai e hospeda um complexo significativo de pragas, as quais atacam as raízes, caule, folhas, botões florais, maçãs e capulhos (fibra e sementes) (PEREIRA et al., 2006). A intensidade da injúria será diretamente proporcional às densidades populacionais e/ou ao período de tempo de ocorrência dos insetos e ácaros na cultura (SANTOS, 1998).

Neste capítulo serão avaliadas duas pragas do algodoeiro, o curuquerê-do-algodoeiro e o ácaro-vermelho-do-algodoeiro. A escolha dessas pragas deveu-se a dois aspectos: o primeiro, a importância como praga-chave e, o segundo, a possibilidade de surtos populacionais de pragas secundárias.

Os mapas foram elaborados utilizando o Sistema de Informações Geográficas (SIG) Idrisi 32, software desenvolvido pela Universidade de Clark, EUA, tendo como área de estudo as regiões Nordeste, Centro-Oeste e o Estado do Tocantins, por serem grandes áreas produtoras de algodão na atualidade, no Brasil.

Curuquerê-do-algodoeiro (*Alabama argillacea* Hübner)

Conforme descrito por Pereira et al. (2006) e transcrito a seguir:

“A mariposa do curuquerê apresenta hábito noturno, mede cerca de 30 mm de envergadura, possui cor marrom-palha e apresenta duas manchas circulares escuras na parte central das asas anteriores. Os ovos são muito pequenos, de coloração azul-esverdeada, quando recém-colocados, tornando-se transparente à medida que se aproximam da eclosão. Apresentam formato circular e são achatados, sendo depositados isoladamente, tanto na face superior quanto na face inferior da folha do algodoeiro. A lagarta pode medir até 40 mm de comprimento, com coloração variando do verde-amarelado ao verde-escuro. Apresenta a cabeça amarelada com pontuações pretas e listras longitudinais ao longo do corpo. Quando o nível populacional aumenta, as lagartas se tornam enegrecidas. Locomove-se como “mede-palmo”, saltando quando tocada. Ao final da fase larval, a lagarta enrola a folha onde se encontra e tece uma espécie de casulo, passando todo o período pupal no seu interior. A pupa tem formato reniforme e cor castanho-escura (BLEICHER et al., 1981; DEGRANDE, 1998; LUKEFAHR et al., 1984; ZUCCHI et al., 1993). Kasten Junior (1980), estudando a biologia desta praga, observou uma variação da fase larval de 17,6 a 9 dias para as temperaturas de 20°C e 35°C, respectivamente. De acordo com o autor, o número de instares é variável com a temperatura, apresentando seis instares a 20°C e 25°C e cinco instares a 30°C e 35°C. Verificou ainda que a temperatura ideal, para o desenvolvimento das lagartas de *Alabama argillacea*, foi 30°C, apresentando uma viabilidade média de 96,25%. A 25°C, a fase de pré-pupa durou apenas um dia, com uma viabilidade de 98,63%. Para a fase pupal, a temperatura de 30°C foi considerada ideal, pois possibilitou a redução do período de desenvolvimento; o mesmo foi constatado para a temperatura de 35°C. Todavia, a viabilidade da fase pupal a 30°C (94,9%) foi superior à obtida à 35°C (64,8%). A razão sexual média foi 0,565 e 0,567 a 25°C e 30°C, respectivamente. A longevidade variou entre 23,1 dias (20°C) e 2,4 dias (35°C); nas temperaturas de 25°C e 30°C a longevidade foi de 13,6 a 7,9 dias, respectivamente. Nestas mesmas temperaturas, a fecundidade foi de 327,47 e 178,78 ovos, respectivamente. A 20°C e 35°C não foi observada postura”.

Para estimar o impacto das mudanças climáticas sobre o curuquerê, foram realizados estudos de previsão de gerações e duração das fases do ciclo de vida do inseto, baseados em informações constantes na literatura e análise dos dados gerados com os mapas. Dessa forma, a duração da fase lagarta do curuquerê-do-algodoeiro foi definida baseada na equação obtida por Kasten Junior e Parra (1984):

$$Y = 30,18801 - 0,65491 * X \text{ (Equação 1)}$$

onde: Y é a duração do estágio (dias) e X é temperatura (°C).

Com o emprego do SIG, essa equação foi aplicada ao banco de dados geográfico, por meio de operação de álgebra de mapas e obtendo-se mapas de duração em dias da fase larval para o período de referência (1961-1990) e futuro (2011-2040, 2041-2070, 2071-2100), para os cenários A2 (incremento de 3,4°C, na melhor estimativa, numa faixa provável de 2,0 a 5,4°C) e B1 (incremento de 1,8°C, na melhor estimativa, numa faixa provável de 1,1 a 2,9°C), para as regiões Nordeste e Centro-Oeste e Estado do Tocantins.

Os mapas de duração em dias da fase larval do curuquerê confeccionados para os climas futuros indicam que, de um modo geral, haverá aumento das áreas de ocorrência de ciclos mais curtos, favorecendo ao desenvolvimento da praga, em relação ao clima de referência, tanto no cenário B1 quanto no A2, em todos os meses do ano (Figuras 1, 2 e 3), mas com o cenário A2 sendo mais destacado. Além disso, esse aumento será progressivo ao longo dos períodos futuros avaliados para a região Nordeste (Figuras 4 e 5) e para a região Centro-Oeste e Estado do Tocantins (Figuras 6 e 7). O ciclo mais curto significa uma melhor capacidade de reprodução e, conseqüentemente, maior número de gerações do inseto.

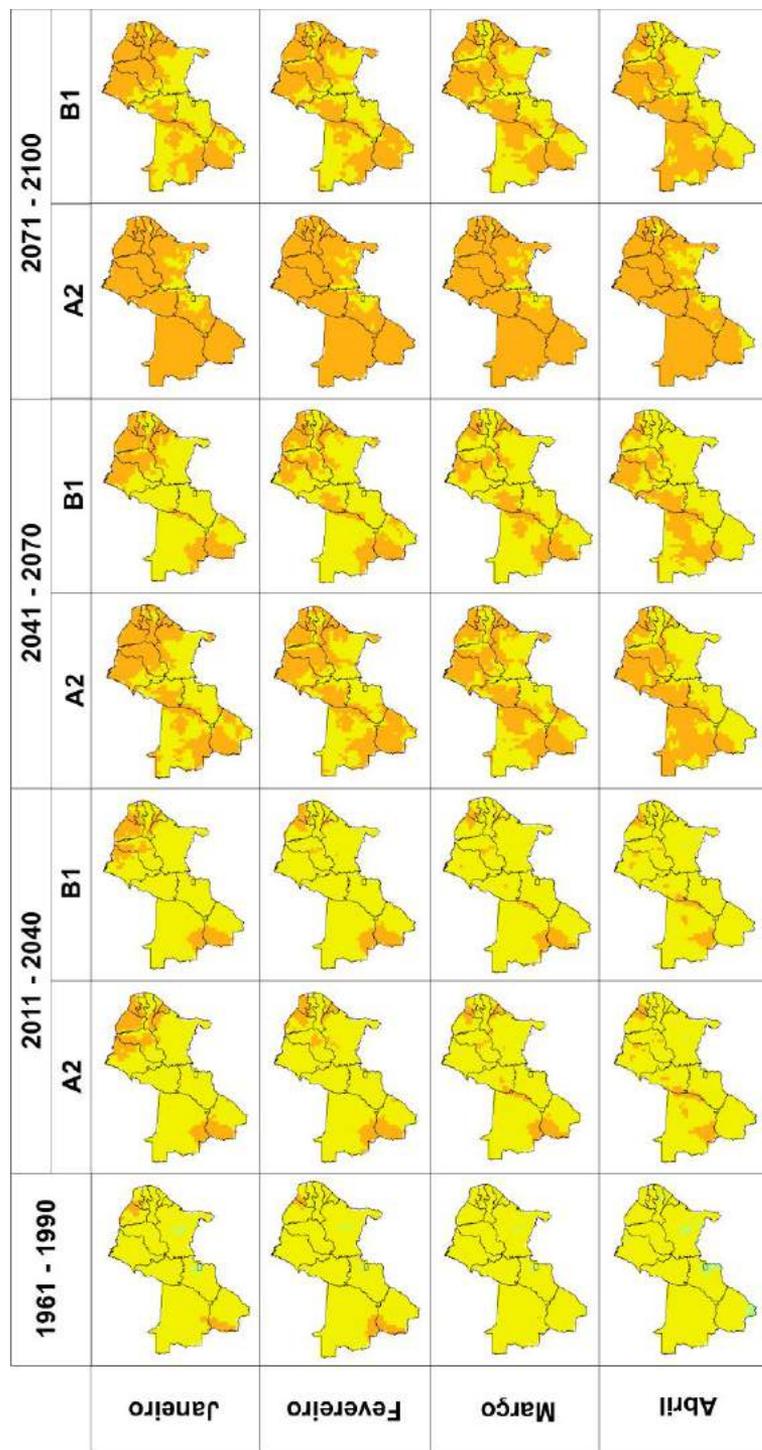


Figura 1. Duração em dias da fase larval da *Alabama argillacea* para o período de referência (1961-1990) e futuro (2011-2040, 2041-2070, 2071-2100, cenários A2 e B1) nos meses de janeiro a abril nas regiões Nordeste e Centro-Oeste e Estado do Tocantins.

Impacto potencial das mudanças climáticas sobre a distribuição geográfica do curuquerê e do ácaro-vermelho-do-algodoeiro nas regiões Nordeste e Centro-Oeste e no Estado do Tocantins

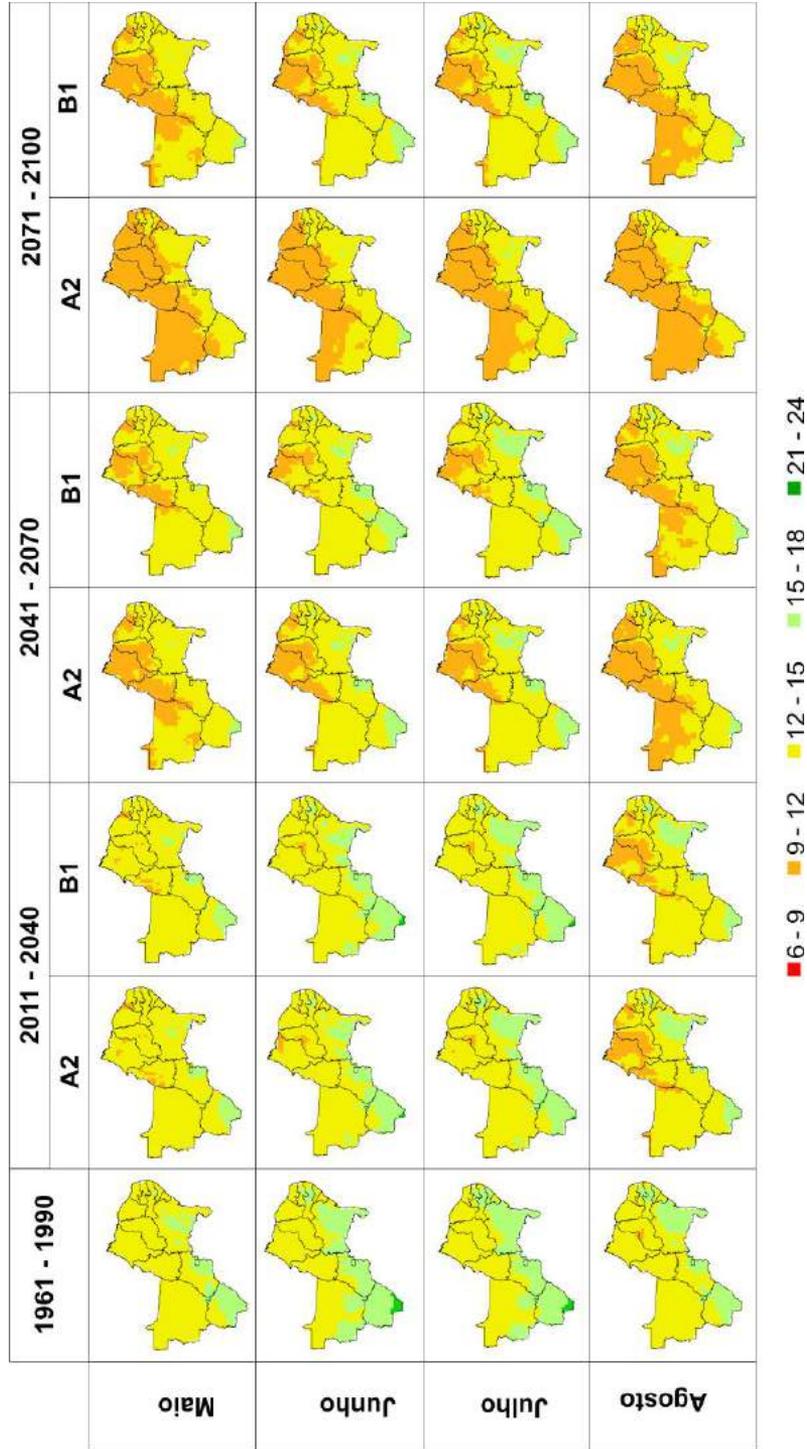


Figura 2. Duração em dias da fase larval da *Alabama argillacea* para o período de referência (1961-1990) e futuro (2011-2040, 2041-2070, 2071-2100, cenários A2 e B1) nos meses de maio a agosto nas regiões Nordeste e Centro-Oeste e Estado do Tocantins.

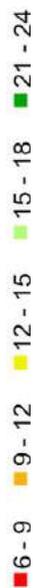
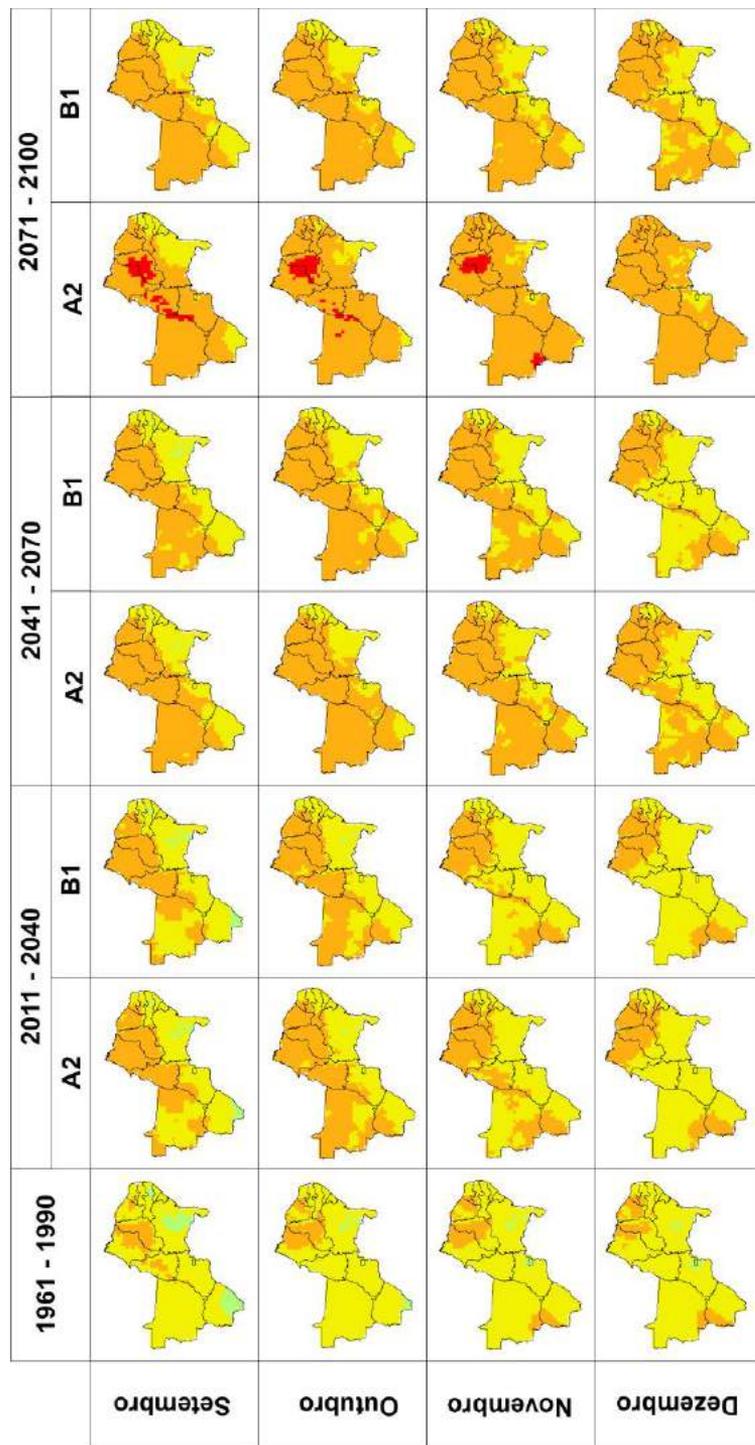


Figura 3. Duração em dias da fase larval da *Alabama argillacea* para o período de referência (1961-1990) e futuro (2011-2040, 2041-2070, 2071-2100, cenários A2 e B1) nos meses de setembro a dezembro nas regiões Nordeste e Centro-Oeste e Estado do Tocantins.

Impacto potencial das mudanças climáticas sobre a distribuição geográfica do curuquerê e do ácaro-vermelho-do-algodoeiro nas regiões Nordeste e Centro-Oeste e no Estado do Tocantins

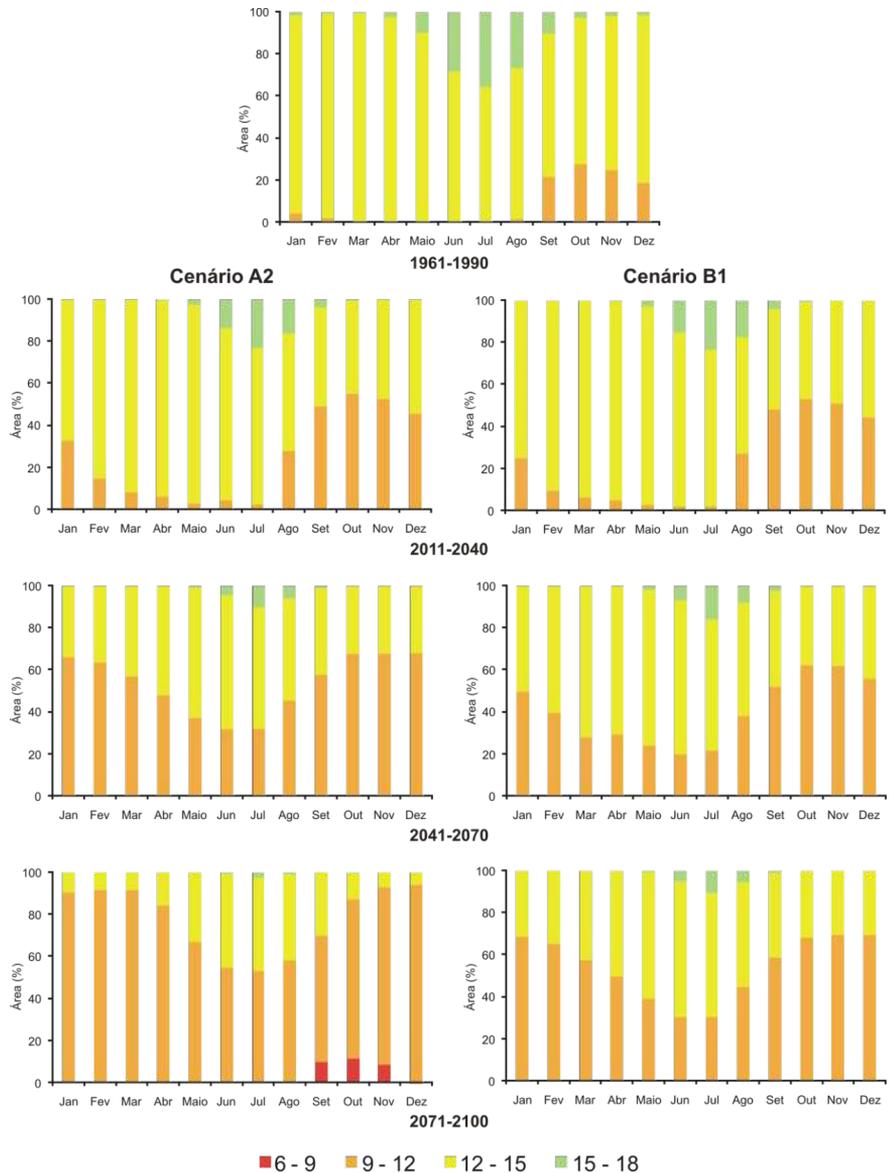


Figura 4. Área estimada das classes de duração em dias da fase larval da *Alabama argillacea* ao longo dos meses do ano para o período de referência (1961-1990) e futuro (2011-2040, 2041-2070, 2071-2100, cenários A2 e B1) para o Nordeste.

