



OBJETIVOS DE  
DESENVOLVIMENTO  
SUSTENTÁVEL

2  
FOME ZERO  
E AGRICULTURA  
SUSTENTÁVEL



# Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil

## Fundamentos e Prática

**Volume 2**

2ª edição  
revista e atualizada

Oscar Fontão de Lima Filho  
Edmilson José Ambrosano  
Elaine Bahia Wutke  
Fabrício Rossi  
José Aparecido Donizeti Carlos  
Editores Técnicos

**Embrapa**



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

# **Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil**

---

## **Fundamentos e Prática**

**Volume 2**

2ª edição  
revista e atualizada

Oscar Fontão de Lima Filho  
Edmilson José Ambrosano  
Elaine Bahia Wutke  
Fabrício Rossi  
José Aparecido Donizeti Carlos  
Editores Técnicos

**Embrapa**  
Brasília, DF  
2023

**Embrapa Agropecuária Oeste**  
Rodovia BR-163, km 253,6  
CEP 79804-970 Dourados, MS  
Fone: (67) 3416-9700  
Fax: (67) 3416-9721  
www.embrapa.br  
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

**Unidade responsável pelo conteúdo**  
Embrapa Agropecuária Oeste

Comitê Local de Publicações

Presidente

*Harley Nonato de Oliveira*

Secretária-executiva

*Sílvia Mara Belloni*

Membros

*Alexandre Dinnys Roese*

*Clarice Zanoni Fontes*

*Éder Comunello*

*Luís Antonio Kioshi Aoki Inoue*

*Marciana Retore*

*Márcio Akira Ito*

*Oscar Fontão de Lima Filho*

**Unidade responsável pela edição**

Embrapa, Superintendência de Comunicação

Coordenação editorial

*Carla Alessandra Timm*

*Nilda Maria da Cunha Sette*

Supervisão editorial

*Josmária Madalena Lopes*

Revisão de texto

*Corina Barra Soares*

*Leticia Ludwig Loder*

Normalização bibliográfica

*Márcia Maria Pereira de Souza*

*Eli de Lourdes Vasconcelos*

Projeto gráfico e diagramação

*Carlos Eduardo Felice Barbeiro*

Capa

*Leandro Sousa Fazio*

**1ª edição**

1ª impressão (2014): 1.000 exemplares

2ª impressão (2015): 500 exemplares

3ª impressão (2016): 1.000 exemplares

**2ª edição**

Publicação digital (2023): PDF

**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, Superintendência de Comunicação

---

Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil : fundamentos e prática / Oscar Fontão de Lima Filho ... [et al.], editores técnicos. – Brasília, DF : Embrapa, 2023.

v. 2 [PDF (483 p.)] : il. color.

v. 1 – capítulos 1 a 13; v. 2 – capítulos 14 a 26

ISBN 978-65-86056-63-1 v. 1.

ISBN 978-65-86056-62-4 v. 2.

1. Matéria orgânica. 2. Sistema de produção. 3. Nutrição vegetal. 4. Sustentabilidade. 5. Fitossanidade. I. Ambrosano, Edmilson José. II. Wutke, Elaine Bahia. III. Rossi, Fabrício. IV. Carlos, José Aparecido Donizeti. V. Embrapa Agropecuária Oeste. VI. Título.

CDD 631.874



## Editores Técnicos

### **Oscar Fontão de Lima Filho**

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

### **Edmilson José Ambrosano**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Solos e Nutrição de Plantas, pesquisador aposentado da Agência Paulista de Tecnologias dos Agronegócios, Piracicaba, SP

### **Elaine Bahia Wutke**

Engenheira-agrônoma, doutora em Agronomia, pesquisadora científica aposentada do Instituto Agronômico, Campinas, SP

### **Fabício Rossi**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Fitotecnia, professor da Universidade de São Paulo, Pirassununga, SP

### **José Aparecido Donizeti Carlos**

Engenheiro-agrônomo, sócio-diretor da Empresa Sementes Piraí, Piracicaba, SP

### **Antonio Cesar Bolonhezi**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Agronomia, professor livre docente da Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, SP

### **Antonio João Lourenço (in memoriam)**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Agronomia, pesquisador da Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios, Nova Odessa, SP

### **Arminda Moreira de Carvalho**

Engenheira-agrônoma, doutora em Ecologia, pesquisadora da Embrapa Cerrados, Planaltina, DF

### **Cláudio Luiz Leone Azevedo**

Engenheiro-agrônomo, mestre em Fitotecnia, pesquisador da Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas, BA

### **Dejair Lopes de Almeida (in memoriam)**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Agronomia, pesquisador aposentado da Embrapa

### **Denizart Bolonhezi**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Agronomia, pesquisador científico do Instituto Agronômico, Ribeirão Preto, SP

### **Edmilson José Ambrosano**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Solos e Nutrição de Plantas, pesquisador aposentado da Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios, Piracicaba, SP

### **Ednaldo da Silva Araújo**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Agronomia, pesquisador da Embrapa Agrobiologia, Seropédica, RJ

### **Eduardo Malta Campos Filho**

Biólogo, consultor do Instituto Socioambiental, São Paulo, SP

### **Elaine Bahia Wutke**

Engenheira-agrônoma, doutora em Agronomia, pesquisadora científica aposentada do Instituto Agronômico, Campinas, SP

### **Eliana Aparecida Schammass**

Engenheira-agrônoma, mestre em Estatística, pesquisadora da Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios, Nova Odessa, SP

### **Emanoel Gomes de Moura**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Agronomia, pesquisador da Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, MA

### **Fabício Rossi**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Fitotecnia, professor da Universidade de São Paulo, Pirassununga, SP

## Autores

### **Ademir de Oliveira Ferreira**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciência do Solo, professor adjunto da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE

### **Alana das Chagas Ferreira Aguiar**

Engenheira-agrônoma, doutora em Agronomia, pesquisadora do Centro de Ciências Agrárias e Ambientais da Universidade Federal do Maranhão, Chapadinha, MA

### **Antonio Alberto Rocha Oliveira**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Fitopatologia, pesquisador da Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas, BA

### **Antônio Carlos Barreto**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Agronomia, pesquisador aposentado da Embrapa Tabuleiros Costeiros, Aracaju, SE

### **Antônio Carlos de Souza Abboud**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Biologia, professor associado II da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ

**Fernando Luis Dultra Cintra**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Agronomia, pesquisador da Embrapa Tabuleiros Costeiros, Aracaju, SE

**Francisco Alisson da Silva Xavier**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Solos e Nutrição de Plantas, pesquisador da Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas, BA

**Gessi Ceccon**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Agricultura, pesquisador da Embrapa Agropecuária Oeste, Dourados, MS

**Gláucia Maria Bovi Ambrosano**

Engenheira-agrônoma, doutora em Ciências, professora titular da Universidade de Campinas, Piracicaba, SP

**Helvécio De-Polli**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Agronomia, pesquisador aposentado da Embrapa Agrobiologia, Seropédica, RJ

**Ingo Isernhagen**

Biólogo, doutor em Conservação de Ecossistemas Florestais, pesquisador da Embrapa Agrossilvipastoril, Sinop, MT

**Ivani Pozar Otsuk**

Engenheira-agrônoma, mestre em Estatística e Experimentação Agronômica, pesquisadora da Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios, Nova Odessa, SP

**Jackson Ernani Fiorini**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciência do Solo, professor da Universidade de Cruz Alta, Cruz Alta, RS

**Jeanne Christine Claessen de Miranda**

Bióloga, doutora em Microbiologia do Solo, pesquisadora aposentada da Embrapa Cerrados, Planaltina, DF

**Joézio Luiz dos Anjos**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Agronomia, pesquisador da Embrapa Tabuleiros Costeiros, Aracaju, SE

**José Antonio Azevedo Espindola**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Agronomia, pesquisador da Embrapa Agrobiologia, Seropédica, RJ

**José Aparecido Donizeti Carlos**

Engenheiro-agrônomo, sócio-diretor da Empresa Sementes Piraí, Piracicaba, SP

**José Eduardo Borges de Carvalho**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Solos e Nutrição de Plantas, pesquisador da Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas, BA

**José Guilherme Marinho Guerra**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Agronomia, pesquisador da Embrapa Agrobiologia, Seropédica, RJ

**Josiane Aparecida de Lima (in memoriam)**

Zootecnista, doutora em Zootecnia, pesquisadora da Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios, Nova Odessa, SP

**Josiléia Acordi Zanatta**

Engenheira-agrônoma, doutora em Ciência do Solo, pesquisadora da Embrapa Florestas, Colombo, PR

**Júlio Cesar Dias Chaves**

Engenheiro-agrônomo, mestre em Solos e Nutrição de Plantas, pesquisador do Instituto Agronômico do Paraná, Londrina, PR

**Júlio Cesar Salton**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciência do Solo, pesquisador da Embrapa Agropecuária Oeste, Dourados, MS

**Leandro do Prado Wilner**

Engenheiro-agrônomo, mestre em Agronomia, pesquisador do Centro de Pesquisa para a Agricultura Familiar da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina, Chapecó, SC

**Leo Nobre de Miranda**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Agricultura, pesquisador aposentado da Embrapa Cerrados, Planaltina, DF

**Luciano da Silva Souza**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciência do Solo, professor adjunto da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, BA

**Marcelo Ferreira Fernandes**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciência do Solo, pesquisador da Embrapa Tabuleiros Costeiros, Aracaju, SE

**Marco Antônio de Almeida Leal**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Agronomia, pesquisador da Embrapa Agrobiologia, Seropédica, RJ

**Maria Cristina Prata Neves**

Bióloga, doutora em Crop Physiology, pesquisadora aposentada da Embrapa Agrobiologia, Seropédica, RJ

**Maria Lucrécia Gerosa Ramos**

Bióloga, doutora em Fisiologia Vegetal, professora adjunta da Universidade de Brasília, Brasília, DF

**Nivaldo Guirado**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Fitopatologia, pesquisador da Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios, Piracicaba, SP

**Paulo César de Lima (in memoriam)**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Agronomia, pesquisador da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais, Viçosa, MG

**Paulo César Ocheuze Trivelin**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Solos e Nutrição de Plantas, professor livre docente da Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP

**Pedro Henrique Santin Brancalion**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciências, professor da Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP

**Raul de Lucena Duarte Ribeiro (in memoriam)**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Fitopatologia, professor emérito da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ

**Ricardo Henrique Silva Santos**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Fitotecnia, professor da Universidade Federal de Viçosa, MG

**Ricardo Ribeiro Rodrigues**

Biólogo, doutor em Biologia Vegetal, professor titular da Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP

**Rodrigo da Silveira Nicoloso**

Engenheiro-agrônomo, pós-doutor em Ciência do Solo, pesquisador da Embrapa Suínos e Aves, Concórdia, SC

**Rosana Aparecida Possenti**

Bióloga, doutora em Qualidade e Produtividade Animal, pesquisadora da Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios, Nova Odessa, SP

**Takashi Muraoka**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Agronomia, professor titular da Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP

**Tatiana Pires Barrella**

Engenheira-agrônoma, doutora em Fitotecnia, professora da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG

**Telmo Jorge Carneiro Amado**

Engenheiro-agrônomo, pós-doutor em Ciência do Solo, professor titular da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS

**Ulfried Arns**

Engenheiro-agrônomo, produtor rural, Vacaria, RS

**Valdinei Tadeu Paulino**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Agronomia, pesquisador da Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios, Nova Odessa, SP

**Walane Maria Pereira de Mello Ivo**

Engenheira-agrônoma, doutora em Tecnologias Energéticas e Nucleares, pesquisadora da Embrapa Tabuleiros Costeiros (Unidade de Execução de Pesquisa e Desenvolvimento de Rio Largo), Rio Largo, AL

**Waldênia de Melo Moura**

Engenheira-agrônoma, doutora em Fitotecnia, pesquisadora da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais, Viçosa, MG

**Walter Quadros Ribeiro Júnior**

Biólogo, doutor em Genética de Plantas, pesquisador da Embrapa Cerrados, Planaltina, DF



# Apresentação

Vivemos um momento singular na agricultura brasileira. Se por um lado, é crescente a demanda por alimentos, fibras e energia renovável, o que conduz o setor a uma busca sistemática de produtividades e produções recordes. Por outro lado, a exigência quanto ao emprego de práticas e processos de produção alinhados aos atuais conceitos de sustentabilidade é cada vez maior pela sociedade.

Nesse contexto, o caminho em direção ao aumento da biodiversidade e da agricultura sustentável, sem perda de produtividade é, sem dúvida, desafiador. Por isso, o uso de espécies vegetais, conhecidas genericamente como adubos verdes, as quais possuem propriedades capazes de atribuir melhorias ao ambiente de produção é importante. A utilização de adubo verde remete a tempos remotos e faz parte do conhecimento agrônomo e humano desde os primórdios da agricultura, sendo farta a literatura sobre o tema. Sabe-se que são plantas que, incorporadas aos diferentes sistemas de produção, podem trazer benefícios extraordinários aos agroecossistemas, com inegável contribuição para a sustentabilidade da produção, considerando-se, principalmente, a menor demanda por insumos.

No entanto, mesmo sendo um assunto recorrente, muitas informações encontram-se diluídas em diferentes publicações avulsas ou periódicas. Assim, é de valor inestimável a sistematização e organização das informações disponíveis por especialistas de diversas instituições públicas e privadas, com foco na incorporação dessas plantas nos modelos de produção agrícola.

Este livro, em sua segunda edição, revista e atualizada, tem por mérito reunir, em dois volumes, informações detalhadas sobre diversos aspectos relacionados aos adubos verdes. A dedicação de especialistas de várias instituições, num trabalho de oportuna parceria, coloca à disposição da comunidade acadêmica, de agentes de assistência técnica e de extensão rural e do público interessado pela ciência agrônoma, o estado da arte sobre o assunto.

A Embrapa Agropecuária Oeste e as Instituições parceiras esperam com essa iniciativa, contribuir para a sustentabilidade da agricultura, em benefício da sociedade, bem como para o alcance da meta de garantir sistemas sustentáveis de produção de alimentos e implementar práticas agrícolas resilientes, que aumentem a produtividade e a produção, prevista no Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 02 da Agenda 2030 da ONU.

*Harley Nonato de Oliveira*  
Chefe-Geral da Embrapa Agropecuária Oeste





## Prefácio

A relação do homem com a natureza mudou quando ele passou de caçador de animais e colhedor de vegetais para cultivador de plantas. Surgia, assim, a agricultura, com a domesticação de plantas e animais, o controle da água por meio da irrigação e o preparo e manejo do solo. Entretanto, as alterações no ambiente, sobretudo pelo mau uso do solo e da água, acabaram por destruir ou diminuir a fertilidade das áreas de cultivo. A conscientização crescente, ao longo da história, sobre a preservação dos solos agrícolas tem levado o homem à implementação de técnicas de conservação e fertilização do solo de modo mais racional. Nesse sentido, a adubação verde representa um marco importante na agricultura, cuja sustentabilidade passa necessariamente pelo estudo e disponibilização ao agricultor de tecnologias “mais verdes”, que promovam a produção e a preservação do ambiente e a recuperação, conservação e melhoria da qualidade dos solos cultivados.

A segunda edição desta obra, *Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil – fundamentos e prática*, possui 26 capítulos revisados e atualizados, distribuídos em dois volumes, nos quais apresenta a visão e o conhecimento gerado sobre vários temas relacionados à adubação verde e ao uso de plantas de cobertura, com autores da Embrapa e de instituições de ensino e/ou pesquisa.

Os Volumes 1 e 2 contêm 13 capítulos cada um. Os Capítulos 1 e 2 mostram a história do uso da adubação verde no Brasil, a situação atual e as perspectivas futuras. O Capítulo 3 apresenta informações descritivas detalhadas das principais espécies de adubos verdes, seus efeitos em diferentes sistemas de produção e os cuidados que exigem, mostra também exemplos de rotação de culturas e de melhoramento genético, com farta ilustração. Informações técnicas e práticas sobre semeadura e manejo da biomassa de adubos verdes são fornecidas no Capítulo 4.

Aspectos nutricionais e de fertilidade química dos solos estão diretamente relacionados aos adubos verdes. Assim, os Capítulos de 5 a 8 tratam do tema de forma bastante abrangente. Adubação e fatores limitantes ao desenvolvimento das principais espécies utilizadas como adubos verdes são tratados no Capítulo 5. O Capítulo 6 aborda a decomposição dos resíduos culturais,

a liberação dos nutrientes e a dinâmica da matéria orgânica do solo utilizando adubos verdes. Em sequência, o Capítulo 7 apresenta informações relacionadas à composição, uso e manejo de adubos verdes, além dos processos de decomposição/mineralização, ciclagem e disponibilização de nutrientes para as culturas, especialmente o nitrogênio. Como as plantas usadas em adubação verde são, em sua grande maioria, leguminosas, nada mais coerente do que mostrar a importância e a contribuição da fixação biológica do nitrogênio pela simbiose das bactérias com os adubos verdes, além de informações sobre estirpes e inoculação de sementes, o que é feito no Capítulo 8.

As interações de propriedades químicas, biológicas e físicas condicionam um dos fatores de crescimento vegetal, que é o solo. Assim, no Capítulo 9, discutem-se aspectos relacionados à cobertura vegetal e aos atributos físicos do solo, além das relações e interações da matéria orgânica incorporada pela adubação verde com os fatores físicos do crescimento vegetal. O Capítulo 10 aborda aspectos de recuperação de áreas agrícolas degradadas, com ênfase no uso de plantas melhoradoras de solos que proporcionem melhorias em um ou mais atributos do solo, da água e/ou do bioma envolvido e que não causem efeito deletério ao ambiente.

Os Capítulos de 11 a 13 abrangem aspectos relacionados à fitossanidade, como o manejo de pragas e doenças que podem ocorrer em plantas destinadas à adubação verde. A identificação, a biologia e os métodos de controle são descritos no Capítulo 11. O Capítulo 12 apresenta o manejo dos fitonematoides com o uso dos adubos verdes. Resultados de pesquisas demonstram o potencial da adubação verde em reduzir sensivelmente a infestação de plantas daninhas. Assim, o Capítulo 13 mostra como essa prática pode viabilizar a redução no uso de herbicidas.

No Volume 2, o Capítulo 14 trata, de maneira profunda, da evolução do conceito da adubação verde e suas modalidades, considerando época de semeadura, ciclo das espécies e sistema de cultivo. O Capítulo 15 aborda os benefícios e modalidades da adubação verde na prática da agricultura orgânica de base ecológica, considerando os aspectos de sustentabilidade e biodiversidade na propriedade agrícola conduzida no sistema orgânico, sem desconsiderar a rentabilidade econômica do agricultor.

Os capítulos seguintes discorrem, com profundidade, sobre aspectos de manejo e processos envolvidos na adubação verde e cobertura vegetal, além de seus efeitos em culturas agrícolas específicas: grãos e sistema de plantio direto no Capítulo 16; cana-de-açúcar no Capítulo 17; fruteiras tropicais no Capítulo 18; cafezais no Capítulo 19 e hortaliças no Capítulo 20.

A restauração de ecossistemas naturais degradados é uma demanda crescente em virtude da necessidade de adequação à legislação e certificação ambientais de atividades produtivas. Desse modo, o Capítulo 21 aborda os principais aspectos do uso de adubos verdes em restauração florestal, com recomendações ou sugestões de adubação verde no plantio de espécies florestais nativas. A sustentabilidade do uso dos solos tropicais passa, necessariamente, pela adoção de tecnologias que protegem o solo e minimizam a perda de nutrientes por lixiviação, o que inclui a adubação verde e o plantio direto na palha. O uso da adubação verde nos Tabuleiros

Costeiros, uma das grandes unidades de paisagem da região Nordeste, tem papel importante na diminuição da degradação dos solos desse ecossistema. Do mesmo modo, o cultivo de adubos verdes no Cerrado pode ajudar a manter, ou mesmo aumentar, a fertilidade do solo desse bioma após a sua conversão ao uso agrícola. Dessa forma, a prática da adubação verde, levando-se em conta os ecossistemas, também está presente no livro, com capítulos específicos direcionados aos solos da Amazônia, à região dos Tabuleiros Costeiros e ao Cerrado, nos Capítulos de 22 a 24.

O sistema de plantio direto minimiza a degradação física e química do solo, mas há necessidade de produção adequada de palha e rotação de culturas. O manejo de espécies numa mesma área, melhorando a qualidade do solo por meio da rotação de pastagens com lavouras, tem uma premissa conservacionista e de sustentabilidade, aliando benefícios mútuos da pecuária e da produção de grãos. Assim, o Capítulo 25 discorre sobre o sistema de integração lavoura-pecuária como estratégia para o aumento das fertilidades química, física e biológica do solo. Por fim, o Capítulo 26 mostra a importância dos adubos verdes na melhoria da qualidade do solo, aumentando o banco de proteínas para a alimentação animal ou ajudando na reforma de pastagens.

Esta obra, em dois volumes, foi escrita com o propósito de alcançar e estimular o leitor que estuda, pesquisa e pratica e/ou divulga a agricultura racional, moderna e produtiva, com o objetivo principal da sustentabilidade. Espera-se, assim, que ela contribua significativamente para o desenvolvimento contínuo da agricultura e da pecuária e, conseqüentemente, da economia nacional.

Os Editores



# Sumário

<b>Capítulo 14</b> Adubação verde: conceitos e modalidades de cultivo .....	15
<b>Capítulo 15</b> Adubação verde na agricultura orgânica .....	41
<b>Capítulo 16</b> Adubação verde na produção de grãos e no sistema de plantio direto .....	79
<b>Capítulo 17</b> Adubação verde e rotação de culturas para cana-de-açúcar.....	129
<b>Capítulo 18</b> Adubação verde em fruteiras tropicais .....	173
<b>Capítulo 19</b> Adubação verde em cafezais .....	225
<b>Capítulo 20</b> Adubação verde no cultivo de hortaliças.....	265
<b>Capítulo 21</b> Adubação verde na restauração florestal .....	293
<b>Capítulo 22</b> Adubação verde e manejo sustentável do solo na Amazônia .....	319
<b>Capítulo 23</b> Adubação verde na ecorregião dos Tabuleiros Costeiros.....	341
<b>Capítulo 24</b> Adubação verde no Cerrado .....	373
<b>Capítulo 25</b> Sistemas de integração lavoura-pecuária como estratégia para melhorar a fertilidade do solo .....	407
<b>Capítulo 26</b> Adubos verdes na alimentação de bovinos e na reforma das pastagens .....	451





Capítulo 14

# Adubação verde: conceitos e modalidades de cultivo

---

Leandro do Prado Wildner



## Introdução

A adubação verde – prática agrícola de conservação do solo – é conhecida e utilizada desde antes da Era Cristã para recuperar os solos degradados pelo cultivo, melhorar os solos naturalmente pobres e conservar aqueles produtivos. Com a Revolução Verde, a partir dos anos 1960, a adubação verde perdeu, temporariamente, sua importância com o surgimento e desenvolvimento de máquinas, equipamentos e insumos modernos. No entanto, a partir dos anos 1980, foi exatamente com o uso dos adubos verdes que a agricultura deu um salto de qualidade. Os adubos verdes tornaram-se componentes fundamentais em arranjos de sucessão e rotação de culturas, que viabilizam tanto o sistema plantio direto quanto a integração lavoura-pecuária e os sistemas agroecológicos de produção.

Em razão do número de espécies já conhecidas e de suas respectivas características agrônômicas e fenológicas, os adubos verdes podem ser cultivados de inúmeras maneiras, nos mais diversos tipos de arranjos e configurações, para viabilizar o uso e o manejo sustentável do solo e a produção de alimentos de qualidade.

O presente capítulo tem por objetivo discutir a evolução dos conceitos de adubação verde, bem como caracterizar as várias modalidades de cultivo dos adubos verdes no Brasil.

## Evolução dos conceitos de adubação verde

O cultivo de plantas para a recuperação de solos degradados é uma prática agrícola de conhecido efeito benéfico ao solo, cujo resultado era mostrado na abundância da colheita da safra seguinte, desde 5000 a.C. Nos relatos escritos por chineses, gregos e romanos, sempre ficou evidente a necessidade da incorporação do adubo verde para promover o seu efeito (Souza; Pires, 2002; Amabile; Carvalho, 2006). Catão, Columela, Plínio, Varrão, Virgílio e Teofrastus fizeram

referências ao emprego das leguminosas para adubação verde, mencionando a preferência por essas espécies (Kiehl, 1960).

No primeiro documento que se tem registro oficial no Brasil, D'utra (1919, p. 1) já relatava

[...] o efeito melhorador das culturas de enterrio [...], mas que [...] o êxito desse efeito e a importância prática dos adubos verdes depende do estudo e da escolha das espécies a cultivar, das características edafoclimáticas e das circunstâncias econômicas de cada local e da cultura que se pretende beneficiar.

Essa afirmativa já era um alerta para técnicos e agricultores quanto à necessidade de conhecer detalhadamente cada espécie cultivada para que fosse empregada da melhor forma possível.

Em 1959, Kiehl lançou dois conceitos que ficaram conhecidos e foram amplamente aceitos até os anos 1980. Denominou adubo verde como “[...] a planta cultivada ou não, com a finalidade precípua de elevar a produtividade do solo com a sua massa vegetal, quer produzida no local ou importada” (Kiehl, 1960, p. 1). Segundo o autor, a adubação verde caracteriza-se por ser “[...] a prática de se incorporar ao solo massa vegetal não decomposta, de plantas cultivadas no local ou importadas, com a finalidade de preservar e/ou restaurar a produtividade das terras agricultáveis” (Kiehl, 1960, p. 1).

Miyasaka (1984), que ratificou e ampliou tal conceito, afirma que a adubação verde é a prática de incorporação de espécies vegetais ao solo, tanto de gramíneas quanto de outras, naturais ou cultivadas, nas terras em alqueive. No entanto, ele registrou que o uso de leguminosas constituía a prática mais racional e difundida para essa finalidade.

Com base nessas definições, pode-se dizer que estava implícita nesses conceitos uma “visão química”, cujo requisito era a incorporação da massa vegetal (fitomassa) ao solo, com o objetivo de melhorar a sua fertilidade (propriedades químicas do solo = reciclagem de nutrientes e recuperação dos níveis de matéria orgânica do solo).

As plantas utilizadas para esse fim recebiam as seguintes denominações: adubo verde (português), *green manure* (inglês), *gründünger* (alemão), *abonos verdes* (espanhol), *engrais vert* (francês), entre outras. Já a prática do cultivo dessas plantas era denominada adubação verde (português/Brasil), *green manuring* (inglês), *gründüngung* (alemão), sideração (português/Portugal) e *fumage vert* (francês).

A Revolução Verde, implementada a partir dos anos 1960, promoveu a modernização da agricultura brasileira, uma vez que colocou à disposição dos agricultores sementes melhoradas, fertilizantes e corretivos, defensivos, máquinas e equipamentos agrícolas. Esse conjunto de insumos, ditos modernos, intensificou o processo produtivo e proporcionou a ampliação da área cultivada e o aumento da produtividade das culturas no País. No entanto, apesar dos benefícios alcançados, a Revolução Verde trouxe vários inconvenientes: o uso inadequado e o revolvimento

excessivo do solo pelas máquinas, que provocou a desestruturação (pulverização) da camada superficial; o aparecimento de camadas compactadas na subsuperfície e a diminuição dos níveis de matéria orgânica, resultando em elevadas taxas de erosão e, finalmente, em degradação do solo.

Na busca de soluções para esses problemas, agricultores e técnicos valeram-se de ensinamentos antigos, além de observações e resultados de pesquisa de outros países. Apesar de a maioria dos relatos antigos sobre adubação verde deixarem claro o procedimento do enterrio da massa vegetal não decomposta, Marcus Terentius Varro, ano 36–26 a.C., em seu tratado *Rerum Rusticarum*, lançou, pela primeira vez, o conceito de sustentabilidade, registrando que “[...] a agricultura é uma ciência que nos ensina que culturas devem ser plantadas em cada tipo de solo, e que operações devem ser feitas para a terra produzir os rendimentos mais altos perpetuamente” (Conway, 2003, p. 193). Nesse mesmo documento, Varro ainda referiu-se a “[...] algumas plantas que também devem ser plantadas, não tanto pelo retorno imediato, mas tendo em vista o ano seguinte, pois cortadas e deixadas sobre o solo, elas o enriquecem” (Conway, 2003, p. 269).

Borst e Woodburn (1942) demonstraram, pela primeira vez, a eficiência da cobertura do solo, com palha, na redução da erosão e registraram que essa prática poderia controlar a erosão em até 95%.

Hull (1951, p. 181) já comentava que, “[...] à exceção dos declives extremamente suaves, é infalível de ocorrer perdas devido à erosão pela água se o solo não for protegido por uma cobertura vegetal”. Para tanto:

[...] qualquer cultivo, enquanto funcionar como cobertura fechada do solo, é considerada como cultura-de-cobertura, tenha ou não sido plantada para esse fim. A acepção mais usual da expressão é, entretanto, algo mais restrita e definida, limitando-se às culturas plantadas com o objetivo precípuo de conter a erosão do solo, acrescentar-lhe matéria orgânica e aumentar a sua fertilidade (Hull, 1951, p. 181).

Apesar de incorporar o termo cobertura do solo para o controle da erosão, preocupação não definida claramente dentro do conceito anterior, Hull (1951) recomendava o manejo das plantas de cobertura com arado para incorporá-las como adubo verde.

No Brasil, os primeiros resultados de pesquisa que mostraram o efeito positivo da cobertura do solo, com resíduos de culturas na redução da erosão, datam da década de 1970, no Paraná e, logo após, no Rio Grande do Sul.

Visto que era necessário proteger o solo durante o período de ocorrência das chuvas mais erosivas, período esse coincidente com a época de preparo do solo e da semeadura das culturas de verão, agricultores e técnicos da região Sul do Brasil passaram a viabilizar um novo sistema de cultivo do solo. Esse sistema estava baseado em três princípios fundamentais: a cobertura permanente da superfície, o não revolvimento do solo e a rotação de culturas. Para isso, foi necessário evitar a queima da palha das culturas de inverno (trigo, por exemplo), evitar o

preparo do solo mecanicamente, adaptar as máquinas semeadoras à nova realidade e incorporar, definitivamente, a prática da rotação de culturas para viabilizar o cultivo de outras culturas comerciais em sequência planejada de cultivo e de plantas para cobrir o solo, em especial, com a sua palha (cobertura morta). Na busca pelo aumento da quantidade de palha sobre o solo e, por conseguinte, de cobertura para diminuir as perdas por erosão e recuperar os solos degradados pelo preparo inadequado, inúmeros trabalhos de introdução de espécies de adubos verdes de inverno e verão foram iniciados a partir de meados da década de 1980 (Mondardo et al., 1982; Derpsch et al., 1984; Wildner, 1990).

Monegat (1981), com base nas experiências exitosas de técnicos e agricultores familiares da região oeste de Santa Catarina, lançou as bases do cultivo mínimo do milho (*Zea mays* L.). Nesse sistema, a ervilhaca-comum (*Vicia sativa* L.), usada como adubo verde, era manejada com o uso de um arado de tração animal (arado “fuçador”). Nessa operação, parte da cobertura verde era incorporada e parte afastada para os lados. Na área entre os sulcos, a ervilhaca-comum permanecia vegetando até o final do ciclo, enquanto o milho, nas linhas, após a semeadura, desenvolvia-se normalmente.

Em 1991, Monegat, lança o livro *Plantas de cobertura do solo: características e manejo em pequenas propriedades*, um marco para a viabilização de sistemas conservacionistas de solo, não só para propriedades familiares, mas para qualquer tamanho de propriedade agrícola (Monegat, 1991).