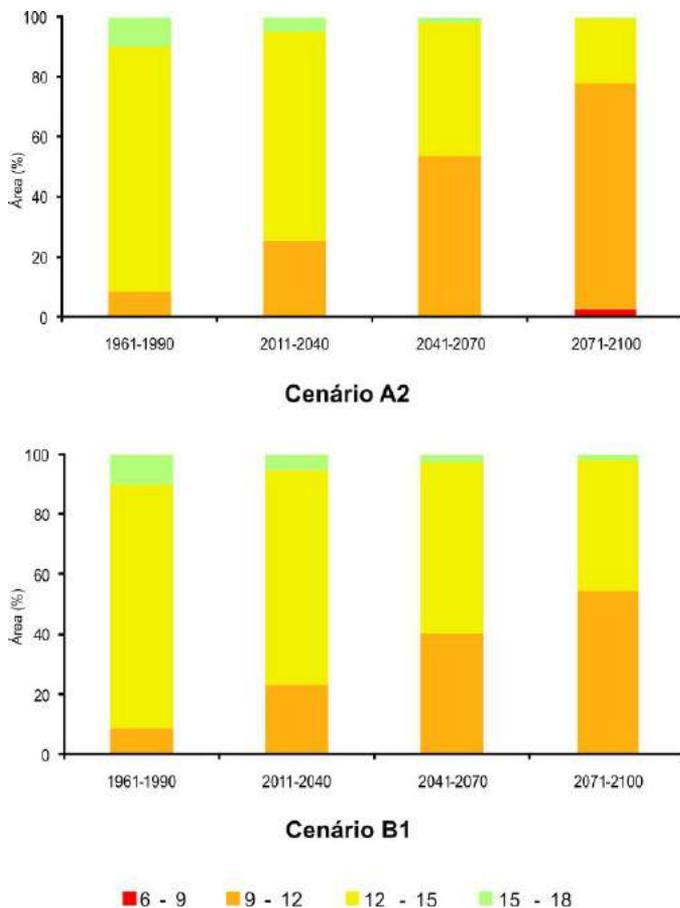


Figura 5. Área estimada das classes de duração em dias da fase larval da *Alabama argillacea*, média anual, para o período de referência (1961-1990) e futuro (2011-2040, 2041-2070, 2071-2100, cenários A2 e B1) para o Nordeste.

Impacto potencial das mudanças climáticas sobre a distribuição geográfica do curuquerê e do ácaro-vermelho-do-algodoeiro nas regiões Nordeste e Centro-Oeste e no Estado do Tocantins

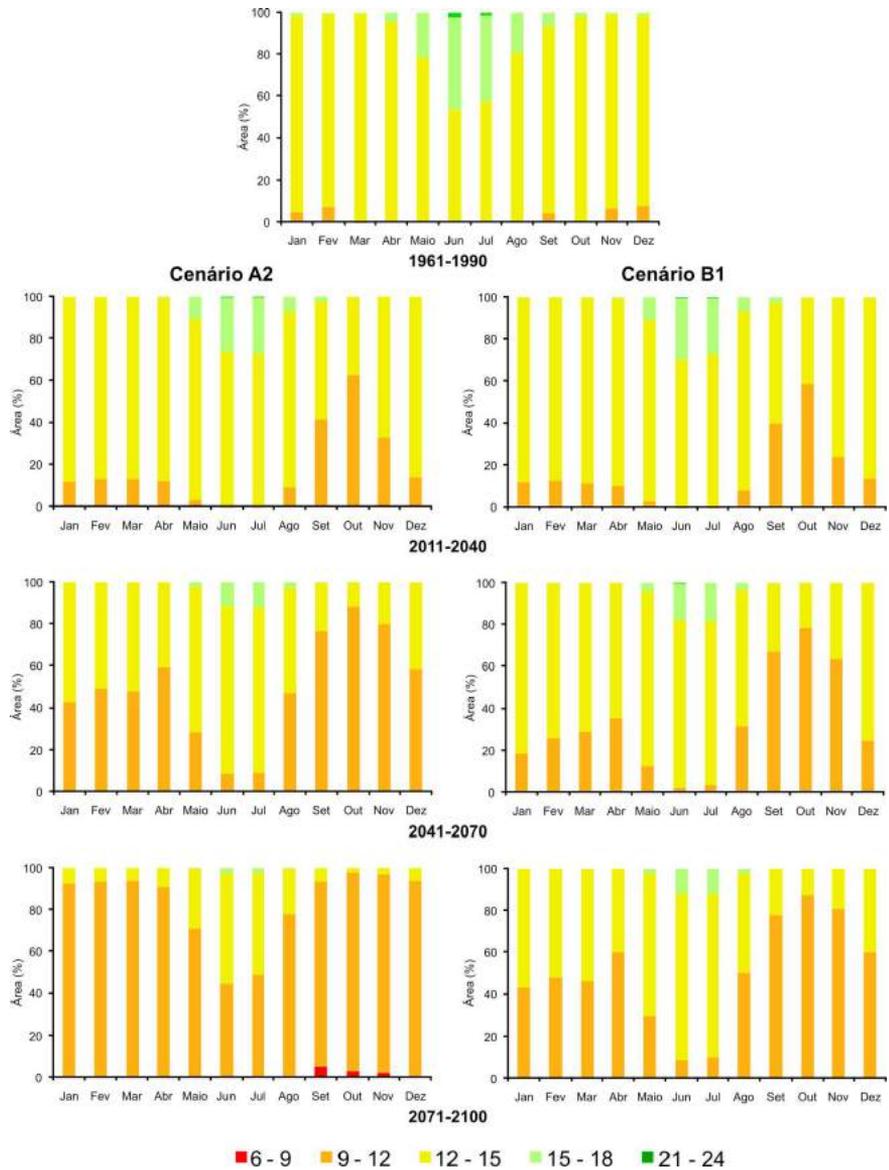


Figura 6. Área estimada das classes de duração em dias da fase larval da *Alabama argillacea* ao longo dos meses do ano para o período de referência (1961-1990) e futuro (2011-2040, 2041-2070, 2071-2100, cenários A2 e B1) para o Centro-Oeste e Estado do Tocantins.

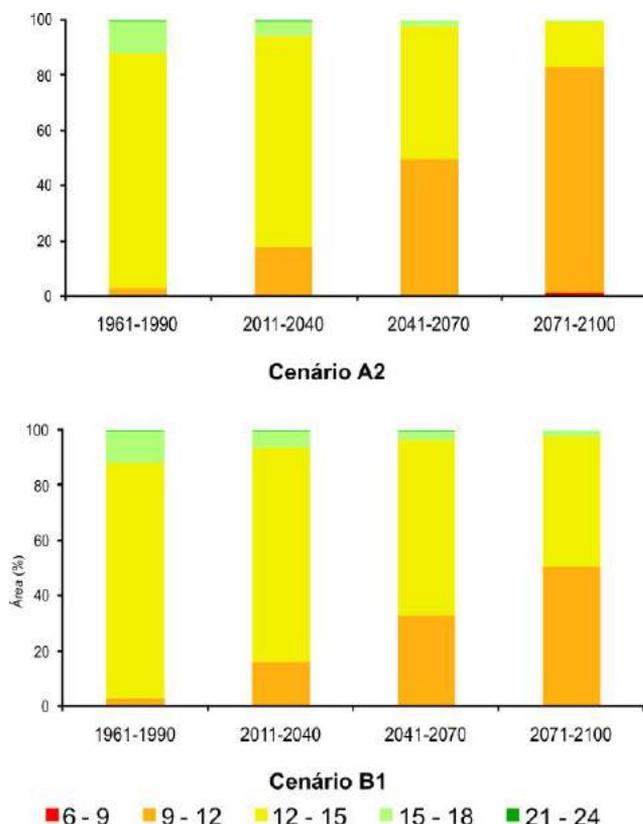


Figura 7. Área estimada das classes de duração em dias da fase larval da *Alabama argillacea*, média anual, para o período de referência (1961-1990) e futuro (2011-2040, 2041-2070, 2071-2100, cenários A2 e B1) para o Centro-Oeste e Estado do Tocantins.

No período de referência, de 1961-1990, considerando os meses de outubro a fevereiro, geralmente época de plantio nas diferentes regiões brasileiras, observa-se predominância de área com ciclo de duração de 12 a 15 dias por mês. Porém, no futuro (2011-2040, 2041-2070, 2071-2100), haverá um incremento gradativo nas áreas com predomínio de menor duração do ciclo de 9 a 12 dias por mês, ou seja, as condições serão mais favoráveis para a praga se reproduzir. Por exemplo, o mês de janeiro, em que para as condições do Cerrado o algodoeiro já estaria com 80 a 90 dias após o plantio, para o

período de referência, tem-se que a área com ciclo de 9 a 12 dias por mês seria de apenas 5%, em média, enquanto para o período seguinte (2011-2040), essa área saltaria para 34%. Observa-se que, nas estimativas para as décadas seguintes, o incremento será mais substancial, alcançando no trimestre setembro-outubro-novembro algo próximo a 10% da área com ciclo de 6 a 9 dias por mês. Com esse incremento da área pode-se esperar também a elevação no custo de controle, porém não necessariamente na mesma proporção.

A diferenciação da influência do cenário de emissão de gases de efeito estufa, entre os cenários A2 e B1, será pouco observada em períodos mais curtos, como no período de 211-2040, mas com o efeito acumulativo destacado em médio e longos períodos 2041-2070 e 2071-2100, em função do aumento da previsão de temperatura média no futuro como influência das mudanças climáticas, tanto para a região Nordeste (Figuras 4 e 5), como para a região Centro-Oeste e Tocantins (Figuras 6 e 7). Também é possível observar que apesar do prognóstico de aumento da favorabilidade de desenvolvimento do curuquerê no futuro nas áreas de estudo, o comportamento sazonal ainda manter-se-á, de forma geral.

Para a região Nordeste (Figuras 4 e 5), observa-se que os meses de janeiro a abril do período de 2041-2070, apresentarão maior incremento na favorabilidade, com ciclo de duração de 9 a 12 dias por mês; no cenário B1, os meses de novembro e dezembro terão valores entre 50% e 60% da área ocupada e no cenário A2, esses valores ultrapassarão 60% da área. Mas, a maior consequência é que nos meses seguintes essa porcentagem manter-se-á elevada, ainda acima dos 60%, enquanto para o cenário B1 estes valores não passarão de 50%. Para 2071-2100, a proporção manter-se-á, mas com valores absolutos maiores, alcançando nos meses de setembro a novembro ciclo de 6 a 9 dias.

Para a região Centro-Oeste e o Tocantins (Figuras 6 e 7), observa-se que outubro é o mês que apresentará maior favorabilidade no período de 2011-2040, com valores próximos ao que ocorre com a região Nordeste, contudo no período seguinte a favorabilidade atingirá valores próximos a 80% da área, para o trimestre setembro-novembro, ultrapassando 80% no mês de outubro, para o cenário A2. O mesmo ocorrerá para o período seguinte, 2071-2100, mas para o cenário A2 atingindo quase 100% da área com 9 a 12 dias de ciclo, ao passo que para o cenário B1 manter-se-á próximo aos 80%. É possível observar uma leve tendência à maior favorabilidade de desenvolvimento do curuquerê para a região Centro-Oeste e Tocantins (Figura 7), em comparação com a região Nordeste (Figura 5), com pequena ocorrência da classe de ciclo de duração de 6 a 9 dias para o cenário A2. Contudo, considerando que o Centro-Oeste é, atualmente, a principal região produtora do País, os impactos sobre o cultivo do algodão poderão ser mais impactantes, principalmente em função das extensas áreas contínuas de cultivo, o que contribui para a complexidade do controle das pragas, destacando-se fatores como a logística e os custos operacionais.

O aumento das áreas favoráveis ao desenvolvimento da praga não necessariamente implica em maior ocorrência sobre a cultura. Isso só confirmar-se-á se ao mesmo tempo as cultivares tolerarem ser cultivadas nessas áreas. Comumente, tem-se que a necessidade térmica (graus dias) dos insetos é menor que a das plantas; com essa condição há de se esperar que a praga se beneficie. Outro ponto é a possibilidade de se ter, mantendo-se essa condição, maior contiguidade de área cultivada. Assad et al. (2013) estimaram que o aumento da temperatura praticamente não alterará a área apta para o cultivo do algodoeiro no centro-oeste, principal região produtora. Segundo eles, a redução da área de baixo risco será de 1,5% para aquela região.

Ácaro vermelho (*Tetranychus ludeni* Zacher)

Os ácaros tetraniquídeos apresentam um ciclo de vida bastante curto, principalmente nas condições do Brasil, passando, geralmente, pelas fases de ovo, larva, protoninfa, deutoninfa e adulto. Apresentam, ainda, fases quiescentes entre as fases imaturas denominadas protocrisálida, deutocrisálida e teliocrisálida (FLECHTMANN, 1975; KRANTZ, 1978). Podem reproduzir-se sexuada e assexuadamente por partenogênese arrenótoca (EVANS, 1992; HUFFAKER et al., 1969; KRANTZ, 1978). São de tamanho bastante reduzido, o que dificulta sua identificação em campo. Em geral, sabe-se da presença de ácaros nas plantas pela clorose das folhas, que ficam ressequidas e tendem a cair. Seu ataque normalmente se dá em reboleira, ou seja, pontos dentro da plantação.

De acordo com Silva (2002), os períodos de ovo a adulto do ácaro vermelho foram inversamente proporcionais ao aumento da temperatura, variando de 20,77 (20°C) a 8,50 dias (30°C) para fêmeas, e 18,83 (20°C) a 7,75 dias (30°C) para machos. Ainda, segundo Silva (2002), a 30°C verificou-se o maior número de ovos por fêmea/dia (3,47), a maior fecundidade (61,29 ovos) e o menor tempo médio de geração (9,27 dias).

Diferentemente da lagarta, o ácaro vermelho não é considerado uma praga-chave, ou seja, não é uma praga que está sempre presente e que causa danos econômicos constantemente. Contudo, sua presença pode ser um indicativo de veranicos nas áreas de plantio, condição que favorece seu desenvolvimento e crescimento populacional. Esses veranicos são esperados com os distúrbios provocados pelas mudanças no clima; assim, há tendência de favorecimento da praga nessas condições.

Na elaboração dos mapas de favorabilidade à ocorrência do ácaro vermelho, foram utilizadas as regras apresentadas na Tabela 2,

aplicando-as à lógica matemática do SIG. As faixas de temperatura média e de umidade relativa do ar foram baseadas em informações constantes na literatura (SILVA, 2002) e após a validação dos mapas pelos especialistas.

Tabela 2. Faixas de favorabilidade ao desenvolvimento do ácaro vermelho *Tetranychus ludeni*.

Temperatura (°C)	UR (%)		
	UR < 60	60 < UR < 80	UR > 80
< 14	Desfavorável	Desfavorável	Desfavorável
14 < T < 23	Pouco Favorável	Pouco Favorável	Pouco Favorável
23 < T < 30	Favorável	Favorável	Pouco favorável
30 < T < 35	Favorável	Muito favorável	Desfavorável
> 35	Desfavorável	Desfavorável	Desfavorável

Pode-se observar pelas Figuras 8, 9 e 10, de forma geral, que a favorabilidade para ocorrência do ácaro vermelho segue a mesma tendência do curuquerê, com incremento gradativo em 2011-2040, e panorama se agravando para os períodos seguintes. Observa-se ainda que, para o último período de projeções (2071-2100), alguns meses aparecem como desfavoráveis, talvez em função da característica do seu ciclo de vida (ovo-adulto) ser de curta duração e a fase de ovo é a mais susceptível às alterações ambientais, é possível que com o aumento da temperatura e a redução da umidade relativa do ar, esses ovos venham a dessecar, levando-os à morte.

Impacto potencial das mudanças climáticas sobre a distribuição geográfica do curuquerê e do ácaro-vermelho-do-algodoeiro nas regiões Nordeste e Centro-Oeste e no Estado do Tocantins

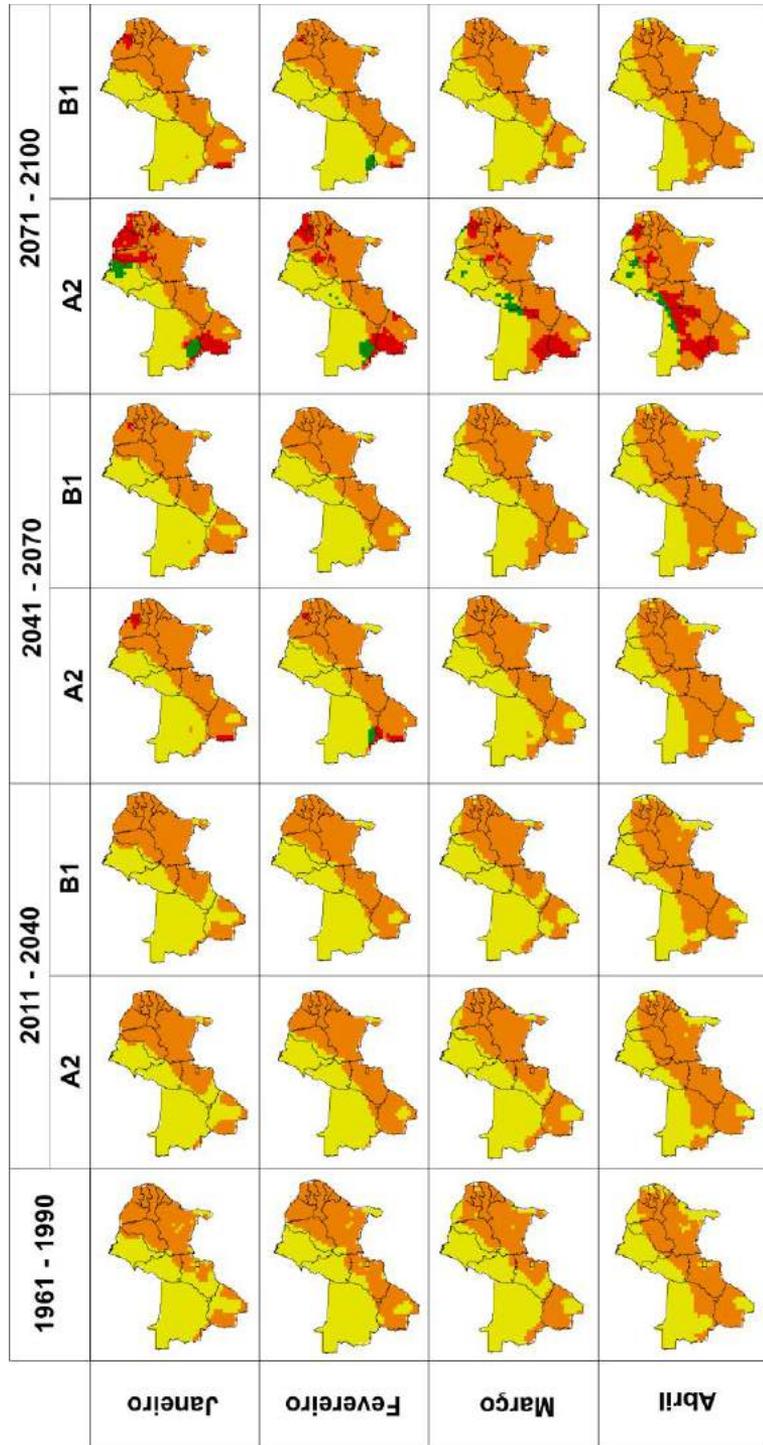


Figura 8. Favorabilidade climática à ocorrência do *Tetranychus luedeni* para o período de referência (1961-1990) e futuro (2011-2040, 2041-2070, 2071-2100, cenários A2 e B1) nos meses de janeiro a abril no Nordeste, Centro-Oeste e Estado do Tocantins.

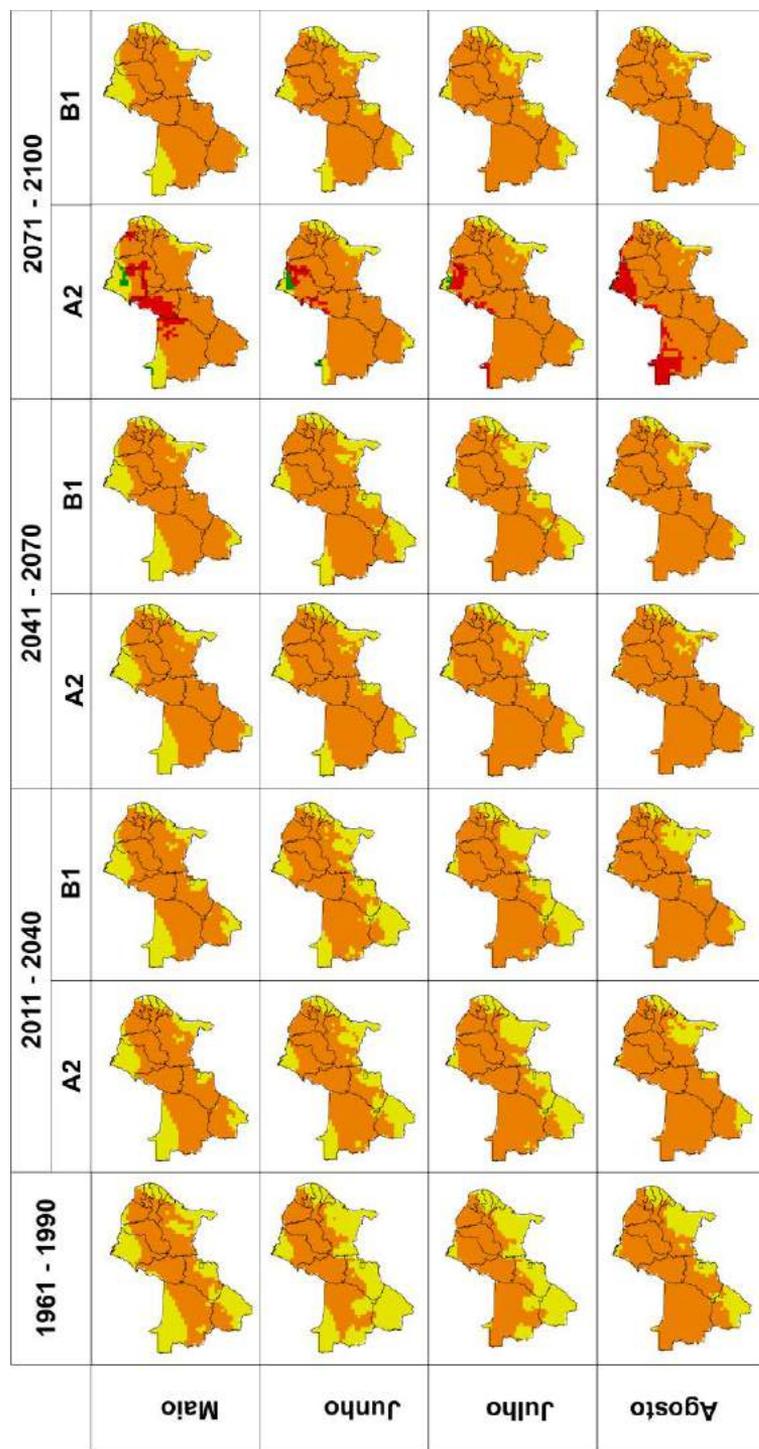


Figura 9. Favorabilidade climática à ocorrência do *Tetranychus ludeni* para o período de referência (1961-1990) e futuro (2011-2040, 2041-2070, 2071-2100, cenários A2 e B1) nos meses de maio a agosto no Nordeste, Centro-Oeste e Estado do Tocantins.

Impacto potencial das mudanças climáticas sobre a distribuição geográfica do curuquerê e do ácaro-vermelho-do-algodoeiro nas regiões Nordeste e Centro-Oeste e no Estado do Tocantins

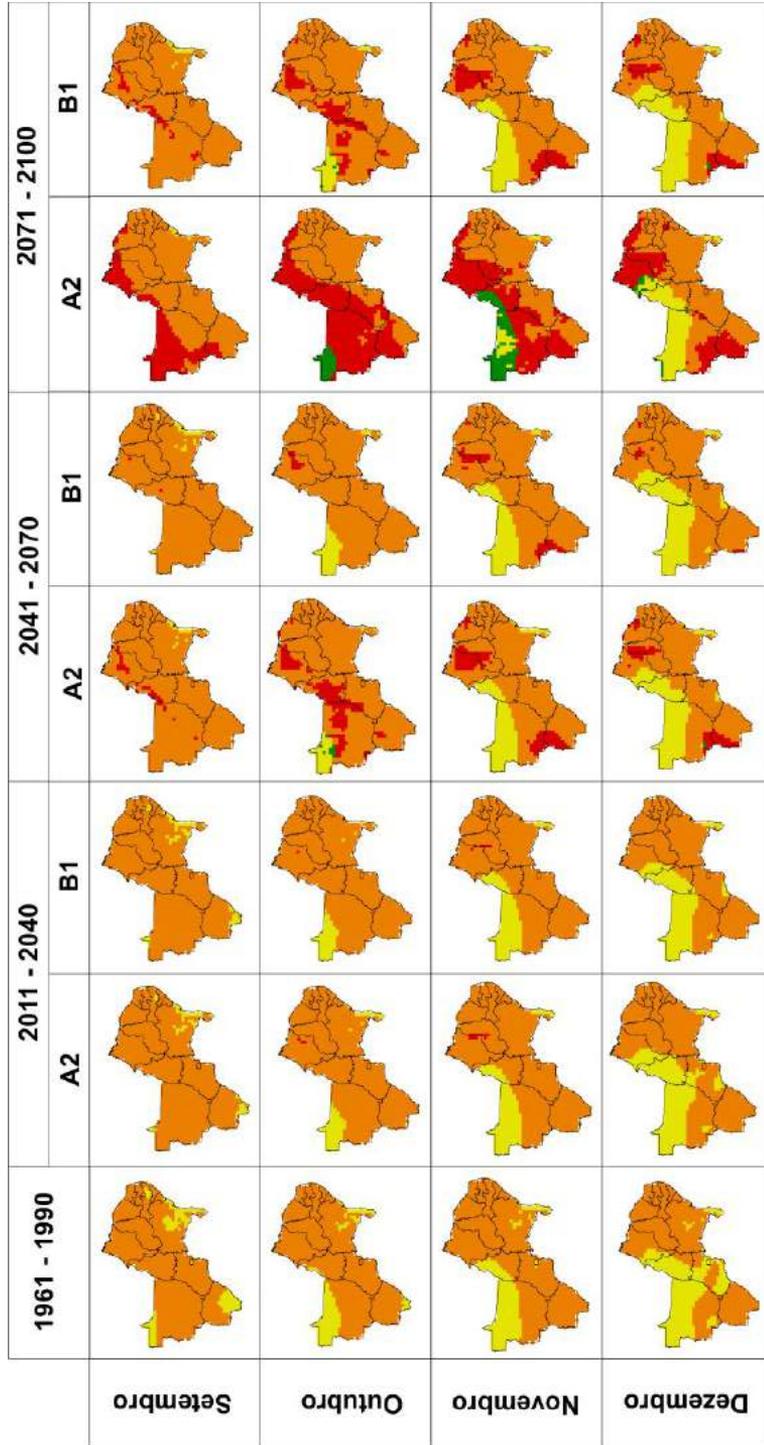


Figura 10. Favorabilidade climática à ocorrência do *Tetranychus ludeni* para o período de referência (1961-1990) e futuro (2011-2040, 2041-2070, 2071-2100, cenários A2 e B1) nos meses de setembro a dezembro no Nordeste, Centro-Oeste e Estado do Tocantins.

O risco de veranicos associado à maior favorabilidade para o ácaro tendem a favorecer surtos populacionais mais frequentes, aumentando a necessidade de controle, normalmente realizado com produtos fitossanitários, gerando mais custos, maior risco de contaminação ambiental e, como consequência, redução na rentabilidade para os produtores. Observando-se, por exemplo, os meses de janeiro e abril, pode-se verificar que haverá incremento na área favorável em 2011-2040. Os incrementos não são tão elevados, mas se for considerado um incremento de 10% da área em uma população com potencial biótico elevado, pode haver surtos populacionais com maior intensidade.

O risco de pragas secundárias se tornarem pragas-chave reside, dentre outros fatores, na possibilidade de atacar as plantas na fase final de produção, o que tornaria o controle inviável. No caso do algodoeiro, um surto de ácaros na fase em que os capulhos estão abertos (maturação) inviabiliza o controle químico, pois nessa fase haveria molhamento da pluma, comprometendo sua qualidade. Os riscos de pragas secundárias se tornarem pragas-chave estão sempre associados às condições ambientais, janela ecológica, sejam elas otimizadas por fatores bióticos ou abióticos.

De maneira geral, pode-se considerar um padrão parecido com o do curuquerê-do-algodoeiro, mas com menor intensidade para a região Nordeste (Figuras 11 e 12). Possivelmente, isso decorre por essa região já apresentar uma variação climática muito próxima aos limites ótimos para o ácaro vermelho (temperatura média e umidade relativa do ar). Destaca-se que no mês de novembro em 2071-2100, no cenário A2, a classe muito favorável superará os 30% da área.

Impacto potencial das mudanças climáticas sobre a distribuição geográfica do curuquerê e do ácaro-vermelho-do-algodoeiro nas regiões Nordeste e Centro-Oeste e no Estado do Tocantins

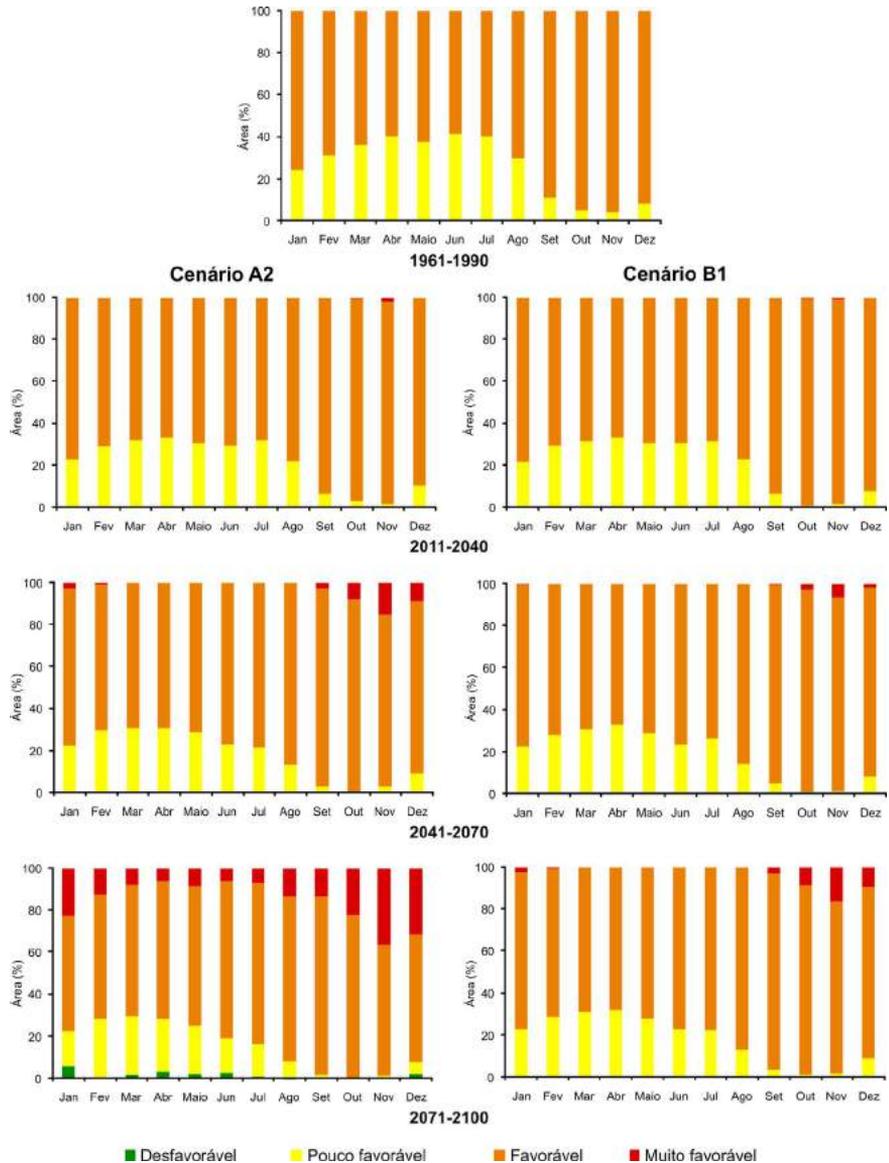


Figura 11. Área estimada das classes de favorabilidade do *Tetranychus ludeni*, ao longo dos meses do ano para o período de referência (1961-1990) e futuro (2011-2040, 2041-2070, 2071-2100, cenários A2 e B1) para o Nordeste.

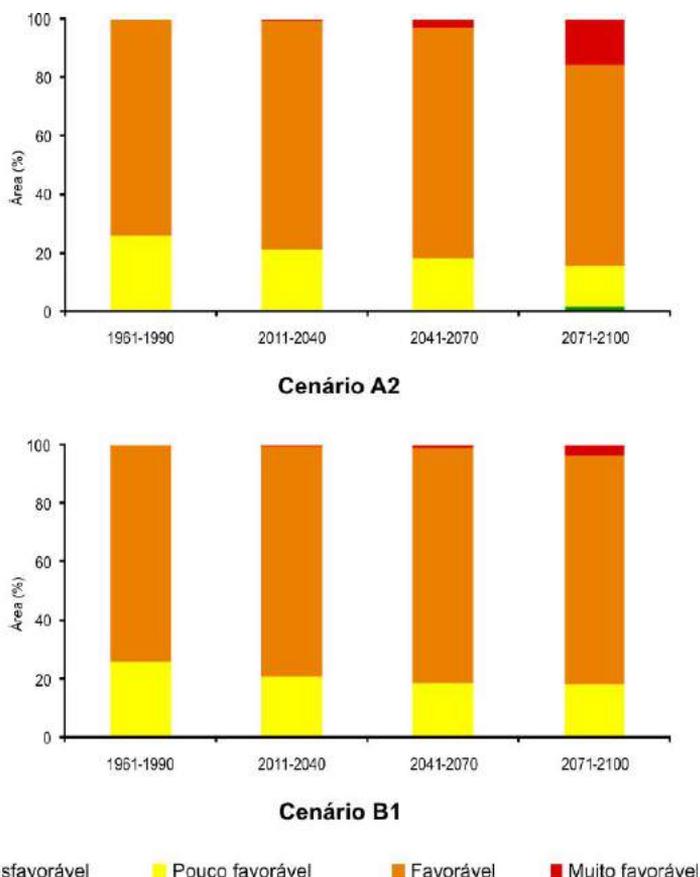


Figura 12. Área estimada das classes de favorabilidade do *Tetranychus ludeni*, média anual, para o período de referência (1961-1990) e futuro (2011-2040, 2041-2070, 2071-2100, cenários A2 e B1) para o Nordeste.

Para a região Centro-Oeste e o Estado do Tocantins (Figuras 13 e 14), as variações serão destacadamente maiores. Observa-se que os incrementos na favorabilidade serão intensos tanto na dispersão ao longo do ano como nos meses isoladamente. Para o período de 2011-2040, pouca diferença entre os dois cenários é observada, indicando que as alterações em ambos os casos poderão ser igualmente intensas. Por consequência, a área pouco favorável diminuirá sensivelmente nos dois cenários, chegando a ocorrer no cenário A2, em alguns meses de 2071-2100, área desfavorável. Isso ocor-

re, provavelmente, em decorrência da redução acentuada da umidade relativa do ar, condição extremamente danosa para os ovos dos ácaros. Nesse caso, poderia ser vantajoso, mas proporcionalmente representaria no máximo 20% da área no mês de novembro.

Nota-se que para o ácaro vermelho haverá diferenças mais significativas quando comparado ao curuquerê, podendo ocorrer até mesmo um panorama desfavorável em 2071-2100. Contudo, essa condição seria muito pequena em relação ao total da favorabilidade observada. Pode-se deduzir que as alterações poderão ser muito mais impactantes sobre esses organismos do que sobre insetos de ciclo mais longo, como as lagartas. Outro aspecto a ser considerado é que os ácaros normalmente têm uma gama maior de hospedeiros, aspecto que pode contribuir para sua maior permanência no campo e, conseqüentemente, incrementar seus surtos populacionais.

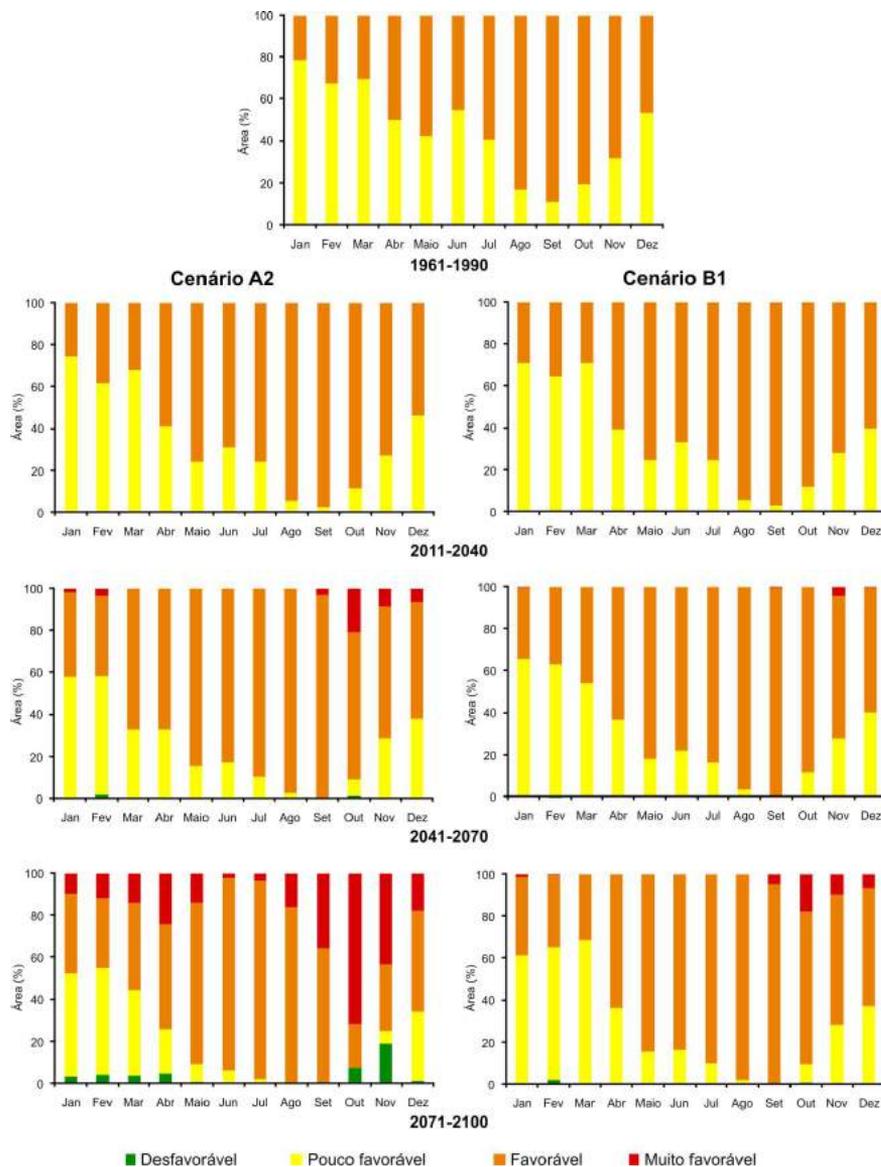


Figura 13. Área estimada das classes de favorabilidade do *Tetranychus ludeni*, ao longo dos meses do ano para o período de referência (1961-1990) e futuro (2011-2040, 2041-2070, 2071-2100, cenários A2 e B1) para o Centro-Oeste e Estado do Tocantins.

Impacto potencial das mudanças climáticas sobre a distribuição geográfica do curuquerê e do ácaro-vermelho-do-algodoeiro nas regiões Nordeste e Centro-Oeste e no Estado do Tocantins

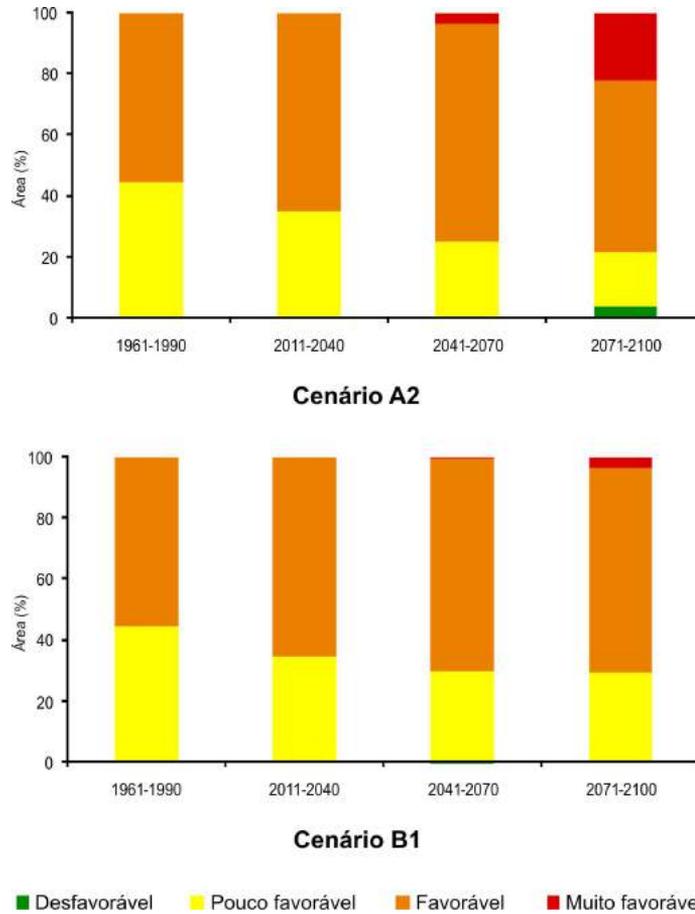


Figura 14. Área estimada das classes de favorabilidade do *Tetranychus ludeni*, média anual, para o período de referência (1961-1990) e futuro (2011-2040, 2041-2070, 2071-2100, cenários A2 e B1) para o Centro-Oeste e Estado do Tocantins.

Considerações finais

Dentre as atividades econômicas consideradas de grande risco, está a agricultura. No mesmo momento em que se observam alterações no clima, que podem afetar a vida na terra, a população é crescente e a disponibilidade de alimento pode se tornar um sério problema com o agravamento das alterações climáticas. A agricultura, principalmente de sequeiro (dependente diretamente de chu-

vas), que é aquela praticada sem irrigação artificial, é a mais propagada e a mais sujeita às intempéries ambientais. Num cenário de aquecimento global, redução dos regimes pluviais e redistribuição das zonas produtoras de alimentos, tem-se associado uma dinâmica de seres que convivem em harmonia ou não com os cultivos agrícolas.

Do ponto de vista de cadeia alimentar terrestre, têm-se que as plantas são as produtoras de alimento e os herbívoros se alimentam delas para suprir suas necessidades nutricionais; reduzindo essa cadeia ao ambiente agrícola, há os cultivos e, associada a eles, uma série de organismos que dependem direta ou indiretamente desses cultivos. Essas relações podem ser drasticamente alteradas com as mudanças no clima, sendo benéficas ou não. Considerando a cultura do algodão, tanto no Cerrado como no Semiárido, há uma perspectiva de grandes impactos negativos em função do incremento nos problemas causados por insetos-praga. Pode-se estimar que os custos de produção podem aumentar de forma significativa, pois o algodoeiro é altamente propenso ao ataque de pragas principalmente pela sua fenologia, disponibilidade de recursos nutricionais para diversos insetos, dentre outros fatores.

Embora ainda não seja possível prever com exatidão o que acontecerá no futuro, as previsões têm, entre outras funções, a de permitir aos pesquisadores, técnicos, governos, etc. monitorar o que está acontecendo para que sejam tomadas as medidas adequadas para a adaptação aos problemas que venham a surgir, ou mesmo prevenir que aconteçam.

Entende-se que as alterações climáticas poderão ser um divisor de água entre os que estiverem ou não preparados, permitindo à agricultura evitar o colapso nos sistemas produtivos, pois os sistemas agrícolas estão entre os setores mais vulneráveis às mudanças climáticas.

Referências

ALLEN, L.; VU, J.; VALLE, R.; BOOTE, K.; JONES, P. Nonstructural carbohydrates and nitrogen of soybean grown under carbon dioxide enrichment. **Crop Science**, v. 28, n. 1, p. 84-94, 1988.

ASSAD, E. D.; MARTINS, S. C.; BELTRÃO, N. E. M.; PINTO, H. S. Impacts of climate change on the agricultural zoning of climate risk for cotton cultivation in Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, n.1, p. 1-8, 2013.