A nomenclatura dos adubos verdes sofreu alterações em vários idiomas: em português, passou de adubos verdes para plantas de cobertura do solo; em espanhol, de *abonos verdes* para *cultivos de cobertura*; em inglês, de *green manure* para *soil cover crops*; em alemão, de *gründünger* para *bodenbedeckungspflanzen*; em francês, de *engrais vert* para *plantes de couverture du sol*. Já a prática passou de adubação verde para cobertura do solo (português/Brasil); de *green manuring* para *soil cover* (inglês); de *gründüngung* para *bodenbedeckungs* (alemão); de sideração para alfombra (português/Portugal); de *fumage vert* para *couverture du sol* (francês); e para *cobertura de suelo* (espanhol).

Nesse novo conceito, foi dado um “enfoque físico”, pela presença da palha sobre a superfície do solo (cobertura morta, cobertura do solo), minimizando o risco da erosão, e também pelo efeito secundário, durante a sua decomposição, na recuperação dos atributos físicos do solo, em especial da estrutura do solo.

Em meados dos anos 1990, agricultores e técnicos passaram a discutir a viabilidade da integração lavoura-pecuária em virtude dos seguintes fatores: a consolidação do sistema plantio direto no Brasil, a incorporação da importância dos atributos biológicos do solo e, sobretudo, o desafio de diversificar as atividades agrícolas na propriedade e diminuir os custos de produção. Dessa forma, as espécies vegetais anteriormente usadas apenas como adubos verdes (plantas de cobertura do solo) passaram também a ser utilizadas como forragem para alimentação animal



(ou, quem sabe, as plantas, originalmente forrageiras, utilizadas como adubos verdes e plantas de cobertura do solo, passaram também a ser utilizadas dentro de sua verdadeira vocação).

Em 1992, um novo e amplo conceito de adubação verde foi lançado:

[...] a utilização de plantas em rotação, sucessão ou consorciação com as culturas, incorporando-as ao solo ou deixando-as na superfície, visando a proteção superficial bem como a manutenção e melhoria das características químicas, físicas e biológicas do solo, inclusive a profundidades significativas. Eventualmente, partes das plantas utilizadas como adubos verdes poderiam ter outras destinações como, por exemplo, produção de sementes, fibras, alimentação animal, etc. (Costa et al., 1992, p. 3).

Esse novo conceito passou a ter uma “visão integral ou holística”, e atendia às demandas do solo (proteção e recuperação física, química e biológica), dos animais (forragens), do homem (alimentação, fibras, etc.) e do meio ambiente (diminuição dos impactos ambientais da agricultura e o sequestro de carbono – C).

A partir desse período, os adubos verdes (plantas de cobertura) ganharam maior importância também pela grande expansão dos sistemas agroecológicos de produção, cujo objetivo era eliminar o uso de insumos externos à propriedade tanto para a adubação dos sistemas quanto para o manejo de plantas espontâneas.

Dessa forma, o cultivo de plantas para adubação verde e cobertura do solo passou a ser um componente imprescindível para viabilizar qualquer tipo de sistema de produção sustentável, seja ele convencional, de transição ou agroecológico, assim como para o cultivo de qualquer espécie vegetal, seja ela para produção de grãos, fibras ou frutos, em cultivos extensivos ou intensivos (hortaliças), em cultivos anuais ou perenes, de clima tropical, subtropical ou temperado.

Com o avanço dos estudos específicos sobre as espécies utilizadas e sobre os sistemas de manejo de cada uma delas, novas denominações foram registradas, embora elas deem mais ênfase a alguns efeitos importantes do seu cultivo. Assim, Barni et al. (2003) registraram a denominação “plantas recicladoras, recuperadoras, protetoras e melhoradoras” provavelmente para dar ênfase à capacidade de reciclagem, recuperação, proteção ou melhoramento do solo, das diferentes espécies; Carvalho (2005), Aguiar et al. (2006) e Spera et al. (2006) registraram a denominação “plantas condicionadoras” provavelmente para dar ênfase à capacidade das diferentes espécies em condicionar o solo a novos patamares de fertilidade (enfoque amplo). Apesar das novas denominações, a mais tradicional (adubo verde) e sua prática (adubação verde) parecem ser as que mais bem expressam o conjunto de tudo aquilo que se espera de uma espécie vegetal e de uma prática agrícola para a recuperação dos solos degradados ou para a conservação dos produtivos.

## Modalidades de adubação verde (cobertura do solo)

A escolha da espécie de adubo verde por parte do agricultor depende da disponibilidade de sementes e do objetivo do seu cultivo ou da cultura que será cultivada após o seu manejo.

Em razão do número de espécies de adubos verdes conhecidos e disponíveis para agricultores e de suas diferentes características botânicas e fenológicas, é possível cultivá-los das mais diversas maneiras.

Na região Sul, incluindo o sul de São Paulo e de Mato Grosso do Sul, os adubos verdes são cultivados intensivamente durante o inverno (outono/inverno/primavera). No entanto, já existem alternativas para o seu cultivo na safrinha (verão/outono), na safra (primavera/verão) e em consórcio com culturas econômicas de verão, uma vez que o clima da região favorece o estabelecimento de adubos verdes em diferentes sistemas de produção. Já no Cerrado do Brasil central, em especial no Distrito Federal, o cultivo dos adubos verdes é mais restrito por causa das condições climáticas. Entretanto, é ainda possível cultivá-los em sucessão (pós-colheita), em consórcio ou antecedendo a cultura principal de verão ou na integração lavoura-pecuária. Mas a grande verdade é que a introdução e a expansão do sistema plantio direto vêm abrindo novas perspectivas para o cultivo de adubos verdes para cobertura do solo e, dessa forma, torna viável inúmeras possibilidades de manejo sustentável do solo para essas regiões (Pitol et al., 2006).

As modalidades de adubação verde podem ser definidas de acordo com alguns critérios básicos, tais como: época de semeadura, ciclo das espécies e sistema de cultivo dos adubos verdes.

### Época de semeadura

Nesta classificação, os adubos verdes são diferenciados e agrupados de acordo com o período do ano em que são semeados. Dessa maneira, podem ser identificadas três modalidades básicas: adubação verde de primavera/verão, adubação verde de outono/inverno e adubação verde de verão/outono.

#### **a) Adubação verde de primavera/verão**

Esta modalidade diz respeito ao cultivo de espécies cujo período de semeadura se estende de setembro/outubro a janeiro/fevereiro. Já o ciclo vegetativo, dependendo das condições climáticas da região e das características fenológicas das plantas, poderá se estender até maio/junho (por ocasião da ocorrência das primeiras geadas ou início do período de seca) ou, então, até o início do próximo período de semeadura. Trata-se, pois, da modalidade mais conhecida e de uso mais antigo no Brasil.

As espécies mais empregadas nesta modalidade são: mucunas (*Mucuna* spp.), guandus arbóreo e anão [*Cajanus cajan* (L.) Millsp.], crotalárias (*Crotalaria mucronata*, *Crotalaria juncea*, *Crotalaria ochroleuca*, *Crotalaria spectabilis*), tefrósias (*Tephrosia candida*), caupi (*Vigna unguiculata*), feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*), milheto (*Pennisetum glaucum*), capim-sudão (*Sorghum sudanense*) e trigo-mourisco (*Fagopyrum esculentum*), entre outras.

As principais vantagens dessa modalidade de adubação verde são: a grande produção de fitomassa (verde ou seca) e o elevado aporte de nitrogênio (N) (no caso das leguminosas).

Caso sejam semeadas na época recomendada, para que essas espécies expressem o máximo do potencial de produção de fitomassa (setembro a dezembro), elas competem por área com as espécies cultivadas tradicionais (milho, feijão, soja, mandioca, algodão, entre outras). Em virtude disso, elas acabam sendo cultivadas das seguintes maneiras: a) em áreas cujo solo esteja com a sua capacidade produtiva comprometida (degradado) e necessite de uma recuperação planejada; b) em sistema de consórcio com algumas culturas, tais como milho, arroz e mandioca, num arranjo tal que não comprometa o rendimento da cultura principal, mas busque produzir, pelo menos, uma quantidade mínima de massa vegetal do adubo verde.

Na primeira opção, existem, ainda, duas situações distintas. Primeiramente, o solo encontra-se em estágio avançado de degradação e deve ser deixado somente para recuperação com cultivo de adubos verdes; nesse caso, podem ser cultivadas espécies perenes, semiperenes ou ainda anuais, de ciclo longo, porte arbóreo, hábito ereto, tolerantes a condições desfavoráveis de cultivo (solos pobres) e de potencial elevado de produção de fitomassa. A segunda situação refere-se ao caso em que há degradação comprovada, mas o agricultor não pode prescindir da área para cultivo de alguma cultura comercial. Nesse caso, pode-se optar pelo cultivo de um adubo verde de primavera/verão de ciclo curto, na melhor época de semeadura (início da estação chuvosa, por exemplo), com posterior semeadura da cultura principal, caracterizando uma sequência adubo verde-cultura econômica. A crotalária-júncea (*C. juncea*) apresenta-se como uma excelente opção para esse caso. Aos 90 dias após a semeadura, realizada no início da estação chuvosa, a fitomassa (na plena floração) pode ser manejada, com a imediata semeadura do milho, arroz, sorgo ou cana-de-açúcar (Pitol et al., 2006). No Mato Grosso do Sul, esse é o período no qual o solo fica descoberto (2 a 3 meses), entre a colheita das culturas de inverno e a semeadura das culturas de verão. Portanto, essa modalidade tem por objetivo a formação de palha para a proteção do solo e a diminuição da incidência de plantas invasoras. Mesmo com a ocorrência de déficit hídrico no início do ciclo, o mínimo de precipitação proporciona crescimento suficiente para produção de fitomassa de, por exemplo, crotalária-júncea e milheto (Salton et al., 1993).

A rotação de áreas – ou seja, a divisão da propriedade em glebas, na qual uma delas é reservada por ano para o plantio de leguminosas, enquanto as demais, para as culturas econômicas – também pode ser uma alternativa possível. Nesse sistema, a adubação verde deve ser feita

na mesma área, num intervalo de tempo equivalente ao total de glebas nas quais foi dividida a propriedade (Calegari et al., 1992b).

O consórcio de adubos verdes com algumas espécies econômicas de verão será bem explorado em item específico adiante.

### **b) Adubação verde de outono/inverno**

Denominada apenas como adubação verde de inverno, esta modalidade diz respeito ao cultivo de espécies vegetais cuja semeadura inicia-se em março e estende-se até junho. O ciclo vegetativo poderá variar do mês de agosto até dezembro, de acordo com as condições climáticas e com as características fenológicas de cada espécie.

Apesar de ser a mais conhecida e usada nas propriedades de agricultores dos três estados do Sul do Brasil, o cultivo dos adubos verdes de inverno difundiu-se para essa região a partir de 1971, com trabalhos realizados por Miyasaka, em São Paulo, cujo objetivo era viabilizar a utilização de leguminosas durante o período de entressafra das culturas econômicas de verão (Costa, 1992).

O período principal de crescimento desses adubos verdes coincide com o período em que muitas áreas de cultivo da região Sul do Brasil encontram-se em pousio, durante o qual correm sérios riscos de erosão, permitindo a livre proliferação e a perpetuação de espécies espontâneas capazes de comprometer a produtividade, tanto de culturas de inverno quanto de verão.

As espécies mais conhecidas são: aveias (*Avena strigosa* Schreb. e *Avena sativa* L.), nabo-forrageiro (*Raphanus sativus* L. var. *oleiferus*), ervilhacas (*Vicia sativa* L. e *Vicia villosa* Roth), tremoços (*Lupinus albus* e *Lupinus angustifolius*), centeio (*Secale cereale* L.), ervilha-forrageira (*Pisum arvense* L.), chícharo-comum (*Lathyrus sativus*), gorga (*Spergula arvensis* L.) e azevém (*Lolium multiflorum*). Essas espécies podem ser cultivadas individualmente ou em coquetel (com duas, três ou até quatro espécies ao mesmo tempo).

As principais vantagens do cultivo dos adubos verdes de inverno são: a proteção do solo contra a erosão no período de desenvolvimento vegetativo, o aporte de N (no caso das leguminosas), a reciclagem de nutrientes, a diminuição da incidência de plantas espontâneas, a redução das perdas de nutrientes por lixiviação e a viabilização da cobertura morta, para a implantação de sistemas de manejo conservacionista do solo como, por exemplo, o sistema plantio direto (Costa et al., 1992).

Nessa modalidade, também é possível utilizar algumas espécies para tornar viável o sistema de integração lavoura-pecuária. O cultivo da aveia-preta (*Avena strigosa* Schreb.) ou coquetel aveia-preta com ervilhaca-comum, do centeio, ou mesmo do azevém, são exemplos característicos.

### c) Adubação verde de verão/outono

A adubação verde de verão/outono é, na verdade, uma variação tanto da adubação verde de primavera/verão, quanto da adubação verde de outono/inverno. Essa modalidade procura viabilizar o cultivo dos adubos verdes “de verão”, em sucessão às culturas economicamente importantes (feijão e milho, por exemplo), em semeaduras tardias, ou dos adubos verdes “de inverno” em semeaduras antecipadas. Em algumas regiões do Rio Grande do Sul, esses adubos verdes são chamados de “culturas intermediárias”, porque são cultivados após uma cultura de verão e antes da semeadura de uma cultura de inverno.

A semeadura dos adubos verdes em janeiro ou fevereiro é possível porque, considerando-se a normalidade, não há restrição hídrica nesse período, tanto na região Sul do Brasil quanto na Centro-Oeste. Semeados nessa época, a maioria das espécies de verão não atinge o desenvolvimento pleno, por causa da diminuição do comprimento dos dias e da temperatura, que ocorre com as mudanças de estação, na região Sul; bem como da diminuição da quantidade de chuvas, que ocorre pela entrada do período seco (inverno), na região Centro-Oeste. Apesar do menor crescimento e da menor produção de massa vegetal, ainda é compensador o seu cultivo, pelo fato de não deixar o solo descoberto e pela possibilidade de produzir cobertura para a semeadura direta de culturas de inverno (o trigo na região Sul, por exemplo) ou para a próxima safra de verão (a soja e o milho, na região Centro-Oeste). As crotalárias (*C. juncea* e *C. ochroleuca*), o guandu-anão, o milheto, o sorgo (*Sorghum bicolor*), o capim-sudão (*S. sudanense*) e o trigo-mourisco (*Fagopyrum esculentum*) são algumas das espécies de verão que se adaptam a esse sistema.

A adubação verde de verão/outono, também chamada de adubação verde de safrinha, é uma prática limitada no Mato Grosso do Sul em razão do cultivo de milho em sucessão à soja precoce ou então para cultivo de culturas de inverno (Landers, 1994). No entanto, para Pitol (1999), o milheto é a melhor opção nessa modalidade, apesar de ser mais utilizado para pastejo ou produção de sementes, o que não deixa de constituir uma cobertura do solo durante o ciclo vegetativo e pode contribuir para a cobertura do solo com palha após a colheita de sementes ou após a suspensão do pastejo. Uma opção para o milheto é o sorgo. As leguminosas semeadas nesse período ficam sujeitas à geada, com prejuízo à produção de fitomassa.

Na região Sul, a crotalária-júncea apresenta-se como uma boa opção de cultivo a partir da colheita do feijão ou do milho da safra. Semeada ao final de janeiro ou no princípio de fevereiro, a crotalária pode ser manejada em junho para a formação da cobertura morta e posterior semeadura direta do trigo, por exemplo. Uma alternativa de cultivo à crotalária-júncea é a *C. ochroleuca*, com a vantagem de que esta última não apresenta restrições para produção de sementes nessa região.

Das espécies de inverno, o nabo-forrageiro (cultivar “pivotante”, IPR 116, lançada pelo IAPAR) e a ervilhaca-peluda (*Vicia villosa*) apresentam boa tolerância à semeadura em períodos de temperaturas mais elevadas. O nabo-forrageiro tem tido grande aceitação pelos agricultores, em

especial pela possibilidade de promover o preparo biológico do solo e a reciclagem de nutrientes. A ervilhaca-peluda, por sua vez, é preferida quando o objetivo é incorporar N ao sistema de cultivo. Em razão das poucas opções de cultivo para essa época em especial, outras espécies vegetais estão sendo objeto de estudos para adaptação ao sistema.

## Ciclo das espécies

Nesta modalidade, os adubos verdes são diferenciados e agrupados de acordo com o tempo em que ficam vegetando na área de cultivo. Dessa forma, pode-se diferenciar um grupo que permanece apenas durante um período vegetativo na lavoura, e outro que permanece durante alguns ou vários períodos vegetativos na área.

### **a) Adubação verde com espécies anuais**

Nesta opção, são utilizadas espécies com ciclo definido após uma estação de crescimento ou ciclo vegetativo, sejam elas de inverno ou de verão. Tais espécies devem ser cultivadas segundo um planejamento criterioso, para estabelecer uma sequência/sucessão capaz de compor um arranjo de rotação de culturas, que seja técnica e economicamente viável. Sugere-se que a sequência estabelecida considere os seguintes critérios: a) formação de densa camada de cobertura do solo (palha) depois, ou antes, de uma cultura que produza poucos resíduos de colheita (aveia-preta, centeio, milho, etc.); b) efeito alelopático positivo sobre a cultura posterior (ex.: ervilhaca/milho, tremoço/milho, nabo-forrageiro/milho, aveia-preta/soja, aveia-preta/feijão, centeio/feijão, centeio/soja, mucuna/milho); c) efeito alelopático negativo/antagônico (efeito de supressão) sobre o crescimento de determinadas plantas espontâneas detectadas na área de cultivo (aveia-preta, centeio, nabo-forrageiro, mucunas, crotalária-júncea, etc.); d) necessidade de produção de forragem para a integração lavoura-pecuária (aveia-preta/soja; azevém/soja; trigo duplo propósito/soja).

Os adubos verdes anuais fazem parte de arranjos de rotação de cultura recomendados nas mais diferentes regiões geográficas do País. Esses arranjos serão apresentados em item específico adiante.

### **b) Adubação verde com espécies perenes ou semiperenes**

Nesta modalidade, as espécies cultivadas permanecem na lavoura por alguns ciclos de crescimento (2, 3 ou 4 anos, no caso das espécies consideradas semiperenes) e até por vários ou indefinidos ciclos (5, 10, 15 ou mais anos, no caso das espécies consideradas perenes).

Essas espécies podem ser cultivadas individualmente ou em coquetel com outras espécies perenes ou anuais, em áreas degradadas, com o objetivo de recuperar o potencial produtivo

do solo. Também podem ser cultivadas em sistema de consórcio com outras culturas anuais, caracterizando, por exemplo, um sistema denominado cultivo em aleias ou cultivo em ruas (*alley cropping*) (Kluthcouski, 1980).

Como espécies semiperenes, destacam-se o guandu-arbóreo [*Cajanus cajan* (L.) Millsp.], ou forrageiro, e algumas espécies de crotalárias (*C. mucronata* e *C. anagyroides*, por exemplo). Já as espécies perenes mais conhecidas são: leucena (*Leucaena leucocephala* e outras espécies do gênero *Leucaena*), tefrósia (*T. candida* e *T. vogelii*), anileira (*Indigofera* spp.), alfafa (*Medicago sativa*) e amendoim-forrageiro (*Arachis pintoi*). Embora sejam espécies exigentes em solo e não se destaquem tanto pela produção de massa vegetal, mas pelo porte herbáceo e hábito de crescimento rasteiro ou rasteiro-trepador, também merecem ser citadas como espécies perenes: soja-perene (*Neonotonia wightii*), siratro (*Macroptilium atropurpureum*), calopogônio (*Calopogonium mucunoides*), centrosema (*Centrosema* sp.) – todas de ciclo estival. Como alternativas de inverno, apresentam-se o trevo-branco (*Trifolium repens* L.) e o cornichão (*Lotus corniculatus* L.).

## Sistema de cultivo

Os adubos verdes podem ser cultivados de diversas maneiras de acordo com os arranjos e as configurações, que podem ser realizados no tempo e no espaço (Reijntjes et al., 1994), entre si e em conjunto com as culturas consideradas econômicas. No entanto, Calegari (1998) comenta que, apesar do grande potencial para proteção e recuperação da produtividade do solo, o grande desafio está em compatibilizar os possíveis arranjos ou configurações, das mais diferentes espécies de adubos verdes, com os sistemas de produção característicos, o clima e o solo de cada região, além da infraestrutura da propriedade e das condições socioeconômicas do agricultor.

A associação de espécies vegetais por meio de rotação, sucessão, consórcio de culturas e integração lavoura-pecuária, incluindo os adubos verdes, aumenta a diversidade de espécies, a quantidade e a qualidade dos resíduos vegetais e da matéria orgânica, além da agregação do solo (Carvalho et al., 1999).

### a) Adubação verde em rotação com culturas anuais

Para manter a possibilidade do cultivo das diferentes espécies de adubos verdes sem problemas de qualquer ordem (fitossanitária, principalmente), é necessário que as espécies selecionadas participem de uma sequência planejada de sucessão de culturas, que caracterize não só a rotação com as culturas comerciais, mas também com os próprios adubos verdes.

A rotação de culturas com os adubos verdes permite que o solo seja beneficiado com os efeitos positivos de cada uma das espécies usadas no sistema, principalmente no que se refere aos seguintes aspectos: persistência da palhada sobre a superfície do solo para minimizar a erosão;

capacidade de produção de fitomassa para reciclagem de C, N e outros nutrientes; capacidade de supressão de plantas espontâneas; aumento da agregação, da infiltração e do armazenamento de água no solo e da resistência à erosão.

Calegari (2000) sugere os seguintes arranjos ou sistemas de rotação de culturas:

- Para o Mato Grosso do Sul, sudoeste de Goiás e sul de Mato Grosso: nabo-forrageiro/milho – aveia-preta/soja – trigo/soja; aveia-preta ou milheto/algodão – aveia-preta ou milheto/soja – milheto/soja; aveia-preta ou milheto/algodão – aveia-preta ou milheto/soja – nabo-forrageiro/milho.
- Para o Paraná: tremoço/milho – aveia-preta/soja – trigo/soja; ervilhaca/milho – aveia-preta/soja – trigo/milheto/soja; aveia-preta/soja – aveia-preta + ervilha-forrageira (*P. sativum*)/milho – nabo-forrageiro + aveia-preta/soja; aveia-preta/feijão – nabo-forrageiro + aveia-preta/milho – aveia-preta + ervilha-forrageira/soja.
- Para a região Sul do Brasil: trigo/soja – ervilhaca/milho – aveia-preta + nabo-forrageiro/milho; cevada/soja – ervilhaca/milho; triticale (*X Triticosecale* Wittm.)/soja – ervilhaca/milho; trigo/soja – aveia-preta pastejada + ervilhaca pastejada/milho; trigo/soja – ervilhaca/milho ou sorgo – nabo-forrageiro + aveia-preta/feijão; trigo/soja – colza (*Brassica napus*)/soja ou cevada/soja – ervilhaca ou nabo-forrageiro/milho; trigo/soja – trigo/soja – aveia-branca/soja – ervilhaca/milho ou sorgo.

## **b) Adubação verde em consorciação com culturas anuais**

Considerando-se as várias possibilidades de sequências entre adubos verdes de inverno e culturas e de culturas e adubos verdes de verão, é possível planejar diferentes tipos de consorciação.

Na primeira situação, é possível consorciar o milho, por exemplo, em área já cultivada com um adubo verde de inverno cujo porte seja herbáceo, de hábito rasteiro e ciclo longo. As ervilhacas, em especial a peluda, a serradela (*Ornithopus sativus*), a gorga (*S. arvensis*) e o chícharo-hirsuto (*Lathyrus hirsutus*) são exemplos de adubos verdes que podem viabilizar esse sistema. O procedimento básico é a abertura de sulcos com arado de tração animal (“fuçador”), com espaçamento de 0,9 m a 1,0 m entre si, para posterior semeadura do milho; nas entrelinhas, a cultura já estabelecida completará o seu ciclo. Outra possibilidade é a semeadura direta em linhas espaçadas de 0,9 m a 1,0 m entre si, nas quais a cobertura viva foi antecipadamente manejada com herbicida dessecante; nas entrelinhas, a cultura anterior também continua vegetando normalmente. Há ainda outra opção: o milho pode ser implantado em área na qual a serradela está na fase final de crescimento, mediante apenas a abertura de um sulco para posterior semeadura. Nas entrelinhas, não é realizado manejo algum da fitomassa da serradela, nem mecânico nem



químico – as plantas da serradela irão completar o ciclo vegetativo, com proteção total do solo e haverá ainda ressemeadura natural no início da próxima safra (Calegari et al., 1992a).

Na segunda situação – a mais conhecida –, o adubo verde de verão é semeado nas entrelinhas do milho, desde os estádios iniciais de crescimento até o início da maturação. Nesse sistema, é de fundamental importância que o adubo verde tenha desenvolvimento inicial lento para não competir com a cultura principal por água, luz e nutrientes (Suhet et al., 1994).

Os primeiros trabalhos desse tipo de consórcio datam dos anos 1940 e 1950 e foram realizados com o objetivo de estudar a viabilidade do cultivo de mucuna-preta (*Mucuna* sp.) intercalada com milho (Viégas et al., 1960a, 1960b) e lablab (*Lablab purpureus* L. Sweet) intercalado com milho (Lovadini et al., 1972). Os resultados obtidos foram excelentes em solos continuamente cultivados, o que comprova as recomendações para o seu cultivo no Brasil. Castilhos et al. (1985) e Scherer e Baldissera (1988) concluíram que a mucuna é capaz de fornecer boa parte do N que o milho requer para todo o ciclo, o que representa um diferencial de, pelo menos, 20 sacos ha<sup>-1</sup> em relação à produção de uma área sem mucuna. Os mesmos autores registraram ainda que a mucuna responde bem à aplicação de calcário e adubo orgânico, produzindo até 33% mais fitomassa em relação à mucuna testemunha. Spagnollo et al. (2002) relataram que os cultivos de feijão-de-porco, guandu-anão, mucuna-cinza e soja-preta (*Glycine* sp.) aumentaram o suprimento de N e, conseqüentemente, o rendimento de grãos do milho na safra seguinte. O cultivo intercalar de leguminosas estivais resultou também em aumento da receita líquida da cultura do milho, tanto em sistema convencional quanto em sistema reduzido (ou mínimo), com destaque especial para mucuna-cinza, feijão-de-porco e guandu-anão (Spagnollo et al., 2001).

No consórcio de milho com mucuna, na maioria dos trabalhos a semeadura da mucuna é recomendada a partir da floração ou do grão leitoso do milho. No entanto, existem recomendações para semeaduras simultâneas (Flores, 1993), de 25 a 30 dias após a semeadura do milho realizada em outubro (Pitol et al., 2006), ou a partir do estádio de quatro a oito folhas do milho.

Outra opção de consórcio com milho é o cultivo de leguminosas forrageiras com desenvolvimento inicial lento, tais como *Stylosanthes* sp. e *Zornia latifolia* (Pereira et al., 1992). Essas espécies apresentam baixa concorrência com o milho, e não influenciam negativamente na sua produtividade. Quando o milho completa o ciclo vegetativo, as leguminosas já estão estabelecidas, e podem alcançar elevadas produções de fitomassa mesmo durante o período de seca (Pitol et al., 2006).

Ainda é possível ocorrer a consorciação do milho com adubo verde de inverno, na qual as sementes do adubo verde são semeadas a lanço, no meio da lavoura de milho em final de ciclo. Essa situação ocorre normalmente em regiões onde é comum a safrinha do milho (semeadura de janeiro ou fevereiro). Pode ser realizada a partir da floração ou do início da maturação fisiológica das sementes de milho. Desse modo, o adubo verde ainda é semeado em época recomendada, com tempo suficiente para não perder seu potencial de produção de massa vegetal. Nesse caso,

recomenda-se a semeadura de adubos verdes que possuam sementes pequenas e germinem com facilidade, sem mesmo necessitar de enterrio, como é o caso da aveia-preta, do centeio, das ervilhacas, do nabo-forrageiro e da gorga. Embora com essa facilidade, recomenda-se, ainda, semear com um adicional de 20% a 30% de sementes, para compensar possíveis falhas de germinação.

### **c) Adubação verde intercalar a culturas perenes**

Nesta modalidade, o adubo verde é semeado nas entrelinhas de cultivos perenes. Nesse caso, a espécie selecionada não deve ser muito agressiva para não competir com o cultivo principal. As seguintes culturas são exemplos desse sistema: ervilhacas, aveias, cornichão, ervilha-forrageira, mucuna-anã, crotalárias, indigófera e amendoim-rasteiro (*Arachis pintoii*) ou forrageiro. Essas espécies são cultivadas nas entrelinhas de pomares de citros e pêssego, debaixo de parreirais e nas entrelinhas de erva-mate e café.

Segundo Peneireiro (2002), as plantas anuais são fundamentais em um sistema agroflorestal, pois, além de se estabelecerem no lugar das “plantas invasoras”, evitando capinas nos plantios perenes, geram retorno econômico em curto prazo, e contribuem, até mesmo para custear a instalação de uma lavoura perene, como café, cacau, cupuaçu, citros, entre outras. Mas apenas as plantas anuais não são suficientes para garantir a viabilidade do sistema. Se não houver outros estratos e diversidade de espécies, o agricultor necessitará de insumos externos, como fertilizantes, para substituir o papel da ciclagem de nutrientes protagonizado pela poda das diversas plantas presentes no sistema. Poderá necessitar, também, de agrotóxicos para controlar explosões populacionais de insetos ou microrganismos, geralmente ocasionadas pelo monocultivo, o que a biodiversidade e a dinâmica do sistema poderiam solucionar.

Lima et al. (2002) comentam que o uso de leguminosas intercaladas com as linhas de plantio do cafeeiro, no entorno ou em faixas, nos cordões de contorno, contribui como principal fonte de N para a lavoura de café orgânico. O cultivo intercalado de adubos verdes também protege o solo contra a erosão, reduz o crescimento de plantas invasoras e possibilita a incorporação de matéria orgânica ao sistema. A roçada dos adubos verdes para formação da cobertura morta sob o pé de café contribui para melhoria da fertilidade e da retenção de água do solo.

Nos primeiros anos de estabelecimento dos pomares ou do erval, é possível estabelecer um sistema de rotação de culturas nas entrelinhas, incluindo culturas comerciais (produção de grãos) e adubos verdes. Chaves (2002) alerta que o período de cultivo de adubos verdes intercalares depende do sistema de plantio do café. Assim, para sistemas tradicionais, os adubos verdes podem ser cultivados todos os anos; por sua vez, para os sistemas medianamente adensado, adensado e superadensado, a recomendação é o cultivo até o terceiro ano, nos primeiros 2 anos e somente no primeiro ano, respectivamente. Os períodos de cultivo dos adubos verdes, ressalta o autor, estão

relacionados com a capacidade de cobertura do próprio cafeeiro; no sistema tradicional, no qual as plantas não alcançam 100% de cobertura, é necessário o cultivo permanente de um adubo verde para minimizar os efeitos da erosão; nos demais sistemas, com espaçamento reduzido, as próprias plantas de café são capazes de proteger integralmente o solo. Outra experiência interessante, segundo Hugo (2000), é o cultivo do guandu-arbóreo (forrageiro) nas entrelinhas do café. Nesse sistema, o guandu é semeado com antecedência de, pelo menos, cinco meses em relação ao transplante do café. O guandu crescido forma um verdadeiro túnel, e, dessa forma, proporciona um ambiente protegido às mudas recém-transplantadas. As vantagens desse consórcio, desde a implantação do cafezal são: melhoria no pegamento da muda pelo efeito quebra-vento; proteção contra os efeitos da geada; baixa incidência de doenças pela redução do vento; redução da ocorrência do bicho-mineiro, em razão das condições ambientais que favorecem o crescimento de inimigos naturais; redução das capinas; lenta, mas persistente liberação de N; melhoria da estrutura e da fertilidade do solo. Hugo e Caramori (2004) recomendam que seja realizada uma desrama suave no guandu imediatamente antes do transplante das mudas de café; após o inverno, devem ser feitas podas gradativas, com corte de, no mínimo, 50 cm de altura, para aclimatar as plantas de café à luz; à medida que as plantas crescerem, deve-se erradicar o guandu em fileiras alternadas. Da Croce e Floss (1999) recomendam o cultivo intercalar de culturas comerciais com a erva-mate, tais como soja ou feijão, até o terceiro ano após o transplante das mudas em campo, para diminuir os custos de implantação do erval. Após a colheita, no restante do ano ou durante todo o ano após o terceiro ano da implantação, as entrelinhas devem permanecer cobertas com adubos verdes, tanto de inverno quanto de verão, anuais ou perenes. Nos primeiros três anos do erval, é tolerado o cultivo de espécies arbustivas, tanto para renda quanto para cobertura do solo. A partir do quarto ano, sugere-se o cultivo de espécies herbáceas somente para cobertura do solo (ervilhacas, mucuna-anã, feijão-de-porco, amendoim-forrageiro, serradela, etc.).

Chiaradia et al. (2000) recomendam a adubação verde intercalar em pomares de citros, principalmente com espécies de floração exuberante [trigo-mourisco (*Fagopyrum esculentum*) e mucuna-anã, por exemplo], para redução da infestação de ácaros fitófagos. Segundo os autores, os ácaros predadores alimentam-se, alternativamente, de pólen e, uma vez atraídos pela intensa floração dos adubos verdes, permanecem ali até a ocorrência da infestação da praga.

#### **d) Adubação verde em áreas de pousio temporário**

Este sistema é usado em áreas com solos bastante degradados, física, química e biologicamente, os quais necessitam ser recuperados ao longo dos anos. São usadas espécies perenes ou de ressemeadura natural, que promoverão a recuperação da matéria orgânica e a capacidade produtiva dos solos. As espécies empregadas para esse fim podem ser tanto de verão quanto de inverno, cultivadas durante um ou vários anos, em cultivo único, em consórcio ou coquetel, mas, sobretudo, deve ter grande capacidade de produção de fitomassa. Os adubos verdes recomenda-

dos para tal finalidade são: guandu-arbóreo (guandu-forrageiro), crotalária-mucronata, crotalária-ocroleuca, crotalária-paulina, tefrósia, mucunas, milheto, sorgo-forrageiro, aveias, centeio, etc. (ou consórcio dessas espécies).

O sistema denominado pousio melhorado é aquele no qual a vegetação cresce espontaneamente durante um período em que culturas econômicas são substituídas por espécies de adubos verdes, com o objetivo de acelerar a recuperação da fertilidade do solo e permitir, novamente, o cultivo das culturas anteriores. Os adubos verdes podem vegetar durante um ou mais anos ou, então, podem ser mantidos na área de cultivo apenas durante a estação seca (Reijntjes et al., 1994). No entanto, as espécies nativas não devem ser descartadas como opção para o pousio melhorado, especialmente aquelas protegidas pelos agricultores, como variedades locais ou crioulas. Gramíneas tropicais com alto potencial de produção de fitomassa e reciclagem de fósforo e potássio, como o *Pennisetum purpureum*, *Panicum maximum* ou *Tripsacum laxum*, também podem ser utilizadas para esse fim (Prinz, 1986 citado por Reijntjes et al., 1994). Na Tabela 1, há alguns critérios que devem ser observados para a escolha das espécies para cultivo em áreas de pousio melhorado. Merten e Herman (1995, citados por Merten; Fernandes, 1998) alertam que, em casos de solos com fortes limitações de fertilidade, é recomendável lançar mão do pousio enriquecido, que mescla plantas espontâneas ou nativas com adubos verdes (leguminosas), em detrimento do cultivo exclusivo de adubos verdes, por terem aquelas maior adaptação local e maior capacidade de produção de fitomassa e, conseqüentemente, formação de maior cobertura do solo. No entanto, é necessário considerar que essa situação traz duas grandes preocupações: a primeira é que a convivência com plantas espontâneas ou nativas tende a aumentar a sua incidência na área; a segunda é que, para o manejo dessas plantas, na maioria das vezes, é necessário o uso de herbicidas dessecantes.

### **e) Adubação verde com uma única espécie**

Modalidade mais tradicional de adubação verde, na qual apenas uma espécie de adubo verde é cultivada em determinada área, independentemente do seu ciclo vegetativo e da época de semeadura, em cultivo exclusivo ou consorciado com uma cultura econômica. Desde os primeiros relatos dessa prática, o cultivo de uma única espécie para recuperar o solo foi sempre a mensagem passada de técnico para técnico, de técnico para agricultor e de agricultor para agricultor. Exemplos dessa modalidade são os cultivos de tremoço, aveia-preta, ervilhaca-comum, mucunas, feijão-de-porco, crotalárias, entre outros.

Depois de um determinado tempo de cultivo de uma única espécie de adubo verde, na mesma área e ano após ano, é grande a probabilidade de ocorrência de problemas fitossanitários. Essa percepção, normalmente, não é um item presente nos critérios por meio dos quais os agricultores fazem as avaliações de desempenho dos adubos verdes. O essencial nas avaliações é a produção de fitomassa e a eficiente cobertura do solo. Muitos agricultores parecem não

**Tabela 1.** Critérios de seleção de espécies para uso em pousio melhorado.

<b>Critério</b>	<b>Efeito</b>
Grande produção de fitomassa	Mobilização de nutrientes do solo para a vegetação e abafamento das ervas infestantes
Sistema radicular profundo	Transporte de nutrientes lixiviados ou resultantes do intemperismo a partir de camadas do solo que não são alcançados pelas raízes da cultura principal
Rápido crescimento inicial	Rápida cobertura do solo, que possibilita sua efetiva proteção e supressão das ervas invasoras
Parte vegetativa maior que a lenhosa (baixa relação C:N)	Fácil decomposição da matéria orgânica, que leva a uma disponibilidade maior de nutrientes para as lavouras subsequentes; e facilidade de manejo durante o corte ou incorporação ao solo
Fixação de nitrogênio	Aumento da disponibilidade de nitrogênio
Simbiose com micorrizas	Mobilização e aumento da disponibilidade de fósforo
Uso eficiente da água	Possibilidade de crescimento depois da safra agrícola principal, aproveitando a umidade residual ou a precipitação reduzida
Não ser hospedeira de pragas ou doenças das plantas cultivadas	Redução das populações de pragas e patógenos
Ausência de rizomas	Crescimento controlável
Facilidade de produção de sementes; sementes abundantes	Produção de sementes nas lavouras dos próprios agricultores (produção isolada ou em grupos)
Subprodutos úteis (forragem, madeira)	Integração lavoura-pecuária ou viabilização de sistemas agrossilvipastoris

Fonte: Copijn (1985 citado por Reijntjes et al., 1994).

considerar o adubo verde como uma planta semelhante a uma cultura econômica, capaz de ser atacada por insetos-praga e doenças, em razão do manejo inadequado.

Wildner (1990) e Frey et al. (1992) relatam que, nos anos 1980 e 1990, o cultivo do tremoço praticamente desapareceu em todas as áreas típicas de cultivo da região do Oeste Catarinense, em razão dos graves problemas fitossanitários. Por falta de rotação de cultivo, o tremoço foi severamente atacado por antracnose (*Colletotrichum* sp.) em praticamente todas as partes da planta. Além disso, a falta de maiores cuidados com a produção de sementes provocou a disseminação da referida doença para outros locais, por meio das próprias sementes. O tremoço acabou sendo atacado por várias pragas e transformou-se em hospedeiro intermediário para a perpetuação da broca-das-axilas da soja (*Epinotia aporema*).

A ervilha-forrageira e o chícharo-comum também se mostraram muito susceptíveis aos ataques de *Ascochyta* spp. e *Colletotrichum* sp. e, por falta de rotação de culturas, tiveram suas áreas de cultivo drasticamente diminuídas. As ervilhacas comum e peluda também são muito susceptíveis a doenças (com destaque para a antracnose – *Colletotrichum* sp.) e pragas, tais como a vaquinha (*Diabrotica* sp.), os pulgões diversos e as lagartas (*Anticarsia gemmatalis*) (Wildner, 1990).

Em razão do cultivo intensivo, que caracteriza um verdadeiro monocultivo de inverno, para a formação da cobertura do solo no caso da soja, já foram registrados inúmeros problemas fitossanitários em lavouras de aveia-preta, nos três estados do Sul. A falta de rotação está intensificando a ocorrência de ferrugem da folha e ferrugem do colmo, e isso resulta na diminuição da produção de massa vegetal e promove a dispersão do patógeno para outras áreas de cultivo da mesma espécie (informação verbal)<sup>1</sup>.

#### **f) Adubação verde em coquetel de espécies**

Modalidade na qual são cultivadas, em geral, duas, três ou até quatro espécies de adubos verdes, simultaneamente, na mesma área e ao mesmo tempo (ex.: aveia-preta com ervilhaca; nabo-forrageiro com aveia-preta; aveia-preta com tremoço; aveia-preta, tremoço e ervilhaca; aveia-preta, tremoço, nabo-forrageiro e ervilhaca; centeio substituindo a aveia-preta nos consórcios anteriores; ervilhaca e nabo-forrageiro; milho e guandu, mucuna e guandu, milho e mucuna, etc.). O coquetel com espécies de inverno é mais comum na região Sul do Brasil, enquanto o coquetel com espécies de verão ainda é uma prática que necessita de consolidação, mas é mais conhecida a partir da região norte-noroeste do Paraná e demais regiões brasileiras.

Procura-se cultivar espécies que tenham características distintas e, ao mesmo tempo, complementares, com o objetivo de agregar ou potencializar efeitos que beneficiem tanto o solo quanto as culturas posteriores ou, ainda, o meio ambiente. Para tanto, recomenda-se aliar espécies que tenham diferentes sistemas radiculares, diferentes capacidades de reciclagem de nutrientes (em especial do N), distintos comportamentos sobre a supressão de plantas espontâneas, etc. Quando cultivadas apenas duas espécies, recomenda-se que sejam de famílias botânicas distintas, para evitar problemas de ordem fitossanitária. Quando o número de espécies subir para três, ainda é possível seguir essa regra, pelo menos com os adubos verdes de inverno. Quando a mescla for de quatro espécies, devem ser semeadas, preferencialmente, espécies de duas famílias, mas, se possível, de até três famílias botânicas. Pitol et al. (2006) sugerem coquetel de plantas de diferentes famílias botânicas, para buscar a diversidade biológica dos agroecossistemas e superar as limitações de produção de fitomassa e de disponibilidade de N, para as culturas sucessoras.

Segundo Monegat (1991), a associação de plantas de cobertura do solo é recomendável e benéfica, quando forem usadas:

- 1) Plantas de decomposição muito rápida (tremoços, nabo-forrageiro e ervilhacas) associadas a espécies de decomposição lenta (aveia-preta e centeio).
- 2) Plantas de hábito ereto e com capacidade limitada de cobertura do solo (tremoço, guandu, etc.) associadas a espécies de hábito rasteiro ou rasteiro-trepador (ervilhacas, chícharo-comum, caupi, etc.) ou, ainda, de hábito cespitoso (aveias e centeio).
- 3) Plantas para pastagem ou produção de forragem para corte.

<sup>1</sup> Informações obtidas com técnicos do sistema cooperativo, de empresas de extensão rural e de pesquisa agropecuária de Santa Catarina, em 2006.

No coquetel entre gramíneas e leguminosas, com o objetivo de formar a cobertura para o sistema plantio direto, é recomendado o uso de proporção de 60% de sementes de gramíneas e 40% de leguminosas. Essa proporção pode variar de acordo com as condições locais: em áreas com elevada incidência de plantas espontâneas, recomenda-se o aumento da proporção de gramíneas para garantir a cobertura do solo mais estável e duradoura; caso contrário, ou seja, em áreas com baixa incidência de plantas espontâneas e, principalmente, se houver semeadura posterior de uma cultura econômica exigente em N, recomenda-se o aumento da proporção das leguminosas (Merten; Fernandes, 1998).

O coquetel de gramíneas e leguminosas, além de apresentar um importante efeito melhorador dos atributos físicos do solo (agregação e estruturação), produz resíduo com relação C:N intermediária, o que favorece a mineralização paulatina do N (Calegari, 1998).

Outro aspecto que o agricultor deve observar quando optar pelo cultivo de adubos verdes em coquetel diz respeito ao tipo de manejo que utilizará na área. Segundo Monegat (1991), para a formação da cobertura morta visando ao cultivo mínimo ou plantio direto, não existem problemas quando o manejo da massa vegetal do coquetel for mecânico, com enterrio, ou químico. No entanto, quando o manejo escolhido for o mecânico, com rolo-facas, para a formação da cobertura morta é necessário tomar uma série de cuidados para evitar problemas logo após o manejo propriamente dito. Para tanto, o autor recomenda:

- 1) Não associar espécies de difícil manejo, como a gorga, por exemplo.
- 2) Associar espécies que tenham a mesma velocidade inicial de crescimento, tais como: nabo e ervilha-forrageira, aveia-preta e ervilha-forrageira, nabo-forrageiro e gorga. Nesse caso, o manejo da fitomassa deve ser realizado até os 60 ou 70 dias após a emergência, para evitar a formação de tiguera.
- 3) Não associar espécies com diferentes características de agressividade inicial para evitar que uma acabe “sufocando” a outra.
- 4) Associar espécies de ciclos semelhantes ou aproximados. Esse procedimento evita o rebrote das plantas quando uma das espécies tiver ciclo mais longo e o manejo for feito precocemente. Já para espécies de ciclo longo que produzem tiguera (aveia-preta, centeio, ervilhaca-peluda, chícharo-comum), a espécie a consorciar deve ser de ciclo semelhante ou mais longo e que não produza tiguera.
- 5) Evitar o coquetel de espécies cujas sementes tenham tamanhos muito diferentes, o que acaba exigindo duas operações para semeadura (a lanço e manual).

#### **g) Adubação verde em faixas**

Nessa modalidade, as espécies ocupam uma faixa intercalada (terraço intercalado) entre faixas (terraços) de culturas comerciais. Nos anos seguintes, ocorre uma rotação de cultivos, de modo que o adubo verde possa ser cultivado em todas as faixas após um determinado período.

Dessa maneira, ocorre, paulatinamente, a melhoria de todo o solo da propriedade. Em casos nos quais algumas faixas são ocupadas por leguminosas (banco de proteínas com guandu e leucena, por exemplo), a parte aérea pode ser cortada e distribuída para os animais e/ou distribuída nas faixas de cultivo.

### **h) Coquetel de adubos verdes para recuperação do solo**

Como o próprio nome induz a crer, nessa modalidade são semeados adubos verdes de várias espécies vegetais de comprovada eficiência em produção de fitomassa, procurando imitar um pousio natural. Para Osterroht (2002, p. 25), os coquetéis de adubos verdes têm como princípio básico

[...] a mistura de espécies de plantas de várias famílias botânicas que tenham porte e hábitos de crescimento distintos, ocupando assim estratos diferentes, ou seja, tenham diferente arquitetura da parte aérea e do sistema radicular, proporcionando maior diversidade biológica ao sistema.

Peña (2002) comenta que o uso do coquetel de adubos verdes está baseado nos seguintes princípios: a) o autor considera como princípio fundamental da natureza a estabilidade dinâmica gerada pela diversidade, que promove, ao mesmo tempo, maior complexidade ao sistema; b) o sistema de coquetel, além da incorporação de massa vegetal, oferece aos agricultores a possibilidade de colheita de parte dos produtos semeados e contribui, dessa forma, para a subsistência da família e para a adoção da adubação verde; c) com a diversidade de espécies de diferentes características, em especial a relação C:N, a decomposição da fitomassa é desuniforme e duradoura, o que determinará o enriquecimento do solo com matéria orgânica ao longo do tempo e, por conseguinte, a construção da fertilidade duradoura do solo.

Na Tabela 2, estão discriminadas as espécies e suas respectivas densidades de semeadura para a composição de um coquetel com adubos verdes de verão. Para obtenção da produção máxima de fitomassa, recomenda-se inocular as sementes de leguminosas e adicionar fosfato natural (proporção de 5%) à mistura de sementes. Como é necessário fazer um preparo prévio do solo e incorporação mecânica das sementes por meio de gradagem, recomenda-se implantar um coquetel de adubos verdes em situações de recuperação de solos degradados.

Utilizando a mescla de sementes recomendada por Peña (2002), observa-se uma sucessão de desenvolvimento na qual aparecem como plantas pioneiras o girassol e o milho. Logo após, surgem o lablab, as mucunas, o feijão-de-porco, o caupi ou feijão-catador e, por último, as crotalárias, de crescimento mais lento, mas tolerantes ao sombreamento e persistentes (Osterroth, 2002).

Na Tabela 3, está discriminada uma sugestão de composição de um coquetel de adubos verdes de inverno, com as espécies e suas respectivas densidades de semeadura.



**Tabela 2.** Espécies recomendadas para composição de um coquetel de adubos verdes.

Família	Nome científico	Nome comum	kg ha <sup>-1</sup>
Gramínea	<i>Zea mays</i>	Milho (porte alto)	24
Leguminosa	<i>Mucuna aterrima</i>	Mucuna-preta	16
Leguminosa	<i>Canavalia ensiformis</i>	Feijão-de-porco	16
Leguminosa	<i>Lablab purpureus</i>	Lablab	12
Leguminosa	<i>Cajanus cajan</i>	Guandu-arbóreo	10
Composta	<i>Helianthus annuus</i>	Girassol	8
Leguminosa	<i>Crotalaria juncea</i>	Crotalária-júncea	5
Poligonácea	<i>Ricinus communis</i>	Mamona	5
Leguminosa	<i>Vigna unguiculata</i>	Caupi	4
Gramínea	<i>Panicum miliaceum</i>	Painço	4
Leguminosa	<i>Leucaena leucocephala</i>	Leucena	2
Leguminosa	<i>Tephrosia candida</i>	Tefrósia	1
Espécies opcionais			
Leguminosa	<i>Canavalia brasiliensis</i>	Feijão-bravo-do-ceará	8
Leguminosa	<i>Crotalaria ochroleuca</i>	Crotalária-africana	5
Leguminosa	<i>Calopogonium mucunoides</i>	Calopogônio	4
Gramínea	<i>Sorghum vulgare</i>	Sorgo-forrageiro	4
Leguminosa	<i>Crotalaria anagyroides</i>	Crotalária	3
Gramínea	<i>Pennisetum typhoideum</i>	Milheto	2
Poligonácea	<i>Fagopyrum esculentum</i>	Trigo-sarraceno	2

Fonte: Adaptado de Peña (2002).

**Tabela 3.** Coquetel de adubação verde de inverno<sup>(1)</sup>.

Critério			
Família	Nome científico	Nome comum	kg ha <sup>-1</sup>
Gramínea	<i>Avena strigosa</i>	Aveia-preta	15
Gramínea	<i>Secale cereale</i>	Centeio	20
Brássica	<i>Raphanus sativus</i>	Nabo-forrageiro	1
Leguminosa	<i>Vicia sativa</i>	Ervilhaca-comum	5
Leguminosa	<i>Lupinus albus</i>	Tremoço-branco	15
Leguminosa	<i>Pisum sativum</i>	Ervilha-forrageira	30
Leguminosa	<i>Lathyrus sp.</i>	Vicão	20
Cariofilácea	<i>Spergula arvensis</i>	Gorga ou espérgula	2

<sup>(1)</sup> Sugestão dos pesquisadores da área de manejo do solo da Estação Experimental da Epagri de Ituporanga, SC, 2000.

## Considerações finais

A adubação verde, apesar de seu histórico e de seu uso centenário, experimentou considerável avanço graças aos conhecimentos científicos gerados nos últimos 40 anos. Esses conhecimentos serviram de base para identificar benefícios, antes não conhecidos, nas propriedades do solo, em especial nas propriedades físicas e biológicas, e na produtividade das culturas. Outros conhecimentos ainda serão gerados com o estudo de novas espécies vegetais com aptidão para adubação verde e com o aprofundamento da pesquisa, para as várias espécies já conhecidas. Dessa maneira, os conceitos de adubação verde ainda poderão ser aperfeiçoados.

No entanto, o conhecimento científico gerado somente causará o impacto que se deseja, se houver possibilidade de ser usufruído direta ou indiretamente, parcial ou totalmente, pelos agricultores. Assim, a adoção da adubação verde pelos agricultores dar-se-á mediante a possibilidade de inserção dos adubos verdes nos tradicionais sistemas de produção de grãos, frutíferas e olerícolas, entre outras, ou em sistemas alternativos ou sustentáveis, tais como os sistemas agroecológicos de produção. Muitas dessas possibilidades passam pela identificação ou introdução de materiais genéticos nativos; pelos estudos de melhoramento vegetal para a obtenção de materiais mais precoces ou mais tardios, além de materiais com potencial para produção de sementes nas condições edafoclimáticas de cultivo; pela criação de políticas de fomento para o uso de tecnologias sustentáveis de produção e, finalmente, de políticas compensatórias pela execução de serviços ambientais nos quais a adubação verde se insere como um dos componentes essenciais.

## Referências

- AGUIAR, J. L. P.; CARVALHO, A. M. de; CARDOSO, A. N.; GOMES, A. C. Viabilidade econômica do uso de plantas condicionadoras de solo em agroecossistemas de sequeiro. In: CARVALHO, A. M.; AMABILE, R. F. (ed.). **Cerrado: adubação verde**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2006. p. 331-369.
- AMABILE, R. F.; CARVALHO, A. M. de. Histórico da adubação verde. In: CARVALHO, A. M. de; AMABILE, R. F. (ed.). **Cerrado: adubação verde**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2006. p. 23-40.
- BARNI, N. A.; FREITAS, J. M. de O.; MATZENAUER, R.; TOMAZZI, D. J.; ZANOTELLI, V.; ARGENTA, G.; SECHIN, J.; TIMM, P. J.; DIDONÉ, I. A.; HILEBRAND, G.; BUENO, A. C.; RIBEIRO, S. de S. **Plantas recicladoras de nutrientes e de proteção do solo para uso em sistemas equilibrados de produção agrícola**. Porto Alegre: Fepagro, 2003. 84 p. (FEPAGRO. Boletim, 12).
- BORST, H. L.; WOODBURN, R. The effect of mulching and methods of cultivation on runoff and erosion from Muskingum silt loam. **Agricultural Engineering**, v. 23, n. 1, p. 19-22, 1942.
- CALEGARI, A. Espécies para cobertura do solo. In: DAROLT, M. R. (org.). **Plantio direto: pequena propriedade sustentável**. Londrina: Iapar, 1998. p. 65-94. (IAPAR. Circular, 101).
- CALEGARI, A. Rotação de culturas. In: GUIA para plantio direto. São Paulo: Grupo Plantio Direto: Masa Propaganda, 2000. p. 68-78.
- CALEGARI, A.; ALCÂNTARA, P. B.; MIYASAKA, S.; AMADO, T. J. C. Caracterização das principais espécies de adubos verdes. In: COSTA, M. B. B. da. (coord.). **Adubação verde no sul do Brasil**. Rio de Janeiro: AS-PTA, 1992a. p. 207-327.

- CALEGARI, A.; MONDARDO, A.; BULIZANI, E. A.; COSTA, M. B. B. da; MIYASAKA, S.; AMADO, T. J. C. Aspectos gerais da adubação verde. In: COSTA, M. B. B. da (coord.). **Adubação verde no sul do Brasil**. Rio de Janeiro: AS-PTA, 1992b. p. 1-55.
- CARVALHO, A. M. de. **Uso de plantas condicionadoras com incorporação e sem incorporação no solo**: composição química e decomposição dos resíduos vegetais, disponibilidade de fósforo e emissão de gases. 2005. 199 f. Tese (Doutorado) – Universidade de Brasília, Brasília, DF.
- CARVALHO, A. M. de; BURLE, M. L.; PEREIRA, J.; SILVA, M. A. da. **Manejo de adubos verdes no Cerrado**. Planaltina, DF: Embrapa-CPAC, 1999. 28 p. (Embrapa-CPAC. Circular técnica, 4).
- CASTILHOS, E. G.; SCHERER, E. E.; AITA, C. **Efeito da mucuna e da adubação nitrogenada na cultura do milho**. Florianópolis: Empasc, 1985. 4 p. (EMPASC. Pesquisa em andamento, 50).
- CHAVES, J. C. D. **Manejo do solo, adubação e calagem antes e após a implantação da lavoura cafeeira**. Londrina: Iapar, 2002. 36 p. (IAPAR. Circular, 120).
- CHIARADIA, L. A.; MILANEZ, J. M.; SOUZA, L. C. de. Caracterização, danos e alternativas para o controle do ácaro-da-leprose dos citros. **Agropecuária Catarinense**, v. 13, n. 2, p. 15-19, jul. 2000.
- CONWAY, G. **Produção de alimentos no século XXI**: biotecnologia e meio ambiente. São Paulo: Estação Liberdade, 2003. 375 p.
- COSTA, M. B. B. da. (coord.). **Adubação verde no sul do Brasil**. Rio de Janeiro: AS-PTA, 1992. 346 p.
- D'UTRA, G. R. P. **Adubos verdes**: sua produção e modo de emprego. São Paulo: Secretaria da Agricultura, Comércio e Obras Públicas do Estado de São Paulo, 1919. 76 p.
- DA CROCE, D. M.; FLOSS, P. A. **Cultura da erva-mate no Estado de Santa Catarina**. Florianópolis: Epagri, 1999. 81 p. (EPAGRI. Boletim técnico, 100).
- DERPSCH, R.; SIDIRAS, N.; ROTH, C. **Estudo e desenvolvimento de sistemas de rotação de culturas incluindo espécies de cobertura verde e métodos de preparo do solo**. Londrina: Iapar: GTZ, 1984. 107 p. Relatório final do Projeto GTZ PN 76.2014.9 - Controle da erosão no Estado do Paraná.
- FLORES, M. **Tienen razón los agricultores de usar el frijol abono?** La contribución de esta especie a la economía de algunos grupos campesinos de la Costa Norte de Honduras. Tegucigalpa: Cidicco, 1993. 10 p. (CIDICCO. Informe técnico, 12).
- FREY, F.; GASSEN, D. N.; BAIER, A. C. **Doenças e insetos associados à cultura do tremoço no Brasil**. [Schborn: GTZ; Passo Fundo: EMBRAPA-CNPQ, 1992?]. 58 p. (GTZ. Série documentos).
- HUGO, R. G. Café e guandu: um casamento mais que perfeito. **Agroecologia Hoje**, n. 2, p. 21, 2000.
- HUGO, R. G.; CARAMORI, P. H. Sistema de implantação de áreas novas de café com guandu. **Agroecologia Hoje**, n. 23, p. 13-14, 2004.
- HULL, W. X. **Manual de conservação do solo**. Rio de Janeiro: Centro de Publicações Técnicas da Aliança; [Washington, DC]: Government Printing Office, 1951. 307 p.
- KIEHL, E. J. **Contribuição para o estudo da poda e da decomposição de adubos verdes**. 1960. 113 f. Tese (Livre-Docência) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- KLUTHCOUSKI, J. C. **Leucena**: alternativa para a pequena e média agricultura. Goiânia: EMBRAPA-CNPAP, 1980. 23 p. (EMBRAPA-CNPAP. Circular técnica, 6).
- LANDERS, J. N. A. Safrinha. In: LANDERS, J. N. (ed.). **Fascículo de experiências de plantio direto no cerrado**. Goiânia: Associação de Plantio Direto no Cerrado, 1994. p. 53-88.
- LIMA, P. C. de; MOURA, W. de M.; AZEREDO, M. S. F. R. de; CARVALHO, A. F. de. Estabelecimento de cafezal orgânico. **Informe Agropecuário**, v. 23, n. 214/215, p. 33-52, 2002.
- LOVADINI, L. A. C.; MASCARENHAS, H. A. A.; MIYASAKA, S.; PASTANA, F. I.; NERY, C.; LAUN, C. R. P. Emprego de *Dolichos lablab* L. como adubo verde. I. Estudo do plantio intercalado na cultura do milho. **Bragantia**, v. 31, p. 97-108, 1972.
- MERTEN, G. H.; FERNANDES, F. F. Manejo de solo de baixa aptidão. In: DAROLT, M. R. (org.). **Plantio direto**: pequena propriedade sustentável. Londrina: Iapar, 1998. p. 46-64. (IAPAR. Circular, 101).

- MIYASAKA, S. Histórico de estudos de adubação verde, leguminosas viáveis e suas características. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE ADUBAÇÃO VERDE, 1., 1983, Rio de Janeiro. **Adubação verde no Brasil**. Campinas: Fundação Cargill, 1984. p. 64-123.
- MONDARDO, E.; MORAES, O. de; MOREL, D. A.; MIURA, L.; SCHMITT, A. T. **Leguminosas para adubação verde em solos arenosos do Sul de Santa Catarina**. Florianópolis: Empasc, 1982. 13 p. (EMPASC. Comunicado técnico, 43).
- MONEGAT, C. **A ervilhaca e o cultivo mínimo**. Chapecó: Emater-SC: Acaresc, 1981. 24 p.
- MONEGAT, C. **Plantas de cobertura do solo**: características e manejo em pequena propriedade. Chapecó, 1991. 337 p.
- OSTERROHT, M. von. Coquetel de adubos verdes. **Agroecologia Hoje**, n. 14, p. 25, 2002.
- PEÑA, R. P. A adubação verde de coquetel: 12 anos depois, um pouco de história e alguns sucessos alcançados. **Agricultura Biodinâmica**, n. 86, p. 28-30, 2002.
- PENEIREIRO, F. M. Sistemas agroflorestais e pousio melhorado como alternativa à agricultura de corte e queima. **Agroecologia Hoje**, n. 15, p. 21, 2002.
- PEREIRA, J.; BURLE, M. L.; RESCK, D. V. S. Adubos verdes e sua utilização no cerrado. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO NO CERRADO, 1992, Goiânia. **Anais...** Campinas: Fundação Cargill, 1992. p. 140-154.
- PITOL, C. O milheto em sistema de plantio direto. In: WORKSHOP INTERNACIONAL DE MILHETO, 1999, Planaltina, DF. **Anais...** Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 1999. p. 69-73.
- PITOL, C.; BROCH, D. L.; CARVALHO, A. M. de; SPERA, S. T. Uso de adubos verdes nos sistemas de produção no Bioma Cerrado. In: CARVALHO, A. M. de; AMABILE, R. F. (ed.). **Cerrado**: adubação verde. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2006. p. 301-330.
- REIJNTJES, C.; HAVERKORT, B.; WATERS-BAYER, A. **Agricultura para o futuro**: uma introdução à agricultura sustentável e de baixo uso de insumos externos. Rio de Janeiro: AS-PTA, 1994. 324 p.
- SALTON, J. C.; PITOL, C.; ERBES, E. J. **Cultivo de primavera**: alternativa para produção de palha em Mato Grosso do Sul. Maracaju: Fundação MS, 1993. 6 p. (Fundação MS. Informativo técnico, 1).
- SCHERER, E. E.; BALDISSERA, I. T. Mucuna: a proteção do solo em lavoura de milho. **Agropecuária Catarinense**, v. 1, n. 1, p. 21-24, 1988.
- SOUZA, C. M. de; PIRES, F. R. **Adubação verde e rotação de culturas**. Viçosa, MG: Ed. da UFV, 2002. 72 p. (UFV. Cadernos didáticos, 96).
- SPAGNOLLO, E.; BAYER, C.; WILDNER, L. do P.; ERNANI, P. R.; ALBUQUERQUE, J. A.; NADAL, R. de. Análise econômica do uso de leguminosas estivais intercalares à cultura do milho na ausência e na presença de adubação nitrogenada, no Oeste de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 3, p. 709-715, jul./set. 2001.
- SPAGNOLLO, E.; BAYER, C.; WILDNER, L. do P.; ERNANI, P. R.; ALBUQUERQUE, J. A.; PROENÇA, M. M. Leguminosas estivais intercalares como fonte de nitrogênio para o milho, no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 2, p. 417-423, abr./jun. 2002.
- SPERA, S. T.; CORREIA, J. R.; REATTO, A. Solos do Bioma Cerrado: propriedades químicas e físico-hidráulicas sob uso e manejo de adubos verdes. In: CARVALHO, A. M. de; AMABILE, R. F. (ed.). **Cerrado**: adubação verde. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2006. p. 41-70.
- SUHET, A. R.; BURLE, M. L.; PERES, J. R. R. Associação de adubos verdes com culturas comerciais nos cerrados. In: EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados. **Relatório Técnico Anual do Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados 1987-1990**. Planaltina, DF, 1994. p. 111-115.
- VIÉGAS, G. P.; FREIRE, E. S.; FRAGA JUNIOR, C. G. Adubação do milho. XIV: Ensaios com mucuna intercalada e adubos minerais. **Bragantia**, v. 19, p. 909-941, 1960a.
- VIÉGAS, G. P.; GARGANTINI, H.; FREIRE, E. S. Adubação do milho. XIII: efeitos da mucuna, do calcário e de outros adubos sobre as propriedades químicas do solo. **Bragantia**, v. 19, p. 91-100, 1960b.
- WILDNER, L. do P. **Adubação verde, cobertura e recuperação do solo em sistemas diversificados de produção**. Chapecó: Empasc, 1990. 79 p. (EMBRAPA. PNP Manejo e Conservação do Solo. Projeto 043.860071). Relatório final.