BALE, J. S.; MASTERS, G. J.; HODKINSON, I. D.; AWMACK, C.; BEZEMER, T. M.; BROWN, V. K.; BUTTERFIELD, J.; BUSE, A.; COULSON, J. C.; FARRAR, J.; GOOD, J. E. G.; HARRINGTON, R.; HARTLEY, S.; JONES, T. H.; LINDROTH, R. L.; PRESS, M. C.; SYMRNILOUDIS, I.; WATT, A. D.; WHITTAKER, J. B. Herbivory in global climate change research: direct effect of rising temperature on insect herbivores. **Global Change Biology**, v. 8, n. 1, p. 1-16, 2002.

BEZEMER, T. M.; JONES, T. Plant-insect herbivore interactions in elevated atmospheric CO₂: quantitative analyses and guild effects. **Oikos**, v. 82, n. 2, p. 212-222, 1998.

BELOT, J. L.; BARROS, E.; MIRANDA, J. E. Riscos e oportunidades: o bicudo-do-algodoeiro. In: DESAFIOS do Cerrado: como sustentar a expansão da produção com produtividade e competitividade. Cuiabá: Associação Mato-Grossense dos Produtores de Algodão, 2016. v. 1, p. 77-118.

COTRUFO, M. F.; INESON, P.; SCOTT, A. Elevated CO₂ reduces the nitrogen concentration of plant tissues. **Global Change Biology**, v. 4, n. 1, p. 43-54, 1998.

EVANS, G. O. **Principles of acarology**: reproductive systems. Wallingford: CAB, 1992. 563 p.

FLECHTMANN, C. H. W. **Elementos de acarologia**. São Paulo: Nobel, 1975. 344 p.

GUERENSTEIN, P. G.; HILDEBRAND, J. G. Roles and effects of environmental carbon dioxide in insect life. **Annual Review of Entomology**, v. 53, p. 161-178, 2007.

HAMILTON, J. G.; DERMODY, O.; ALDEA, M.; ZANGERL, A. R.; ROGERS, A.; BERENBAUM, M. R.; DELUCIA, E. H. Anthropogenic changes in tropospheric composition increase susceptibility of soybean to insect herbivory. **Environmental Entomology**, v. 34, n. 2, p. 479-485, 2005.

HUFFAKER, C. B.; VRIE, M. van de; McMURTRY, J. A. The ecology of tetranychid mites and their natural control. **Annual Review of Entomology**, v. 14, p. 123-129, 1969.

KASTEN JUNIOR, P.; PARRA, J.R.P. Bioecologia de *Alabama argillacea* L. Biologia em diferentes temperaturas, na cultivar de algodoeiro IAC-17. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 19, n. 3, p. 269-280, 1984.

KRANTZ, G. W. **A manual of acarology**. 2.ed. Corvallis: Oregon State University, 1978. 509 p.

LINCOLN, D. E., FAJER, E. D., JOHNSON, R. H. Plant-insect herbivore interactions in elevated CO₂ environments. **Tree**, v. 8, n. 2, p. 64-68, 1993.

MULCHI, C.; SLAUGHTER, L.; SALEEM, M.; LEE, E.; PAUSCH, R.; ROWLAND, R. Growth and physiological characteristics of soybean in open-top chambers in response to ozone and increased atmospheric CO₂. **Agricultural Ecosystems Environmental**. v. 38, n. 1-2, p. 107-118, 1992.

NORBY R. J.; WULLSCHLEGER S. D.; GUNDERSON C. A.; JOHNSON D. W.; CEULEMANS R. Tree responses to rising CO₂ in field experiments: Implications for the future forest. **Plant, Cell & Environment**, v. 22, n. 6, p. 683-714, 1999.

PEREIRA, M. J. B.; ALBUQUERQUE, F. A.; BASTOS, C. S. Pragas do algodoeiro: identificação, biologia e sintomas de ataque. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, v. 10, n. 3, p. 1073-1117, 2006.

REID, C.; FISCUS, E. Effects of elevated [CO₂] and/or ozone on limitations to CO₂ assimilation in soybean (*Glycine max*). **Journal of Experimental Botany**, v. 49, n. 322, p. 885-895, 1998.

SANTOS, W. J. dos. Problemas e soluções do manejo integrado de pragas do algodão. In: SEMINÁRIO ESTADUAL DO ALGODÃO, 4. 1998. **Anais...** Cuiabá: Fundação-MT, 1998. p. 39-48.

SILVA, C. A. D. Biologia e exigências térmicas do ácaro-vermelho (*Tetranychus ludeni* Zacher) em folhas de algodoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 5, p. 573-580, 2002.

WHITTAKER, J. B. Impacts and responses at population level of herbivorous insects to elevated CO₂. **European Journal Entomology**, v. 96, n. 2, p. 149-156, 1999.

Influência das mudanças climáticas nas zonas de ocorrência do percevejo-bronzeado do eucalipto

Marcos Silveira Wrege, Leonardo Rodrigues Barbosa, Celso Garcia Auer e Álvaro Figueredo dos Santos

Introdução

O Brasil possui uma grande área com florestas plantadas, sendo que a principal espécie é o eucalipto que se apresenta como a espécie arbórea mais plantada e de maior importância econômica em todo o mundo. As espécies do gênero *Eucalyptus* são consideradas de alto rendimento (em torno de $40 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ em 2011) (ANUÁRIO..., 2012), enquanto que espécies florestais nativas têm rendimento bem inferior. O Brasil é internacionalmente competitivo no setor florestal e está entre os países com maior produtividade em plantio de eucalipto. Assim, a ocorrência de insetos-praga ou doenças que reduzem essa produtividade impacta negativamente e de modo significativo o incremento, diminuindo a competitividade brasileira.

Os registros de insetos nocivos aos plantios de eucalipto no Brasil incluem várias pragas introduzidas, ou seja, que não são nativas do País. A presença de uma nova praga do eucalipto foi detectada no Brasil em 2008. Trata-se da espécie *Thaumastocoris peregrinus* Carpintero & Dellapé, 2006 (Hemiptera: Thaumastocoridae), de origem australiana e comumente conhecida como percevejo-bronzeado.

O inseto foi detectado primeiramente em São Francisco de Assis, no Rio Grande do Sul. Nesse estado, a introdução ocorreu provavelmente pela fronteira com a Argentina e Uruguai, países onde a espécie já estava presente (WILCKEN et al., 2010). Atualmente, o inseto já se encontra em praticamente todas as regiões produtoras de eucalipto.

Trata-se de um inseto sugador, de aproximadamente 3 mm de comprimento quando adulto, corpo achatado, cor marrom clara e hábito tipicamente gregário (Figura 1).



Foto: Leonardo Rodrigues Barbosa.

Figura 1. *Thaumastocoris peregrinus* em detalhe e ocorrência nas folhas.

Os ovos são de cor preta e normalmente encontrados agrupados nas irregularidades das folhas das árvores, assemelhando-se a manchas enegrecidas, que contribuem para o reconhecimento das plantas infestadas (CARPINTERO; DELLAPÉ, 2006; JACOBS; NESER, 2005). No período ninfal, apresentam cinco ínstar e o ciclo de vida (ovo - adulto) é de aproximadamente 50 dias, podendo variar com as condições climáticas. A sobreposição de gerações é verificada ao longo do ano e grandes quantidades de ninfas e adultos podem ocorrer nas folhas de eucalipto (BOUVET; VACCARO, 2007; NOACK; ROSE, 2007). Altas infestações do inseto podem causar perda considerável da área fotossintética das plantas, acarretando a queda das folhas e, em alguns casos,

a morte das árvores (JACOBS; NESER, 2005). Os sintomas associados ao dano são, inicialmente, o prateamento das folhas, que, com o tempo, passa para tons de marrom e vermelho, o que confere às árvores o aspecto bronzeado, característica que deu origem ao nome do inseto (JACOBS; NESER, 2005). Estes sintomas alteram nitidamente a coloração da copa das árvores e possibilita sua identificação à distância. Trata-se de uma praga com alta capacidade de dano e de reprodução rápida, o que facilita a colonização de novas áreas.

Para os insetos em geral, as variáveis climáticas, em especial a temperatura do ar, são importantes por condicionar mudanças principalmente na dispersão, taxas de desenvolvimento e reprodução. Portanto, qualquer alteração em um desses componentes poderá ter um impacto direto nas populações.

Embora o Brasil obtenha excelentes rendimentos com plantios intensivos de espécies florestais, principalmente com espécies do gênero *Eucalyptus*, seu cultivo sofre algumas limitações relacionadas às condições climáticas e ao ataque de pragas e de doenças. A primeira delas se refere aos riscos de geadas, que normalmente ocorrem nas regiões Sul e Sudeste, além das estiagens, que ocorrem principalmente nas regiões Centro-Oeste e Nordeste, restringindo o cultivo intensivo de espécies florestais por restrição hídrica, principalmente no Semiárido. Em segundo lugar, a região Sul do Brasil tem invernos amenos associados à alta umidade relativa do ar e frequente incidência de ventos, fatores ambientais que facilitam a ocorrência e proliferação de pragas e doenças. A região Norte tem excesso de pluviosidade e temperaturas muito altas, o que também facilita a ocorrência de problemas fitossanitários. Desse modo, se medidas de controle não forem adotadas, quando existirem, ou se soluções tecnológicas não forem criadas, as perdas causadas por pragas e doenças poderão ser significativas.

Com as mudanças climáticas globais ocorridas nas últimas décadas, principalmente os aumentos de temperatura e as modificações nos padrões de precipitação, e as projeções de que as mesmas se intensificarão no futuro, o cultivo intensivo do eucalipto deve ser reavaliado, já que diante destes cenários as espécies desse gênero deverão ser afetadas, inclusive os insetos fitófagos (BALE et al., 2002; CORNELISSEN, 2011). Embora se projete a intensificação destas mudanças ao longo deste século, pouco se sabe se os insetos-praga serão favorecidos ou não. Apesar das projeções indicarem a alteração de outras variáveis climáticas, a temperatura e a precipitação são os principais fatores abióticos que interferem no desenvolvimento dos insetos e, certamente, com o seu aumento, as condições serão mais propícias para o aumento populacional, embora deve-se levar em consideração que este incremento ocorrerá dentro de uma faixa térmica que possibilite o desenvolvimento.

Na região Sul do Brasil alterações da temperatura mínima do ar já foram detectadas através do estudo do comportamento climático nas últimas décadas, e de análise de séries temporais de dados climáticos de instituições estaduais de pesquisa agropecuária. De modo geral, o incremento de temperatura mínima observado em várias estações meteorológicas nos últimos 50 anos foi de aproximadamente 1,5°C, variando conforme o local. Foi detectado, também, aumento da temperatura máxima, mas em menor escala, cerca de 0,5°C (RICCE et al., 2008; STEINMETZ et al., 2005). Dentro dessa perspectiva de aumento da temperatura e de precipitação será abordado o impacto do aumento da temperatura e da pluviosidade no número de gerações e da bioecologia de *Thaumastocoris peregrinus* (percevejo-bronzeado do eucalipto), praga que está se disseminando em diversas regiões do Brasil, cuja distribuição indica que poderá se tornar um problema futuro ainda maior com o aumento da temperatura e da pluviosidade. Estes aumentos serão analisados nos cenários de referência

relacionados às normais climatológicas obtidas de 1961-1990 para o molhamento foliar (HAMADA et al., 2008) e de 1976-2005 para as temperaturas (WREGG et al., 2011) e nos cenários de mudanças climáticas A2 e B1 do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) abordando um cenário menos pessimista (B1), e um cenário mais pessimista (A2) para as próximas décadas (MEEHL; STOCKER, 2007).

O controle biológico é uma estratégia fundamental no programa de manejo integrado do percevejo-bronzeado. O parasitoide de ovos *Cleruchoides noackae* Lin & Huber (Hymenoptera: Mymaridae) é o principal agente de controle de *Thaumastocoris peregrinus* (SOUZA et al., 2016). Este parasitoide foi introduzido no Brasil em 2012 e após criação massal em laboratório tem sido liberado em plantios de eucalipto na Bahia, Espírito Santo, Goiás, Maranhão, Minas Gerais, Paraná, Rio Grande do Sul, São Paulo e Tocantins (BARBOSA et al., 2016). A eficiência de *C. noackae* para o controle de *Thaumastocoris peregrinus* é de aproximadamente 50% e seu estabelecimento nos plantios já foi confirmado (BARBOSA et al., 2017).

A silvicultura deverá enfrentar vários desafios devido à mudança nas condições climáticas, dentre eles pode-se incluir o manejo de insetos-praga. No contexto do controle biológico, as mudanças climáticas podem afetar diretamente a fisiologia ou comportamento dos inimigos naturais e ou pragas, alterar a sobreposição entre as espécies no espaço e tempo, e modificar as interações múltiplas entre as espécies envolvidas no controle biológico (EIGENBRODE et al., 2015). No entanto, o impacto da mudança do clima sobre os inimigos naturais e seus efeitos no controle de pragas ainda não são bem compreendidos (EIGENBRODE et al., 2015; JEFFS; LEWIS, 2013).

Cenários climáticos

Thaumastocoris peregrinus tem o ciclo regulado pela temperatura e consegue completar esse ciclo quando atinge a constante térmica de 122,55 graus-dia na fase de ovo e 335,57 graus-dia na fase de ninfa, definida pelo somatório de calor diário acumulado acima de 9,14°C na primeira fase, e 9,99°C na segunda fase, temperaturas abaixo das quais, o inseto tem desenvolvimento praticamente nulo, em cada fase, respectivamente¹.

Como o ciclo se desenvolve em função da temperatura, quanto maior o seu valor, mais curto é o ciclo e mais rapidamente a praga se desenvolve com maior potencial de dispersão. O número de gerações que se desenvolve em um ano exemplifica bem esse caso (Figura 2).

¹Dados não publicados obtidos em experimentos realizados no laboratório de Entomologia, da Embrapa Florestas, Colombo, PR, sob responsabilidade do pesquisador Leonardo R. Barbosa.

O número de gerações que ocorre em um ano foi calculado pela soma térmica total existente em cada local, dividindo-a pela constante térmica necessária para completar o ciclo de vida do inseto. Esse cálculo foi feito para as regiões Sul e Sudeste do Brasil, usando os dados climáticos organizados por Hamada et al. (2008), que verificaram a consistência, os erros e a completude de vários modelos climáticos, selecionando e compilando os melhores modelos, que foram aqueles que representavam melhor a realidade de cada região. A soma térmica foi calculada para o período base 1961-1990 (considerado como período presente) e para as projeções de cenários climáticos futuros, até 2070.

A soma térmica foi calculada pela diferença entre a média das temperaturas máximas e mínimas e a temperatura base. A temperatura base representa o limite abaixo do qual o inseto não se desenvolve por não encontrar condições favoráveis para completar o ciclo de vida. Quando a temperatura mínima é inferior à temperatura base, considera-se o ciclo do inseto paralisado até que a temperatura se eleve novamente e seja superior à temperatura base. Dessa maneira, no inverno, o ciclo de vida do inseto tem duração maior que no verão, pois nesse período, com certa frequência a temperatura cai abaixo do limite.

Os mapas dos números de gerações do inseto no período base e as projeções de cenários futuros foram feitos por regressão linear múltipla, onde foram correlacionadas a variável número de gerações com a altitude, a latitude e a longitude de cada local, usando o modelo numérico do terreno (MNT) do GTOPO30 (ESTADOS UNIDOS, 1999). Os mapeamentos foram feitos em sistemas de informações geográficas, utilizando o programa ArcGIS 10.

A temperatura é um dos fatores que influencia na dinâmica populacional do percevejo. Outros fatores, tais como agentes de mortalidade natural (parasitoides, predadores e entomopatógenos),

disponibilidade de alimento e desenvolvimento da cultura, também influenciam na dinâmica populacional da praga, determinando, assim, maior ou menor incidência de danos e de prejuízos econômicos.

Estudos da dinâmica populacional estão sendo realizados como base para o desenvolvimento de um manejo integrado desta praga, os quais permitirão uma melhoria na previsão de picos populacionais e de procedimentos de amostragem, assim como em uma avaliação real do papel dos agentes de mortalidade natural na abundância da praga.

Atualmente, de acordo com a normal climatológica de 1961-1990, cenário climático de referência, o maior desenvolvimento populacional, com maior número de gerações, pode ser observado nas regiões mais quentes, geralmente de menor altitude, onde a praga pode se disseminar mais rapidamente, favorecida pelo clima. Nas zonas de maior altitude, onde o clima é mais frio, a disseminação é mais lenta (Figura 2). Na estimativa de 2040 a 2070, com as mudanças climáticas baseadas nos cenários B1, de baixas emissões de gases de efeito estufa, e A2 de altas emissões de gases de efeito estufa, os cenários apontam para uma tendência de aumentar a temperatura do ar e, assim, favorecer a disseminação da praga, com aumento do número de gerações que ocorrem em um ano. Nos dias de hoje, na média, a praga pode ter sete gerações por ano nas regiões mais frias e de maior altitude, e até dez gerações por ano nas regiões mais quentes e de menor altitude, nas regiões Sul e Sudeste do Brasil. Esse número pode ser maior com o aumento de temperatura, elevando-se para, no mínimo, 10 gerações em um ano nas regiões mais frias, de maior altitude, e no máximo 14 gerações em um ano, nas regiões mais quentes, de menor altitude, tornando-se futuramente uma praga de maior importância se nada for feito para reduzir as emissões de gases de efeito estufa na atmosfera até 2070. Isso significa aumentar de três a quatro

gerações em apenas um ano, comparado ao período de referência. Pesquisas relacionadas a técnicas de manejo de pragas e de ações de mitigação visando atenuar os efeitos das mudanças climáticas são estratégicas, procurando-se pelo menos manter a população do inseto nos níveis atuais, e evitar, assim, maior contaminação do meio ambiente pelo uso de defensivos químicos e seu efeito de toxicidade sobre as plantas.

Considerações finais

O eucalipto é a principal espécie florestal plantada em sistema intensivo no Brasil e provavelmente continuará sendo a principal espécie plantada por muitas décadas, avançando, inclusive, para novas regiões onde novas pragas potenciais poderão surgir. Os aumentos de temperatura do ar que ocorrem em função das mudanças climáticas, em um primeiro momento, tendem a favorecer os plantios comerciais das espécies do gênero *Eucalyptus*, de modo geral. Por outro lado, os mesmos fatores que favorecem a expansão da área de aptidão para *Eucalyptus*, tendem a favorecer o desenvolvimento das pragas, principalmente do percevejo-bronzeado do eucalipto.

Os novos cenários de ocorrência de *Thaumastocoris peregrinus* em eucalipto indicam uma tendência de diminuição do ciclo e de aumento do número de gerações ocorridas em um ano, indicando aumento populacional desta praga. Contudo, as projeções apresentadas neste capítulo devem ser avaliadas levando-se em consideração que existem outros fatores que podem interferir no desenvolvimento populacional deste inseto, inclusive fatores bióticos, como a existência de outros insetos competidores ou predadores. Apesar disso, com o aumento de temperatura, o cenário atual não será o mesmo no futuro, o que torna fundamental o acompanhamento da evolução populacional desta praga nas

próximas décadas, avaliando os efeitos das mudanças climáticas sobre o ciclo de desenvolvimento deste inseto e a evolução de seus concorrentes ou predadores naturais. O desenvolvimento de pesquisas relacionadas a estudos da dinâmica populacional de *Thaumastocoris peregrinus* e de ações de mitigação dos gases de efeito estufa visando atenuar os efeitos das mudanças climáticas são estratégicos.

Referências

ANUÁRIO ESTATÍSTICO DAABRAF: ano base 2011. Brasília, DF: Abraf, 2012. 136 p. Disponível em: <<http://www.abraflor.org.br/estatisticas/ABRAF12/ABRAF12-BR.pdf>>. Acesso em: 3 jun. 2013.

BALE, J. S.; MASTERS, G. J.; HODKINSON, I. D.; AWMACK, C.; MARTIJNBEZEMER, T.; BROWN, V. K.; BUTTERFIELD, J.; BUSE, A.; COULSON, J. C.; FARRAR J.; GOOD, J. G.; HARRINGTON, R.; HARTLEY, S.; JONES, T. H.; LINDROTH, R. L.; PRESS, M. C.; SYMRNIODIS, I.; WATT, A. D.; WHITTAKER, J. B. Herbivory in global climate change research: direct effects of rising temperature on insect herbivores. **Global Change Biology**, v. 8, n. 1, p. 1-16, 2002.

BARBOSA, L. R.; SANTOS, F.; BUHRER, C. B.; NICHELE, L. A.; WILCKEN, C. F.; SOLIMAN, E. P. **Criação massal do percevejo bronzeado, *Thaumastocoris peregrinus*: Carpinteiro & Dellapé, 2006 (Hemiptera, Thaumastocoridae)**. Brasília, DF: Embrapa, 2016. 22 p. Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1049862>>. Acesso em: 5 jun. 2017.

BARBOSA, L. R.; RODRIGUES, A. P.; SOLER, L. S.; FERNANDES, B. V.; CASTRO, B. M. C.; WILCKEN, C. F.; ZANUNCIO, J. C. Establishment in the field of *Cleruchoides noackae* (Hymenoptera: Mymaridae), an exotic egg parasitoid of *Thaumastocoris peregrinus* (Hemiptera: Thaumastocoridae). **Florida Entomologist**, v. 100, n. 2, p. 372-374, 2017.

BOUVET, J. P. R.; VACCARO, N. C. Nueva especie de chinche, *Thaumastocoris peregrinus* (Hemiptera: Thaumastocoridae) em plantaciones de eucalipto em el departamento Concórdia, Entre Ríos, Argentina. In: JORNADAS FORESTALES DE ENTRE RÍOS, 15, 2007, Concórdia, Entre Ríos. **Actas...** Concórdia, Entre Ríos: AIANER, 2007. 1 CD ROM.

CARPINTERO, D. L.; DELLAPÉ, P. M. A new species of *Thaumastocoris* Kirkaldy from Argentina (Heteroptera: Thaumastocoridae: Thaumastocorinae). **Zootaxa**, v. 1228, p. 61-68, 2006.

CORNELISSEN, T. Climate change and its effects on terrestrial insects and herbivory patterns. **Neotropical Entomology**, v. 40, n. 2, p.155-163, 2011.

EIGENBRODE, S. D.; DAVIS, T. S.; CROWDER, D. W. Climate change and biological control in agricultural systems: principles and examples from North America. In: BJORKAMAN, C.; NIEMELA, P. (Ed.). **Climate change and insect pests**. Wallingford: CABI International, 2015. p. 119-135.

ESTADOS UNIDOS. Geological Survey. National Mapping Division. **Global 30 arc second elevation data**. 1999. Disponível em: <<http://edcwww.cr.usgs.gov/landdaac/gtopo30/gtopo30.html>>. Acesso em: 10 jul. 1999.

HAMADA, E.; GONÇALVES, R. R. V.; MARENGO, J. A.; GHINI, R. Cenários climáticos futuros para o Brasil. In: GHINI, R.; HAMADA, E. (Org.). **Mudanças climáticas: impactos sobre doenças de plantas no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. p. 25-73.

JACOBS, D. H.; NESER, S. *Thaumastocoris australicus* Kirkaldy (Heteroptera: Thaumastocoridae): a new insect arrival in South Africa, damaging to *Eucalyptus* trees: research in action. **South African Journal of Science**, v. 101, n. 5, p. 233-236, 2005.

JEFFS, C. T.; LEWIS, O. T. Effects of climate warming on hostparasitoid interactions. **Ecological Entomology**, v. 38, n. 3, p. 209-218, 2013.

MEEHL, G. A.; STOCKER, T. F. (Coord.). Global climate projections. In: SOLOMON, S. D.; QIN, M.; MANNING, Z.; CHEN, M.; MARQUIS, K. B.; AVERYT, M.; TIGNOR AND H. L. MILLER (Ed.). **Climate Change 2007: the physical science basis: contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge: Cambridge University Press, 2007. p. 747-845.

NOACK, A.; ROSE, H. Life-history of *Thaumastocoris peregrinus* and *Thaumastocoris* sp. In the laboratory with some observations on behaviour. **General and Applied Entomology**, v. 36, p. 27-33, 2007.

RICCE, W. da S.; CARAMORI, P. H.; CAVIGLIONE, J. H.; MORAIS, H.; PEREIRA, L. M. P. Estudo das temperaturas mínimas e máximas no Estado do Paraná. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA, 8., 2008, Alto Caparaó. **Anais...** Uberlândia: UFU, 2008. p. 200-210.

SOUZA, A. R.; CANDELARIA, M. C.; BARBOSA, L. R.; WILCKEN, C. F.; CAMPOS, J. M.; SERRÃO, J. E.; ZANUNCIO, J. C. Longevity of *Cleruchoides noackae* (Hymenoptera: Mymaridae), an egg parasitoid of *Thaumastocoris peregrinus* (Hemiptera: Thaumastocoridae), with various honey concentrations and at several temperatures. **Florida Entomologist**, v. 99, n. 1, p. 33-37, 2016.

STEINMETZ, S.; SIQUEIRA, O. J. W.; WREGE, M. S.; HERTER, F. G.; REISSER JÚNIOR, C. Aumento da temperatura mínima do ar na região de Pelotas, sua relação com o aquecimento global e possíveis conseqüências para o arroz irrigado no Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 14. Campinas. **Anais...** Campinas: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 2005. 1 CD-ROM.

WILCKEN, C. F.; SOLIMAN, E. P.; SÁ, L. A. N. de; BARBOSA, L. R.; DIAS, T. K. R., FERREIRA FILHO, P. J., et al. Bronze bug *Thaumastocoris peregrinus* Carpintero & Dellapé (Hemiptera: Thaumastocoridae) on Eucalyptus in Brazil and its distribution. **Journal of Plant Protection Research**, v. 50, n. 2, p. 201-205, 2010.

WREGE, M. S.; STEINMETZ, S.; REISSER JÚNIOR, C.; ALMEIDA, I. . **Atlas climático da Região Sul do Brasil**: estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Pelotas: Embrapa Clima Temperado; Colombo: Embrapa Florestas, 2011. 336 p.

Impacto potencial das mudanças climáticas sobre a distribuição geográfica de insetos-praga na cultura do pessegueiro

Dori Edson Nava, Marcos Silveira Wrege
e Gabriela Inés Diez-Rodríguez

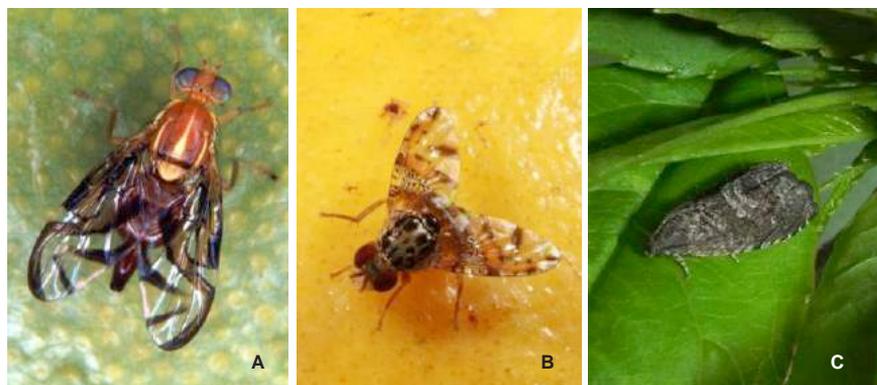
Introdução

O pessegueiro é originário da China, mas foi com a colonização europeia que se difundiu para as regiões meridionais e setentrionais mais frias do ocidente. No Brasil, se estabeleceu na região Sul onde as condições climáticas são as mais propícias para o seu cultivo, embora se produza também em alguns locais da região Sudeste (HERTER et al., 2014). A produção nacional de pêssegos é de 216 mil toneladas em uma área de 19 mil hectares, sendo que, aproximadamente 65% desta produção são realizadas no estado do Rio Grande do Sul (AGRIANUAL, 2012). Nesse estado, a produção de pêssegos ocorre em três polos frutícolas: região Sul ou Metade Sul, onde a produção é destinada para a industrialização e regiões da Serra e Metropolitana de Porto Alegre, que produzem frutos para o consumo *in natura*, totalizando uma produção ao redor de 140 mil toneladas (MARODIN; SARTORI, 2000).

Embora a região Sul do Brasil seja o principal centro produtor de pêssegos, o seu cultivo sofre algumas limitações sendo as principais aquelas relacionadas às condições climáticas e ao ataque de pragas. A primeira delas se refere ao acúmulo de frio hibernal para que a planta complete o período de dormência e, assim, possa ter

brotação e floração uniformes e normais. Neste sentido, há que se considerar que esta região, apesar de possuir invernos com temperaturas próximas de zero grau, não permite o cultivo de variedades exigentes em frio, como ocorre nas principais regiões produtoras do mundo. Este fato ocorre porque a temperatura é muito variável e a quantidade de graus-dia acumulada é inferior ao exigido pelas cultivares de clima frio. Assim, embora haja uma diversificação climática acentuada pela configuração topográfica, a maioria das cultivares é de baixa exigência de horas-frio. Em segundo lugar, a região Sul do Brasil tem invernos amenos associados com alta umidade relativa e frequente incidência de ventos, fatores ambientais que facilitam a ocorrência e proliferação de pragas. Assim, se medidas de controle não forem adotadas, as perdas causadas pelas pragas podem ser significativas.

Entre as principais pragas do pessegueiro merecem destaque a mosca-das-frutas sul-americana *Anastrepha fraterculus* (Wied.) (Diptera: Tephritidae) (Figura 1A), a mosca-do-mediterrâneo *Ceratitis capitata* (Wied.) (Figura 1B) (Diptera: Tephritidae) e a mariposa-oriental *Grapholita molesta* Busck (Lepidoptera: Tortricidae) (Figura 1C) (NAVA et al., 2014). As três espécies são importantes, pois possuem vários hospedeiros nativos e cultivados e atacam a parte da planta a ser consumida, os frutos, necessitando assim, de medidas de controle para evitar perdas econômicas (BOTTON et al., 2012; NAVA; BOTTON, 2010). Dentre as moscas-das-frutas, *Anastrepha fraterculus* é a principal espécie do grupo que ataca o pêssego na região Sul, enquanto na região Sudeste, além desta, também é importante *Ceratitis capitata* (SOUZA FILHO et al., 2009).



Fotos: Heraldo Negri de Oliveira (A);
Paulo Luiz Lanzetta Aguiar (B);
Dori Edson Nava (C).

Figura 1. Adultos de *Anastrepha fraterculus* (A), *Ceratitis capitata* (B) e *Grapholita molesta* (C).

Considerando as mudanças climáticas globais ocorridas nas últimas décadas (aumentos de temperatura e modificações nos padrões de precipitação) e as projeções de que se intensificarão no futuro, o cultivo de pêssego deve ser repensado, já que, diante destes cenários, não apenas as plantas poderão ser afetadas, mas também os insetos fitófagos (BALE et al., 2002; CORNELISSEN, 2011). Embora se projete a intensificação destas mudanças ao longo do presente século, pouco se sabe se os insetos-praga serão favorecidos ou não. Apesar das projeções indicarem a alteração de outros elementos climáticos, a temperatura é o principal fator abiótico que interfere no desenvolvimento dos insetos. Certamente, com o seu aumento, haverá um acréscimo do número de gerações, o que refletirá no aumento populacional dos insetos, embora se deva levar em consideração que este incremento ocorrerá dentro de uma faixa térmica que possibilite seu desenvolvimento.

No caso específico da região de Pelotas, onde se concentra a maior parte da produção de pêssegos no Brasil, sabe-se que no período de 1893-2004 houve um incremento de 1,01°C na média das temperaturas mínimas (STEINMETZ et al., 2005). Dentro dessa perspectiva de aumento da temperatura na região, será abor-

dado o impacto do aumento da temperatura no número de gerações e da bioecologia de dois principais insetos-praga da cultura do pessegueiro, *Anastrepha fraterculus* e *Grapholita molesta* e, de *Ceratitidis capitata*, praga que está presente na região e cuja distribuição indica que poderá ser um problema futuro com o aumento da temperatura. O impacto do aumento da temperatura sobre os insetos-praga será analisado no cenário referência (normal climatológica de 1961-1999) e nos cenários de mudanças climáticas A2 e B1 do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) (MEEHL; STOCKER, 2007).

Distribuição, hospedeiros e efeito da temperatura no desenvolvimento das pragas

Anastrepha fraterculus

É considerada a principal praga do pessegueiro (NAVA; BOTTON, 2010). De origem Neotropical, possui abrangência do sul dos EUA (Texas) até o norte da Argentina (MALAVASI et al., 2000).

No Brasil é praga-chave de várias frutíferas comerciais e nativas nos estados das regiões Sul e Sudeste. No Rio Grande do Sul (RS) e em Santa Catarina (SC), *Anastrepha fraterculus* é a espécie predominante, sendo que, para o RS, a mesma representa cerca de 95% das espécies de *Anastrepha* capturadas em armadilhas nos pomares (SALLES; KOVALESKI, 1990).

Entre os hospedeiros de *Anastrepha fraterculus* encontram-se espécies de várias famílias, sendo que Rosaceae, Rutaceae e Myrtaceae incluem a maior quantidade de espécies hospedeiras. Ao todo, são conhecidas 67 espécies de hospedeiros (ZUCCHI, 2000). Dentre os hospedeiros de *Anastrepha fraterculus* da região sul do Rio Grande do Sul, o pêssego é o fruto com maior índice de infestação,

aproximadamente 24 pupas por fruto (NUNES et al. 2012). Frutíferas nativas e exóticas como a amoreira-preta e o mirtilheiro também são infestados, embora em menor quantidade (BISOGNIN et al., 2013).

A duração dos estádios de desenvolvimento é variável com a temperatura, sendo o ciclo biológico (ovo-adulto) de cerca de 88 a 28 dias na faixa térmica de 15°C a 30°C, respectivamente (SALLES, 2000) (Tabela 1). *Anastrepha fraterculus* não possui diapausa e nas condições térmicas do Rio Grande do Sul podem ocorrer nove gerações por ano (KOVALESKI, 1997; SALLES, 1993). Embora a espécie esteja adaptada a condições térmicas de clima subtropical e temperado, também pode ocorrer na região tropical. A temperatura base do ciclo biológico (ovo-adulto) é de 10,7°C e a constante térmica para totalização de seu ciclo é de 430,6 graus-dia (SALLES, 2000). Além do desenvolvimento das fases imaturas, a temperatura tem influência na reprodução e na longevidade dos insetos.

Tabela 1. Duração (dias) das fases de desenvolvimento de *Anastrepha fraterculus* em diferentes temperaturas.

Fase/Período	Temperatura (°C)						
	15	17,5	20	22,5	25	27,5	30
Ovo	10,3	7,9	4,7	3,0	2,6	2,6	2,3
Larva	34,5	22,5	16,2	14,8	11,0	11,3	14,0
Pupa	43,2	37,1	26,0	19,8	10,0	13,0	11,8
Ovo-adulto	88,0	67,2	46,9	38,8	23,8	26,9	28,1

Fonte: Adaptado de Salles (2000).

Ceratitis capitata

Considerada a espécie de mosca-das-frutas mais cosmopolita em âmbito mundial, foi registrada no Brasil no início do século 20, sendo a única espécie do gênero que ocorre no País (ZUCCHI, 2001). Atualmente são conhecidas 374 espécies de hospedeiros de *Ceratitis capitata* em todo o mundo, pertencentes a 69 famílias, sendo

que 40% das espécies pertencem às famílias Myrtaceae, Rosaceae, Rutaceae, Sapotaceae e Solanaceae (LIQUIDO et al., 1991).

A espécie está distribuída em praticamente todos os Estados da Federação, sendo economicamente importante nas regiões Sudeste e Nordeste. Na região Sul restringe-se às áreas urbanas e, apesar de alguns registros como praga do pessegueiro no Paraná (FEHN, 1981) e no Rio Grande do Sul (GARCIA; CORSEUIL, 1999; LORENZATO, 1988), sua presença ainda não foi registrada nos pomares comerciais de pessegueiro de Pelotas e da Serra Gaúcha, principais regiões produtoras da fruta no estado (NAVA et al., 2008; RICALDE et al., 2012b). A sua presença na região de Pelotas, municípios de Pelotas, Morro Redondo e Capão do Leão foi estudada avaliando-se a sua distribuição nas zonas urbanas, peri-urbana e rural, por meio do monitoramento realizado com feromônio sexual em 31 pontos de pomares comerciais e não comerciais (Figura 2).

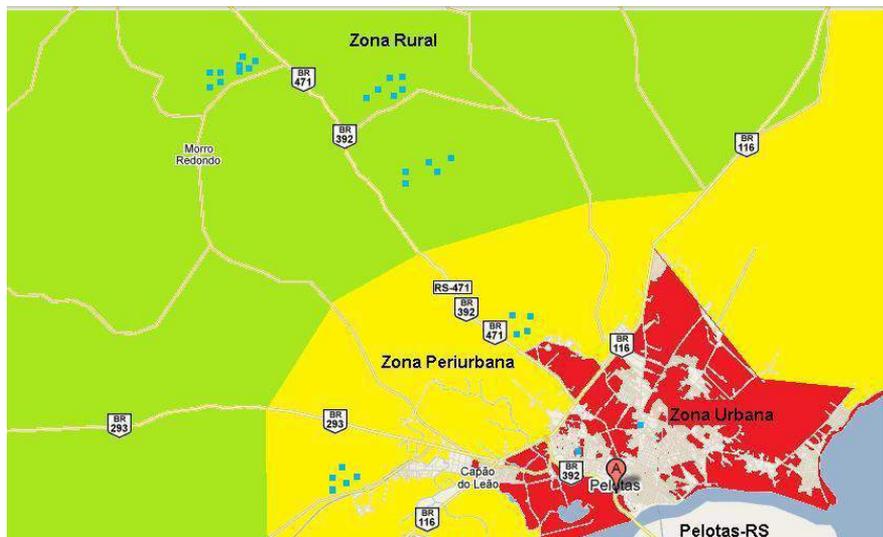


Figura 2. Locais de instalação das armadilhas McPhail e Jackson em pomares comerciais e não comerciais representados pelos pontos azuis. As cores vermelha, amarela e verde indicam a zona urbana, periurbana e rural, respectivamente, da área abrangida pelos municípios de Pelotas, Capão do Leão e Morro Redondo, RS.

Este estudo foi realizado nas safras de 2008/09 a 2010/11 e vem sendo monitorado até a atual safra de 2012/13. Os resultados indicam que houve um aumento na população de *Ceratitis capitata*, entretanto, esta praga continua restrita nas zonas urbanas e peri-urbana. Apesar da coleta eventual de exemplares em armadilhas instaladas em pomares comerciais, danos nos frutos em decorrência de seu ataque não têm sido verificados (RICALDE et al., 2012b).

A duração dos estádios de desenvolvimento é influenciada pela temperatura, sendo que o ciclo biológico (ovo-adulto) é variável de 71 a 17 dias na faixa térmica de 15°C a 30°C, respectivamente (Tabela 2). Estudos realizados com populações de *Ceratitis capitata* provenientes de Pelotas/RS (clima temperado), Campinas/SP (clima subtropical) e Petrolina/PE, (clima tropical) demonstraram que as três populações possuem exigências térmicas próximas de 350, 341 e 328 graus-dia, respectivamente (RICALDE et al., 2012a). O número de gerações por ano para as populações provenientes das regiões de clima temperado, sub-tropical e tropical é de 9, 14 e 18, respectivamente.

Tabela 2. Duração (dias) das fases de desenvolvimento de *Ceratitis capitata* em diferentes temperaturas.

Fase/Período	Temperatura (°C)			
	15	20	25	30
Ovo	7,56	3,27	2,39	2,21
Larva	27,89	11,51	9,53	7,42
Pupa	35,75	15,21	9,43	7,85
Ovo-adulto	71,20	30,00	21,36	17,48

Fonte: Ricalde et al. (2012a).

Grapholita molesta

A mariposa-oriental é originária da Ásia (Extremo Oriente) e foi introduzida no Brasil em 1929, mais especificamente no Estado do Rio Grande do Sul (SILVA et al., 1962) de onde migrou para outros países do continente sul-americano (GONZALEZ, 1989). No Brasil, a praga ocorre em toda a região Centro-Sul, principalmente nos estados de Minas Gerais, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul (SALLES, 1998).

A ocorrência da *G. molesta* está associada ao cultivo de frutíferas da família Rosaceae. Embora o pessegueiro (*Prunus persica* (L.) Batsch.) seja considerado o seu principal hospedeiro ataca, principalmente, o marmeleiro (*Cydonia vulgaris* Pers.), a pereira (*Pyrus communis* L.) e a macieira (*Malus domestica* L.) (ARIOLI, 2007; SALLES 2001).

A temperatura é um dos principais fatores que influencia no desenvolvimento de *Grapholita molesta*. A duração dos estádios de desenvolvimento é inversamente proporcional à temperatura, sendo que para o ciclo biológico a duração varia de 24 a 47 dias na faixa térmica de 30 a 20°C, respectivamente (Tabela 3). Além disto, nas condições da região Sul do Brasil, o inseto pode ter de 4 a 6 gerações por ano e a temperatura, juntamente com o fotoperíodo, são responsáveis por induzir a diapausa durante os meses de inverno (SALLES, 2001; SAUSEN et al., 2011). As exigências térmicas de *G. molesta* para as condições do Brasil foram determinadas por Grellmann (1991), sendo que para o ciclo biológico (ovo-adulto) de *Grapholita molesta*, a temperatura base é de 8,9°C e a constante térmica de 482,0 graus-dia.

Tabela 3. Duração dos estádios de desenvolvimento e do ciclo biológico (ovo-adulto) de *Grapholita molesta*, criada em dieta artificial, sob diferentes temperaturas. Umidade relativa de 75% ± 10% e fotofase de 14 horas.¹

Fase/Período	Temperatura (°C)			
	20	23	26	30
Ovo	5,1	3,8	3,1	2,9
Lagarta	21,5	15,7	12,3	11,0
Pré-pupa	7,9	4,5	3,4	3,0
Pupa	12,3	9,1	7,7	6,8
Ovo-adulto	46,8	33,1	26,5	23,7

Fonte: Grellmann (1991).

Cenários futuros

Anastrepha fraterculus

Com base nas exigências térmicas obtidas por Salles (2000) e na normal climatológica de 1961-1990 (cenário de referência), *Anastrepha fraterculus* pode ter de 9 a 12 gerações por ano, com variações em função da região e da estação climática ao longo do ano (Figura 3). Quando se compara este cenário de referência com os cenários B1 (baixas emissões de gases de efeito estufa) (Figura 3) e A2 (cenário de altas emissões de gases de efeito estufa) (Figura 4), há um incremento da área com maior número de gerações de *Anastrepha fraterculus*. Este aumento pode ser de 3 a 4 gerações a mais por ano, dependendo da área observada, sendo mais acentuado para o cenário A2, considerado o cenário “pessimista”. Dentro desta definição, o cenário pessimista A2 caracteriza-se pela manutenção dos padrões de emissões de gases de efeito estufa (GEE) observados nas últimas décadas, o que implicaria em concentrações atmosféricas de CO₂ de cerca de 850 ppm no ano de 2011; já B1 é o cenário de menores emissões ou cenário “otimista”, com tendência à estabilização das emissões de GEE e concentração, no final deste século, de cerca de 550 ppm (NAKICENOVIC et al., 2000).