## Capítulo 15

# Adubação verde na agricultura orgânica

---

Edmilson José Ambrosano

Fabício Rossi

Takashi Muraoka

Paulo César Ocheuze Trivelin

Gláucia Maria Bovi Ambrosano

Ivani Pozar Otsuk

Elaine Bahia Wutke

Nivaldo Guirado

Eliana Aparecida Schammas



## Introdução

A adubação verde aplicada ao sistema orgânico de produção é fundamental, porque é a técnica que possibilita o incremento da fertilidade do agroecossistema. A prática da agricultura orgânica de base ecológica, na qual a natureza é o modelo para a agricultura sustentável, está condicionada à utilização dos adubos verdes. Dessa forma, a agricultura orgânica ocorre a partir do momento em que o agricultor se dispõe a quebrar seus paradigmas convencionais e a modificar seu modo de pensar e agir. É uma reorganização da maneira de praticar agricultura, pois a propriedade deve ser considerada como um sistema agrícola integrado.

No Brasil, a agricultura orgânica é definida pela Lei nº 10.831, de 23 de dezembro de 2003, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa) (Brasil, 2003), regulamentada pelo Decreto nº 6.323, de 27 de dezembro de 2007 (Brasil, 2007). Em dezembro de 2008, o Mapa publicou a Instrução Normativa nº 64, que revogou a Instrução Normativa do Mapa nº 7, de 17 de maio de 1999. A Instrução Normativa nº 64, no art. 2º, aprova a lista de substâncias permitidas para uso nos sistemas orgânicos de produção animal e vegetal. No anexo VI, sobre substâncias e produtos autorizados para uso em fertilização e correção do solo em sistemas orgânicos de produção, os adubos verdes são autorizados sem condições específicas ou restrições de uso (Brasil, 2008). Desse modo, legalmente, o produtor rural pode utilizar a adubação verde no cultivo de alimentos e em produtos agrícolas em geral, como prática recomendada (Moreira, 2018). É possível a prática da agricultura orgânica visando apenas à substituição de insumos utilizados na agricultura convencional, por insumos permitidos na agricultura orgânica. Essa é a agricultura baseada em produtos, mas não é esse o objetivo maior. Em agricultura de base ecológica, é possível a produção de alimentos e de outros produtos agrícolas de forma sustentável econômica, social e ambiental. É a agricultura baseada em processos, na qual se busca a intensificação das funções naturais gratuitas do ecossistema. É nesse contexto que se deve entender a essencialidade dos adubos verdes, pois as características individuais de cada espécie devem ser consideradas para esse fim, uma vez que os adubos minerais enriquecidos por processos químicos e/ou tratados quimicamente para aumento da sua solubilidade, herbicidas e esterilizantes de solo não são permitidos (Brasil, 2008).

### Como praticar a agricultura sem a tecnologia da Revolução Verde?

Em primeiro lugar, para desmistificar a agricultura orgânica, é preciso saber que não se excluem todos os adubos minerais (químicos) desse sistema produtivo. Por exemplo, adubos como o sulfato de potássio e sulfato duplo de potássio e magnésio, desde que obtidos por procedimento físicos, são permitidos com autorização do Organismo de Avaliação da Conformidade Orgânica (OAC) ou da Organização de Controle Social (OCS), assim como os termofosfatos, os fosfatos naturais e os calcários, que também são de origem mineral.

Em segundo lugar, é necessário entender que as florestas tropicais, apesar da exuberância que possuem, estão assentadas em solos geralmente pobres em nutrientes. Os solos sob a floresta de transição Amazônia-Cerrado apresentam fertilidade natural muito baixa, de maneira que as espécies vegetais necessitam contar, para o seu pleno desenvolvimento, com a ciclagem de nutrientes que envolve a decomposição da matéria orgânica (Silva et al., 2009). Essa matéria orgânica é obtida pela capacidade das plantas em realizar a fotossíntese. As plantas captam o carbono e o oxigênio (do ar –  $\text{CO}_2$  – e da água –  $\text{H}_2\text{O}$ ) e o hidrogênio (da água –  $\text{H}_2\text{O}$ ), absorvem energia luminosa (solar) por meio da clorofila e produzem de matéria inorgânica a matéria orgânica (glicose –  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ ), liberando, nesse processo, o oxigênio ( $\text{O}_2$ ). A participação do solo no processo de produção da fitomassa reside no fornecimento de água e nutrientes.

Os solos tropicais são muito intemperizados e acabam perdendo a camada orgânica onde se concentram os organismos responsáveis pela tarefa de fragmentar as cadeias carbônicas (Correia; Andrade, 1999). No solo, os fatores água, oxigênio e matéria orgânica, bem como os elementos minerais, estão associados ao sistema de poros, que, juntamente com a serrapilheira (fonte de nutrientes), agem como um sistema regulador da vida. A formação da camada de serrapilheira, típica dos solos florestais, depende basicamente da quantidade de resíduos orgânicos advindos da parte aérea das plantas e da taxa de decomposição desses resíduos (Andrade et al., 2003). A degradação da serrapilheira é um dos principais mecanismos responsáveis pela ciclagem de nutrientes em sistemas florestais e agroflorestais. Na agricultura orgânica, os adubos verdes fazem o papel da serrapilheira das florestas. Nesse sentido, os adubos verdes são conhecidos também como plantas de cobertura.

Para a prática da adubação verde, a parte aérea das plantas deve ser deixada na superfície do solo, com o auxílio de roçadeira, trituradores mecânicos ou rolo-faca, desde o estágio de florescimento pleno até o início da formação dos grãos, ou seja, não se recomenda a colheita das sementes. Nessa fase, as plantas têm quantidade de nitrogênio (N) e umidade relativamente elevadas, que servem como fonte de alimento ideal para os organismos decompositores do solo. Sob essas condições favoráveis, organismos trituradores e microrganismos decompõem os adubos verdes. Durante esse processo, a matéria orgânica e os nutrientes são liberados no solo, onde se tornam disponíveis para utilização por outros organismos, entre eles as plantas (Figura 1).





**Figura 1.** Captação pelas árvores de energia solar para processo fotossintético (A); serrapilheira (B); crotalária-júncea (*Crotalaria juncea*) para produção de biomassa (C); plantio direto de tomate sobre palhada de crotalária-júncea (D).

Considerando a natureza como modelo, a produção de biomassa é função das condições climáticas (temperatura, água, gás carbônico, umidade relativa do ar, vento e luz), do ativo de nutrientes minerais presentes no solo e da fitossanidade (pragas e doenças).

Desse modo, as plantas promovem a incorporação de carbono (C) ao solo e a ciclagem dos demais nutrientes. Nesse sistema, no qual não há exportação de nenhum nutriente mineral pela colheita dos produtos vegetais, em longo prazo, incrementa-se a fertilidade do solo. Os ecossistemas florestas tropicais, resultantes da combinação ideal de luz, água, temperatura e ar, buscam formas de se desenvolver quanto aos nutrientes, evitando perdas e reciclando-os o mais eficientemente possível (Khatounian, 2001).

A biodiversidade é a base da vida em nosso planeta; isso porque da diversidade vegetal depende a diversidade da biota no solo, e esta, por sua vez, depende, não somente do fornecimento de nutriente para as plantas, mas especialmente da penetração de água da chuva no solo para o crescimento vegetal e o reabastecimento dos depósitos subterrâneos (Primavesi, 2012).

Desse modo, no sistema orgânico de produção, a biomassa e a biodiversidade são essenciais, e a adubação verde é a técnica que viabiliza a produção dessa vida (bio), tanto abaixo quanto acima do solo, tanto em quantidade (massa) quanto em qualidade (diversidade), possibilitando assim uma agricultura sustentável.

O conceito agroecológico da adubação verde permite uma visão holística da técnica – na qual todos os fatores favoráveis ou vantagens obtidas pelo cultivo dos adubos verdes são igualmente importantes – e não se restringe apenas à aplicação da técnica com o objetivo de fertilização do solo por meio da fixação biológica de nitrogênio (FBN), embora essa seja uma vantagem primordial no processo. Na verdade, o conceito de fertilidade na agricultura orgânica de base agroecológica tem um enfoque diferenciado. A fertilidade é entendida como a capacidade de um ecossistema gerar vida de forma sustentável, medida usualmente no que se refere à produção de biomassa (Khatounian, 2001). Desse modo, tanto direta quanto indiretamente, a adubação verde influencia na fertilidade do sistema. Diretamente, pela sua finalidade de cultivo, ou seja, com o objetivo de recuperar os solos degradados, melhorar os solos naturalmente pobres e conservar aqueles que já são produtivos. Isso pode ser conseguido por meio do cultivo de espécies com características recicladoras, recuperadoras, protetoras, melhoradoras e condicionadoras de solo, as quais não visam um retorno econômico imediato, mas são produzidas simplesmente para não serem colhidas e ficarem sobre o solo. Quando o solo se encontra com cobertura vegetal, a perda de solo e água é menos intensa e os resíduos vegetais contribuirão para a manutenção e/ou recuperação da matéria orgânica do solo agrícola. De forma indireta, a adubação verde pode incrementar o processo produtivo de outras espécies, tanto como quebra-ventos quanto com a finalidade de sombreamento. Como exemplo disso, pode criar condições climáticas adequadas ou, mesmo em cultivo consorciado, fixar N, fornecendo-o às culturas econômicas.

É evidente que utilizar a natureza como modelo não se restringe apenas à observação do processo de construção da fertilidade do solo. Requer também o entendimento de todas as interações dos diversos organismos do ecossistema. Os processos de manutenção da vida e de cada organismo, individualmente, são interconectados e ajustados uns aos outros e isso resulta na natureza como um todo (Khatounian, 2001). No entanto, na comparação com a técnica da adubação verde, a construção da fertilidade do solo, principalmente por fixação do N, ciclagem de nutrientes e incorporação de C por meio da matéria orgânica, é o essencial a ser conhecido e utilizado como modelo.

## Benefícios da adubação verde em relação ao solo

Adubos verdes são plantas cultivadas para melhorar as condições do solo e a nutrição das culturas em sucessão, rotação ou em consórcio. Supressão de plantas espontâneas e nematoides,

redução de doenças do solo e influência sobre condições climáticas (microclima) são benefícios adicionais da prática da adubação verde.

Um dos principais benefícios da prática da adubação verde é o controle da erosão do solo que a cobertura viva ou morta pode propiciar ao terreno. A erosão é um dos principais responsáveis pela destruição da matéria orgânica do solo. A cobertura proporcionada pela adubação verde evita o impacto direto das gotas da chuva, e promove maior infiltração e menor escoamento superficial de água (Monegat, 1991; Wutke et al., 2000). Outro benefício refere-se à proteção, recuperação e manutenção da fertilidade dos solos cultivados, tanto pela adição da matéria orgânica quanto pela conservação dos nutrientes, com impacto direto na melhoria do desenvolvimento das culturas econômicas.

A adubação verde propicia também a preservação e conservação dos recursos naturais e da biodiversidade. Os benefícios da adubação verde em relação ao solo podem ser observados nas características físicas, químicas e biológicas.

## Benefícios em relação às características físicas do solo

Fisicamente, um solo mineral é uma mistura porosa de partículas inorgânicas (substâncias minerais), matéria orgânica em decomposição, água e ar. As duas propriedades físicas principais são a textura e a estrutura do solo. Em conjunto, essas propriedades ajudam a determinar não somente a capacidade de suprimento de nutrientes dos solos, como também o fornecimento de água e ar, tão importantes à vida vegetal (Brady; Buckman, 1983). É atuando principalmente na estruturação do solo que os adubos verdes agem de maneira direta e trazem benefícios ao solo. Isso é possível pelo crescimento das plantas e pelo desenvolvimento do sistema radicular. Embora a estabilidade dos agregados do solo não seja um fenômeno inteiramente orgânico, a adição de matéria orgânica ao solo favorece o desenvolvimento de microrganismos que promovem a ação da aglutinação mecânica do solo. A decomposição microbiana da matéria orgânica gera compostos eficientes na estabilização dos agregados, como o húmus, por exemplo. Um solo bem estruturado proporciona um aumento da porosidade, com consequente fornecimento satisfatório de água e ar para as plantas, e isso facilita também a penetração das raízes em profundidade.

Com o acréscimo de resíduos orgânicos ao solo, observa-se um decréscimo da sua densidade global, o que pode ser explicado pelo fato de o material adicionado apresentar uma menor relação massa/volume, quando comparado à matriz do solo. Com a melhoria da estrutura, há aumento da retenção de água e melhoria na capacidade de infiltração e de armazenamento e, conseqüentemente, diminuição da enxurrada e da erosão (Espindola et al., 1997). A simples cobertura do solo também contribui para a conservação, pois possibilita a proteção direta contra o impacto das gotas da chuva, que poderia causar desagregação do solo, selamento superficial e redução dos poros que absorvem água. Desse modo, haveria uma diminuição da velocidade

de infiltração de água no solo, o que possibilitaria o escoamento superficial, com consequente erosão laminar.

O crescimento de adubos verdes também pode auxiliar na descompactação do solo. Em trabalho realizado por Wutke et al. (2000), a rotação de culturas do feijoeiro com milho e adubos verdes, principalmente o guandu [*Cajanus cajan* (L.) Millsp.], favoreceu a redução da resistência do solo à penetração na camada arável e garantiu a manutenção do teor de matéria orgânica do solo. A velocidade de infiltração básica da água no solo foi favorecida pela inclusão da mucuna-preta (*Mucuna aterrima*), da crotalária-júncea e do milho (*Zea mays* L.), no esquema de rotações (Tabela 1).

**Tabela 1.** Infiltração básica de água de um Latossolo Vermelho eutroférico típico, após cultivo do feijoeiro, cultivar IAC-Carioca, em rotação com milho e adubos verdes.

Cultura anterior	Pousio	Milho	Aveia-preta	Crotalária-júncea	Guandu	Mucuna-preta	Média
	(mm h <sup>-1</sup> )						
Infiltração	13,6cd	16,6ab	11,0d	18,0ab	15,3bc	18,9a	15,6
CV (%)	<b>11,00</b>						

Médias seguidas de letras iguais não diferem pelo teste de Duncan, a 5% de probabilidade.

Fonte: Adaptado de Wutke et al. (2000).

Bonini e Alves (2012) estudaram a qualidade física de um Latossolo Vermelho, em recuperação há 17 anos. Os autores concluíram que os tratamentos em que foram usados os adubos verdes guandu, depois feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis* L.), e posteriormente braquiária [*Urochloa* (Syn. *Brachiaria*) *brizantha*], com calagem e gesso (C + Ge + G/FP/B), foram os melhores para a recuperação da qualidade física do solo, pois proporcionaram menor resistência à penetração e menor densidade do solo (Tabela 2).

A adição de matéria orgânica influencia vários atributos físico-hídricos do solo, tais como: estabilidade de agregados, infiltração, resistência à penetração e porosidade do solo. Os adubos verdes, além de melhorarem características físicas do solo, têm potencial para melhorar também as características químicas.

## Benefícios em relação às características químicas do solo

As características químicas do solo são, basicamente, função da composição do solo em relação a substâncias minerais e orgânicas. Os adubos verdes podem incrementar o teor de matéria orgânica na superfície no solo e os teores de N, fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S); e podem diminuir o teor de alumínio (Al) tóxico (Calegari, 2006).

**Tabela 2.** Resistência do solo à penetração e valores médios de densidade do solo para os tratamentos estudados no ano de 2008.

Tratamento	Resistência do solo (Mpa)		Densidade do solo (mg m <sup>-3</sup> )		
	Profundidade (cm)		Profundidade (cm)		
	(0–15)	(15–30)	(0–10)	(10–20)	(20–30)
SM/B <sup>(1)</sup>	3,2abc	4,3cd	1,45ab	1,67a	1,74bc
MP/B <sup>(2)</sup>	2,4ab	3,2abc	1,48ab	1,67a	1,73bc
G/FP/B <sup>(3)</sup>	3,4bc	3,8bcd	1,48ab	1,66a	1,78bc
C + MP/B <sup>(4)</sup>	3,7c	4,2cd	1,42ab	1,61a	1,77bc
C + G/FP/B <sup>(5)</sup>	3,1abc	4,2cd	1,46ab	1,70a	1,76bc
C + Ge + MP/B <sup>(6)</sup>	3,0abc	3,7abc	1,51b	1,63a	1,81bc
C + Ge + G/FP/B <sup>(7)</sup>	2,2a	2,5a	1,48ab	1,64a	1,70ab
MA <sup>(8)</sup>	3,0abc	3,0ab	1,72c	1,72a	1,86c
SE <sup>(9)</sup>	4,9d	4,9d	1,38a	1,57a	1,54a
<b>CV (%)</b>	<b>20,82</b>	<b>20,03</b>	<b>5,42</b>	<b>5,99</b>	<b>6,34</b>

<sup>(1)</sup> Solo mobilizado até 1999, após implantação com braquiária. <sup>(2)</sup> Mucuna-preta até 1999, após substituição por braquiária. <sup>(3)</sup> Guandu até 1994, após substituição por feijão-de-porco; e a partir de 1999 substituído por braquiária. <sup>(4)</sup> Calcário + mucuna-preta até 1999, após substituição por braquiária. <sup>(5)</sup> Calcário + guandu até 1994, após substituição por feijão-de-porco; e a partir de 1999 substituído por braquiária. <sup>(6)</sup> Calcário + gesso + mucuna-preta até 1999, após substituição por braquiária. <sup>(7)</sup> Calcário + gesso + guandu até 1994, após substituição por feijão-de-porco; e a partir de 1999 substituído por braquiária. <sup>(8)</sup> Vegetação nativa do Cerrado. <sup>(9)</sup> Solo exposto.

Médias seguidas de letras iguais não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Fonte: Adaptado de Bonini e Alves (2012).

Ambrosano et al. (2010) verificaram alterações no teor de matéria orgânica no solo na camada de 0 a 20 cm, principalmente por causa do cultivo do amendoim 'Tatu' (*Arachis hypogaea* L.) e da mucuna-preta. Na profundidade de 20 cm a 40 cm, o amendoim 'Tatu', o feijão-mungo (*Vigna radiata*) e o girassol 'IAC-Uruguai' (*Helianthus annuus* L.) também aumentaram o teor de matéria orgânica (Tabela 3).

A capacidade de troca catiônica (CTC) de solos com argilas de baixa atividade, tipo 1:1 (caulinita, por exemplo), predominante em solos tropicais e bastante intemperizados, é baixa. Por isso, é importante a participação da matéria orgânica no incremento da CTC dependente de pH nos solos brasileiros por causa dos evidentes benefícios proporcionados pelos adubos verdes nesse sentido. Eles podem influenciar, diretamente, em várias características edáficas e alterar o ambiente a ser explorado pelas raízes das culturas. Dessa forma, ocorrem conseqüentemente benefícios na relação solo-água-planta.

A partir da decomposição dos resíduos vegetais, pode ocorrer diminuição na acidez do solo, porque nesse processo são produzidos ácidos orgânicos capazes de complexar íons Al<sup>+3</sup> presentes na solução do solo, reduzindo dessa forma o alumínio tóxico (Miyazawa et al., 1993).

**Tabela 3.** Matéria orgânica do solo alterada pelas espécies de adubos verdes utilizadas em sistemas de rotação com cana-de-açúcar.

Adubo verde	Matéria orgânica no solo (g kg <sup>-1</sup> )		
	0 - 20 (cm)	20 - 40 (cm)	Média
Amendoim 'IAC-Caiapó' ( <i>Arachis hypogaea</i> L.)	21,00Ab	18,60Bb	19,80
Soja 'IAC-17' [ <i>Glycine max</i> (L.) Merrill]	19,40Ab	17,00Bb	18,20
Feijão-mungo (genótipo M146) [ <i>Vigna radiata</i> (L.) Wilczek]	19,40Ab	20,00Aa	19,70
Crotalária-júncea 'IAC 1' ( <i>Crotalaria juncea</i> L.)	19,00Ab	17,60Ab	18,30
Amendoim 'Tatu' ( <i>Arachis hypogaea</i> L.)	22,60Aa	21,20Aa	21,90
Mucuna-preta [ <i>Mucuna aterrima</i> (Piper & Tracy) Holland]	22,80Aa	18,40Bb	20,60
Girassol 'IAC-Uruguaí' ( <i>Helianthus annuus</i> L.)	20,20Ab	20,00Aa	20,10
Testemunha	19,80Ab	18,80Ab	19,30
<b>Média</b>	<b>20,52</b>	<b>18,95</b>	<b>19,74</b>
<b>CV (%)</b>	<b>8,13</b>	<b>8,11</b>	

Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem pelo teste de Tukey-Kramer, a 10% de probabilidade.

Fonte: Adaptado de Ambrosano et al. (2010).

Em estudo realizado por Ambrosano et al. (2005a), as mucunas (*Mucuna* sp.), principalmente a verde, seguida da anã e da preta, alteraram as características químicas do solo em apenas um ciclo de cultivo. Houve liberação de mais Ca e Mg e diminuição na acidez potencial, com consequente aumento na soma de bases, o que torna o solo mais adequado para o crescimento de outras plantas em sucessão às mucunas (Tabela 4). Convém salientar que o solo do experimento não recebeu calagem.

## Reciclagem de nutrientes

No que se refere à velocidade de liberação dos nutrientes pela matéria orgânica gerada pelos adubos verdes, há diferenças em relação às espécies e aos nutrientes (Espindola et al., 2006).

Os ácidos orgânicos liberados durante a decomposição, como já citado anteriormente, irão atuar de modo que a acidez potencial do solo diminua. Dessa forma, auxiliam na disponibilidade de outros nutrientes, como é o caso do Ca e do Mg, além de vários micronutrientes.

As plantas de cobertura têm a capacidade de extrair nutrientes menos solúveis e de mobilizar aqueles das camadas mais profundas do solo, em razão do expressivo desenvolvimento do sistema radicular. Em profundidade, as raízes interceptam esses elementos e os disponibilizam para culturas subsequentes (Monegat, 1991).

Na Tabela 5, são apresentados os dados de produção de fitomassa e o acúmulo de nutrientes das fabáceas herbáceas perenes (Espindola et al., 2006). Tanto na estação seca, quanto



**Tabela 4.** Valores de cátions no solo coletado na profundidade de 0 a 20 cm na época da colheita do manejo de mucunas em área agroecológica, em Piracicaba, Apta, Polo Centro-Sul, no ano de 2002<sup>(1)</sup>.

Tratamento	K	Ca	Mg	H + Al	CTC	SB
	(mmol dm <sup>-3</sup> )					
Mucuna-anã ( <i>Mucuna deeringiana</i> )	0,43b	41,80ab	28,00ab	19,50ab	89,83ab	70,23ab
Mucuna-preta [ <i>Mucuna aterrima</i> (Piper & Tracy) Holland]	0,30b	39,00ab	27,00ab	18,16b	84,65ab	66,30ab
Mucuna-cinza [ <i>Mucuna cinerea</i> (Piper & Tracy)]	0,43b	34,00b	23,30b	20,67ab	78,65b	57,73b
Mucuna-verde ( <i>Mucuna pruriens</i> )	0,26b	45,60a	33,30a	18,50ab	97,98a	79,26a
Testemunha	0,80a	34,00b	22,08b	21,33a	79,37b	57,63b
<b>CV (%)</b>	<b>43,79</b>	<b>20,86</b>	<b>27,56</b>	<b>11,83</b>	<b>15,76</b>	<b>23,29</b>

<sup>(1)</sup>K = potássio; Ca = cálcio; Mg = magnésio; H = hidrogênio; Al = alumínio; H+Al= acidez potencial; CTC = capacidade de troca catiônica; SB = soma de bases.

Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Fonte: Adaptado de Ambrosano et al. (2005a).

**Tabela 5.** Produção de fitomassa e acúmulo de nutrientes na parte aérea de fabáceas herbáceas perenes e vegetação espontânea por ocasião dos cortes realizados durante as estações (seca e chuvosa)<sup>(1)</sup>.

Espécie	Matéria seca	N	P	K	Ca	Mg
	(t ha <sup>-1</sup> )	(kg ha <sup>-1</sup> )				
<b>Estação seca</b>						
<i>Arachis pintoi</i> Krap. e Greg.	3,4b	96,9b	6,8ab	29,9b	44,8a	21,2a
<i>Pueraria javanica</i> Benth., Syn. <i>Pueraria phaseoloides</i> (Roxb.) Benth.	5,0a	125,8a	10,3a	47,1b	38,3ab	14,8b
<i>Macroptilium atropurpureum</i>	3,1b	65,2c	5,7b	35,9b	31,0b	12,7b
Vegetação espontânea	3,4b	36,2d	9,8a	71,7a	13,0c	8,4c
<b>Estação chuvosa</b>						
<i>Arachis pintoi</i> Krap. e Greg.	4,2b	99,3ab	7,1b	30,8b	76,0a	32,1a
<i>Pueraria javanica</i> Benth., Syn. <i>Pueraria phaseoloides</i> (Roxb.) Benth.	5,4ab	126,1a	9,8b	44,3b	63,4a	24,9a
<i>Macroptilium atropurpureum</i>	3,7b	90,3b	6,1b	40,3b	54,4ab	21,7a
Vegetação espontânea	7,7a	47,2c	17,2a	93,4a	37,0b	26,6a

<sup>(1)</sup>N = nitrogênio; P = fósforo; K = potássio; Ca = cálcio; Mg = magnésio.

Médias seguidas de letras iguais, para cada estação, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Fonte: Adaptado de Espindola et al. (2006).

na chuvosa, destaca-se o cudzu-tropical [*Pueraria javanica* Benth., Syn. *Pueraria phaseoloides* (Roxb.) Benth.], em relação à quantidade de N na parte aérea da planta, que apresentou também a maior produção de matéria seca ( $5 \text{ t ha}^{-1}$ ), superando as demais espécies em até 61%. De forma geral, as fabáceas avaliadas apresentaram maior acúmulo de N, Ca e Mg, enquanto o capim-colonião (*Panicum maximum*), que é uma vegetação espontânea, mostrou maior acumulado de K. No corte realizado durante a estação chuvosa, a vegetação espontânea destacou-se em relação à produção de matéria seca, com aumentos de até 108%. As fabáceas, ainda assim, apresentaram maior acúmulo de N e Ca, com exceção deste último nutriente para o siratro (*Macroptilium atropurpureum*), e menores quantidades de P e K.

Com a finalidade de avaliar a absorção de P pelos adubos verdes, foram cultivadas 25 espécies de adubos verdes, entre eles: braquiárias [*Urochloa* (Syn. *Brachiaria*) *brizantha*], calopogônio (*Calopogonium mucunoides*), capim-colonião, várias espécies de crotalária (*Crotalaria juncea* L.), estilosantes (*Stylosanthes macrocephala* L.), tremoço-branco (*Lupinus albus* L.), guandu, girassol, lablab (*Dolichos lablab* L.), leucena [*Leucaena leucocephala* (Lam.) R. de Wit.], várias espécies de mucuna [*Mucuna aterrima* (Piper & Tracy) Holland] e o feijão-de-porco. O tremoço foi a espécie de adubo verde mais eficiente na absorção de P na forma menos disponível para a planta, seguido dos estilosantes (Mendes, 2010). Essas espécies de adubos verdes secretam ácidos orgânicos através de suas raízes, liberam o P dos fosfatos de ferro e alumínio, solubilizam o P fixado e, consequentemente, aumentam a absorção de P pela cultura subsequente. Por sua vez, essa fração pode ser rapidamente adsorvida pelas partículas de argila, acumulando-se na fração não lábil ou pouco lábil, e, dessa forma, interferem na absorção imediata de P (Novais; Smyth, 1999).

Fontanétti et al. (2006) também estudaram o acúmulo de nutrientes nas plantas de cobertura. A crotalária-júncea apresentou o maior potencial de extração dos nutrientes N, P, K, Mg, boro (B), manganês (Mn) e zinco (Zn) do solo (Tabelas 6 e 7). Para o Ca e o S, o feijão-de-porco foi o adubo verde mais eficiente no acúmulo desses nutrientes. Já em relação ao cobre (Cu), o maior acúmulo pôde ser verificado na mucuna-preta (Tabela 7).

**Tabela 6.** Acúmulo de nutrientes nas plantas de cobertura por ocasião do corte<sup>(1)</sup>.

Planta de cobertura	N	P	K	Ca	Mg	S
	(kg ha <sup>-1</sup> )					
Crotalária-júncea ( <i>Crotalaria juncea</i> L.)	374,85a	42,07a	195,71a	159,16a	33,15a	33,57b
Mucuna-preta [ <i>Mucuna aterrima</i> (Piper & Tracy) Holland]	297,07b	31,59b	159,66b	68,42b	13,74b	23,66c
Feijão-de-porco ( <i>Canavalia ensiformis</i> DC.)	246,95b	22,40c	121,91c	196,10a	17,27b	44,84a
Vegetação espontânea	67,68c	17,03c	105,59c	35,46b	14,23b	16,68d
<b>CV (%)</b>	<b>18,71</b>	<b>16,15</b>	<b>12,05</b>	<b>20,70</b>	<b>21,05</b>	<b>13,89</b>

<sup>(1)</sup>N = nitrogênio; P = fósforo; K = potássio; Ca = cálcio; Mg = magnésio; S = enxofre.

Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Fonte: Adaptado de Fontanétti et al. (2006).



**Tabela 7.** Acúmulo de micronutrientes nas plantas de cobertura por ocasião do corte<sup>(1)</sup>.

Planta de cobertura	B	Cu	Mn	Zn	Fe
	(g ha <sup>-1</sup> )				
Crotalária-júncea ( <i>Crotalaria juncea</i> L.)	369a	116b	717a	403a	3.163ab
Mucuna-preta [ <i>Mucuna atterima</i> (Piper & Tracy) Holland]	277b	159a	465b	265b	2.462ab
Feijão-de-porco ( <i>Canavalia ensiformis</i> DC.)	291b	49c	431b	140c	1.451b
Vegetação espontânea	88c	47c	405b	187c	4.183a
<b>CV (%)</b>	<b>12,04</b>	<b>16,20</b>	<b>18,50</b>	<b>16,40</b>	<b>25,08</b>

<sup>(1)</sup> B = boro; Cu = cobre; Mn = manganês; Zn = zinco; Fe = ferro.

Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Fonte: Adaptado de Fontanetti et al. (2006).

Ambrosano et al. (2013), trabalhando com o cultivo intercalar de adubos verdes em cana-de-açúcar, também encontraram valores elevados de cobre (Cu) e ferro (Fe) para mucuna-anã, em comparação às outras espécies estudadas, corroborando os dados de Fontanetti et al. (2006) (Tabela 7). O fato de as leguminosas absorverem altas concentrações de Cu e Fe pode estar ligado ao processo simbiótico de FBN.

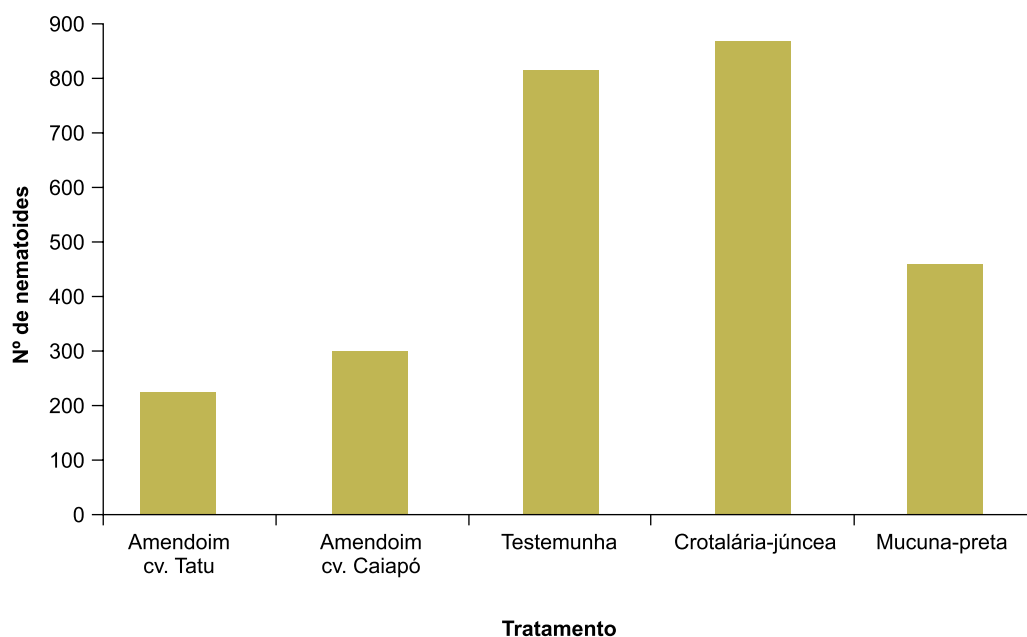
É interessante que a liberação dos nutrientes dos tecidos vegetais dos adubos verdes apresente sincronia com a demanda da lavoura cultivada em sucessão ou rotação para que haja o melhor aproveitamento dos nutrientes minerais. A decomposição dos adubos verdes foi estudada por Espindola et al. (2006). Levando em consideração os tempos de meia-vida, cerca de 50% dos nutrientes contidos nas fabáceas foram liberados em até 120 dias na estação seca, exceto para o Ca, que necessitou de mais tempo para a liberação. Por sua vez, a mesma proporção de nutrientes foi liberada das fabáceas, em até 60 dias na estação chuvosa. A reduzida taxa de liberação do capim-colonião reflete uma imobilização desse nutriente, que acarretará deficiência de N para a cultura consorciada. Pelo trabalho citado, tornou-se possível estabelecer a seguinte ordem de liberação dos nutrientes: K > Mg > P > N > Ca. Dedini (2012) também estudou a taxa de liberação dos macronutrientes NPK da crotalária-júncea e do feijão-de-porco, manejados após 90 dias após semeadura. A decomposição da metade dos resíduos vegetais do feijão-de-porco foi de 35 dias, enquanto a da crotalária-júncea foi de 77 dias, em relação à matéria seca. Em relação ao N, o tempo da meia-vida foi de 35 dias para o feijão-de-porco e 69 dias para a crotalária-júncea. O P foi o nutriente liberado mais lentamente dos resíduos vegetais – 69 dias para o feijão-de-porco e 77 dias para a crotalária-júncea. O K foi o nutriente liberado mais rapidamente dos resíduos vegetais – aos 23 dias para o feijão-de-porco e aos 33 dias para a crotalária-júncea.

## Benefícios em relação às características biológicas do solo

Em relação aos benefícios nas características biológicas do solo, podem ser citados: o incremento da meso, macro e microfauna e flora; os efeitos na redução de populações de

nematoides; os efeitos alelopáticos, que afetam qualitativa e quantitativamente distintas populações de invasoras (Teasdale et al., 2007).

A ação dos adubos verdes no solo promove o controle de nematoides, que são pequenos vermes que podem, em alguns casos, prejudicar o crescimento das plantas, por atacarem e debilitarem o sistema radicular. As relações entre adubos verdes e o controle dos nematoides são específicas, ou seja, algumas espécies de adubos verdes têm ação sobre certas espécies de nematoides. Nota-se pela Figura 2 que a crotalária-júncea é um fraco controlador do nematoide *Pratylenchus*, e os amendoins têm uma ação mais efetiva no controle dessa praga.



**Figura 2.** Número de nematoides do gênero *Pratylenchus* (por 10 g de raiz), coletados em raízes de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.), após crescimento em áreas anteriormente ocupadas por fabáceas.

Fonte: Adaptado de Ambrosano et al. (2010).

A rotação de culturas com espécies más ou não hospedeiras, quando bem planejada, pode ser um método eficiente em sistema integrado de controle dos fitonematoides. A prática da adubação verde pode constituir um dos métodos mais valiosos e baratos no controle de nematoides, desde que se opte por espécies adequadas. Assim, é possível o controle da população de nematoides formadores de galhas (*Meloidogyne incognita* e *Meloidogyne javanica*) pelas crotalárias e mucunas, particularmente pela *Crotalaria spectabilis* e pela mucuna-preta (Sharma, 2006). Além do efeito direto do adubo verde sobre os nematoides, há também o efeito da contribuição da matéria orgânica para o aumento da população de microrganismos antagônicos aos nematoides.

De modo geral, os benefícios mais perceptíveis aos produtores são aqueles de efeito imediato, tais como: economia de fertilizantes nitrogenados; diminuição da necessidade do uso de herbicidas no controle das invasoras (no caso de a propriedade rural estar em processo de conversão para o cultivo orgânico), com conseqüente economia de mão de obra e insumos; maior estabilidade de produção e maiores produtividades (Calegari; Costa, 2010). No entanto, existem efeitos em relação ao ambiente de cultivo, que também são associados à utilização da adubação verde, como a supressão de ervas espontâneas.

Diversas espécies de adubos verdes apresentam efeito alelopático, o que favorece o controle de algumas plantas espontâneas, tais como: feijão-de-porco em tiririca (*Cyperus rotundus* L.); aveia (*Avena strigosa*) em gramíneas; azevém (*Lolium multiflorum* Lam.) em guanxuma (*Malvastrum* sp.); e do nabo-forrageiro (*Raphanus sativus* L. var. *oleiferus*) em amendoim-bravo (*Euphorbia heterophylla*), capim-marmelada [*Urochloa* (Syn. *Brachiaria*) *plantaginea*] e capim-colchão (*Digitaria horizontalis*). Esse efeito é bastante desejável para o cultivo orgânico, uma vez que esse controle é feito de forma natural.

O controle de plantas de ocorrência espontânea foi detectado por Espindola et al. (2000), que testaram várias espécies de leguminosas herbáceas em pomares de bananeira e destacaram o amendoim-forrageiro (*Arachis pintoi* Krap. e Greg.) como a espécie que apresentou o melhor controle.

## Benefícios simbióticos da adubação verde

A simbiose está intimamente ligada com o conceito de “vida em comum”, pois nela existe a associação de dois ou mais seres de espécies diferentes que lhes permite viver com vantagens recíprocas.

As fabáceas (leguminosas), em associação com bactérias (rizóbios) do solo, apresentam a capacidade de utilizar o N do ar e de transferi-lo às plantas em troca de carboidratos aos microrganismos. Essa relação simbiótica acumula N no tecido das fabáceas, que, quando cortadas, vão reciclá-lo no solo e, por meio da decomposição das plantas, fornecem N aos cultivos que vêm em sucessão ou diretamente via consórcio.

Além dessa associação, os adubos verdes também formam interações simbióticas mutualistas com fungos micorrízicos. Essas relações são fundamentais na agricultura orgânica pelo fato de as micorrizas proporcionarem aumento na área explorada pelas raízes, e assim colaborarem para o desenvolvimento de plantas mais tolerantes à seca e com maior capacidade de assimilação, principalmente no que se refere ao P e a outros elementos essenciais.

## Fixação biológica do N

Diversas espécies passaram a ser consideradas adubos verdes, mas as preferidas para essa finalidade são as fabáceas, principalmente por causa de sua capacidade de realizar simbiose com as bactérias fixadoras de N do ar.

Num estudo desenvolvido por Ambrosano et al. (2010), que envolveu algumas fabáceas e o girassol, o feijão-mungo apresentou a maior porcentagem relativa de fixação biológica de N e a maior relação C:N, quando comparado às demais fabáceas (Tabela 8). Essas características fazem que a massa vegetal do feijão-mungo permaneça por mais tempo no solo e colabore com o incremento de matéria orgânica. Outro fator que irá influenciar no incremento da matéria orgânica ao solo é a produção total de matéria seca de cada espécie.

**Tabela 8.** Carbono (C), nitrogênio (N), relação carbono/nitrogênio (C:N) e N proveniente da fixação biológica de nitrogênio (N-FBN) para adubos verdes manejados após o florescimento.

Adubo verde	C	N	C:N	N-FBN (%)
	(g kg <sup>-1</sup> )			
Feijão-mungo (genótipo M146) [ <i>Vigna radiata</i> (L.) Wilczek]	425,8a	12,48c	34,12b	89,15a
Amendoim 'IAC-Caiapó' ( <i>Arachis hypogaea</i> L.)	423,6a	20,85b	20,32b	70,00ab
Crotalária-júncea 'IAC 1' ( <i>Crotalaria juncea</i> L.)	448,8a	17,19c	26,11b	68,59ab
Mucuna-preta [ <i>Mucuna aterrima</i> (Piper & Tracy) Holland]	446,4a	21,57b	20,69b	61,70abc
Amendoim 'Tatu' ( <i>Arachis hypogaea</i> L.)	440,2a	19,18b	22,95b	37,74bc
Soja 'IAC-17' [ <i>Glycine max</i> (L.) Merrill]	425,6a	31,93a	13,32b	27,26c
Girassol 'IAC-Uruguaí' ( <i>Helianthus annuus</i> L.)	428,5a	4,64d	92,35a	-

Médias seguidas de letras iguais não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Fonte: Adaptado de Ambrosano et al. (2010).

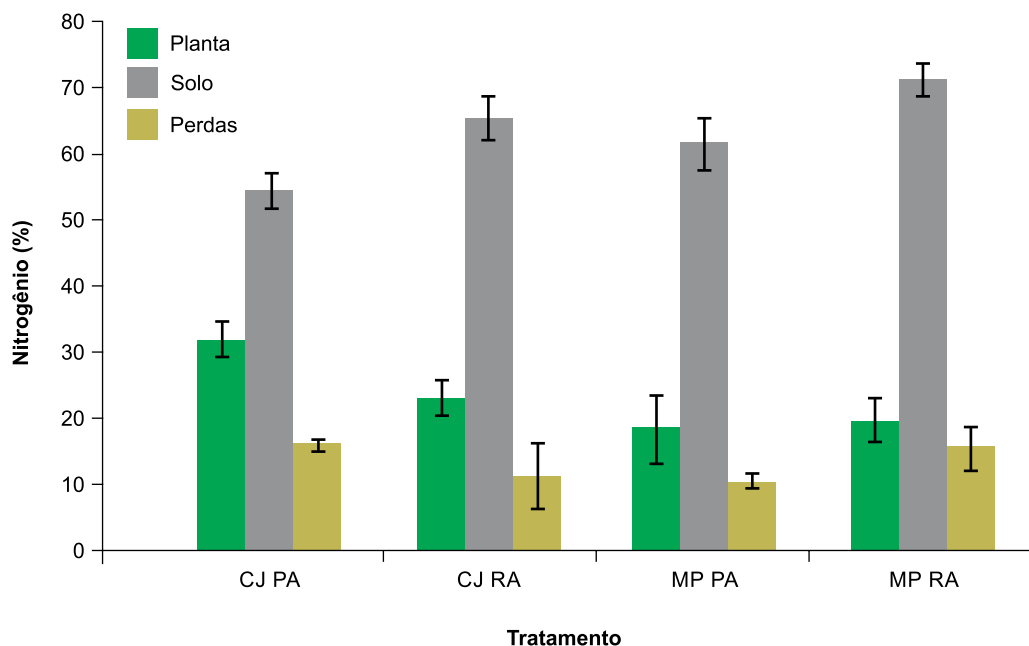
Observa-se, também, que o teor de carbono não mudou nas espécies estudadas, contudo o teor de N variou entre as espécies, e o girassol apresentou a menor quantidade de N; e entre as fabáceas, o feijão-mungo e a crotalária-júncea foram significativamente menores. Convém salientar que, no feijão-mungo, mais de 89% desse N veio da fixação biológica (Tabela 8). Além da porcentagem relativa de fixação de N, é preciso também verificar a quantidade efetiva, que pode ser determinada pela multiplicação do N (g kg<sup>-1</sup>) pelo N-FBN (%). Desse modo, obtêm-se 11,12 g kg<sup>-1</sup>, 14,53 g kg<sup>-1</sup>, 11,79 g kg<sup>-1</sup> e 13,31 g kg<sup>-1</sup> de N pela fixação biológica para o feijão-mungo, amendoim 'IAC-Caiapó', crotalária-júncea e mucuna-preta, respectivamente. Esse valor, multiplicado pela produção total de matéria seca de cada espécie, irá fornecer a quantidade total de N obtida pela FBN.

A quantidade de N fixada é muito variável, mas é possível reduzir ou, até mesmo, eliminar a aplicação do adubo mineral nitrogenado nas culturas em sucessão ou intercalares, enriquecendo o solo com esse macronutriente (Ambrosano et al., 2005b).

A maioria dos pesquisadores considera o valor da relação C:N de 30 como um divisor. Abaixo desse valor, predomina a mineralização do N e a rápida decomposição da matéria orgânica; enquanto em valores acima de 30 vai continuar a ocorrer ação dos microrganismos; contudo, ocorrerá uma decomposição mais lenta e menor mineralização do N. É importante salientar que os solos com cobertura exclusiva de leguminosas, na realidade, tiveram ligeira baixa no conteúdo de matéria orgânica após 3 anos, provavelmente por causa da baixa relação C:N da matéria orgânica gerada, que provoca uma decomposição mais acelerada pelos microrganismos (Gliessman, 2001).

As gramíneas e outras famílias com palha menos “rica” em N, e conseqüentemente com relação C:N superior a 30, fornecem coberturas mais estáveis, de decomposição mais lenta. Com menos N disponível no solo, é necessário um período maior para a sua decomposição, quando então se observa uma competição mais intensa pelo N disponível às culturas em sucessão, em razão da demanda pelos microrganismos decompositores.

Ambrosano et al. (2009) pesquisaram em casa de vegetação duas leguminosas, crotalária-júncea (CJ) e mucuna-preta (MP), sendo que a parte aérea (PA) e as raízes (RA) foram adicionadas separadamente a um solo de textura média (Figura 3). O N presente nos adubos verdes foi marcado com  $^{15}\text{N}$  a fim de que fosse possível estabelecer o balanço desse nutriente, ou seja, para determinar exatamente de qual parte do adubo verde o N foi absorvido.



**Figura 3.** Balanço de nitrogênio (N) proveniente de adubação verde no milho em Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico com textura arenosa-média.

CJ = crotalária-júncea; MP = mucuna-preta; PA = parte aérea; RA = raízes.

Fonte: Adaptado de Ambrosano et al. (2009).

Os autores observaram que mais de 30% do N encontrado no milho, cultivado no solo de textura média, foi absorvido da parte aérea da crotalária-júncea e 20% das raízes. Esse fato indicou a grande importância dos adubos verdes para a nutrição do milho bem como a grande mineralização que ocorre nesse solo com menor quantidade de argila.

Para os sistemas orgânicos, isso pode ser a chave para a nutrição de N, uma vez que, em alguns casos, ele pode ser suprido totalmente pela FBN que ocorre nas leguminosas. Nos solos argilosos, a mineralização é menor que a dos solos mais arenosos. Isso vem reforçar a recomendação do uso mais intensivo da adubação verde nos solos de menor fertilidade, uma vez que, nesses solos, a mineralização é maior, o que favorece o fornecimento de nutrientes às plantas cultivadas em sucessão (Ambrosano et al., 2009).

Outras famílias botânicas de plantas, como as gramíneas e as crucíferas, também são utilizadas na adubação verde como plantas de cobertura, porém sem a contribuição do N fixado biologicamente. Essas espécies contêm palha menos “rica” em N, portanto sua relação C:N é superior a 30. Elas fornecem coberturas mais estáveis e de decomposição mais lenta. Com menos N disponível no solo, é necessário um período maior para a sua decomposição, quando então se observa uma competição mais intensa pelo N disponível às culturas em sucessão, em virtude da demanda pelos microrganismos decompositores.

Existem alternativas para melhorar o desempenho das culturas de cobertura, por meio da consorciação de duas ou mais espécies. Nesse caso, seria possível produzir fitomassa com relação C:N intermediária, em comparação aos monocultivos, para proporcionar, ao mesmo tempo, maior persistência dos restos vegetais na proteção do solo e taxas mais elevadas de disponibilização de N para as lavouras comerciais (Gliessman, 2001).

Nas culturas consorciadas de gramíneas e leguminosas, por exemplo, geralmente as gramíneas contribuem com quantidades relativamente elevadas de fitomassa, caracterizada pela alta relação C:N, o que pode aumentar a persistência da cobertura do solo; porém ocorrem frequentemente problemas por causa da imobilização de N (Perin et al., 2004). Por sua vez, as leguminosas comumente apresentam altos teores de N na matéria vegetal e produzem, em geral, palhadas de baixa relação C:N, cuja decomposição é relativamente rápida, com expressiva disponibilização de N para as lavouras subsequentes. De acordo com Gliessman (2001), a produtividade da leguminosa praticamente dobra nesse sistema conjunto de produção, e a rapidez na disponibilização do N, proveniente dos restos vegetais de cultivos de cobertura, depende da quantidade de N acumulada na matéria seca e da sua relação C:N.

Perin et al. (2004) observaram que o consórcio milheto (*Pennisetum glaucum*) + *C. juncea* apresentou produtividade de fitomassa equivalente à do monocultivo de milheto; além disso, na lavoura consorciada, o acúmulo de N na palhada foi de 218 kg ha<sup>-1</sup>, enquanto, na gramínea isolada, foram obtidos somente 97 kg ha<sup>-1</sup> de N.

Amado et al. (2000) verificaram que os adubos verdes de inverno, aveia (*A. strigosa*) e ervilhaca (*Vicia sativa*), quando isolados, apresentaram relação C:N superior a 45 e inferior a 15, respectivamente. Porém, o consórcio dessas duas espécies resultou em fitomassa tão elevada quanto à obtida na aveia isolada e acumulação de N semelhante à da ervilhaca isolada, mas com relação C:N em torno de 25, valor considerado próximo ao equilíbrio entre os processos de mineralização e imobilização. Os autores também encontraram uma possibilidade de sincronismo nesse sistema para a nutrição do milho, em que a equivalência em fertilizante nitrogenado foi estimada em 55 kg ha<sup>-1</sup> e 38 kg ha<sup>-1</sup>, para a ervilhaca e aveia + ervilhaca, respectivamente.

É nesse contexto, de busca da otimização das vantagens proporcionadas por espécies de adubo verde, que o cultivo de coquetéis se tornou uma alternativa na agricultura orgânica. Os coquetéis de adubos verdes são obtidos pela mistura de duas ou mais espécies, cultivadas na mesma área e, ao mesmo tempo, sem uma organização espacial distinta para cada espécie. De maneira geral, há pouca informação a respeito da quantidade de sementes de cada espécie para compor um coquetel. Para essa indicação, pode-se utilizar, para fins práticos, a fórmula  $f = n - 1$ , em que  $f$  é o fator de divisão da quantidade normal de sementes recomendadas das espécies e  $n$  o número de espécies a serem utilizadas no coquetel (informação verbal)<sup>1</sup>. Por exemplo, a recomendação para o monocultivo do feijão-de-porco é de 100 kg ha<sup>-1</sup> de sementes, para a crotalária-júncea, 25 kg ha<sup>-1</sup>, e para o girassol, 15 kg ha<sup>-1</sup>. Se o objetivo for cultivar essas três espécies misturadas, em sistema de coquetel, a quantidade de sementes de cada espécie que irá compor a mistura será:  $f = 2$  (3 espécies - 1); feijão-de-porco, 50 kg ha<sup>-1</sup> de sementes; crotalária-júncea, 12,5 kg ha<sup>-1</sup>; e girassol, 7,5 kg ha<sup>-1</sup>.

## Fungos micorrízicos arbusculares

Os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) estão entre os grupos dos fungos micorrízicos que têm maior interesse agrônomo, pois eles são predominantes nos ecossistemas tropicais e capazes de formar micorrizas com 95% das espécies de plantas (Siqueira, 1994). A planta, por meio da fotossíntese, fornece energia e carbono para a sobrevivência e multiplicação dos fungos. Esses últimos, por sua vez, absorvem nutrientes minerais (por causa das hifas formadas pelos fungos), transferindo-os para as raízes da planta, e, assim, estabelecem a associação mutualista da simbiose. Desse modo, as micorrizas auxiliam as raízes das plantas na absorção dos nutrientes minerais.

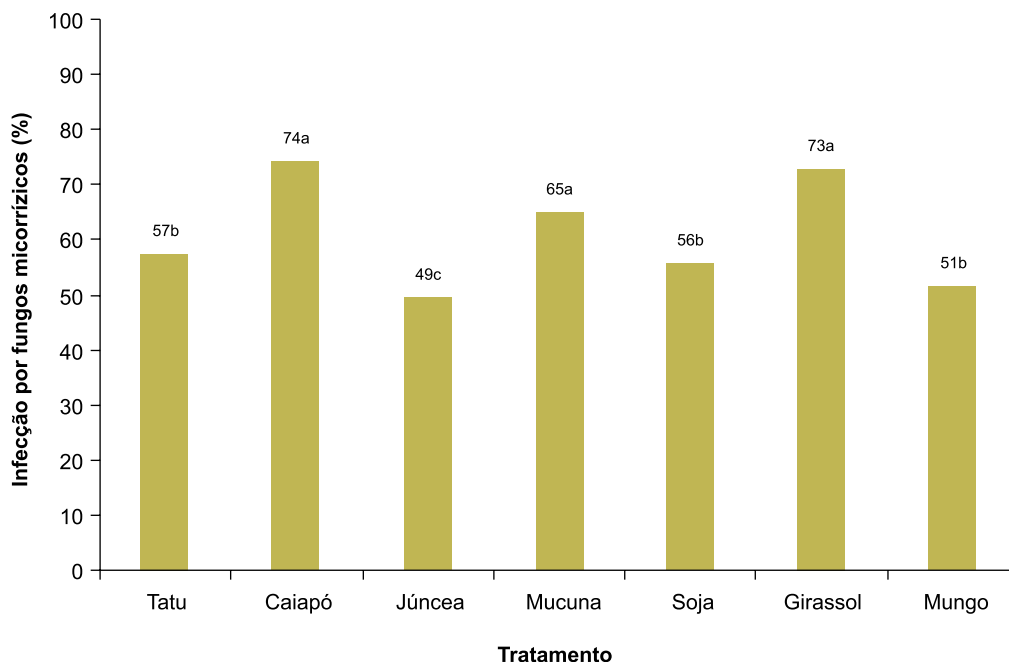
O efeito benéfico dessa associação está no favorecimento do crescimento das plantas mediante o aumento da absorção de nutrientes, especialmente daqueles menos solúveis, como P, Zn e Cu, os quais resultam em plantas mais nutridas e vigorosas, com mais resistência às condições ambientais adversas.

<sup>1</sup> Informação verbal fornecida por José Aparecido Donizeti Carlos, em aula ministrada na disciplina ZAB1047 – Grandes cultivos, na Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, da USP, em 13 de março de 2012, Pirassununga, SP.

A micorrização, de maneira geral, pode ser reduzida ou até mesmo inibida pelo alto nível de fertilidade do solo, bem como pelo uso de fungicidas sistêmicos.

No trabalho de Ambrosano et al. (2010), as fabáceas e o girassol apresentaram elevada porcentagem de infecção por FMAs (Figura 4). O amendoim 'Caiapó', o girassol e a mucuna-preta foram os adubos verdes que mais apresentaram micorrização, seguidos do amendoim 'Tatu', da soja [*Glycine max* (L.) Merr] e do feijão-mungo. Essas plantas, utilizadas em rotação, apresentaram mais da metade de seu sistema radicular infectado por FMAs, indicando que naturalmente fazem essa associação e podem se beneficiar dessa prática com melhor crescimento, sem que ocorram deficiências nutricionais. Apenas a crotalária-júncea não foi superior a 50% de infecção por fungos micorrízicos, mas foi bem próximo a isso (Figura 4). Esse fato pode refletir no bom desempenho do crescimento dessas plantas, de modo que seu sistema radicular se desenvolva para explorar de maneira mais eficiente o solo na busca por água e nutrientes.

A escolha da espécie vegetal de cobertura a ser utilizada é importante, pois ela pode promover alterações quantitativas e qualitativas na população de FMAs nativos, pois a associação



**Figura 4.** Porcentagem de infecção por fungos micorrízicos, em raízes de fabáceas cultivadas em sistema de rotação em áreas de reforma de canaviais, em Piracicaba, SP.

Tatu = amendoim 'Tatu'; caiapó = amendoim 'IAC-Caiapó'; júncea = crotalária-júncea 'IAC 2'; mucuna = mucuna-preta; soja = soja 'IAC-17'; girassol = girassol 'IAC-Uruguaí'; mungo = feijão-mungo genótipo M-146.

Médias seguidas de letras iguais não diferem pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade.

Fonte: Adaptado de Ambrosano et al. (2010).



micorrízica é favorecida pela existência de exsudatos radiculares que contêm moléculas que estimulam a germinação de esporos e o crescimento de fungos micorrízicos (Bécard; Piché, 1989).

Benedetti et al. (2005) avaliaram o número médio de esporos em 50 g de solo em duas épocas, no florescimento do milho e logo após a colheita. A partir dos resultados obtidos, constatou-se que o feijão-de-porco favoreceu a esporulação dos FMAs durante e após a cultura do milho, enquanto, para as demais espécies de plantas de cobertura do solo, o aumento da população de esporos de FMAs ocorreu após o cultivo do milho. Além disso, os autores verificaram que o feijão-de-porco foi o adubo verde que promoveu a maior micorrização em ambas as épocas, sendo superior ao pousio (Tabela 9). Os gêneros presentes foram *Acaulospora*, *Glomus* e *Scutellospora*. A maior diversidade de FMAs ocorreu nas áreas com pousio, crotalária-júncea e mucuna-cinza (*Mucuna nivea* DC., Syn. *Mucuna cinerea*, *Stizolobium niveum*, *Stizolobium cinereum*).

**Tabela 9.** Número médio de esporos de fungos micorrízicos arbusculares encontrados em 50 g de solo, em diferentes espécies de plantas de cobertura, na época do florescimento do milho e logo após a colheita (30 dias após o florescimento), em Santa Maria, RS, no ano de 2002.

Tratamento	Florescimento	Após a colheita
	(número de esporos em 50 g de solo)	
Milheto [ <i>Pennisetum glaucum</i> (L.) R. Br.]	50,0Aab	31,0Aab
Guandu-anão [ <i>Cajanus cajan</i> (L.) Millsp.]	37,0Aab	56,0Aab
Crotalária-júncea ( <i>Crotalaria juncea</i> L.)	36,0Aab	69,0Aab
Feijão-de-porco ( <i>Canavalia ensiformis</i> DC.)	59,0Aa	74,0Aa
Mucuna-cinza [ <i>Mucuna cinerea</i> (Piper & Tracy)]	43,0Aab	70,0Aab
Crotalária ( <i>Crotalaria spectabilis</i> L.)	49,0Aab	64,0Aab
Pousio + N	39,0Aab	50,0Aab
Pousio	6,0Ab	23,0Ab

Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Fonte: Adaptado de Benedetti et al. (2005).

## Modalidades de cultivo dos adubos verdes

As modalidades básicas de cultivo dos adubos verdes em relação ao sistema de cultivo são: rotação, sucessão, intercalar/aleia. Os modelos são diferenciados de acordo com o tempo e com o espaço do cultivo do adubo verde em relação à cultura comercial. Quando o cultivo do adubo verde antecede o cultivo da cultura econômica, ela pode ser considerada rotação ou sucessão. A sucessão de culturas é definida como o ordenamento de duas culturas na mesma área agrícola por tempo indeterminado, sendo cada espécie cultivada em uma estação do ano. No sistema de rotação, há alternância ordenada de diferentes culturas, em um determinado espaço de tempo (ciclo), em uma mesma área e na mesma estação do ano (Franchini et al., 2011).

## Rotação ou sucessão

A principal finalidade da rotação é o cultivo de espécies de famílias diferentes, a fim de minimizar o problema de pragas e doenças e maximizar o aproveitamento e a reciclagem de nutrientes. É uma técnica de planejamento do uso da área. A rotação de culturas integra-se plenamente ao sistema de lavoura-pecuária-floresta (ILPF), na qual a lavoura não é opcional, mas parte importante do sistema produtivo.

Quando o cultivo do adubo verde antecede o cultivo da cultura principal, e não faz parte do planejamento de uso da técnica, mas é apenas uma aplicação temporária, é comum a utilização do termo “pré-cultivo” dos adubos verdes. Na Figura 5, visualizam-se cultivares de alface (‘Pira roxa’ e ‘Gloriosa’) após transplante sobre palhada de feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] e crotalária-júncea.

Perin et al. (2004) determinaram a recuperação de N do pré-cultivo dos adubos verdes crotalária-júncea, milheto e crotalária + milheto para a cultura do brócoli (*Brassica oleraceae* var. *italica*). Quando em monocultivo, o aproveitamento do N, proveniente da fixação biológica da crotalária-júncea pela inflorescência de brócolos foi de 9,15%; quando consorciada com o milheto, o aproveitamento foi de 8,48%.

Fotos: Fabrício Rossi



**Figura 5.** Alface ‘Pira roxa’, transplantada sobre feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] recém-manejado (A) e alface ‘Gloriosa’, transplantada sobre palhada de crotalária-júncea (B).