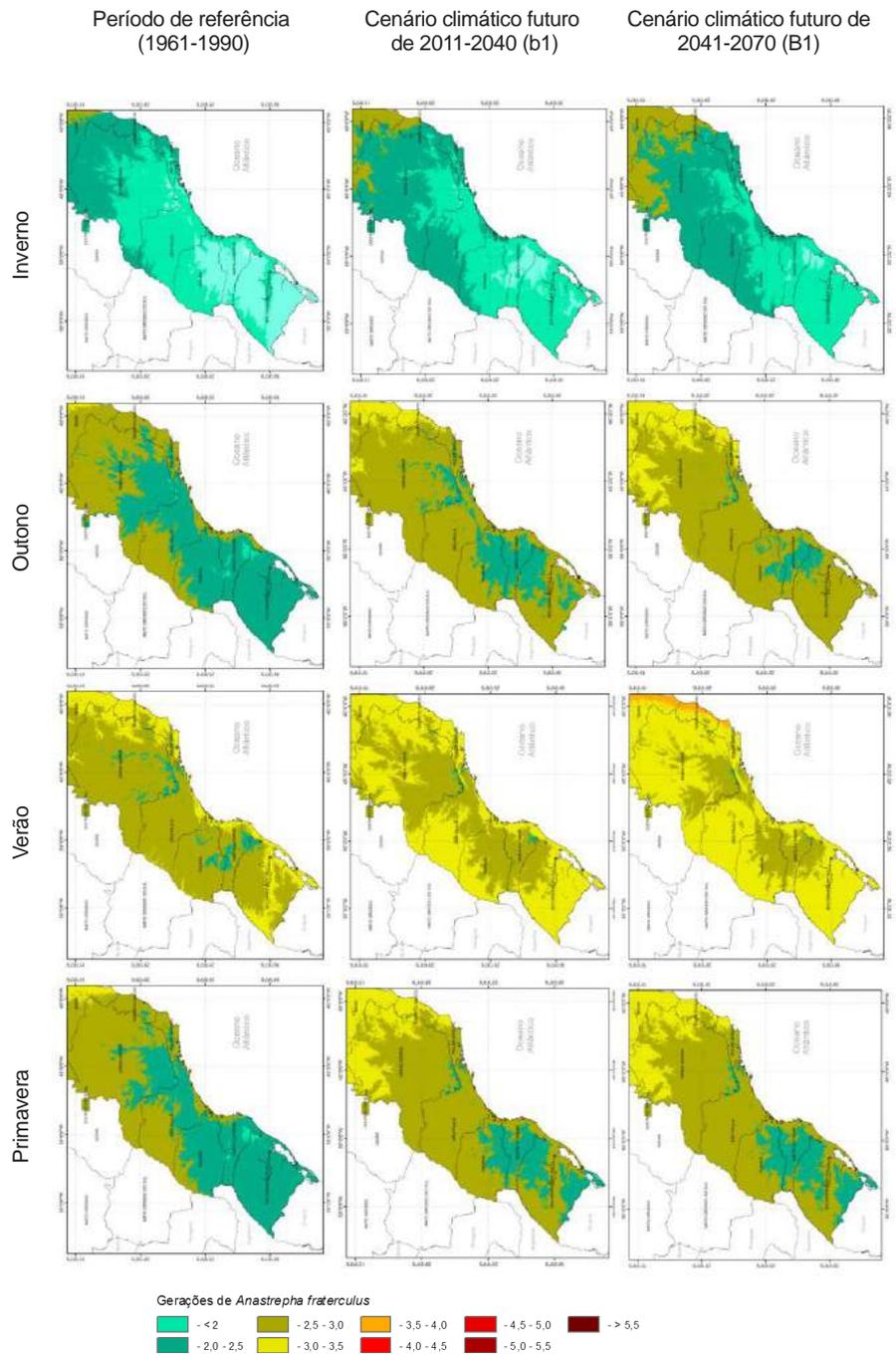


Figura 3. Zoneamento ecológico de *Anastrepha fraterculus* por estação climática baseado no período de referência e no cenário B1 a 40 anos e a 70 anos.

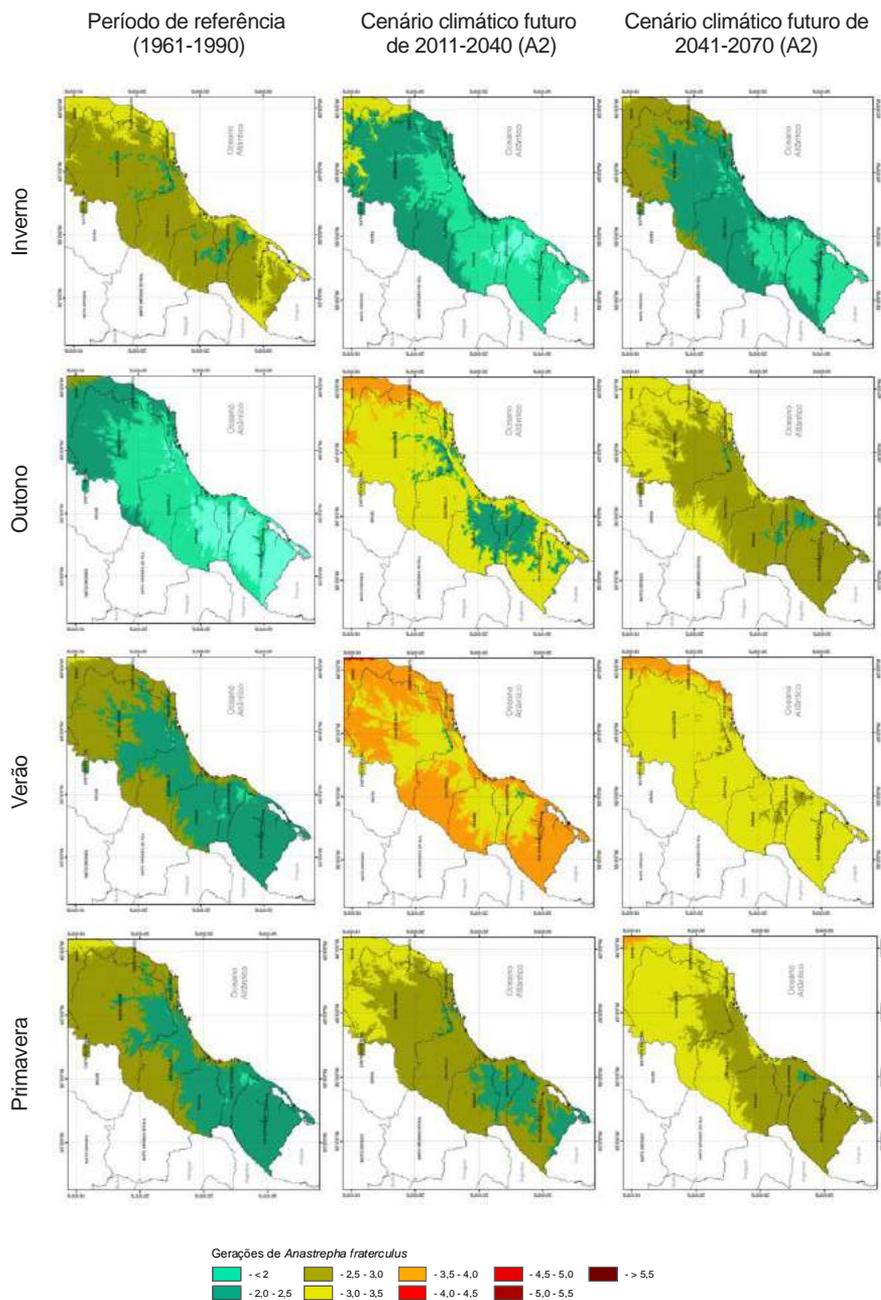


Figura 4. Zoneamento ecológico de *Anastrepha fraterculus* por estação climática baseado no período de referência e no cenário A2 a 40 anos e a 70 anos.

O número de gerações que ocorre em um ano foi calculado pela soma térmica total existente em cada local, dividindo-a pela soma térmica necessária para completar o ciclo de vida do inseto. Esse cálculo foi feito para as regiões Sul e Sudeste do Brasil, usando os dados climáticos organizados por Hamada et al. (2013), que verificou a consistência, os erros e a completude de vários modelos climáticos, selecionando e compilando os melhores, que foram aqueles que representavam melhor a realidade de cada região. A soma térmica foi calculada para o período base 1961-1990 (considerado como período presente) e para as projeções de cenários climáticos futuros, até 2070.

A soma térmica foi calculada pela diferença entre a média das temperaturas máximas e mínimas e a temperatura base. A temperatura base representa o limite abaixo do qual o inseto não se desenvolve por não encontrar condições favoráveis para completar o ciclo de vida. Quando a temperatura mínima é inferior à temperatura base, considera-se o ciclo do inseto paralisado, até que a temperatura se eleve novamente e seja superior à temperatura base. Dessa maneira, no inverno, a duração do ciclo de vida do inseto é maior que no verão, pois, nesse período, com certa frequência, a temperatura cai abaixo do limite.

Os mapas dos números de gerações do inseto no período base e as projeções de cenários futuros foram feitos por regressão linear múltipla, onde foram correlacionadas a variável número de gerações com a altitude, a latitude e a longitude de cada local, usando o modelo numérico do terreno (MNT) do GTOPO30 (ESTADOS UNIDOS, 2017). Os mapeamentos foram feitos em sistemas de informações geográficas, utilizando o programa ArcGIS 10.

A mosca-das-frutas sul-americana não possui diapausa e sobrevive ao inverno (maio a agosto) em hospedeiros da estação, como os citros (*Citrus* spp.) e a nêspera (*Eriobotrya japonica*). Embora o seu

desenvolvimento seja menor em relação às outras estações, a infestação de *Anastrepha fraterculus* nos frutos destas plantas causa perdas econômicas. Esta geração de insetos dará origem às gerações que irão infestar o pêssego, cuja safra na região Sul do Brasil inicia no final de outubro e vai até meados de fevereiro. Assim, se o cenário de aumento da temperatura for efetivado, poderá ocorrer um aumento populacional da mosca-das-frutas sul-americana e consequentemente, as perdas também serão maiores.

Atualmente, o manejo de *Anastrepha fraterculus* nos pomares é dificultado, pois os inseticidas fosforados, especialmente os de ação sistêmica, estão sendo retirados do mercado em virtude, principalmente, de questões de contaminação e toxicidade. Assim, pesquisas relacionadas a técnicas de manejo e também a ações de adaptação para atenuar os impactos das mudanças climáticas globais são estratégicas, por exemplo, para manter a população dos insetos nos níveis atuais e evitar maiores perdas.

Ceratitis capitata

Com base nas exigências térmicas para o período de referência de 1961-1990, *Ceratitis capitata* pode ter de 10 a 15,5 gerações durante um ano (Figura 5). Semelhantemente, a *Anastrepha fraterculus* e a *Ceratitis capitata* não possuem diapausa e podem ter de 2 a 3 gerações durante a estação do inverno, dependendo da região. Nas estações de primavera e outono o número de gerações pode variar de 2,5 a 4 e durante o verão pode-se ter de 3 a 4,5 gerações. Como o pessegueiro encontra-se no estágio de frutificação durante os meses de outubro a fevereiro, o número de gerações do inseto que coincide com a produção do pêssego é menor. Assim, pêssegos precoces sofrem uma menor pressão do que os pêssegos tardios, já que ao longo do tempo há um aumento populacional.

Os mapas com o número de gerações de *Ceratitis capitata* foram feitos com a mesma metodologia usada para *Anastrepha fraterculus*, tanto para o período base, quanto para as projeções de cenários futuros.

Com as projeções de cenários realizadas com base nos cenários de mudanças climáticas, há um incremento no número de gerações (Figuras 5 e 6). Para os cenários B1 e A2, tanto nos períodos de 2011-2040 e de 2041-2070, *Ceratitis capitata* poderá ter de 2,5 a 3 gerações a mais, por ano, em relação ao período de referência, dependendo da área observada. Embora não haja uma grande diferença no número de gerações entre os cenários e entre os períodos, observa-se que há um incremento no tamanho das áreas com maior número de gerações.

No caso de *Ceratitis capitata*, os pomares de pessegueiro mais propensos ao ataque, são aqueles localizados no Estado de São Paulo, onde o inseto tem causado danos significativos. Nos pomares do Rio Grande do Sul e Santa Catarina não tem sido observado danos em pomares comerciais, embora a sua presença já tenha sido detectada em pomares comerciais. Entretanto, teme-se que, com o aquecimento global, possa haver um aumento populacional dessa praga, que, como mencionado anteriormente, é considerada a espécie de mosca-das-frutas mais cosmopolita.

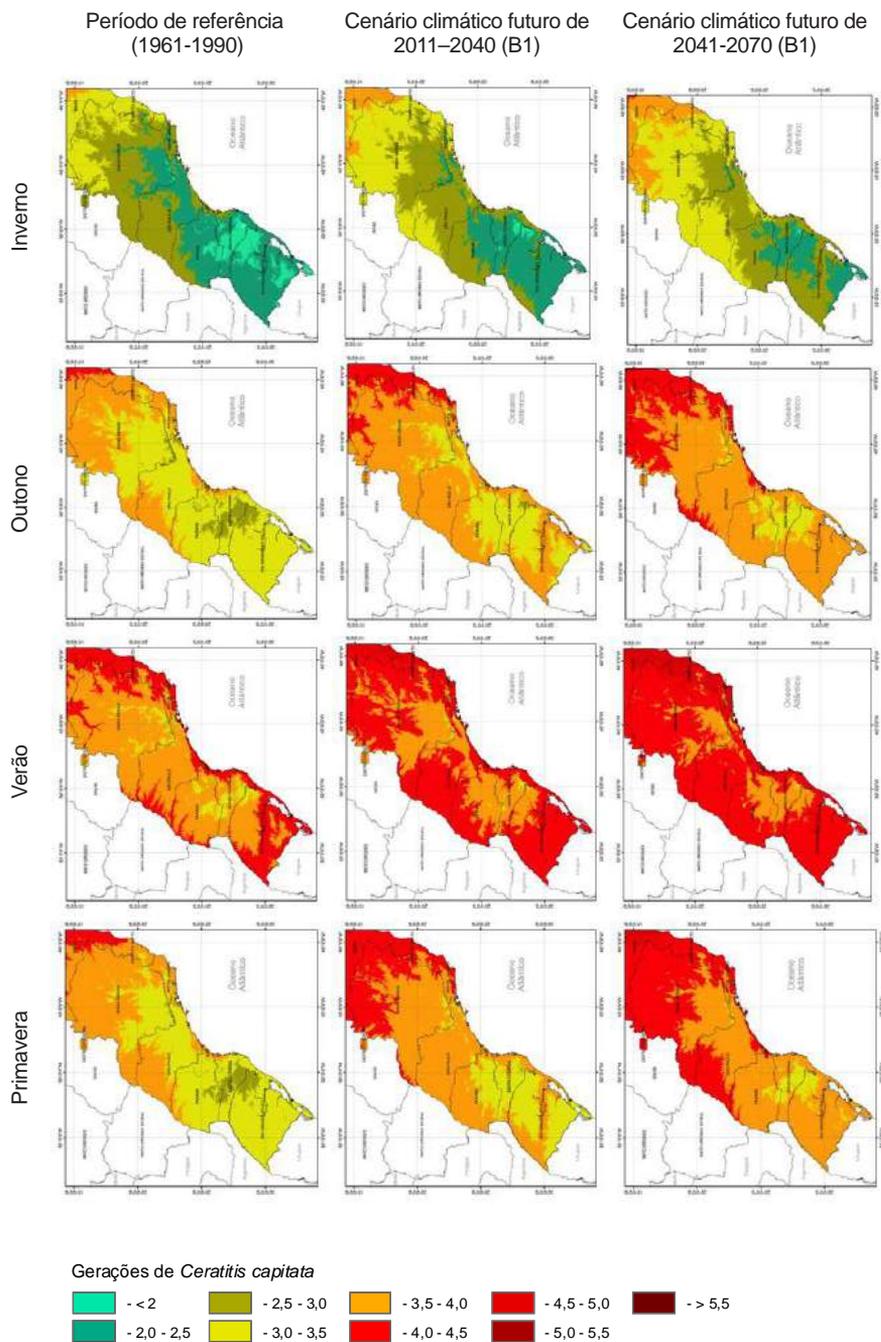


Figura 5. Zoneamento ecológico de *Ceratitis capitata* por estação climática baseado no período de referência e no cenário B1 a 40 anos e a 70 anos.

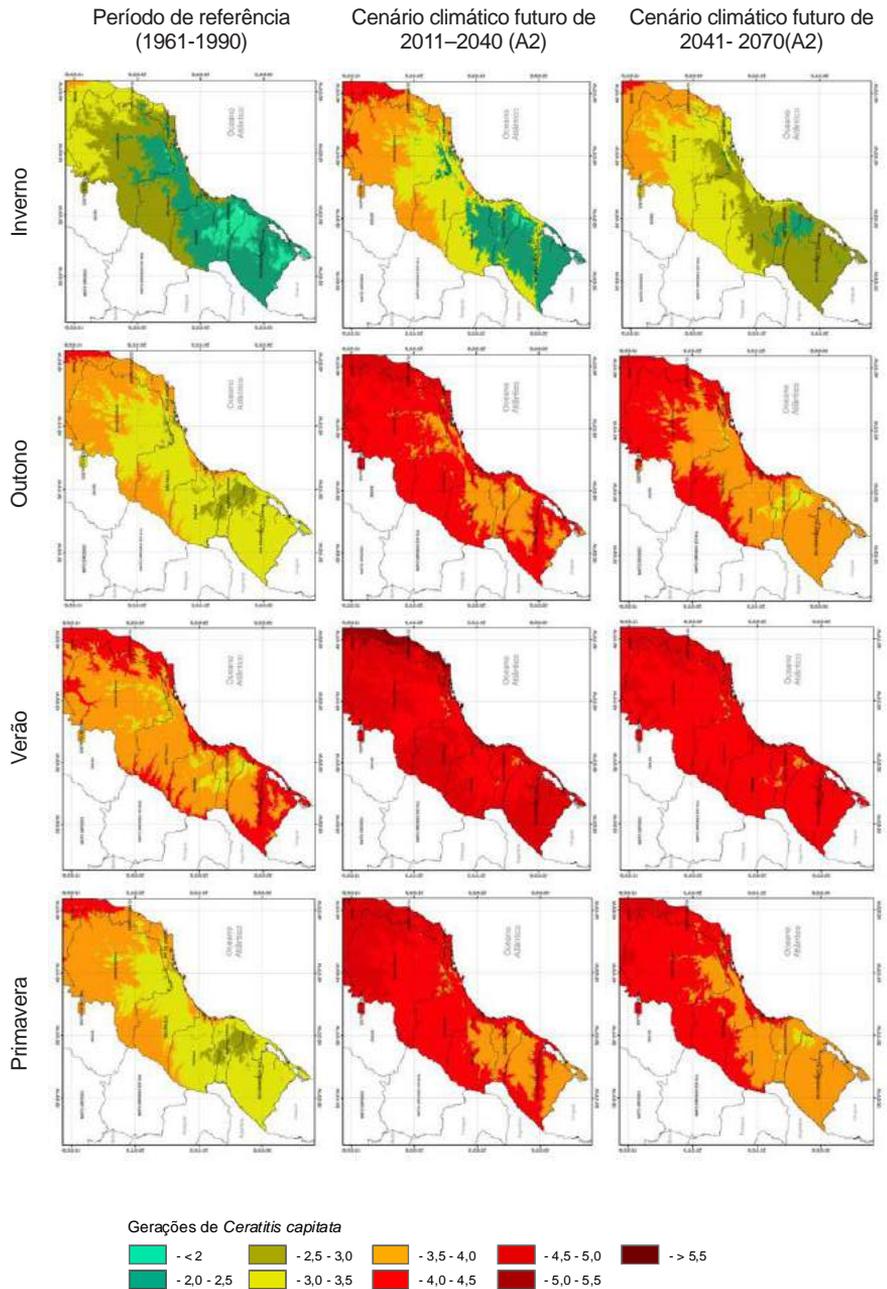


Figura 6. Zoneamento ecológico de *Ceratitis capitata* por estação climática baseado no período de referência e no cenário A2 a 40 anos e a 70 anos.

Grapholita molesta

A partir da temperatura base de 8,9°C e da constante térmica de 482 graus-dia, e através da normal climatológica de 1961-1990 (período de referência), observa-se que a *Grapholita molesta* pode ter de 8 a 12 gerações por ano (Figuras 7 e 8). Entretanto, *Grapholita molesta* possui diapausa durante o inverno, sendo este fenômeno governado pela diminuição das horas de luz e da temperatura (SAUSEN et al., 2011). Assim, pode-se considerar que, durante o inverno, não há seu desenvolvimento e o número de gerações pode variar de 6 a 9,5.

Do mesmo modo que nos casos anteriores, os mapas com o número de gerações de *Grapholita molesta* foram feitos com a mesma metodologia usada para *Anastrepha fraterculus*, tanto para o período base, bem como para as projeções de cenários futuros.

Com o aumento da temperatura prevista no cenário A2, haveria um aumento de 6 a 10 gerações no período de 2011-2040 e de 6,5 a 10,5 gerações para 2041-2070, desconsiderando o período de diapausa. Embora não haja um aumento muito grande no número de gerações, observa-se que, com o aumento da temperatura, há um incremento das áreas onde se tem o maior número de gerações. Para o cenário B1, o número de gerações varia de 6 a 9,5 por ano, sendo que foram observadas diferenças apenas no aumento das áreas geográficas com o maior número de gerações entre os períodos 2011-2040 a 2041-2070.