## Intercalar ou aleia (consórcios)

Quando o cultivo do adubo verde acontece simultaneamente ao cultivo da cultura econômica, ele pode ser considerado intercalar ou aleia. No cultivo intercalar, os adubos verdes são cultivados entre as culturas comerciais; por causa disso, devem ser utilizadas espécies em um planejamento espacial e temporal para que não haja competição entre as plantas por água, luz e nutrientes. Por exemplo, Devides et al. (2009) estudaram o cultivo simultâneo da mandioca, com milho e feijão-caupi em cultivo intercalar, no espaçamento recomendado para a mandioca (1 m x 0,60 m). O cultivo no arranjo espacial e temporal adotado não exerceu influência negativa na produtividade da mandioca, do milho ou do feijão-caupi. Há uma sinergia entre os cultivos, com melhor aproveitamento do solo, agregando N pelo feijão-caupi com aporte de matéria orgânica e de nutrientes, além da cobertura do solo e do consequente controle da erosão. Além da produção satisfatória da mandioca, pode-se produzir também o milho-verde. Padovan et al. (2010) desenvolveram estudos com o objetivo de avaliar o efeito de diferentes espécies de adubos verdes, consorciados com a cultura da mandioca, sobre o rendimento de raízes, visando também identificar espécies que propiciassem o controle da infestação de plantas espontâneas. Estudou-se a mandioca consorciada com crotalaria-júncea, feijão-de-porco, guandu-anão (*Cajanus cajan*), estilosantes e a mandioca em monocultivo, sem capinas. O plantio da mandioca foi realizado em fileiras duplas, no espaçamento de 2,5 m x 0,6 m x 0,6 m, e as leguminosas nas entrelinhas. Os resultados mostraram o potencial dessa forma de consórcio, destacando-se o estilosantes e o feijão-de-porco, em relação à melhoria do rendimento de raízes da mandioca, superior aos índices de 75% e de 40% da testemunha, respectivamente. Em relação à redução da infestação de plantas espontâneas, os estilosantes, o feijão-de-porco, o guandu-anão e a crotalaria-júncea mostraram-se promissores.

Para o consórcio, os adubos verdes a serem utilizados devem ser escolhidos com critério, observando-se as seguintes recomendações:

- Devem ser desenvolvidos, preferencialmente, em períodos de excedente hídrico, para que não haja competição por água com a cultura principal.
- Deve haver baixa competitividade por nutrientes, podendo-se optar por espécies com predominância de palha em relação às partes reprodutivas (mucunas, crotalárias, guandu, lablab, etc.), ou pela não permanência de espécies competitivas nas entrelinhas ou ruas da cultura perene, no início do seu período reprodutivo.
- A arquitetura, o porte e o hábito de crescimento devem ser adequados aos sistemas de consórcio ou, mais propriamente, devem ser efetuados manejos diferenciados para o controle do crescimento das plantas, notadamente daquelas trepadoras, perenes ou semiperenes.

- Deve-se evitar a adoção de espécies conhecidas como boas proliferadoras de populações de nematoides – sesbânias [*Sesbania punicea* (Cav.) Benth.], feijão-de-porco, lablab, feijão-caupi, etc. – em áreas onde esses organismos estejam estabelecidos e causem problemas às culturas comerciais.

Negrini et al. (2010) avaliaram o efeito de adubos verdes semeados em diferentes épocas, sobre o desempenho da alface consorciada, em Piracicaba, SP. O consórcio foi implantado em esquema aditivo, ou seja, foi utilizado o espaçamento recomendado para o monocultivo da alface 'Pira roxa', e os adubos verdes foram plantados em linha, entre as alfaces (Figura 6). As parcelas foram representadas pelo tempo de semeadura dos adubos verdes em relação ao transplante da alface (0, 20, 40 e 60 dias), e as subparcelas foram representadas pelos seguintes sistemas de cultivo: alface solteira e alface consorciada com aveia-preta (*Avena strigosa*), feijão-caupi [*V. unguiculata* (L.) Walp.] ou tremoço-branco (*Lupinus albus* L.). O plantio simultâneo não influenciou o desempenho da alface. No entanto, quando os adubos verdes foram semeados antes do estabelecimento do consórcio, eles influenciaram negativamente o desempenho da hortaliça. Entre os adubos verdes, o feijão-caupi teve maior biomassa e maior efeito negativo no desempenho da alface do que o tremoço-branco, que se mostrou menos competitivo.

Fotos: Fabrício Rossi



**Figura 6.** Alface 'Pira roxa' cultivada em consórcio com tremoço-branco (A); nessa situação, não se observa estresse de transplante (B).

No cultivo consorciado, há transferência de N proveniente da FBN dos adubos verdes para as culturas. Sakai et al. (2011) estudaram a transferência do N dos adubos verdes para a alface, em sequência ao experimento de Negrini et al. (2010), citado anteriormente. No cultivo consorciado de alface com adubos verdes, o tremoço-branco, o feijão-caupi e a aveia-preta transferiram 18%, 17% e 7% de N para a alface, respectivamente, independentemente de sua época de semeadura (Tabela 10).



**Tabela 10.** Percentagem de nitrogênio (N) transferido da fixação biológica para a alface ‘Pira roxa’ cultivada em consórcio com adubos verdes, em Piracicaba, SP.

Semeadura (dias) <sup>(1)</sup>	Tratamento		
	Alface com aveia-preta	Alface com feijão-caupi	Alface com tremoço-branco
	<b>N transferido dos adubos verdes para a alface (%)</b>		
0	6	15	20
60	8	19	15
Média	7b	17a	18a
<b>CV (%)</b>	<b>31</b>		

<sup>(1)</sup>Tempo decorrido da sementeira dos adubos verdes em relação ao transplante até a alface.

Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste F, a 5% de probabilidade.

Fonte: Adaptado de Sakai et al. (2011).

Convém também destacar que a relação C:N do feijão-caupi (10,9) e do tremoço-branco (10,7) foram menores que a da aveia-preta (17,3). Desse modo, o cultivo do tremoço-branco e do feijão-caupi, consorciado com a alface, pode proporcionar uma significativa economia de adubação nitrogenada, incrementando também o aporte de matéria orgânica no sistema. No caso do experimento citado, o ideal, para não haver competição com a alface e ocorrer o aproveitamento da transferência do N, seria a sementeira do adubo verde após um tempo de desenvolvimento inicial da alface.

Em outro experimento, o consórcio de tomate-cereja com tremoço-branco apresentou grande benefício quanto à nutrição de N. Nesse caso, as folhas coletadas do tomate consorciado apresentaram 27% do N vindo da fixação simbiótica e, nos frutos, do total de N encontrado, 39% vieram do tremoço-branco (Figura 7) (Ambrosano et al., 2008a).



Fotos: Fabrício Rossi

**Figura 7.** Tomate-cereja cultivado em consórcio com tremoço-branco: fase vegetativa (A) e fase reprodutiva (B).

Nesse contexto, Ambrosano et al. (2016a, 2016b) estudaram a transferência de N em um sistema de plantio com adubo verde intercalar ao tomate salada, sob a influência da homeopatia. O experimento foi realizado em duas localidades, propriedades orgânicas no município de Piracicaba, SP, em 2009/2010. A cultivar de tomate utilizada foi a Saladete DRW 3410. Os adubos verdes utilizados foram: feijão-de-porco, feijão-mungo e crotalária-júncea 'IAC-1'. O preparado homeopático Phosphorus na CH100 e o álcool 70% (testemunha sem homeopatia) foram aplicados no solo.

Os resultados mostraram que, no local 1 (propriedade orgânica, Sítio Small Farm, situada no município de Piracicaba, SP), em média 21,15% do N presente nas folhas do tomate vieram transferidos dos adubos verdes, entretanto não houve diferenças entre os tratamentos. A homeopatia e os adubos verdes não influenciaram a característica química do tomate nesse trabalho. Não se observou influência do preparado homeopático no estado nutricional do tomateiro e na dinâmica do N no local 1. No local 2 (Sítio Floresta de São Francisco, propriedade orgânica, situada no município de Piracicaba, SP), em média 47,17% do N encontrado nas folhas do tomate vieram transferidos dos adubos verdes, sem destaques entre os tratamentos. A homeopatia e os adubos verdes não influenciaram no estado nutricional do tomateiro. Em relação ao solo, no local 2 os tratamentos com crotalária-júncea influenciaram o pH, que apresentaram valores maiores com a aplicação da homeopatia e menores que a testemunha na ausência da homeopatia.

Para o café orgânico conduzido com cultivo intercalar de leucena, na Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (Apta/SAA), em Piracicaba, SP, sob um Nitossolo, a média de transferência de N chegou a 70% (Ambrosano, 2016c)<sup>2</sup>.

No cultivo em aleias, a organização espacial é diferente, as culturas comerciais são cultivadas entre as árvores, geralmente leguminosas. Na Figura 8, apresenta-se um exemplo de adubação verde utilizando a gliricídia [*Gliricidia sepium* (Jacq.) Steud], na qual se visualiza o cultivo do feijão-vagem sob o sombreamento da gliricídia. Nas condições do estado da Bahia, é essencial o microclima formado pela gliricídia para o desenvolvimento satisfatório do feijão-vagem, que se privilegia também dos nutrientes fixados e reciclados por essa árvore leguminosa. As gliricídias são usadas como cerca-viva, quebra-vento e moirão vivo, além de serem consideradas excelentes plantas melíferas (Neves, 2012).

Além dessas modalidades, na agricultura orgânica é comum o cultivo de adubos verdes com a finalidade de transferência de "fertilidade" (nutrientes), ou seja, o adubo verde é cultivado em uma área da propriedade e sua fitomassa produzida é utilizada em outro local. Um exemplo disso seria a utilização de palhada de uma espécie vegetal para cobertura morta dos canteiros da horta. No caso de cultivo em estufa, em que o custo da estrutura é alto para ficar sem a produção

---

<sup>2</sup> Informação verbal fornecida por Edmilson José Ambrosano em palestra apresentada na reunião ordinária da Comissão da Produção Orgânica de São Paulo (CEPorg) de novembro de 2016, nas dependências do Auditório do Departamento de Ciências Florestais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" Esalq/USP, em 28 de novembro de 2016, Piracicaba, SP.



Fotos: Fabricio Rossi

**Figura 8.** Gliricídia (*Gliricidia sepium*) sombreando o cultivo de feijão-vagem, em Eco-sítio Takenami, Mata de São João, BA.

de uma cultura econômica, apenas com o cultivo dos adubos verdes, essa alternativa torna-se interessante. A alface transplantada sobre palhada de crotalária-júncea que fora cultivada em área adjacente a estufa (Figura 5B) é um exemplo desse sistema. No entanto, é necessário lembrar que nesse sistema não se obtêm todos os benefícios da adubação verde, por causa das diferentes localidades de produção e utilização dos adubos verdes.

Uma inovação da abordagem de culturas de cobertura é o uso da cobertura viva, em que uma espécie é plantada entre as linhas da cultura produtiva durante seu ciclo (Gliessman, 2001). Ela pode ser permanente, com os adubos verdes perenes cobrindo constantemente o solo. As coberturas vivas se tornaram populares em sistemas de parreirais e de pomares; contudo, sua utilização não se restringe a esses sistemas, e podem estender-se a hortaliças e grandes culturas, como café e cana-de-açúcar, bem como a extensas áreas de pastagens e silvicultura.

Oliveira et al. (2006) estudaram o desenvolvimento da alface 'Verônica' em transplante sobre cobertura viva de grama-batatais (*Paspalum notatum* Flüggé) e de amendoim-forrageiro, comparado ao sistema de preparo convencional. Observou-se que a produção de cabeça de alface não foi influenciada pelo modo de plantio e nem pela espécie de cobertura viva sobre a qual foi realizado o plantio direto. Sobre cobertura viva de grama-batatais e amendoim-forrageiro, o plantio direto de alface acarretou desempenho semelhante ao dessa hortaliça em sistema de preparo convencional do solo.

Algumas leguminosas ainda podem ser utilizadas como forrageiras, associadas ou não a gramíneas, fornecendo feno ou constituindo pastagens ou banco de proteínas para suplementação na alimentação animal, como, por exemplo, calopogônio, centrosema (*Centrosema pubescens* Benth.), guandu, cudzu, lablab, leucena, siratro e soja-perene (*Neonotonia wightii*). Na agricultura

orgânica, a integração lavoura-pecuária é muito utilizada e recomenda-se o uso de leguminosas, por possibilitarem maior biodiversidade e incorporação de N ao sistema orgânico integrado.

A prática da adubação verde, com o decorrer do tempo, pode melhorar a produtividade das culturas, e fazer o produtor concentrar sua produção nessas áreas. Desse modo, é possível que ele incremente suas áreas de preservação, a fim de colaborar para a melhoria ambiental e econômica dos sistemas produtivos.

## Produtividade dos cultivos orgânicos

Com os benefícios anteriormente citados, presume-se que a integração de todos eles resulte em melhores produtividades dos cultivos sob manejo orgânico. A produção no sistema de base ecológica, com a utilização da técnica da adubação verde, é sustentável. É preciso avaliar a produtividade média em longo prazo e não se restringir ao imediatismo de uma safra.

Após o cultivo de adubos verdes, recomenda-se o plantio de culturas que não exijam muito preparo de solo ou sejam cultivadas pelo sistema de mudas, como as folhosas e as hortaliças de fruto. No caso das hortaliças tuberosas que sejam produzidas por sementes, é recomendada a semeadura direta. Ambrosano et al. (2008b) estudaram a produtividade de quatro olerícolas (alface, couve-flor, pimentão e cenoura) em sucessão às leguminosas crotalária-júncea, tremoço-branco e chícharo (*Lathyrus sativus* L.). Os autores observaram o efeito benéfico da rotação com tremoço-branco nos cultivos subsequentes da alface, da couve-flor e do pimentão (Tabela 11). Para produção da cenoura, não houve diferença entre os tratamentos. Verifica-se que, para a alface, o tremoço-branco foi o adubo verde que apresentou melhores resultados. No caso da couve-flor, o tremoço juntamente com o chícharo apresentaram os melhores resultados para a matéria fresca da cabeça. No caso do pimentão, o tremoço-branco foi semelhante à crotalária-júncea, pois superou a testemunha em 176% e 115%, respectivamente, para produção total.

De acordo com estudo de Ambrosano et al. (2010), o plantio de adubos verdes nas áreas de reforma do canal resulta em aumento da produtividade da cana-de-açúcar, especialmente na cana-planta. Nesse caso, o girassol, o amendoim 'IAC-Caiapó' e a soja 'IAC-17' obtiveram os melhores resultados (Tabela 12).

Outro estudo realizado com adubos verdes em cana-de-açúcar mostrou que o efeito residual dessa prática pode ocorrer até o quinto corte (Tabela 13). Independentemente da adubação verde, a produtividade diminuiu ao longo do tempo, mas, na média dos cinco cortes, a produtividade após rotação com crotalária-júncea foi superior em aproximadamente 20 t ha<sup>-1</sup> (Ambrosano et al., 2011).



**Tabela 11.** Matéria fresca da cabeça (MFC) da alface e da couve-flor, e produção total (PT) e número de frutos por parcela (NFP) do pimentão, em rotação com os adubos verdes, em Piracicaba, SP, no ano de 2000.

Cultura	Alface 'Verônica'	Couve-flor (híbrido)	Pimentão 'Magali-R'	
Adubo verde	MFC (g)	MFC (g)	PT (g)	
			NFP (unidade)	
Testemunha	134,88b	370,40b	1.602,20c	21,33c
Crotalária-júncea ( <i>Crotalaria juncea</i> L.)	154,33ab	326,77c	3.460,00ab	45,67ab
Tremoço-branco ( <i>Lupinus albus</i> L.)	210,13a	477,00a	4.429,60a	59,00a
Chícharo ( <i>Lathyrus sativus</i> L.)	157,19ab	446,50a	2.171,80bc	30,33bc
<b>CV (%)</b>	<b>18,90</b>	<b>4,11</b>	<b>22,76</b>	<b>23,04</b>

Médias seguidas de letras iguais não diferem pelo teste de Duncan, a 5% de probabilidade.

Fonte: Adaptado de Ambrosano et al. (2008b).

**Tabela 12.** Produtividade de colmos de cana-de-açúcar após rotação com adubos verdes, em Piracicaba, SP, no período 2001–2004.

Cultura em rotação com cana-de-açúcar	Cana-planta	Soca 1	Soca 2	Média
	(t ha <sup>-1</sup> )			
Amendoim 'IAC-Caiapó' ( <i>Arachis hypogaea</i> L.)	67,6Ba	130,6Aa	58,0Ba	85,4
Soja 'IAC-17' [ <i>Glycine max</i> (L.) Merrill]	67,5Ba	124,9Aa	56,7Ca	83,1
Feijão-mungo 'M146' [ <i>Vigna radiata</i> (L.) Wilczek]	61,6Bb	131,9Aa	54,7Ba	82,7
Crotalária-júncea 'IAC 1' ( <i>Crotalaria juncea</i> L.)	65,9Bab	125,8Aa	51,1Ca	80,9
Amendoim 'Tatu' ( <i>Arachis hypogaea</i> L.)	60,6Bb	114,9Aa	66,8Ba	80,8
Mucuna-preta [ <i>Mucuna aterrima</i> (Piper & Tracy) Holland]	61,3Bb	116,3Aa	61,2Ba	79,6
Girassol 'IAC-Uruguai' ( <i>Helianthus annuus</i> L.)	69,5Ba	105,2Aa	55,3Ca	76,7
Testemunha	47,6Bc	111,2Aa	50,7Ba	69,8
<b>Média</b>	<b>62,7</b>	<b>120,1</b>	<b>56,8</b>	

Médias seguidas de letras iguais, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas, não diferem pelo teste de Tukey-Kramer, a 10% de probabilidade.

Fonte: Adaptado de Ambrosano et al. (2010).

Esse efeito residual observado na produtividade reflete-se, também, no aumento da produção de açúcar, que, medida em toneladas de Pol (sacarose aparente) por hectare, também foi maior nos tratamentos com rotação, na reforma com adubos verdes. Na média de três cortes, a produtividade de açúcar do melhor tratamento apresentou cerca de 3 t a mais que a testemunha (Tabela 14).

**Tabela 13.** Produtividade de colmos da cana-de-açúcar influenciada pelo cultivo prévio de leguminosas, em Piracicaba, SP, no período 1999–2005.

Tratamento	Cana-planta Soca 1 Soca 2 Soca 3 Soca 4 Média					
	(t ha <sup>-1</sup> )					
Crotalária-júncea 'IAC 1' ( <i>Crotalaria juncea</i> L.)	145,4	122,3	79,7	51,9	39,3	87,7A
Mucuna-preta [ <i>Mucuna aterrima</i> (Piper & Tracy) Holland]	141,2	121,9	75,7	51,8	28,1	85,6AB
Amendoim 'Tatu' ( <i>Arachis hypogaea</i> L.)	149,9	108,8	74,6	52,2	29,6	83,0AB
Amendoim 'IAC-Caiapó' ( <i>Arachis hypogaea</i> L.)	122,7	122,3	67,4	49,4	36,8	79,7AB
Testemunha	129,9	85,3	55,4	46,4	36,2	67,5B
<b>Média</b>	<b>138,4a</b>	<b>113,2b</b>	<b>71,0c</b>	<b>50,4d</b>	<b>34,2e</b>	

CV da parcela, adubos verdes (%) = 7,57; CV da subparcela, tempo (%) = 4,20.

Médias seguidas de letras iguais, minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas, não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Fonte: Adaptado de Ambrosano et al. (2011).

**Tabela 14.** Produtividade de açúcar aparente da cana-de-açúcar influenciada pelo cultivo prévio de leguminosas, em Piracicaba, SP, no período 1999–2005.

Tratamento	Produtividade de açúcar aparente (Pol)					
	Cana-planta	Soca 1	Soca 2	Soca 3	Soca 4	Média
(t ha <sup>-1</sup> de Pol)						
Crotalária-júncea 'IAC 1' ( <i>Crotalaria juncea</i> L.)	22,5	18,9	12,2	8,0	6,7	13,7A
Mucuna-preta [ <i>Mucuna aterrima</i> (Piper & Tracy) Holland]	21,5	18,7	11,7	8,1	4,7	13,2AB
Amendoim 'Tatu' ( <i>Arachis hypogaea</i> L.)	23,2	16,8	11,5	8,0	4,9	12,9AB
Amendoim 'IAC-Caiapó' ( <i>Arachis hypogaea</i> L.)	18,7	18,7	10,2	7,7	6,2	12,3AB
Testemunha	19,2	12,8	8,7	7,4	6,1	10,4B
<b>Média</b>	<b>21,2a</b>	<b>17,4b</b>	<b>10,9c</b>	<b>7,9d</b>	<b>5,7e</b>	
<b>CV (%)</b>	<b>tratamentos = 25,80</b>		<b>Pol = 20,39</b>			

Médias seguidas de letras iguais, minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas, não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Fonte: Adaptado de Ambrosano et al. (2011).

Araújo e Almeida (1993) avaliaram o efeito da adubação verde de inverno com feijão-deporco na cultura do milho e constataram que a leguminosa permitiu um aumento da produção de grãos de milho, de forma similar à adição de 80 kg ha<sup>-1</sup> de N, na forma de ureia.

A forma de manejo dos resíduos de adubos verdes também traz influências marcantes sobre a produção de culturas comerciais subsequentes. Andrade (1992) constatou que a ma-

nutenção dos resíduos de feijão-bravo-do-ceará (*Canavalia brasiliensis*) e feijão-de-porco, em cobertura sobre o solo, elevaram em 96% a produção de mandioca e em 68% a produção de quiabeiro [*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench], quando comparadas às produções obtidas com a incorporação dos resíduos.

## Produção de grãos ou sementes com potencial comercial

O cultivo de fabáceas – como os feijões mungo, azuqui (*Vigna angularis*) e caupi, a ervilha (*Pisum sativum* L.), o grão-de-bico (*Cicer arietum* L.) e o guar [*Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub.] – pode gerar renda extra ao agricultor pelo comércio das sementes ou grãos. Essas espécies permitem agregação de valor com a produção caseira, artesanal ou agroindustrial de produtos ou subprodutos com elevado rendimento e com alto valor de mercado, tais como: broto-de-feijão (*moyashi*), farinhas, grãos verdes embalados ou enlatados, etc.

Na Tabela 15, encontram-se resultados de estudo com feijão-mungo. Observa-se que a sua produtividade é de 1.450 kg ha<sup>-1</sup>, em média, com ciclo relativamente curto (73 dias), o que permite o cultivo de vários ciclos por ano, desde que haja suprimento adequado de água. Ao optar pela produção de brotos, seu rendimento pode chegar a ser sete vezes maior.

**Tabela 15.** Produtividade total, ciclo (dias após germinação), germinação, peso de 50 sementes (P 50), peso dos brotos com 4 dias (PB 4) e rendimentos dos brotos de genótipos de feijão-mungo [*Vigna radiata* (L.) Wilczek].

Genótipo	Produtividade total (kg ha <sup>-1</sup> )	Ciclo (dias)	Germinação (%)	P 50	PB 4	Rendimento
				(g)		
M-22	1.240	76	98	1,96	18,37	9,37
M-53	1.184	65	96	3,00	24,96	8,32
M-63	1.131	76	80	2,63	19,23	7,31
M-72	1.562	76	85	2,38	17,74	7,45
M-80	1.946	60	86	3,60	25,90	7,19
M-100	1.260	65	82	3,38	22,49	6,65
M-119	1.335	65	85	3,08	22,67	7,36
M-124	1.668	84	82	2,97	22,80	7,68
M-145	1.905	84	87	2,69	21,96	8,16
M-146	1.512	84	88	2,22	19,05	8,58
M-148	662	76	82	3,56	21,55	6,05
M-149	1.998	65	87	1,66	14,48	8,72
<b>Média</b>	<b>1.450</b>	<b>73</b>	<b>86</b>	<b>2,76</b>	<b>20,93</b>	<b>7,74</b>

Langoni et al. (2017) realizaram uma revisão sistemática seguida de meta-análise para responder a seguinte pergunta: o pré-cultivo de feijão-mungo [*Vigna radiata* (L.) Wilczek] pode influenciar a produtividade de açúcar e de colmos da cana-de-açúcar? Eles concluíram que: quando se utilizou o feijão-mungo em pré cultivo, houve um aumento de, em média, 15% no açúcar (Pol) da cana-de-açúcar, no primeiro corte, quando comparado ao controle (cana-de-açúcar sem adubo verde). No segundo corte, esse aumento foi de 13% e, no terceiro corte, não houve aumento do Pol em relação ao controle. Ao que tudo indica, o efeito do feijão-mungo sobre a cana-de-açúcar diminui com o aumento do número de cortes.

Como resultado sumário do trabalho de Langoni et al. (2017) (considerando o conjunto de três cortes realizados no estudo), observou-se que o uso do feijão-mungo em rotação com a cana-de-açúcar é favorável à produção de Pol da cana-de-açúcar ( $p=0,0024$ ).

Nesse contexto, a produtividade média do feijão-mungo em pré-cultivo foi de  $1.860 \text{ kg ha}^{-1}$ , o que pode proporcionar uma renda extra para o produtor interessado em utilizar a prática da adubação verde.

Há um grande potencial no que se refere à utilização do feijão-mungo para adubação verde e para produção de grãos, sobretudo quando a exportação está condicionada ao cultivo orgânico. Essas plantas são rústicas, com pequena exigência em fertilidade do solo, e podem até dispensar a adubação mineral nitrogenada por causa da obtenção desse nutriente pela simbiose com bactérias fixadoras de N. A cadeia produtiva do feijão-mungo pode chegar até a produção e comercialização do broto-de-feijão, e isso agrega valor ao produto e favorece a integração do trabalho familiar em todas as fases: da semeadura até a produção do broto (Figura 9).

Foto: Fabrício Rossi



**Figura 9.** Feijão-mungo [*Vigna radiata* (L.) Wilczek], da semente ao broto para consumo (*moyash*): sementes selecionadas (A); após molho em água por 12 horas (B); com 1 dia (C); com 2 dias (D); com 3 dias (E); e com 4 dias (F).

## Índice equivalente de área (IEA)

O índice equivalente de área (IEA) é utilizado para determinar a eficiência produtiva do cultivo consorciado em relação ao cultivo solteiro (Vandermeer, 1989). Ele é calculado pela seguinte fórmula:

$$IEA = \frac{\text{policultura } A}{\text{monocultura } A} + \frac{\text{policultura } B}{\text{monocultura } B}$$

em que:

*Policultura A* = produtividade da cultura *A* no consórcio.

*Monocultura A* = produtividade da cultura *A* em cultivo solteiro.

*Policultura B* = produtividade da cultura *B* no consórcio.

*Monocultura B* = produtividade da cultura *B* em cultivo solteiro.

Quando o *IEA* é maior que 1,0, o consórcio foi mais produtivo que o monocultivo; se for igual a 1,0, os sistemas se equivalem; e se for menor que 1,0, o consórcio foi menos produtivo que o monocultivo.

Em trabalho conduzido por Rossi et al. (2011)<sup>3</sup> em consórcio de tomate-cereja com adubos verdes, em Piracicaba, SP, constatou-se que o *IEA* foi superior a 1 para todos os consórcios, o que permite afirmar que houve eficiência produtiva do consórcio, em relação ao monocultivo. Com exceção do tremoço-branco e da crotalária-júncea, que se mostraram competitivos com a cultura comercial, diminuindo a produção do tomateiro, os demais adubos verdes apresentaram sinergismo com o tomate-cereja, e incrementaram sua produtividade (Tabela 16). Convém destacar que o espaçamento utilizado para o tomateiro no consórcio foi o mesmo do tomateiro no monocultivo, o que otimizou a produção por unidade de área.

Como citado anteriormente, para a prática da adubação verde, não se recomenda a colheita das sementes. O manejo dos adubos verdes deve ocorrer por ocasião do estágio de florescimento pleno, ao início da formação dos grãos, e a fitomassa deve ser podada, roçada ou triturada e deixada sobre o solo. No entanto, algumas espécies utilizadas como adubos verdes têm mercado para comercialização de suas sementes ou grãos para alimentação humana, como, por exemplo, o feijão-mungo, o amendoim e o tremoço. Dessa forma, caso seja de interesse do produtor rural, essas espécies podem ser cultivadas com dupla finalidade, como adubos verdes e produtoras de sementes ou grãos. No caso específico do feijão-mungo, em que o produto final a ser consumido é o broto-de-feijão ou *moyashi*, como é conhecido na culinária japonesa, há necessidade da germinação, ou seja, é preciso que o grão esteja vivo (semente), por isso cuidados na colheita e no armazenamento dessas sementes são essenciais.

<sup>3</sup> ROSSI, F.; AMBROSANO, E.; GUIRADO, N.; TRIVELIN, P. C. O.; TAKASHI, M.; SCHAMMASS, E. A.; AMBROSANO, G. M. B. **Produtividade do tomate cereja consorciado com adubos verdes em sistema de plantio direto sobre palhada do milho**. Piracicaba, 2011. Dados não publicados.

**Tabela 16.** Índice equivalente de área (IEA) do consórcio do tomate-cereja com os adubos verdes em relação à massa seca, Polo Regional Centro-Sul, em Piracicaba, SP, no ano de 2011.

Cultura	Tomate (kg planta <sup>-1</sup> )	C/S <sup>(1)</sup> Tomate	MSAV (kg parcela <sup>-1</sup> )		I/S <sup>(4)</sup>	IEA
			MSAV I <sup>(2)</sup>	MSAV S <sup>(3)</sup>		
Sem adubo verde (solteiro)	1,462	-	-	-	-	-
Feijão-de-porco ( <i>Canavalia ensiformis</i> DC.)	1,359	0,93	0,300	0,531	0,56	1,49
Crotalária-júncea ( <i>Crotalaria juncea</i> L.) <sup>(5)</sup>	1,160	0,79	0,723	1,127	0,64	1,43
Mucuna-anã ( <i>Mucuna deeringiana</i> )	1,464	1,00	0,127	0,138	0,92	1,92
Feijão-mungo ( <i>Vigna radiata</i> )	1,210	0,83	0,107	0,063	1,71	2,54
Tremoço-branco ( <i>Lupinus albus</i> L.) <sup>(5)</sup>	1,006	0,69	0,863	1,823	0,47	1,16
Feijão-caupi [ <i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp.]	1,447	0,99	0,152	0,387	0,39	1,38

<sup>(1)</sup> C/S = relação entre a produtividade do tomateiro consorciado e o solteiro. <sup>(2)</sup>MSAV I = matéria seca do adubo verde intercalar. <sup>(3)</sup> MSAV S = matéria seca do adubo verde solteiro. <sup>(4)</sup>I/S = relação MSAV I/MSAV S. <sup>(5)</sup>Difere da testemunha (sem adubo verde) pelo teste de Dunnett, a 5% de probabilidade.

## Considerações finais

De forma geral, há muito que fazer para que a prática da adubação verde seja mais comum entre os produtores. O que se observam são ações isoladas de agricultores ou de grupos que praticam a adubação verde de forma mais constante e com objetivos às vezes muito específicos. Esse é o caso de áreas de cana-de-açúcar instaladas em solos muito arenosos, em que o uso dos adubos verdes nas áreas de reforma é praticamente obrigatório para que o sulco de plantio não desmorone. Nesse caso, além dos benefícios atuais da adubação verde, há essa vantagem extra na manutenção da integridade do sulco de plantio da cana-de-açúcar.

Os resultados experimentais sobre a utilização dos adubos verdes em todas as modalidades de cultivo com culturas de expressividade econômica, em manejo orgânico, têm sido muito satisfatórios, o que permite a obtenção de boas produtividades, com qualidade e lucratividade e colabora para a preservação dos recursos ambientais, uma vez que essa prática sequestra carbono e impede abertura de novas áreas, melhorando as já exploradas. A adubação verde permite economia e lucratividade ao produtor rural, pois, com o cultivo de fabáceas, reduz-se o consumo de adubos nitrogenados e controlam-se plantas espontâneas e nematoides.

Em razão dos inúmeros resultados positivos, espera-se que, com a utilização constante da adubação verde, que é uma opção simples e eficiente de conservação e melhoria do solo, seja praticada uma agricultura orgânica com produção sustentável (quantitativa e qualitativa) por unidade de área, com consequentes melhorias da qualidade de vida e manutenção e valorização dos empregos no meio rural. Além disso, tem-se como um dos objetivos a contribuição efetiva na otimização do retorno econômico ao agricultor, considerando-se, ainda, os aspectos da preservação do solo e da sua capacidade produtiva, com garantia da sustentabilidade e da biodiversidade na propriedade agrícola, particularmente naquela conduzida no sistema orgânico.

## Referências

AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; FERNANDES, S. B. V. Leguminosas e adubação mineral como fontes de nitrogênio para o milho em sistemas de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, n. 1, p. 179-189, jan./mar. 2000.

AMBROSANO, E. J.; AMBROSANO, R. B.; WUTKE, E. B.; BULISANI, E. A.; ROSSI, F.; GUIRADO, N.; ROS, F. B.; MENDES, P. C. D.; BATELOCHI, L. R. Produção de brotos comestíveis: feijão-mungo (*Vigna radiata*). In: FEIRA DA PESQUISA DA PEQUENA INDÚSTRIA, 3., 2003, Serra Negra. **Anais...** Campinas: Cati: SAA, 2003. p. 123-135.

AMBROSANO, E. J.; AZCÓN, R.; CANTARELLA, H.; AMBROSANO, G. M. B.; SCHAMMASS, E. A.; TRIVELIN, P. C. O.; MURAOKA, T.; ROSSI, F.; GUIRADO, N.; UNGARO, M. R. G.; TERAMOTO, J. R. S. Crop rotation biomass and arbuscular mycorrhizal fungi effects on sugarcane yield. **Scientia Agricola**, v. 67, n. 6, p. 692-701, Nov./Dec. 2010. DOI: [10.1590/S0103-90162010000600011](https://doi.org/10.1590/S0103-90162010000600011).

AMBROSANO, E. J.; CAMARGO L. F.; GUIRADO, N.; AZEVEDO FILHO, J. A.; MURAOKA, T.; NEGRINI, A. C. A.; ROSSETTO, R.; SAKAI, R. H.; TRIVELIN, P. C. O.; SCHAMMASS, E. A. Uso da técnica da abundância natural de <sup>15</sup>N na quantificação da contribuição do nitrogênio dos adubos verdes para tomate cereja em cultivo consorciado. In: SEMINÁRIO DOS PROGRAMAS ESTRATÉGICOS DA APTA, 2., 2008, Barra Bonita. **Sustentabilidade ambiental** : qualidade de vida para novas gerações. São Paulo: IEA, 2008a. v. 1, p. 1-4.

AMBROSANO, E. J.; CANTARELLA, H.; AMBROSANO, G. M. B.; SCHAMMASS, E. A.; DIAS, F. L. F.; ROSSI, F.; TRIVELIN, P. C. O.; MURAOKA, T.; SACHS, R. C. C.; AZCÓN, R. Produtividade da cana-de-açúcar após o cultivo de leguminosas. **Bragantia**, v. 70, n. 4, p. 810-818, out./dez. 2011. DOI: [10.1590/S0006-87052011000400012](https://doi.org/10.1590/S0006-87052011000400012).

AMBROSANO, E. J.; GUIRADO, N.; CANTARELLA, H.; ROSSETTO, R.; MENDES, P. C. D.; ROSSI, F.; AMBROSANO, G. M. B.; ARÉVALO, R. A.; SCHAMMAS, E. A.; ARCARO JÚNIOR, I.; FOLTRAN, D. E. Plantas para cobertura do solo e adubação verde aplicadas ao plantio direto. **Informações Agronômicas**, n. 112, p. 1-16, dez. 2005a. (Encarte do Informações Agronômicas, 112).

AMBROSANO, E. J.; ROSSI, F.; SALGADO, G. C.; DIAS, F. L.; TAVARES, S.; AMBROSANO, G. M. B.; OTSUKI, I. P.; MURAOKA, T.; TRIVELIN, P. C. O.; SANTANA, C. A. Transferência de nitrogênio e desempenho do tomate sob efeito da homeopatia e adubo verde intercalar. **Cadernos de Agroecologia**, v. 11, n. 2, p.1-12. 2016b.

AMBROSANO, E. J.; ROSSI, F.; SALGADO, G. C.; OTSUKI, I. P.; TRIVELIN, P. C. O. Teores de Nutrientes e Transferência de Nitrogênio no Tomate orgânico em Cultivo Intercalar com Adubo Verde e aplicação de Homeopatia. **Cadernos de Agroecologia**, v. 11, n. 2, p.1-9. 2016a.

AMBROSANO, E. J.; ROSSI, F.; TAMISO, L. G.; MELO, P. C. T.; SCHAMMASS, E. A.; GUIRADO, N.; TESSARIOLI NETO, J. Adubação verde em cultivo orgânico de hortaliças. **Revista de Agricultura**, v. 83, n. 1, p. 1-7, 2008b.

AMBROSANO, E. J.; ROSSI, F.; TRIVELIN, P. C. O.; CANTARELLA, H.; SILVA, E. C. da; AMBROSANO, G. M. B.; SCHAMMASS, E. A.; MURAOKA, T.; DIAS, F. L. F. Desempenho de adubos verdes e da primeira soqueira de cana-de-açúcar cultivados consorciadamente. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 8, n.1, p.199-209, 2013.

AMBROSANO, E. J.; TRIVELIN, P. C. O.; CANTARELLA, H.; AMBROSANO, G. M. B.; SCHAMMASS, E. A.; GUIRADO, N.; ROSSI, F.; MENDES, P. C. D.; MURAOKA, T. Utilization of nitrogen from green manure and mineral fertilizer by sugarcane. **Scientia Agricola**, v. 62, n. 6, p. 534-542, Nov./Dec. 2005b. DOI: [10.1590/S0103-90162005000600004](https://doi.org/10.1590/S0103-90162005000600004).

AMBROSANO, E. J.; TRIVELIN, P. C. O.; CANTARELLA, H.; AMBROSANO, G. M. B.; SCHAMMASS, E. A.; MURAOKA, T.; GUIRADO, N.; ROSSI, F. Nitrogen supply to corn from sunn hemp and velvet bean green manures. **Scientia Agricola**, v. 66, n. 3, p. 386-394, May/June 2009. DOI: [10.1590/S0103-90162009000300014](https://doi.org/10.1590/S0103-90162009000300014).

ANDRADE, A. G. **Manejo de material orgânico para o cultivo de inverno de quiabo e mandioca em solo arenoso**. 1992. 83 f. Tese (Mestrado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Itaguaí.

ANDRADE, A. G.; TAVARES, S. R. L.; COUTINHO, H. L. C. Contribuição da serapilheira para recuperação de áreas degradadas e para manutenção da sustentabilidade de sistemas agroecológicos. **Informe Agropecuário**, v. 24, n. 220, p. 55-63, 2003.

ARAÚJO, A. P.; ALMEIDA, D. L. de. Adubação verde associada a fosfato de rocha na cultura de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 28, n. 2, p. 245-251, fev. 1993.

BECARD, G.; PICHE, Y. New aspects of the acquisition of biotrophic status by a vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus, *Gigaspora margarita*. **New Phytologist**, v. 112, p. 77-83, 1989. DOI: [10.1111/j.1469-8137.1989.tb00311.x](https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1989.tb00311.x).



BENEDETTI, T.; ANTONIOLLI, Z. I.; GIRACCA, E. M. N.; STEFFEN, R. B. Diversidade de fungos micorrízicos arbusculares na cultura do milho após uso de espécies de plantas de cobertura de solo. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, ano 4, v. 4, n. 1, p. 44-51, jan./jun. 2005.

BONINI, C. S. B.; ALVES, M. C. Qualidade física de um Latossolo Vermelho em recuperação há dezessete anos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 4, p. 329-336, abr. 2012.

BRADY, N. C.; BUCKMAN, H. O. **Natureza e propriedades dos solos**. 6. ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1983. 647 p.

BRASIL. Decreto nº 6.323, de 27 de dezembro de 2007. Regulamenta a Lei nº 10.831, de 23 de dezembro de 2003, que dispõe sobre a agricultura orgânica, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, 27 dez. 2007. Seção 1, p. 2-8.

BRASIL. Instrução normativa nº 64, de 18 de dezembro de 2008. Dispõe sobre o regulamento técnico para os sistemas orgânicos de produção animal e vegetal. **Diário Oficial da União**, 19 dez. 2008. Seção 1, p. 21.

BRASIL. Lei nº 10.831, de 23 de dezembro de 2003. Dispõe sobre a agricultura orgânica e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, 24 dez. 2003. Seção 1, p. 8.

CALEGARI, A. **Sequestro de carbono, atributos físicos e químicos em diferentes sistemas de manejo em um latossolo argiloso do Sul do Brasil**. 2006. 191 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina.

CALEGARI, A.; COSTA, A. Sistemas conservacionistas de uso do solo. In: PRADO, R. B.; TURETTA, A. P. D.; ANDRADE, A. G. de. (org.). **Manejo e conservação do solo e da água no contexto das mudanças ambientais**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2010. p. 279-308.

CORREIA, M. E. F.; ANDRADE, A. G. Formação de serrapilheira e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. (ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo**. Porto Alegre: Genesis, 1999. p. 197-226.

DEDINI, G. F. A. **Adubação verde em cultivo consorciado para produção de pimenta biquinho (*Capsicum chinense*) em sistema orgânico**. 2012. 72 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP.

DEVIDE, A. C. P.; RIBEIRO, R. L. D.; VALLE, T. L.; ALMEIDA, D. L.; CASTRO, C. M.; FELTRAN, J. C. Produtividade de raízes de mandioca consorciada com milho e caupi em sistema orgânico. **Bragantia**, v. 68, n. 1, p. 145-153, jan./fev. 2009.

ESPINDOLA, J. A. A.; GUERRA, J. G. M.; ALMEIDA, D. L. de. **Adubação verde: estratégia para uma agricultura sustentável**. Seropédica: Embrapa-CNPAB, 1997. 20 p. (Embrapa-CNPAB. Documentos, 42).

ESPINDOLA, J. A. A.; GUERRA, J. G. M.; ALMEIDA, D. L. de; TEIXEIRA, M. G.; URQUIAGA, S. Decomposição e liberação de nutrientes acumulados em leguminosas herbáceas perenes consorciadas com bananeira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 2, p. 321-328, mar./abr. 2006.

ESPINDOLA, J. A. A.; OLIVEIRA, S. J. C. R. de; CARVALHO, G. J. A. de; SOUZA, C. L. M. de; PERIN, A.; GUERRA, J. G. M.; TEIXEIRA, M. G. **Potencial alelopático e controle de plantas invasoras por leguminosas herbáceas perenes consorciadas com bananeira**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2000. 8 p. (Embrapa Agrobiologia. Comunicado técnico, 47).

FONTANÉTTI, A.; CARVALHO, G. J.; GOMES, L. A. A.; ALMEIDA, K.; MORAES, S. R. G.; TEIXEIRA, C. M. Adubação verde na produção orgânica de alface americana e repolho. **Horticultura Brasileira**, v. 24, n. 2, p. 146-150, abr./jun. 2006.

FRANCHINI, J. C.; COSTA, J. M. da; DEBIASI, H. Rotação de culturas: prática que confere maior sustentabilidade à produção agrícola no Paraná. Piracicaba: **Informações Agronômicas**, n. 134, p. 1-13, jun. 2011.

GLIESSMAN, S. R. **Agroecologia**. Porto Alegre: Ed. da UFRGS, 2001. 653 p.

KHATOUNIAN, C. A. **A reconstrução ecológica da agricultura**. Botucatu: Agroecológica, 2001. 348 p.

LANGONI L. L.; SALGADO G. C.; AMBROSANO, G. B.; PECORARI, V. G. A.; AMBROSANO G. M. B.; OTSUK, I. P.; DIAS, F. L. F.; ROSSI, F.; TAVARES, S.; AMBROSANO, E. J. Feijão-mungo (*Vigna radiata* (L.) Wilczek) em rotação com cana-de-açúcar: uma meta-análise para avaliar seu efeito na produtividade agrícola e industrial. In: WORKSHOP AGROENERGIA: MATÉRIAS PRIMAS, 11., 2017, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto. São Paulo: IAC, 2017. v. 1, p. 1-9.

MENDES, F. L. **Eficiência de absorção de fósforo por diversas espécies de adubos verdes e aproveitamento desse nutriente pelas culturas de cana-de-açúcar e de arroz**. 2010. 116 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiróz, USP, Piracicaba.



MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; CALEGARI, A. Efeito de material vegetal na acidez do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 17, n. 3, p. 411-416, set./dez. 1993.

MONEGAT, C. **Plantas de cobertura do solo**: características e manejo em pequenas propriedades. 2. ed. Chapecó: Ed. do autor, 1991. 336 p.

MOREIRA, V. R. R. **Adubação verde como fonte de nitrogênio**. Brasília, DF: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Coordenação de Agroecologia, [2018?]. (Fichas agroecológicas. Fertilidade do solo e nutrição de plantas, 2). Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/sustentabilidade/organicos/fichas-agroecologicas/arquivos-fertilidade-do-solo/2-adubacao-verde-como-fonte-de-nitrogenio.pdf>. Acesso em: 7 fev. 2018.

NEGRINI, A. C. A.; MELO, P. C. T.; AMBROSANO, E. J.; SAKAI, R. H.; SCHAMMASS, E. A.; ROSSI, F. Performance of lettuce in sole cropping and intercropping with green manures. **Horticultura Brasileira**, v. 28, n. 1, p. 59-64, jan./mar. 2010.

NEVES, M. C. P. **Glicirídea**. [Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2012.] Disponível em: <http://www.cnpab.embrapa.br/publicacoes/leguminosas/gliciridia.html>. Acesso em: 10 abr. 2012.

NOVAIS, R. T.; SMITH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa, MG: Ed. da Universidade Federal de Viçosa, 1999. 339 p.

OLIVEIRA, N. G. de; DE-POLLI, H.; ALMEIDA, D. L. de; GUERRA, J. G. M. Plantio direto de alface adubada com “cama” de aviário sobre coberturas vivas de grama e amendoim forrageiro. **Horticultura Brasileira**, v. 24, n. 1, p. 112-117, jan./mar. 2006.

PADOVAN, M. P.; OTSUBO A. A.; OLIVEIRA, A.; GENEVRO, J. C. Consorciação de adubos verdes com a cultura da mandioca em sistemas de produção orgânica no Mato Grosso do Sul. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO, 8., 2010, São Luís. **Agricultura familiar: crise alimentar e mudanças climáticas globais: anais**. São Luís: Ed. da Uema: Embrapa, 2010. 1 CD-ROM.

PERIN, A.; SANTOS, R. H. S.; URQUIAGA, S.; GUERRA, J. G. M.; CECON, P. R. Produção de fitomassa, acúmulo de nutrientes e fixação biológica de nitrogênio por adubos verdes em cultivo isolado e consorciado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 1, p. 35-40, jan. 2004.

PRIMAVESI, A. **Biodiversidade**. Ipeúna: Fundação Mokiti Okada, [2012]. Disponível em: [http://www.cpmo.org.br/artigos/Biodiversidade\\_Primavesi.pdf](http://www.cpmo.org.br/artigos/Biodiversidade_Primavesi.pdf). Acesso em: 2 abr. 2012.

SAKAI, R. H.; AMBROSANO, E. J.; NEGRINI, A. C. A.; TRIVELIN, P. C. O.; SCHAMMASS, E. A.; MELO, P. C. T. de. N transfer from green manures to lettuce in an intercropping cultivation system. **Acta Scientiarum: agronomy**, v. 33, n. 4, p. 679-686, Oct./Dec. 2011.

SHARMA, R. D. Adubação verde no controle de fitonematóides. In: CARVALHO, A. M. de; AMABILE, R. F. (ed.). **Cerrado**: adubação verde. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2006. p. 237-272.

SILVA, C. J. da; LOBO, F. A.; BLEICH, M. E.; SANCHES, L. Contribuição de folhas na formação da serrapilheira e no retorno de nutrientes em floresta de transição no Norte de Mato Grosso. **Acta Amazônica**, v. 39, n. 3, p. 591-600, 2009.

SIQUEIRA, J. O. Micorrizas arbusculares. In: ARAÚJO, R. S.; HUNGRIA, M. (ed.). **Microrganismos de importância agrícola**. Brasília, DF: EMBRAPA-SPI; Goiânia: EMBRAPA-CNPAF, 1994. p. 151-194. (EMBRAPA-CNPAF. Documentos, 44).

TEASDALE, J.; BRANDSAETER, L. O.; CALEGARI, A.; SKORA NETO, F. Cover crops and weed management. In: UPADHYAYA, M. K.; BLACKSHAW, R. E. (ed.). **Non-chemical weed management: principles, concepts and technology**. Cambridge: CAB International, 2007. p. 49-64.

VANDERMEER, J. H. **The ecology for intercropping**. Cambridge: Cambridge University Press, 1989. 237 p.

WUTKE, E. B.; ARRUDA, F. B.; FANCELLI, A. L.; PEREIRA, J. C. V. N. A.; SAKAI, E.; FUJIWARA, M.; AMBROSANO, G. M. B. Propriedades do solo e sistema radicular do feijoeiro irrigado em rotação de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, n. 3, p. 621-633, jul./set. 2000.



## Capítulo 16

# Adubação verde na produção de grãos e no sistema de plantio direto

---

Telmo Jorge Carneiro Amado

Jackson Ernani Fiorin

Ulfried Arns

Rodrigo da Silveira Nicoloso

Ademir de Oliveira Ferreira



## Introdução

Nos climas tropical e subtropical, os sistemas de manejo de solo visando à conservação, à produtividade do solo e à expressão do potencial genético das culturas de grãos devem ter como princípios: o mínimo revolvimento do solo, a permanente cobertura do solo por plantas vivas ou seus resíduos e a rotação de culturas. Essas práticas associadas proporcionam aporte contínuo e elevado de resíduos vegetais para contrabalançar a rápida decomposição da matéria orgânica do solo (MOS) e dos resíduos vegetais, induzida pelas condições climáticas de temperatura e umidade do clima tropical e subtropical (Mielniczuk, 1998). O principal exemplo desses princípios da agricultura conservacionista, pelo menos no que tange ao mínimo revolvimento, tem sido o sistema plantio direto (SPD). Iniciado na década de 1970 no Brasil, o SPD destacou-se como uma das principais estratégias de manejo do solo visando ao controle da erosão, à sustentabilidade dos sistemas agrícolas e ao aumento da produtividade das culturas. Atualmente, o Brasil apresenta cerca de 35 milhões de hectares sob SPD, ou seja, aproximadamente 60% do total da sua área de culturas de grãos (Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha, 2015).

Já o Cerrado, por ser o segundo maior bioma brasileiro – abrangendo aproximadamente 200 milhões de hectares sob expansão agrícola, 23% do território nacional –, é responsável por 55% da produção total de grãos do Brasil (Corbeels et al., 2016). Esse bioma assume grande importância no cenário nacional e apresenta mais de 12 milhões de hectares cultivados com lavouras anuais (Bayer et al., 2004); destas, mais de 7 milhões de hectares são cultivados no SPD (Associação de Plantio Direto no Cerrado, 2007).

Desde que manejado segundo os princípios básicos propostos pela FAO (2008), com mínima mobilização de solo, diversificação de espécies via rotação e cobertura vegetal permanente do solo, a implantação do SPD alcança inúmeros benefícios com o passar do tempo, tais como a melhoria da qualidade do solo e o aumento de produtividade dos cultivos (Sá, 1999; Ferreira et al., 2009; Sá et al., 2013, 2014).

A sustentabilidade desse sistema, entre outros fatores, está baseada na quantidade e na qualidade de resíduos culturais que são aportados, catalisando a atividade biológica do solo

(Ruedell, 1998). Tem-se observado que, quanto maior e mais diversificado for o aporte de resíduos, mais rápida será a recuperação do solo degradado e melhores serão os rendimentos das culturas de grãos. Normalmente, em condições tropicais e subtropicais, a adição dos resíduos das culturas de grãos, tais como a soja, a canola e o trigo, não é suficiente para alcançar elevada qualidade do solo, com aumento ou manutenção do conteúdo de MOS. Nesse caso, o uso de adubos verdes com elevada capacidade de produção de fitomassa e sistema radicular bem desenvolvido tem demonstrado ser a prática mais eficaz para compensar essa limitação de aporte de resíduos das culturas de grãos. A adição de fitomassa é fonte de energia e substrato para a atividade biológica e permite que o solo se organize em níveis hierárquicos de qualidade mais elevados (Vezzani, 2001; Conceição et al., 2005; Vezzani; Mielniczuk, 2009; Ferreira et al., 2013).

O eficiente controle da erosão, o incremento da MOS, a ciclagem de nutrientes e o estímulo à atividade biológica são os principais processos que promovem um gradual incremento na qualidade do solo (Amado; Eltz, 2003; Vezzani; Mielniczuk, 2011) e na sua estabilidade estrutural (Reichert et al., 2003), proporcionando características de sustentabilidade ao sistema plantio direto. A conjunção desses efeitos permite maior infiltração e armazenamento de água no solo, maior atividade biológica, melhor aeração e desenvolvimento do sistema radicular das plantas, com reflexos positivos no aproveitamento dos nutrientes do solo e no rendimento das culturas de grãos.

A cobertura e proteção do solo, bem como a ciclagem e/ou aporte de nutrientes podem ser obtidos de forma eficiente e econômica pelo cultivo de adubos verdes, tanto de inverno quanto de verão, aproveitando a entressafra das culturas de grãos. Os adubos verdes não devem competir com as culturas de grãos, mas sim modificar positivamente as condições agroecológicas em que as culturas de grãos serão cultivadas, com reflexos positivos na redução de custos e/ou aumento da rentabilidade (Fiorin, 1999).

O planejamento da rotação de culturas é um dos principais fatores determinantes do sucesso de um sistema de produção de grãos. Nesse planejamento, tão logo seja colhida uma cultura de grãos ou manejado um adubo verde, imediatamente deve ser semeada outra espécie na sequência, de modo que os recursos naturais para a realização da fotossíntese sejam aproveitados ao máximo, ao mesmo tempo em que é proporcionada uma rápida cobertura e proteção do solo. Nesse sistema, a atividade biológica do solo é mantida elevada durante todo o ano. Dessa forma, uma cultura prepara o ambiente para a próxima, havendo um sinergismo positivo no sistema produtivo, que gradualmente vai tornando-se menos dependente do uso de insumos externos e apresentando rendimentos mais estáveis ao longo dos anos.

## O papel dos adubos verdes na rotação de culturas

A ausência de inverno rigoroso e prolongado, como verificado em grande extensão nos Estados Unidos, no Canadá ou na Europa, faz que a agricultura em ambientes tropical e subtro-

pical tenha maior necessidade de adoção da rotação de culturas para evitar a proliferação de doenças, pragas e invasoras e manter o teor de MOS. Essa necessidade é ainda mais premente no sistema plantio direto, no qual os resíduos são mantidos na superfície do solo e servem de abrigo natural para os patógenos. No entanto, por razões econômicas, culturais e pela ausência de política agrícola definida, muitas vezes os agricultores acabam elegendo uma ou duas culturas de grãos como as principais. Nesse caso, a viabilidade do sistema plantio direto de forma continuada e econômica, em ambiente tropical, está associada ao eficiente uso de adubos verdes na entressafra, os quais fornecem a diversidade de aporte de fitomassa necessária.

O arranjo das espécies, no tempo e no espaço, com alternância de culturas de diferentes famílias que compõem o planejamento do sistema de rotação de culturas, deve atender, além dos objetivos técnicos preconizados, à maximização das oportunidades econômicas e agroecológicas. A primeira análise é a das oportunidades de preenchimento da entressafra com as diversas opções de adubos verdes. Os sistemas devem ser validados e adaptados regionalmente às diferentes condições edafoclimáticas. A seleção de espécies de adubos verdes deve respeitar as limitações e aproveitar as oportunidades, em sequências preestabelecidas, que promovam efeitos residuais positivos sobre as culturas de grãos (Derpsch et al., 1985; Costa, 1993; Fiorin; Campos, 1998). Segundo Ruedell (1998), o princípio fundamental é o de se estabelecer uma rotação de culturas que mantenha plantas em contínuo desenvolvimento, nunca deixando o solo descoberto ou em pousio. O sistema proposto pela Fundação Centro de Experimentação e Pesquisa (Fundacep) de Cruz Alta, RS, denominado Sistema Planta-Colhe-Planta, constitui uma importante alternativa na busca da melhoria da qualidade do solo e da sustentabilidade do sistema de produção de grãos (Fiorin, 2007).

Os trópicos e subtropicais úmidos apresentam uma variada oportunidade de inclusão de diferentes espécies vegetais no sistema produtivo de grãos. No entanto, sua utilização por parte dos agricultores ainda é restrita por questões econômicas, que restringem os cultivos aos que têm maior aceitação no mercado internacional. Assim, no Sul do Brasil, as maiores oportunidades de inserção no sistema de produção de grãos são o de plantas de cobertura de inverno visando às culturas de soja (*Glycine max* L.), milho (*Zea mays* L.) e sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) no verão e de plantas de cobertura de verão (após a colheita – em janeiro ou fevereiro – do milho semeado no final de agosto ou início de setembro) visando às culturas de grãos de inverno, como trigo (*Triticum aestivum* L.) e cevada (*Hordeum vulgare* L.).

Com isso, no Sul do Brasil as principais opções são aquelas que não interferem no cultivo comercial de grãos de primavera-verão. Ainda, as opções de culturas de cobertura de outono-inverno incluem gramíneas, crucíferas e fabáceas. Os consórcios de aveia-preta + ervilhaca (*Avena strigosa* Schreb. + *Vicia sativa* L.), aveia-preta + ervilhaca + nabo-forrageiro (*Avena strigosa* Schreb. + *Vicia sativa* L. + *Raphanus sativus* L. var. *oleiferus*), ou centeio + ervilhaca (*Secale cereale* L. + *Vicia sativa* L.), têm sido uma alternativa de incrementar e diversificar o aporte de carbono (C) e nitrogênio (N) ao solo.

No Cerrado a possibilidade de utilizar gramíneas perenes, como as braquiárias em rotação com cultivos de grãos, tem proporcionado um aprimoramento do sistema de cultivo pelo aporte muito elevado de matéria seca ( $> 26 \text{ t ha}^{-1}$ ) (Kluthcouski; Aidar, 2003; Kluthcouski; Stone, 2003). O milheto (*Pennisetum glaucum*) também tem sido utilizado após o cultivo de culturas de grãos de verão, com aportes de matéria seca também elevados ( $> 8 \text{ t ha}^{-1}$ ). Nesse caso, as culturas de cobertura distinguem-se das principais culturas comerciais pela capacidade de aporte de fitomassa e o sistema radicular mais desenvolvido, refletindo diretamente na melhoria da fertilidade do solo ao longo do perfil.

## Plantas de cobertura de inverno

As gramíneas de inverno – aveia, centeio (*Secale cereale* L.), azevém (*Lolium multiflorum*), etc. – são importantes alternativas para proporcionar cobertura do solo, por sua produção de fitomassa com alta relação C:N, rusticidade e pela fácil produção de sementes. A aveia-preta é a cultura de cobertura mais utilizada pelos agricultores no Sul do Brasil. Entretanto, seu uso contínuo, ano após ano, nas mesmas áreas e com semente não melhorada, tem causado significativa redução do potencial de produção de fitomassa. Com o objetivo de amenizar esse problema, várias entidades de pesquisa e comerciais vêm trabalhando na seleção de materiais que apresentem maior potencial de produção de fitomassa, de sementes, bem como na sua utilização para pastoreio (duplo propósito). O centeio tem se mostrado rústico, precoce e, de maneira geral, tem produzido elevada quantidade de fitomassa, portanto trata-se de uma excelente alternativa. Nos solos arenosos da fronteira oeste do Rio Grande do Sul, essa espécie tem demonstrado potencial para a recuperação de solos intensamente degradados pela erosão eólica. O azevém, embora seja tradicionalmente utilizado como pastagem de inverno e adaptado a situações de solos mais úmidos (várzeas), necessita de um manejo cuidadoso quanto à dessecação e ao correto intervalo entre o manejo e a implantação da próxima cultura de grãos. Quando isso não é observado, os rendimentos do milho em sucessão podem ser diminuídos. O azevém, em algumas situações, aumenta a resistência superficial do solo, e isso exige que a semeadora seja regulada com maior pressão dos discos sobre o solo para que as sementes das culturas de grãos não fiquem superficiais, aprisionadas entre os resíduos vegetais e com pouco contato com o solo, o que resulta em prejuízos ao estande de plantas. Por sua vez, o azevém tem capacidade elevada de promover a reagregação do solo, e isso melhora sua estrutura e confere importante resistência à erosão. As gramíneas, de maneira geral, são mais adequadas como antecessoras à cultura da soja no verão (Derpsch et al., 1985; Costa, 1993). No entanto, a predominância de gramíneas no inverno, característica dos sistemas de culturas utilizados no Rio Grande do Sul, constitui um ponto de estrangulamento no que se refere à viabilização da cultura no trigo e mesmo à melhoria da qualidade do solo pela limitada diversidade de culturas utilizadas (Fiorin, 2007).



Os adubos verdes não pertencentes à família botânica das gramíneas – nabo-forrageiro (*Raphanus sativus* L. var. *oleiferus*), ervilhaca (*Vicia sativa* L.) e tremoço (*Lupinus albus* L.) – têm proporcionado os maiores incrementos de rendimento nas culturas do milho e sorgo. Entre os adubos verdes, o nabo-forrageiro destaca-se pela sua rusticidade, ciclo curto, facilidade de manejo mecânico e elevada produção de sementes. Possui sistema radicular agressivo, com capacidade de penetrar em solos compactados e de ciclar nutrientes de camadas de solo mais profundas, especialmente o potássio (K) e o nitrogênio (N). Pela sua precocidade, tem sido adaptado às regiões que utilizam o milho “do cedo” (plantio no final de agosto e início de setembro). A ervilhaca é a espécie que tem proporcionado os maiores rendimentos da cultura do milho cultivado em sucessão. É mais tardia que o nabo-forrageiro e, geralmente, não se adapta à semeadura do milho “do cedo”. Sua semeadura, imediatamente após a colheita da soja (preferencialmente variedade precoce), favorece o desenvolvimento e o aporte de fitomassa ao solo. Em regiões em que a semeadura do milho é mais tardia (novembro e dezembro), o maior período disponível para o crescimento da ervilhaca tem permitido maior acúmulo de matéria seca e ciclagem/aporte de nutrientes e, conseqüentemente, maior rendimento de grãos de milho cultivado na seqüência. O uso de espécies, como tremoço, aveia e centeio – em consórcio com a ervilhaca, visando ao seu tutoramento –, tem proporcionado incremento na produção de fitomassa e de sementes, por causa da maior sanidade, especialmente em anos com elevada precipitação (Figura 1).



Foto: José Vargas

**Figura 1.** Consórcio de aveia-preta + ervilhaca (*Avena strigosa* Schreb. + *Vicia sativa* L.) na Granja Arns, Cruz Alta, RS, 2004.

Os tremoços – azul (*Lupinus angustifolius* L.) e branco (*Lupinus albus* L.) –, apesar de apresentarem potencial como adubos verdes, têm sido pouco utilizados no Sul do Brasil, principalmente por problemas fitossanitários (doenças e pragas) e pelo cultivo de extensas áreas com soja, cuja sucessão não é recomendada. Os problemas fitossanitários e as condições climáticas fazem que haja irregularidade interanual na produção de fitomassa dessa leguminosa. Por causa da sua sensibilidade, os tremoços são considerados indicadores da sanidade e da qualidade da rotação de culturas utilizada. Áreas que não obedecem a um sistema de rotação racional apresentam, normalmente, desenvolvimento insatisfatório do tremoço. Observações dos agricultores têm demonstrado que o armazenamento das sementes de tremoço por um ano, utilizando-as somente no ano seguinte, é uma estratégia eficiente para garantir maior sanidade da cultura. Esse fato aparentemente está associado à redução de inóculos que são transmitidos pelas sementes.