Impacto potencial das mudanças climáticas sobre a distribuição geográfica de insetos-praga na cultura do pessegueiro

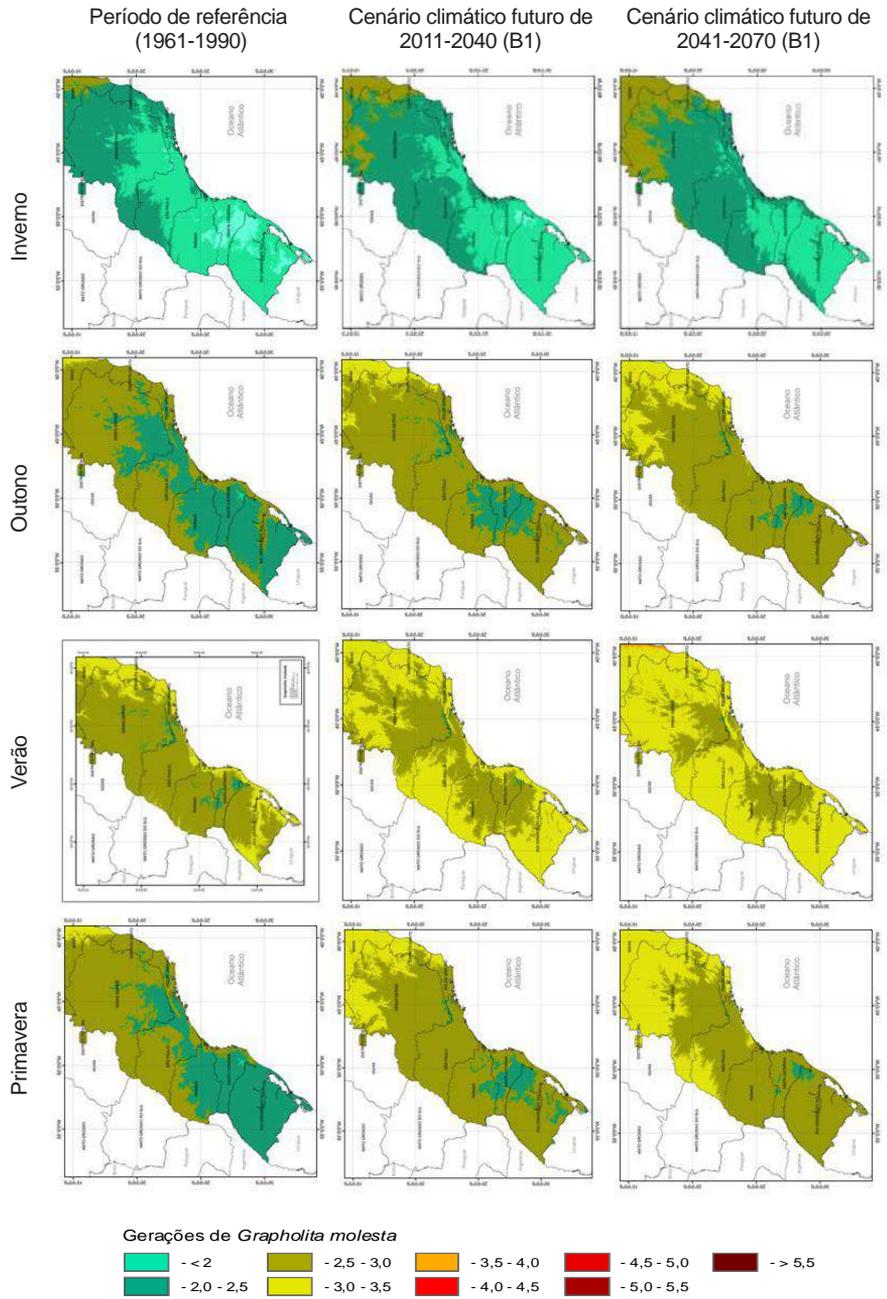


Figura 7. Zoneamento ecológico de *Grapholita molesta* por estação climática baseado no período de referência e no cenário B1 a 40 anos e a 70 anos.

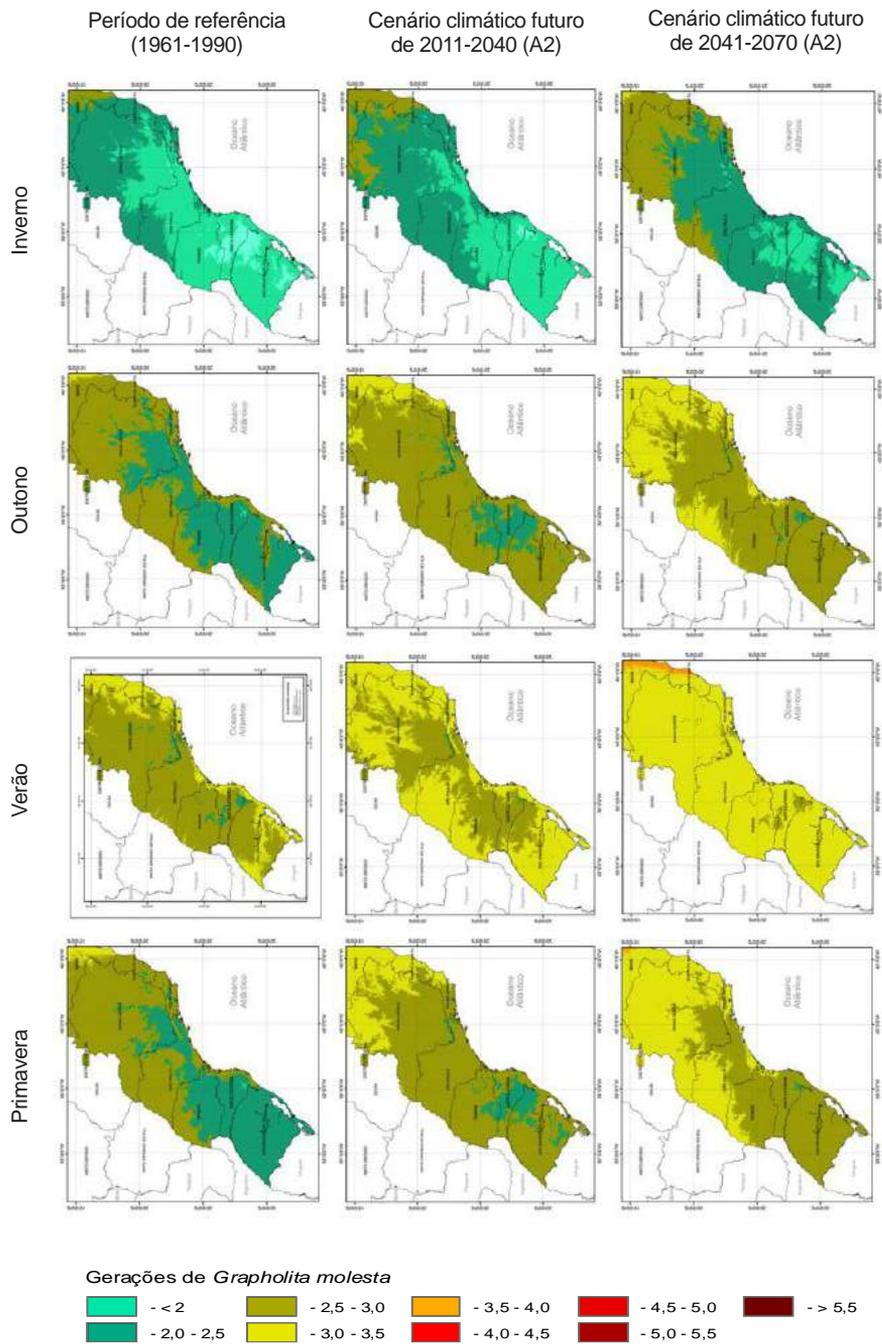


Figura 8. Zoneamento ecológico de *Grapholita molesta* por estação climática baseado no período de referência e no cenário A2 a 40 anos e a 70 anos.

Considerações finais

As mudanças climáticas globais poderão trazer ameaças à produção de pêssego nas condições de clima do Brasil, uma vez que o pessegueiro necessita de um acúmulo mínimo de horas de frio para produzir frutos de qualidade. Além disto, o aquecimento global poderá favorecer a ocorrência de determinados grupos de organismos, deixando a cultura mais suscetível aos problemas fitossanitários.

O impacto potencial do aumento da temperatura sobre o número de gerações de *Anastrepha fraterculus*, *Ceratitidis capitata* e *Grapholita molesta* é demonstrado neste capítulo, indicando que poderá haver um aumento populacional destas pragas. Entretanto, as projeções aqui apresentadas devem ser avaliadas levando-se em consideração que há outros fatores que interferem no crescimento populacional desses insetos. Certamente o cenário atual não será o mesmo com o aumento da temperatura, o que sugere a importância de um acompanhamento das populações destes insetos ao longo dos próximos anos, assim como aumentar a compreensão dos efeitos diretos e indiretos da elevação da temperatura sobre as plantas hospedeiras destes insetos e sobre os ciclos de desenvolvimento e ocorrência de seus predadores/concorrentes naturais.

Referências

AGRIANUAL. São Paulo, FNP, 2012. 482 p.

ARIOLI, C. J. **Técnica de criação e controle de *Grapholita molesta* (Busck, 1916) (Lepidoptera: Tortricidae) na cultura da macieira**. 2007. 83 f. Tese (Doutorado em Fitossanidade) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

BALE, J. S.; MASTERS, G. J.; HODKINSON, I. D.; AWMACK, C.; MARTIJNBEZEMER, T.; BROWN, V. K.; BUTTERFIELD, J.; BUSE, A.; COULSON, J. C.; FARRAR J.; GOOD, J. G.; HARRINGTON, R.; HARTLEY, S.; JONES, T.H.; LINDROTH, R. L.; PRESS, M. C.; SYMRNIODIS, I.; WATT, A. D.; WHITTAKER, J. B. Herbivory in global climate change research: direct effects of rising temperature on insect herbivores. **Global Change Biology**, v. 8, n. 1, p. 1-16, 2002.

BISOGNIN, M.; NAVA, D. E.; LISBOA, H.; BISOGNIN, A. Z.; GARCIA, M. S.; VALGAS, R. A.; DIEZ-RODRÍGUEZ, G. I.; BOTTON, M.; ANTUNES, L. E. C. Biologia da mosca-das-frutas sul-americana em frutos de mirtilheiro, amoreira-preta, araçazeiro e pitangueira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 48, n. 2, p. 141-147, 2013.

BOTTON, M.; NAVA, D. E.; ARIOLI, C. J.; GRUTZMACHER, A. D.; GARCIA, M. S. **Bioecologia, monitoramento e controle da mariposa-oriental na cultura do pessegueiro no Rio Grande do Sul**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2011. 12 p. (Embrapa Uva e Vinho. Circular Técnica, 86).

CORNELISSEN, T. Climate change and its effects on terrestrial insects and herbivory patterns. **Neotropical Entomology**, v. 40, n. 2, p.155-163, 2011.

ESTADOS UNIDOS. Geological Survey. National Mapping Division. **Global 30 arc second elevation data**. Disponível em: <<https://lta.cr.usgs.gov/GTOPO30>>. Acesso em: 20 jul. 2017.

FEHN, L. M. Coleta e reconhecimento de moscas das frutas na Região Metropolitana de Curitiba e Irati, Paraná, Brasil. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, v. 42, n. 10, p.199-208, 1981.

GARCIA, F. R. M.; CORSEUIL, E. Influência de fatores climáticos sobre moscas-das-frutas (Diptera: Tephritidae) em pomares de pessegueiro em Porto Alegre, Rio Grande do Sul. **Revista Faculdade de Zootecnia, Veterinária e Agronomia**, v. 5/6, n. 1, p. 71-75, 1999.

GONZALEZ, R. H. **Insectos y acaros de importância agrícola y cuarentenária en Chile**. Santiago: Universidad de Chile, 1989. 310 p.

GRELLMANN, E. O. **Exigências térmicas e estimativa do número de gerações de *Grapholita molesta* (Busck, 1916) (Lepidoptera: Olethreutidae) em Pelotas, RS**. 1991. 43 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

HAMADA, E.; GHINI, R.; MARENGO, J. A.; OLIVEIRA, B. S.; NOGUEIRA, S. M. C. **Atlas digital dos cenários climáticos projetados para o Brasil com base no Quarto Relatório do IPCC (2007):** variáveis de interesse agrícola Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2013. 1 CD ROM. (Embrapa Meio Ambiente. Documentos, 96).

HERTER, F. G.; WREGE, M. S.; TONIETTO, J.; FLORES, C. A. Adaptação edafoclimática. In: RASEIRA, M. C. B.; PEREIRA, J. F. M.; CARVALHO, F. L. C. (Ed.). **Pessegueiro**, Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 45-56.

KOVALESKI, A. **Processo adaptativo na colonização da maçã (*Malus domestica* L.) por *Anastrepha fraterculus* (Wied.) (Diptera: Tephritidae) na região de Vacaria, RS.** 1997. 122 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade de São Paulo, São Paulo.

LIQUIDO, N. J.; SHINODA, L. A.; CUNNINGHAM. **Host plants of the Mediterranean fruit fly (Diptera: Tephritidae): an annotated world review.** Lanham: Entomological Society of America, 1991. 52 p. (Miscellaneous Publications of the Entomological Society of America, 77).

LORENZATO, D. Controle integrado de moscas-das-frutas em frutíferas rosáceas. **Ipagro Informa**, v. 1, p. 57-70, 1988.

MALAVASI, A.; ZUCCHI, R. A.; SUGAYAMA, R. L. Biogeografia. In: MALAVASI, A.; ZUCCHI, R. A. (Ed.) **Moscas-das-frutas de importância econômica no Brasil:** conhecimento básico e aplicado. Ribeirão Preto: Holos, 2000. p. 93-98.

MARODIN, G. A. D.; SARTORI, I. A. Situação das frutas de caroço no Brasil e no mundo. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE FRUTAS DE CAROÇO: PÊSSEGOS, NECTARINAS E AMEIXAS, 2000, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2000, p. 7-16.

MEEHL, G. A.; STOCKER, T. F. (Coord.). Global climate projections. In: SOLOMON, S., QIN, D.; MANNING, M.; CHEN, Z.; MARQUIS, M.; AVERYT, K. B.; TIGNOR, M.; MILLER, H. L. (Ed.). **Climate change 2007: the physical science basis: contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.** Cambridge: Cambridge University Press, 2007. p. 747-845.

NAKICENOVIC, N.; DAVIDSON, O.; DAVIS, G.; GRÜBLER, A.; KRAM, T.; LA ROVERE, E. L.; METZ, B.; MORITA, T.; PEPPER, W.; PITCHER, H.; SANKOVSKI, A.; SHUKLA, P.; SWART, R.; WATSON, R.; DADI, Z. **Emissions scenarios.** Cambridge: Cambridge University Press, 2000. (IPCC Special Reports). Disponível em: <<http://pure.iiasa.ac.at/6101/2/sres-en.pdf>>. Acesso em: 27 abr. 2017.

NAVA, D. E.; BOTTON, M. **Bioecologia e controle de *Anastrepha fraterculus* e *Ceratitis capitata* em pessegueiro**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2010. 29 p. (Embrapa Clima Temperado. Documentos, 315).

NAVA, D. E.; BOTTON, M.; ARIOLI, C. J.; GARCIA, M. S.; GRUTZMACHER, A. D. Insetos e ácaros-praga. In: RASEIRA, M. C. B.; PEREIRA, J. F. M.; CARVALHO, F. L. C. (Ed.) **Pessegueiro**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 433-486.

NAVA, D. E.; MELO, M.; COUTO, M. E.; CUNHA, D. D. Mais agressiva. **Cultivar - Hortaliças e Frutas**, v. 8, n. 48, p. 32-33, 2008.

NUNES, A. M.; MULLER, F. A.; GONCALVES, R. S.; GARCIA, M. S.; COSTA, V. A.; NAVA, D. E. Moscas frugívoras e seus parasitoides nos municípios de Pelotas e Capão do Leão, Rio Grande do Sul, Brasil. **Ciência Rural**, v. 42, n. 1, p. 6-12, 2012.

RICALDE, M. P.; NAVA, D. E.; LOECK, A. E.; DONATTI, M. G. Temperature-dependent development and survival of Brazilian populations of the Mediterranean fruit fly, *Ceratitis capitata*, from tropical, subtropical and temperate regions. **Journal of Insect Science**, Maddisson, v. 12, article 29, 2012a.

RICALDE, M. P.; NAVA, D. E.; LOECK, A. E.; DONATTI, M. G.; LISBOA, H. **Monitoramento de *Ceratitis capitata* (Wiedemann, 1824) (Diptera: Tephritidae) em pomares nos municípios de Pelotas, Capão do Leão e Morro Redondo, RS**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2012b. 23 p. (Embrapa Clima Temperado. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 167).

SALLES, L. A. B. Biologia e ciclo de vida de *Anastrepha fraterculus* (Wied.). In: MALAVASI, A.; ZUCCHI, R. A. (Ed.) **Moscas-das-frutas de importância econômica no Brasil: conhecimento básico e aplicado**. Holos, Ribeirão Preto, Cap. 8 p. 81-86, 2000.

SALLES, L. A. B. Emergência dos adultos de *Anastrepha fraterculus* (Wied.) (Diptera: Tephritidae) durante o outono e inverno em Pelotas, RS. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, v. 22, n. 1, p. 63-69, 1993.

SALLES, L. A. B. Mariposa-oriental, *Grapholita molesta* (Lepidoptera: Tortricidae). In VILELA, E. F.; ZUCCHI, R. A.; CANTOR, F. (eds) **Histórico e impacto das pragas introduzidas no Brasil**. Holos Editora, Ribeirão Preto. 2001. 173 p.

SALLES, L. A. B. Principais pragas e seu controle. In: BARBOSA, C. A.; RASEIRA, M. C. B. (Ed.) **A cultura do pessegueiro**. Brasília, DF: Embrapa SPI, 1998. 350 p.

SALLES, L. A. B.; KOVALESKI, A. Mosca-das-frutas em macieira e pessegueiro no Rio Grande do Sul. **Hortisul**, v. 1, p. 5-9, 1990.

SAUSEN, C. D.; SANT'ANA, J.; REDAELLI, L. R.; PIRES, P. D. S. Diapause initiation and alterations in the life cycle of *Grapholita molesta* (Busck) (Lepidoptera: Tortricidae) as induced by photoperiodic conditions. **Neotropical Entomology**, v.40, n. 5, p. 529-532, 2011.

SILVA, A. G.; 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**. Rio de Janeiro: Mara-SDSV, 1962. 622 p.

SOUZA FILHO, M. F.; RAGA, A.; AZEVEDO FILHO, J. A.; STRIKIS, P. C.; GUIMARÃES, J. A.; ZUCCHI, R. A. Diversity and seasonality of fruits flies (Diptera: Tephritidae and Lonchaeidae) and their parasitoids (Hymenoptera: Braconidae and Figitidae) in orchards of guava, loquat and peach. **Brazilian Journal of Biology**, v. 69, n. 1, p. 31-40, 2009.

STEINMETZ, S.; SIQUEIRA, O. J. W.; WREGE, M. S.; HERTER, F. G.; REISSER JÚNIOR, C. Aumento da temperatura mínima do ar na região de Pelotas, sua relação com o aquecimento global e possíveis conseqüências para o arroz irrigado no Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 14. Campinas. **Anais...** Campinas: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 2005. 1 CD-ROM.

ZUCCHI, R. A. Mosca-do-mediterrâneo, *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae). In: VILELA, E. F.; ZUCCHI, R. A., CANTOR, F. (Ed.). **Pragas introduzidas no Brasil**, Ribeirão Preto: Holos, 2001. p. 15-22.

ZUCCHI, R. A. Taxonomia. In: MALAVASI, A; ZUCCHI, R. A. (Ed.) **Moscas-das-frutas de importância econômica no Brasil**: conhecimento básico e aplicado, Ribeirão Preto: Holos, 2000. p. 13-24.

Influência das mudanças climáticas nas regiões de ocorrência de *Hypsipyla grandella* do mogno no Brasil

Marcos Silveira Wrege e Marcílio José Thomazini

Introdução

O mogno (*Swietenia macrophylla* King) nativo do Brasil é a mais valiosa das espécies florestais madeireiras nativas da floresta tropical, especialmente da Floresta Amazônica. Basicamente, o que inviabiliza os plantios comerciais de mogno no Brasil, e que constitui-se como o principal fator limitante à implantação de plantios comerciais, é o ataque da broca do ponteiro ou broca das meliáceas, *Hypsipyla grandella* Zeller (Lepidoptera: Pyralidae) (GRIJPMA, 1976; HILJE; CORNELIUS, 2001; NEWTON et al., 1993; OHASHI et al., 2008) (Figura 1). Essa praga ataca também outras meliáceas de importância econômica, como o cedro-rosa (*Cedrella* spp.) (MARTÍNEZ et al., 2007). No Brasil, a alta infestação da praga foi um dos motivos do fracasso de plantios puros (a pleno sol) de mogno no Pará (GROGAN et al., 2002). Uma única lagarta pode causar danos muito severos. A lagarta perfura e mata o broto terminal, faz túneis nas brotações em desenvolvimento, quebrando a dominância apical, o que induz à ramificação lateral, prejudicando a formação de um tronco com fuste reto e comercialmente aproveitável. O desenvolvimento da árvore diminui e podem ocorrer outros ataques subsequentes, mas raramente a planta morre. A morte ocorre apenas quando o ataque é muito severo (FLOYD; HAUXWELL, 2001; GRIJPMA, 1976; NEWTON et al., 1993; OHASHI et al., 2008).



Foto: Marcílio José Thomazini.

Figura 1. *Hypsipyla grandella* nas fases de mariposa e de lagarta.

Hypsipyla grandella é considerada a principal praga florestal da América Latina e do Caribe (HILJE; CORNELIUS, 2001), devido a três fatores: baixo nível de tolerância da planta hospedeira à praga, pois apenas uma lagarta por árvore resulta em um dano severo; especificidade da praga pelos membros da subfamília Swietenioideae, das meliáceas; e ampla distribuição geográfica da praga. Além disso, a praga pode atacar várias estruturas da planta como folhas, fuste e frutos.

Os insetos adultos iniciam o voo quando as temperaturas noturnas superam os 17°C (GRIJPMA; GARA, 1970). Durante o dia, ficam escondidos na vegetação rasteira que recobre o solo, próximos aos hospedeiros, que são selecionados pelos insetos à noite, principalmente entre meia-noite e cinco horas da manhã, quando as temperaturas variam entre 15°C a 24°C (GARA et al., 1973).

Apesar das mudanças climáticas apresentarem-se entre os maiores desafios da humanidade, os impactos dessas mudanças sobre os problemas fitossanitários foram ainda pouco estudados, seja por meio de ensaios de experimentação ou por simulação de resultados (GARRETT et al., 2006). A maior parte dos estudos de comportamento de insetos foi conduzida no Hemisfério Norte, com as espécies comuns àquela região (PRITCHARD; AMTHOR, 2005; TAVERAS et al., 2004a).

A duração do ciclo biológico (ovo a adulto) de *Hypsipyla grandella* depende das condições climáticas, sendo menor em regiões de clima mais quente. O ciclo é integralmente completado quando atinge a constante térmica do inseto, de 1320 graus-dia, medida pelo acúmulo de horas de calor (soma térmica) acima da temperatura base, que é de 8,5°C. As fases do ciclo de vida de *Hypsipyla grandella*, medidas em laboratório por Berti Filho (1973), foram de 3 a 5 dias para a fase de ovo; de 25,7 dias para o desenvolvimento larval, com dieta artificial; e de 29,2 dias com dieta natural, com seis ínstars; a fase de pupa durou 10 dias, considerando-se a longevidade dos adultos de 4,6 dias para as fêmeas e de 2,9 dias para os machos. Taveras et al. (2004a) estudaram a duração do ciclo biológico, que variou de 30 dias na temperatura de 30°C, a 104 dias na temperatura de 15°C. Nas condições climáticas em que os estudos foram realizados, de 25°C, a duração média do ciclo foi de 36 dias, dos quais o período larval compreendeu cerca de 19 dias. Nesta temperatura, a mortalidade do estágio larval foi alta, alcançando taxas de 90%, aos 15°C, e 45%, aos 30°C. Especificamente, em relação ao primeiro ínstar, a mortalidade das lagartas variou de 51% a 75%, com exceção daquelas que se desenvolveram a 25°C, onde a mortalidade foi menor, em torno de 14%. Estes estudos sugerem que temperaturas muito baixas, inferiores a 15°C, dificultam a sobrevivência do inseto. Apesar disso, como apenas um inseto por planta causa grande dano, não é o suficiente para reduzir significativamente os estragos causados em plantios comerciais de mogno.

Atualmente, apesar de diversos estudos já realizados e em andamento, não existe um manejo integrado desta praga que possa viabilizar o plantio de mogno em sistema intensivo. Neste capítulo são apresentadas as regiões onde, em virtude de maior número de gerações do inseto, o ataque pode, potencialmente, ser maior por apresentar as condições de clima mais favoráveis ao desenvolvimento da praga.

Cenários climáticos

O número de gerações que ocorrem em um ano foi calculado pela soma térmica total existente em cada local, dividindo-a pela soma térmica necessária para completar o ciclo de vida do inseto. Esse cálculo foi realizado para todo o Brasil, usando os dados climáticos organizados por Hamada et al. (2008), que verificaram a consistência, os erros e a completude de vários modelos climáticos, selecionando e compilando os melhores, que foram aqueles que representavam melhor a realidade de cada região do país. A soma térmica foi calculada para o período base de 1961-1990 (considerado como período presente) e para as projeções de cenários climáticos futuros, até 2070.

A soma térmica foi calculada pela diferença entre a média das temperaturas máximas e mínimas e a temperatura base. A temperatura base representa o limite abaixo do qual o inseto não se desenvolve por não encontrar condições favoráveis para completar o ciclo de vida. Quando a temperatura mínima é inferior à temperatura base, considera-se o ciclo do inseto paralisado, até que a temperatura se eleve novamente e seja superior à temperatura base. Dessa maneira, no inverno, a duração do ciclo de vida do inseto é maior que no verão, pois, nesse período, com certa frequência, a temperatura atinge valores abaixo do limite.

As figuras que apresentam os números de gerações do inseto no período base e as projeções de cenários futuros foram realizadas por regressão linear múltipla, onde foram correlacionadas a variável número de gerações com a altitude, a latitude e a longitude de cada local, usando o modelo numérico do terreno (MNT) do GTOPO30 (ESTADOS UNIDOS, 2017). Os mapeamentos foram feitos em sistemas de informações geográficas, utilizando o programa ArcGIS 10.

As figuras com o número de gerações de *Hypsipyla grandella* no Brasil (Figura 2) e o tempo necessário para completar cada ciclo de vida (em dias) (Figura 3) apresentam as regiões em que o desenvolvimento populacional é maior, com maior número de gerações ocorridas em um ano. Apesar dessas figuras apresentarem os estados do País com condições climáticas para cultivo, o mogno depende também de condições edáficas propícias para se estabelecer. Sua área de ocorrência natural vai de 1° S no Estado do Maranhão e a 14° S no Estado do Mato Grosso (CARVALHO, 2007). No entanto, existem algumas áreas pequenas de plantio fora dessas regiões nos estados de São Paulo, Minas Gerais, Goiás, entre outros. Em todos esses locais, há relatos da ocorrência da broca do ponteiro.

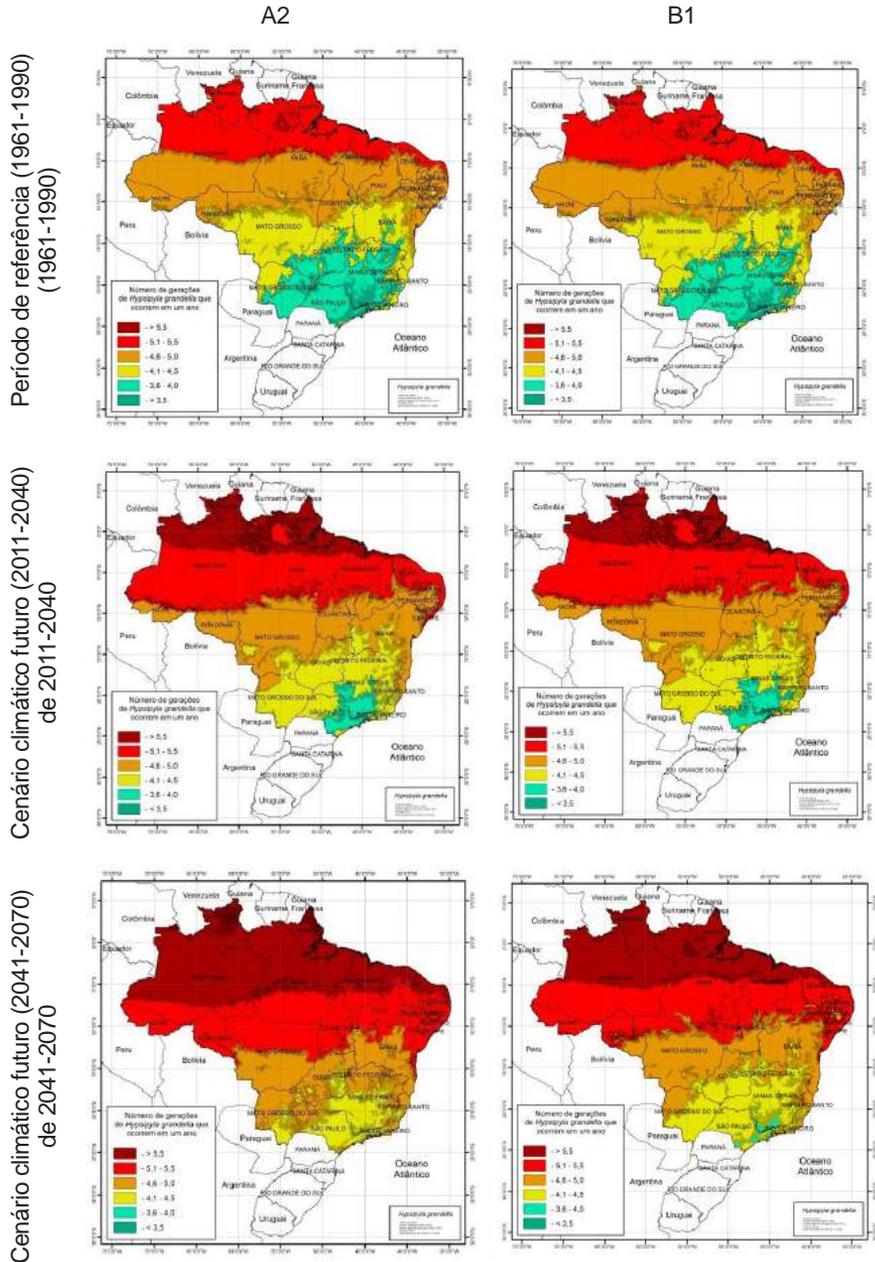


Figura 2. Novos cenários das gerações que ocorrem em um ano de *Hypsipyla grandella* em mogno no Brasil. Período: Referência (1961-1990), 2011-2040 e 2041-2070 - cenários A2 e B1.

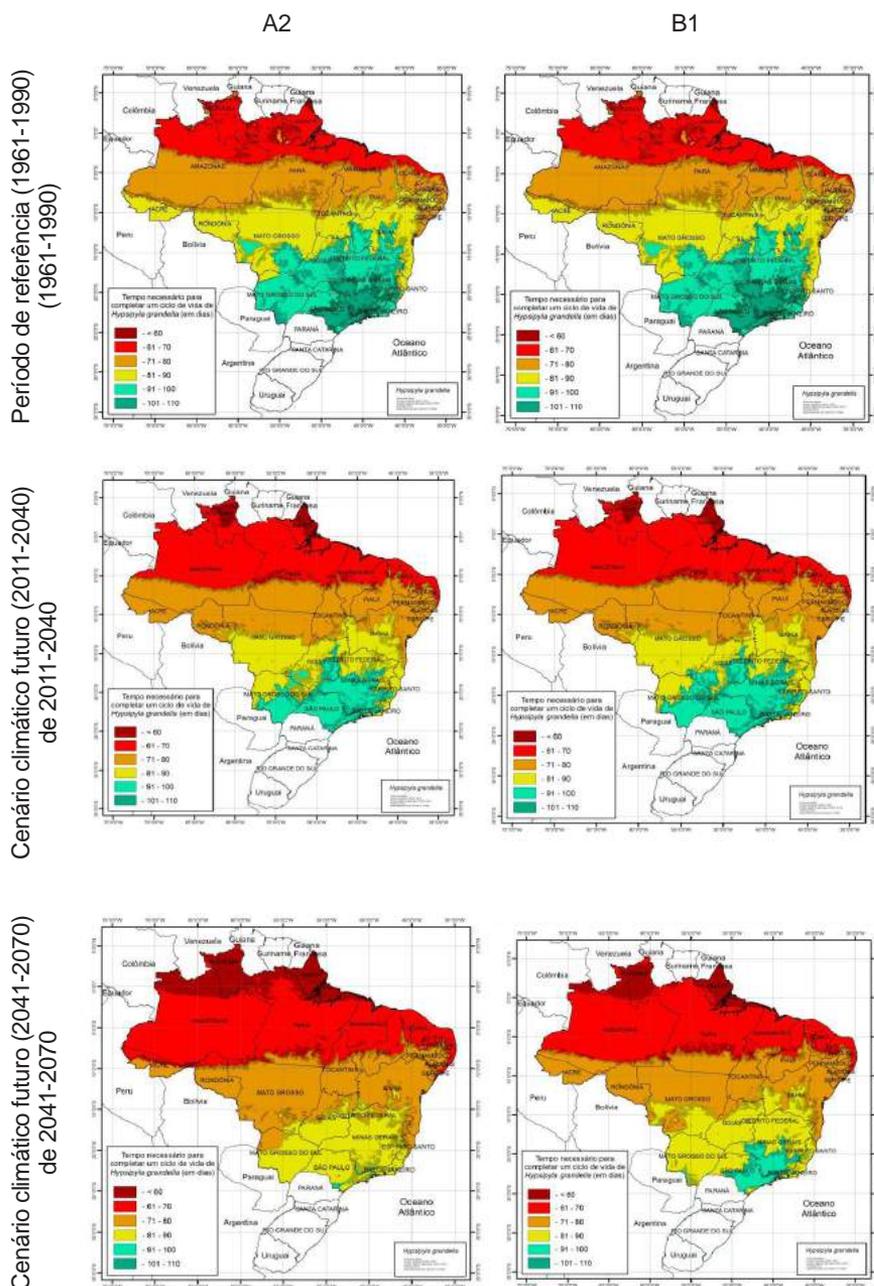


Figura 3. Novos cenários do tempo necessário para completar um ciclo de vida (em dias) de *Hypsipyla grandella* em mogno no Brasil. Período: Referência (1961-1990), 2011-2040 e 2041-2070 - cenários A2 e B1.

Diante do atual cenário de clima, de 3,5 a mais de 5 gerações podem se desenvolver em um ano no Brasil, dependendo da temperatura média do ar. A duração de cada geração pode variar de menos de 60 dias a mais de 110 dias. Nos cenários futuros, o número de gerações aumenta em cerca de 0,5 em cada região até 2070, enquanto a duração do ciclo diminui cerca de 10 dias, o que pode implicar em maior desenvolvimento populacional da praga nas próximas décadas.

O desenvolvimento populacional de *Hypsipyla grandella* é maior em regiões onde prevalecem temperaturas maiores, podendo chegar a quase o dobro de gerações, se comparada às regiões com temperaturas menores, porque o ciclo depende das condições climáticas, principalmente da temperatura do ar. É importante ressaltar que a temperatura é um dos fatores que atuam na dinâmica populacional do inseto, mas não é o único. Outros fatores, como agentes de mortalidade natural (parasitos, predadores e entomopatógenos), e disponibilidade de alimento e desenvolvimento da cultura, determinam, também, a dinâmica populacional da praga, influenciando, assim, na maior ou menor incidência de danos e de prejuízos econômicos.

Estudos da dinâmica populacional precisam ser feitos como base para o desenvolvimento de um manejo integrado desta praga (TAVERAS et al., 2004b), os quais permitirão uma melhoria na previsão de picos populacionais e de procedimentos de amostragem, assim como em uma avaliação real do papel dos agentes de mortalidade natural na abundância da praga. Os autores verificaram que *Hypsipyla grandella* esteve presente durante todo o ano em plantios de mogno na Costa Rica, tendo quatro picos populacionais. Observaram que a população da praga foi influenciada pela temperatura do ar, pela presença de novas brotações e por agentes de mortalidade natural.

O ataque da praga é relacionado a fatores sazonais. No Amazonas, a maior ocorrência de lagartas se dá logo após um período chuvoso, quando as plantas emitem ramos e brotos novos (SILVA, 1985). No Pará, foram registrados quatro ataques planta⁻¹ ano⁻¹ (BATISTA, 2005), o que corresponde ao período de referência da Figura 2. Em São Paulo, as lagartas predominam nos meses de janeiro, fevereiro, abril e dezembro, não sendo encontradas nos meses de agosto e setembro (THOMAZINI et al., 2011).

Considerações finais

O mogno é uma espécie florestal nativa de valor comercial no Brasil, e é considerada a espécie florestal madeireira mais valiosa entre as espécies nativas das florestas tropicais, mas seu cultivo é inviabilizado devido ao ataque da broca do ponteiro ou broca das meliáceas. Onde existe o mogno, existe a praga cuja ocorrência não é limitada pelo clima, mas o desenvolvimento populacional é influenciado pela temperatura do ar e pela pluviosidade. Os cenários apresentados neste capítulo servem de base para auxiliar no planejamento estratégico desta cultura no presente e no futuro. Os aumentos de temperatura do ar, que ocorrem em função das mudanças climáticas, em um primeiro momento, tendem a favorecer os plantios comerciais desta espécie, de modo geral, analisando-se de forma isolada, sem considerar a ocorrência da praga que inviabiliza seu cultivo comercial.

Por outro lado, os mesmos fatores que favorecem a expansão da área de aptidão do hospedeiro tendem a favorecer o desenvolvimento da broca. Os novos cenários de ocorrência desta praga indicam tendência de aumento populacional por causa da diminuição do ciclo e do aumento do número de gerações ocorridas em um ano.

Referências

- BATISTA, T. F. C. **Resistência induzida ao mogno brasileiro *Swietenia macrophylla* King por meliáceas resistente no controle da broca *Hypsipyla grandella* Zeller, 1848 em consórcio e em sistema agroflorestal.** 2005. 81 f. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém.
- BERTI FILHO, E. **Observações sobre a biologia de *Hypsipyla grandella* (Zeller, 1848) (Lepidoptera, Phycitidae).** 1973. 108 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.
- CARVALHO, P. E. R. **Mogno: *Swietenia macrophylla*.** Colombo: EMBRAPA-CNPQ, 2007. 12 p. (Embrapa Florestas. Circular técnica, 140).
- ESTADOS UNIDOS. Geological Survey. National Mapping Division. **Global 30 arc second elevation data.** Disponível em: <<https://lta.cr.usgs.gov/GTOPO30>>. Acesso em: 20 jul. 2017.
- FLOYD, R.; HAUXWELL, C. (Ed.). *Hypsipyla* shoot borer in Meliaceae. In: INTERNATIONAL WORKSHOP HYPSSIPYLA SHOOT BORERS, 1996, Sri Lanka. **Proceedings...** Sri Lanka, Aug. 1996.
- GARA, R. I.; ALLAN, G. G.; WILKINS, R. M.; WHITMORE, J. L. Flight and host selection behaviour of the mahogany shoot borer, *Hypsipyla grandella* (Zeller) (Lep., Phycitidae). **Zeitschrift für Angewandte Entomologie**, v. 72, n. 1/4, p. 259-266, 1973.
- GARRETT, K. A.; DENDY, S. P.; FRANK, E. E.; ROUSE, M. N.; TRAVERS, S. E. Climate change effects on plant disease: genomes to ecosystems. **Annual Review of Phytopathology**, v. 44, p. 489-509, 2006
- GRIJPMAN, P. Resistance of Meliaceae against the shoot borer *Hypsipyla* with particular reference to *Toona ciliata* M.J. Roem. var. *australis* (F. v. Muell.) CDC. In: BURLEY, J.; STYLES, B. T. (Ed.). **Tropical trees: variation, breeding and conservation.** London: Linnaean Society, 1976. p. 69-78.
- GRIJPMAN, P.; GARA, R. I. Studies on the shootborer *Hypsipyla grandella* (Zeller). I. Host selection behavior. **Turrialba**, v. 20, n. 2, p. 233-240, 1970.
- GROGAN, J.; BARRETO, P.; VERÍSSIMO, A. **Mogno na Amazônia brasileira: ecologia e perspectivas de manejo.** Belém: Imazon, 2002. 40 p.

HAMADA, E.; GONÇALVES, R. R. V.; MARENGO, J. A.; GHINI, R. Cenários climáticos futuros para o Brasil. In: GHINI, R.; HAMADA, E. (Org.). **Mudanças climáticas: impactos sobre doenças de plantas no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. p. 25-73.

HILJE, L.; CORNELIUS, J. Es inmanejable *Hypsipyla grandella* como plaga?. **Revista Manejo Integrado de Plagas**, n. 61, p. i-iv, 2001.

MARTÍNEZ, N.; ESTRADA, J.; GÓNGORA, F.; MARTÍNEZ, L.; CURBELO, S. ***Hypsipylagrandella* Zeller, su incidencia en plantaciones en fomento de *Cedrela odorata* L. en el municipio de Vinales, Pinar del Rio, Cuba**. 2007. Disponível em: <<http://www.revistaciencias.com/publicaciones/EElpFZpykuRmfjJGkK.php>>. Acesso em: 5 mar. 2017.

NEWTON, A. C.; BAKER, P.; RAMNARINE, S.; MESEN, J. F.; LEAKY, R. R. B. The mahogany shoot-borer, prospects for control. **Forest Ecology and Management**, v. 57, n. 1-4, p. 301-328, 1993.

OHASHI, O. S.; SILVA JUNIOR, M. S.; LAMEIRA, O. A.; SILVA, J. N. M.; LEÃO, N. V. M.; TEREZO, E. F.; BATISTA, T. F. C.; HIDAKA, D. Z. L.; ALMEIDA, G. B.; BITTENCOURT, P. R. G.; GOMES, F. S.; NEVES, G. A. M. Danos e controle da broca de *Hypsipyla grandella* em plantio de mogno *Swietenia macrophylla* no Estado do Pará. In: POLTRONIERI, L. S.; TRINDADE, D. R.; SANTOS, I. P. (Ed.). **Pragas e doenças de cultivos amazônicos**. 2. ed. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2008. p. 101-116.

PRITCHARD, S. G.; AMTHOR, J. S. Crops and environmental change. Binghamton: Food Products, 2005. 421 p.

SILVA, N. M. **Características biológicas e demográficas de *Hypsipyla grandella* (Zeller, 1848) (Lepidoptera, Pyralidae) e níveis de infestação sob dois sistemas de plantio de *Carapa guianensis* Aubl. (Meliaceae) no Amazonas**. 1985. 103 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) - Departamento de Ciências Fundamentais e Desenvolvimento Agrícola, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia.

TAVERAS, R.; HILJE, L.; CARBALLO, M. Development of *Hypsipyla grandella* (Zeller) (Lepidoptera: Pyralidae) in response to constant temperatures. **Neotropical Entomology**, v. 33, n. 1, p. 1-6, 2004a.

TAVERAS, R.; HILJE, L.; HANSON, P.; MEXZON, R.; CARBALLO, M.; NAVARRO, C. Population trends and damage patterns of *Hypsipyla grandella* (Lepidoptera: Pyralidae) in a mahogany stand, in Turrialba, Costa Rica. **Agricultural and Forest Entomology**, v. 6, n. 2, p. 89-98, 2004b.

THOMAZINI, M. J.; TEDESCHI, V. H. P., MEIRA, J. R. de. **Incidência e danos da broca-das-meliáceas, *Hypsipyla grandella*, em mogno, no interior paulista.** Colombo: Embrapa Florestas, 2011. 6 p. (Embrapa Florestas. Comunicado técnico, 280).



MINISTÉRIO DA
**AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO**