## Plantas de cobertura de verão/outono

A utilização de adubos verdes de verão após a colheita do milho “do cedo” (janeiro/fevereiro) tem proporcionado incremento no rendimento da cultura do trigo em sucessão. Entre as crotalárias, destaca-se a *Crotalaria juncea* por sua precocidade e elevada produção de fitomassa. Na Depressão Central do Rio Grande do Sul, a crotalária tem sido utilizada em solos arenosos com baixa fertilidade apresentando produção elevada de fitomassa. Estratégias de épocas de semeadura e cortes (podas) visando à uniformização na floração e à redução de porte têm contribuído para a maior produção de sementes dessa espécie. A *Crotalaria spectabilis* tem demonstrado satisfatória produção de fitomassa e de sementes, porém apresenta o inconveniente de ser, normalmente, infestante no próximo verão. Além disso, existe a ocorrência de lagartas que atacam as sementes, comprometendo a produção destas. Na semeadura tardia (final de janeiro e fevereiro), as outras espécies de crotalárias (*Crotalaria retusa*, *Crotalaria ochroleuca*, etc.), de maneira geral, têm produzido quantidades de fitomassa insuficientes, principalmente em regiões e/ou anos mais frios. Essas espécies adaptam-se à semeadura entre as fileiras do milho (consórcio), durante o seu desenvolvimento, e constitui estratégia muito interessante para as pequenas propriedades (Fiorin, 2007).

O quandu-anão (*Cajanus cajan*), quando comparado à *C. juncea*, é mais rústico, com sistema radicular mais agressivo, portanto é uma opção para áreas degradadas. A produção de sementes, embora desuniforme, tem sido obtida com relativa facilidade. O manejo químico por dessecação normalmente é mais difícil, por isso é preferível o manejo mecânico com rolo-faca para evitar a sua permanência na área, principalmente em anos em que as geadas ocorrem tardiamente.

As mucunas e o feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*) são leguminosas rústicas que se adaptam a solos de baixa fertilidade. Essas espécies têm elevado potencial de aporte de fitomassa

e de N via fixação biológica, além de serem supressoras de ervas infestantes. A ocorrência de geadas interrompe o ciclo dessas espécies de adubos verdes de verão e dispensa o uso de manejo químico e/ou mecânico. As mucunas são especialmente sensíveis às geadas. Em virtude da dificuldade de produção de sementes visando à colheita mecânica, são mais adaptadas a sistemas de produção em pequenas propriedades.

A possibilidade de semear o nabo-forrageiro antecipadamente, na segunda quinzena do mês de fevereiro ou no início do mês de março, permite a utilização subsequente da área com uma cultura de grãos de inverno. Dessa forma, aproveita-se eficientemente uma pequena janela (três meses) entre o cultivo de grãos de verão e o próximo de inverno. No entanto, a antecipação da semeadura para janeiro ou primeira quinzena de fevereiro, principalmente em regiões e/ou anos mais quentes, tem ocasionado emissão precoce da inflorescência, diminuição na produção da parte aérea e também do desenvolvimento da raiz principal.

O milheto, gramínea anual de verão, tem se caracterizado pela rusticidade, pelo rápido crescimento e pela elevada produção de fitomassa, com alta relação C:N e sistema radicular profundo. É uma cultura de fácil manejo e produção de sementes e tem sido utilizada com sucesso no SPD no Cerrado. Essa gramínea também pode ser cultivada no Sul do Brasil, após a colheita do milho “do cedo” e antes da semeadura do trigo no inverno. Nesse caso, pode ocorrer uma sucessão exclusivamente de gramíneas (milho/milheto/trigo), que poderá reduzir a disponibilidade de N do solo. Trata-se de um fator inconveniente que irá demandar fertilização mineral extra para compensar o elevado aporte de resíduos com alta relação C:N. O consórcio de milheto com *C. juncea* e guandu-anão é recomendado para amenizar essa desvantagem e ainda pode ser usado em áreas degradadas, que necessitam de grande aporte de resíduos, ou para produção de forragem no período de outono.

A consorciação de adubos verdes apresenta as seguintes vantagens: aumento da diversidade de culturas, melhor aproveitamento dos recursos naturais, maior ciclagem de nutrientes, rápida cobertura do solo, diminuição da ocorrência de pragas e doenças, melhor controle das invasoras, menor sensibilidade a estresses climáticos, entre outras. O uso associado de espécies de famílias botânicas diferentes, como gramíneas, leguminosas e crucíferas, tem proporcionado excelentes resultados. O resíduo adicionado ao solo oriundo desses consórcios combina a rápida liberação de N e de outros nutrientes, pela decomposição das leguminosas e crucíferas (baixa relação C:N) e a manutenção da cobertura do solo pelas gramíneas, que apresentam decomposição lenta (alta relação C:N e elevado teor de lignina). Na consorciação, as espécies durante a fase vegetativa se beneficiam mutuamente. É comum uma servir de tutora para outra e, no conjunto, ambas produzirem maior fitomassa, e frequentemente com melhor sanidade do que quando cultivadas isoladamente (Florin, 2003a). Uma questão importante é ajustar as quantidades de sementes de modo que as espécies mais precoces ou mais rústicas dominem as demais.

De modo geral, os efeitos dos adubos verdes de inverno serão maximizados quando manejados no pleno florescimento, no entanto a época de manejo dos adubos verdes é dependente da melhor época de plantio da cultura de grão subsequente. Além disso, para aumentar a adição de N, deve-se optar, no consórcio, por uma quantidade maior de sementes de ervilhaca, tremoço e nabo-forrageiro do que de gramíneas. Na prática, sugere-se utilizar no consórcio em torno de 70% a 80% da quantidade de sementes recomendada para o cultivo solteiro de ervilhaca, tremoço e nabo-forrageiro, e de 20% a 30% das gramíneas. Por exemplo, no consórcio aveia-preta + ervilhaca, a densidade de sementes da aveia sugerida é de 15 kg ha<sup>-1</sup> a 25 kg ha<sup>-1</sup> (no cultivo solteiro, utiliza-se 80 kg ha<sup>-1</sup>); enquanto da ervilhaca é de 30 kg ha<sup>-1</sup> a 40 kg ha<sup>-1</sup> (no cultivo solteiro, utiliza-se de 40 kg ha<sup>-1</sup> a 50 kg ha<sup>-1</sup>).

Nas Tabelas 1 e 2, são apresentadas as quantidades de sementes, o espaçamento entre linhas e os dias para o manejo de plantas de cobertura de inverno e de verão, respectivamente.

Em levantamento realizado pelo *Rally da Safra 2015*, que abrangeu os 308 municípios (1.388 lavouras) mais representativos da adoção do sistema plantio direto no Brasil, em que o total da área avaliada representou 51% de toda a área plantada de milho e soja no Brasil, foram avaliadas as principais culturas de cobertura de solo utilizadas pelos agricultores (Pessoa, 2016) (Tabela 3).

A região 1 (Rio Grande do Sul, Santa Catarina e metade sul do Paraná) apresentou a maior cobertura do solo (percentual da superfície do solo coberta por resíduos vegetais – palhada). Nessa região, 68% das lavouras apresentaram índice de 40%–100% de cobertura, caracterizadas com muito resíduo em áreas onde foi cultivada a soja (Tabela 3). Com exceção da região 3 (Mato Grosso, metade norte do Mato Grosso do Sul, parte dos estados de São Paulo, Minas Gerais e Goiás), todas as demais regiões apresentaram redução do percentual de lavouras com muito

**Tabela 1.** Quantidade de sementes, espaçamento entre linhas e dias para manejo de plantas de cobertura de inverno. Fundação Centro de Experimentação e Pesquisa (Fundacep), Cruz Alta, RS, 1995.

Planta de cobertura	Sementes		Espaçamento	Dias para manejo
	(sementes por metro)	(kg ha <sup>-1</sup> )	(m)	
Aveia-preta	60–65	70–80	0,17	120
Ervilhaca	12–15	40–50	0,17	120–150
Aveia + ervilhaca	12–18 + 10–12	15–25 + 30–40	0,17	120
Nabo-forrageiro	12–15	12–15	0,17	90–120
Aveia + nabo-forrageiro	12–18 + 10–12	15–25 + 10–12	0,17	120
Tremoço	16–18	100–120	0,17	120
Aveia + nabo + ervilhaca	12–18 + 6–8 + 5–6	15–25 + 6–8 + 15–20	0,17	120

Fonte: Fiorin (2007).

**Tabela 2.** Quantidade de sementes, peso de mil sementes (PMS) e número de plantas por metro de espécies para cobertura de verão. Fundação Centro de Experimentação e Pesquisa (Fundacep), Cruz Alta, RS, 1995.

Planta de cobertura de verão	Quantidade de semente (kg ha <sup>-1</sup> )	PMS (g)	Espaçamento entre linhas (m)		
			0,5	0,4	0,35
			(plantas por metro)		
Mucuna-preta	80	651,0	6	5	4
Mucuna-cinza	80	933,0	4	3	3
Mucuna-anã	90	526,0	9	7	6
Crotalária-spectabilis	15	16,7	45	36	31
Crotalária-grantiana	8	3,1	129	103	90
Crotalária-júncea	25	50,6	25	20	17
Crotalária-lanceolata	8	2,2	182	145	127
Crotalária-mucronata	10	6,7	75	60	52
Crotalária-ochroleuca	8	6,8	59	47	41
Crotalária-retusa	15	16,8	45	36	31
Feijão-de-porco	150	1.195,0	6	5	4
Guandu-anão	25	67,1	19	15	13
Trigo-mourisco	50	22,3	112	90	78

Fonte: Fiorin (2007).

resíduo. Destaca-se o resultado da região 2 (metade norte do Paraná, metade sul do Mato Grosso do Sul, sudoeste e sudeste de São Paulo), que reduziu o percentual de lavouras com muito resíduo de 78% para 46%. Essa redução fez com que a região 2 passasse a apresentar padrões de cobertura semelhantes às regiões 3 e 4 (Tocantins e parte dos estados da Bahia, Maranhão, Piauí e Goiás). A região 3, por sua vez, apresentou um pequeno aumento no percentual de participação das lavouras com muita cobertura, passando de 55% para 56%.

Os resultados das avaliações de milho do ano de 2015 do *Rally da Safra* mostram resultados mais consistentes, visto que o número de lavouras avaliadas foi maior em relação aos anos anteriores. A redução na participação das lavouras com muito resíduo também ocorreu no milho (Tabela 3). Na região 1, as lavouras com muito resíduo estavam presentes em 76% das amostras no ano de 2014 e no ano corrente caiu para 36% das amostras. A única região a apresentar incremento na participação das lavouras com muito resíduo foi a região 3, que passou de 63% para 66%.

Os resultados de cobertura do solo refletem os resíduos das culturas de grãos e os cultivos de inverno utilizados na sequência. A percentagem de cobertura também foi influenciada pelas condições climáticas que determinam a velocidade de decomposição dos resíduos e a maior tradição e experiência adquiridas no uso do sistema plantio direto no Sul do Brasil. Considerando-se que um dos princípios da agricultura conservacionista é a manutenção do solo permanentemente

**Tabela 3.** Percentual de cobertura do solo em áreas em que foram cultivados soja e milho nas quatro regiões investigadas.

Parâmetro	2010		2011		2012		2013		2014		2015	
	Soja	Milho	Soja	Milho	Soja	Milho	Soja	Milho	Soja	Milho	Soja	Milho
	<b>Região 1<sup>(1)</sup></b>											
Pouco resíduo 1%–15%	10	-	6	4	7	20	6	8	5	3	7	8
Médio resíduo 15%–40%	27	-	36	27	24	38	21	44	20	21	19	28
Muito resíduo 40%–100%	61	-	51	59	66	30	69	31	73	76	68	36
Sem resíduo	2	-	6	10	4	13	4	17	2	0	6	28
Número de amostras	124	-	154	155	306	61	190	36	162	123	248	134
	<b>Região 2<sup>(2)</sup></b>											
Pouco resíduo 1%–15%	15	-	5	20	8	10	5	-	2	11	13	9
Médio resíduo 15%–40%	48	-	31	28	37	32	32	-	17	21	37	40
Muito resíduo 40%–100%	31	-	54	48	49	49	59	-	78	67	46	51
Sem resíduo	6	-	9	4	6	10	4	-	2	0	4	0
Número de amostras	96	-	183	25	109	41	98	-	123	89	141	82
	<b>Região 3<sup>(3)</sup></b>											
Pouco resíduo 1%–15%	9	-	16	18	22	14	17	-	11	4	13	6
Médio resíduo 15%–40%	36	-	42	27	38	14	31	-	29	33	22	24
Muito resíduo 40%–100%	45	-	28	27	33	0	48	-	55	63	56	66
Sem resíduo	10	-	15	27	7	71	3	-	5	0	10	4
Número de amostras	457	-	536	11	370	14	283	-	283	153	358	214
	<b>Região 4<sup>(4)</sup></b>											
Pouco resíduo 1%–15%	24	-	25	5	21	28	28	38	12	32	14	0
Médio resíduo 15%–40%	35	-	19	33	35	4	28	16	32	38	20	0
Muito resíduo 40%–100%	39	-	26	21	38	28	32	9	45	29	44	0
Sem resíduo	2	-	30	41	6	40	12	38	11	0	22	0
Número de amostras	117	-	179	39	71	25	154	32	125	34	140	0

<sup>(1)</sup>Rio Grande do Sul, Santa Catarina e metade Sul do Paraná. <sup>(2)</sup>Metade norte do Paraná, metade sul do Mato Grosso do Sul, sudoeste e sudeste de São Paulo. <sup>(3)</sup>Mato Grosso, metade norte do Mato Grosso do Sul, parte dos estados de São Paulo, Minas Gerais e Goiás. <sup>(4)</sup>Tocantins e parte dos estados da Bahia, Maranhão, Piauí e Goiás.

Fonte: Pessôa (2016).

coberto, observa-se que a intensificação no uso de adubos verdes poderia em muito contribuir para atender a esse pré-requisito.

Após a cultura da soja, verificou-se predomínio de cultivo de cereais de inverno (região 1), com destaque para o trigo/triticale e aveia com 52% e 20%, respectivamente. Nas demais regiões, o milho foi o resíduo preponderante. Há de se ressaltar, porém, que sua participação caiu no ano de 2015 nas regiões 2 e 3, passando de 80% e 85% em 2014 para 64% e 71% em 2015, respectivamente (Tabela 4). As regiões 3 e 4 apresentaram crescimento da participação do milheto, que passou de 5% para 17% e de 23% para 33%, respectivamente.

Após a cultura do milho, em 80% das lavouras avaliadas da região 1, os cereais de invernos que prevaleceram foram a aveia e o trigo/triticale (Pessôa, 2016). Nas regiões 2 e 3, os “outros” tipos de resíduos prevaleceram em detrimento dos demais. Em grande parte das lavouras de segunda safra, foram identificados como culturas de cobertura a soja e o milho, simultaneamente, sendo os resíduos de soja plantados na primeira safra e de milho plantados no ano anterior na segunda safra.

As principais culturas utilizadas no Brasil para a formação de palhada pelos produtores são o milho (regiões 2, 3 e 4), o milheto (região 4) a aveia e o trigo/triticale (região 1). A aveia é a cultura de outono/inverno frequentemente utilizada para formação de palhada na região 1, seguida do trigo/triticale. Na região 2, destaca-se o milho, seguido da aveia. O milho e o milheto são as culturas mais utilizadas na região 3 e 4. Como cultura usada para palhada, o milheto é a segunda principal cultura da região 4, superada apenas pelo milho. A análise desses resultados indica um número reduzido de espécies que são utilizadas nos sistemas de produção de grãos (Tabela 4).

Pelo exposto, constata-se que no Brasil ainda existe um espaço muito grande a ser preenchido com adubos verdes nos sistemas de produção de grãos nas diferentes ecorregiões, especialmente quando antecede a cultura do milho. Nesse caso, o uso de leguminosas poderá contribuir para a economia do uso de adubação nitrogenada e promover incremento no rendimento. As leguminosas também podem ser utilizadas de forma consorciada com outras espécies e contribuir para a diversidade do aporte de resíduos.

## Os adubos verdes e a qualidade do solo

O conceito de qualidade do solo (QS) começou a ser formulado no início dos anos 1990, e, de forma simplificada, é definido como a sua aptidão para o uso (Larson; Pierce, 1991). Já Doran e Parkin (1994) elaboraram uma definição mais complexa, a qual envolve a capacidade do solo de funcionar dentro dos limites de um ecossistema, de modo que haja sustentabilidade da produtividade biológica, manutenção da qualidade do ambiente e promoção da saúde de



**Tabela 4.** Distribuição (%) dos resíduos mais comumente encontrados nas lavouras de soja e de milho.

Tipo de resíduo	2010		2011		2012		2013		2014		2015	
	Soja	Milho	Soja	Milho	Soja	Milho	Soja	Milho	Soja	Milho	Soja	Milho
<b>Região 1<sup>(1)</sup></b>												
Aveia	35	–	5	45	19	31	26	43	29	45	20	56
Milheto	0	–	2	0	0	0	0	0	0	1	2	1
Milho	14	–	11	6	11	5	17	30	10	9	10	6
Outros	6	–	5	25	19	36	17	13	1	12	14	9
Trigo e triticale	26	–	72	13	47	11	37	10	40	21	52	24
Número de amostras	146	–	151	155	306	61	183	30	161	127	248	96
<b>Região 2<sup>(2)</sup></b>												
Aveia	5	–	12	42	6	15	3	–	3	3	13	0
Milheto	6	–	1	0	1	0	0	–	0	0	0	0
Milho	54	–	55	17	61	2	68	–	80	32	64	22
Outros	0	–	3	8	11	24	2	–	1	47	5	78
Trigo e triticale	7	–	21	33	17	49	21	–	10	13	18	0
Número de amostras	112	–	182	24	109	41	94	–	122	90	141	82
<b>Região 3<sup>(3)</sup></b>												
Aveia	0	–	0	0	0	0	0	–	0	2	0	0
Milheto	17	–	13	0	16	0	16	–	5	1	17	0
Milho	52	–	65	0	62	14	72	–	85	47	71	5
Outros	1	–	5	88	4	86	3	–	0	45	4	94
Trigo e triticale	0	–	0	0	0	0	0	–	0	0	0	0
Número de amostras	561	–	535	8	370	14	279	–	271	154	358	206
<b>Região 4<sup>(4)</sup></b>												
Aveia	0	–	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0
Milheto	21	–	33	17	42	12	21	25	23	14	33	0
Milho	13	–	31	0	39	12	47	40	43	22	51	0
Outros	8	–	17	65	4	44	6	0	11	27	6	0
Trigo e triticale	0	–	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Número de amostras	215	–	124	23	71	25	135	20	117	37	140	0

<sup>(1)</sup>Rio Grande do Sul, Santa Catarina e metade sul do Paraná. <sup>(2)</sup>Metade norte do Paraná, metade sul do Mato Grosso do Sul, sudoeste e sudeste de São Paulo. <sup>(3)</sup>Mato Grosso, metade norte do Mato Grosso do Sul, parte dos estados de São Paulo, Minas Gerais e Goiás. <sup>(4)</sup>Tocantins e parte dos estados da Bahia, Maranhão, Piauí e Goiás.

Fonte: Pessoa (2016).

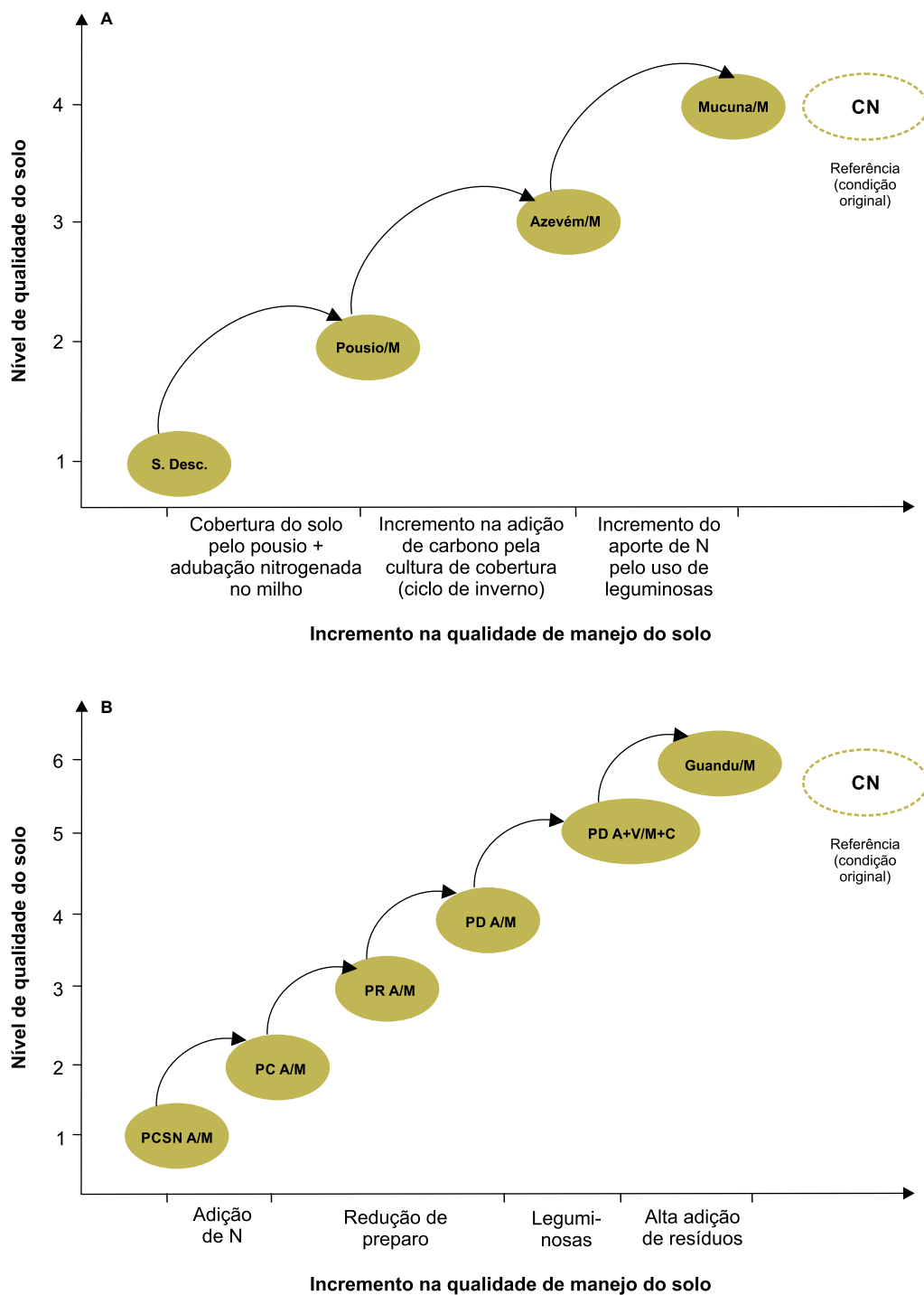


plantas e animais. Esse conceito, além de integrar o potencial produtivo do solo com as questões ambientais, permite a análise do desempenho do sistema agrícola por meio de um conjunto de indicadores que reflitam as complexas interações relacionadas aos aspectos físicos, químicos e biológicos do solo.

Para Islam e Weil (2000), os indicadores podem ser distinguidos em três grandes grupos: os efêmeros, cujas alterações ocorrem em curto espaço de tempo ou são modificados pelas práticas de cultivo (ex.: umidade do solo, densidade, pH, disponibilidade de nutrientes); os permanentes, que são inerentes ao solo (ex.: profundidade, camadas restritivas, textura, mineralogia); e os indicadores intermediários, que possuem marcante influência na capacidade do solo de desempenhar suas funções (ex.: agregação, biomassa microbiana, quociente respiratório, carbono orgânico total e ativo). Para esses autores, os indicadores intermediários são os de maior importância para integrarem um índice de QS em sistemas agrícolas.

Nos sistemas de produção de grãos, o uso de adubos verdes é a principal estratégia de melhoria da QS. Para comprovar essa assertiva, dois experimentos de longa duração no Rio Grande do Sul foram investigados (Figura 2). O primeiro foi conduzido em Santa Maria, na Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), por um período de 10 anos; e o segundo, em Eldorado do Sul, em área pertencente à Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), por um período de 15 anos (Conceição et al., 2005). Em comum, os dois experimentos apresentavam a utilização de adubos verdes em sistema de produção de grãos. Na UFSM, os tratamentos investigados foram os seguintes: a) solo descoberto (S.Desc.); b) pousio/milho (Pousio/M) sob plantio direto; c) azevém + ervilhaca/milho (Azevém/M) sob plantio direto; d) milho + mucuna (Mucuna/M) sob plantio direto; e) campo natural (CN). Na UFRGS, os tratamentos foram: a) aveia-preta/milho sob preparo convencional e sem adubação nitrogenada (PCSN A/M); b) aveia-preta/milho sob preparo convencional (PC A/M); c) aveia-preta/milho sob preparo reduzido (PR A/M); d) aveia-preta/milho sob plantio direto (PD A/M); e) aveia-preta + ervilhaca/milho + caupi (*Vigna unguiculata*) sob plantio direto (PD A + V/M + C); f) milho + guandu (sob plantio direto (Guandu/M)); g) campo natural (CN). Os tratamentos, em ambas as áreas experimentais, foram ordenados teoricamente com base nos pressupostos de manejo para aprimorar a qualidade do solo: mínima mobilização, permanente cobertura e elevada e diversificada adição de resíduos culturais ricos em C e N. A ordem hierárquica crescente de QS foi a seguinte: S.Desc. < Pousio/M < Azevém/M < Mucuna/M, em Santa Maria; e PCSN A/M < PC A/M < PR A/M < PD A/M < PD A + V/M + C < Guandu/M, em Eldorado do Sul. Em ambas as áreas, o CN foi a referência de qualidade do solo sem a interferência antrópica. Detalhes dos experimentos e dessa ordenação são apresentados em Conceição et al. (2005) e Amado et al. (2007).

O estoque de matéria orgânica, expressa pelo índice de estoque de C (estoque de C no sistema agrícola/estoque de C no campo nativo), a atividade biológica expressa pela evolução de CO<sub>2</sub> diária (respiração) e a estabilidade de agregados foram os indicadores de qualidade mais sensíveis às mudanças induzidas pelos sistemas de manejo, especialmente no momento da



**Figura 2.** Ordenação teórica dos tratamentos quanto ao uso de adubos verdes e os níveis de qualidade do solo em experimentos de longa duração em Santa Maria, RS – 10 anos (A), e em Eldorado do Sul, RS – 15 anos (B).

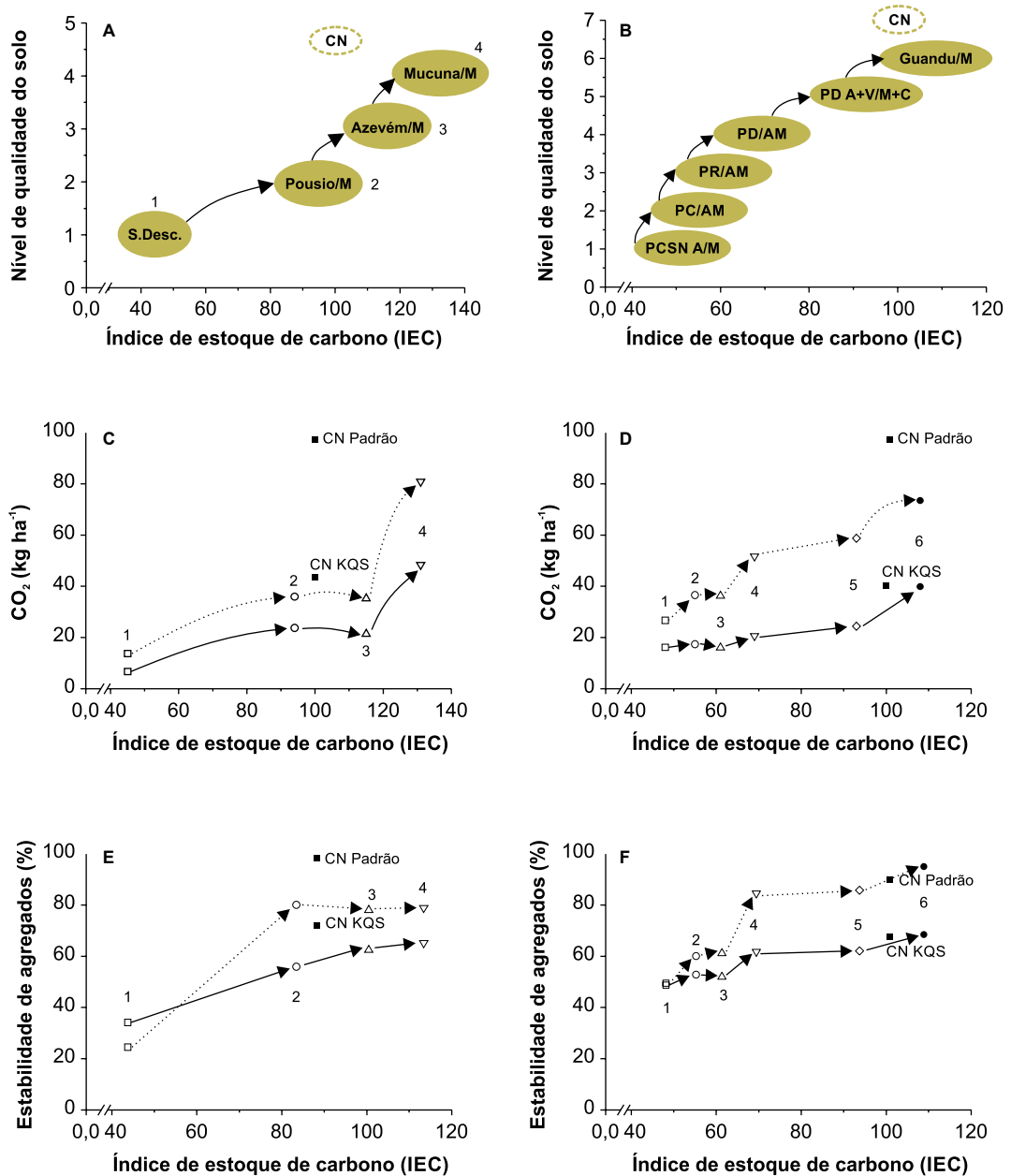
utilização de adubos verdes (Figura 3). Assim, os níveis mais altos de qualidade do solo foram alcançados, em ambas as áreas investigadas, quando houve a associação do sistema plantio direto com o uso de adubos verdes, com destaque para as leguminosas tropicais (mucuna e guandu) e para o uso de consórcio (aveia-preta + ervilhaca/milho + caupi). Por sua vez, os níveis mais baixos de qualidade do solo foram verificados quando houve manutenção do solo descoberto (Santa Maria) ou em pousio de inverno (Eldorado do Sul). Utilizou-se nesse trabalho o kit de qualidade do solo proposto pelo United States Department of Agriculture – Usda (Estados Unidos, 2001) e a metodologia tradicional da ciência do solo para avaliar o comportamento dos tratamentos investigados (Figura 3). A recuperação do estoque de C da camada superficial do solo, verificada com maior intensidade quando foram utilizados adubos verdes, foi o processo-chave para a melhoria da qualidade do solo em sistemas agrícolas (Amado et al., 2007).

A dinâmica do carbono sob sistema de cultivos de grãos tem sido considerada como o indicador mais sensível de alteração da qualidade do solo (Conceição et al., 2005; Sá; Lal, 2009; Ferreira et al., 2013; Sá et al., 2015). Esse fato deve-se a influência direta do C orgânico do solo em numerosas propriedades do solo, como físicas (densidade, retenção de água no solo, permeabilidade, capacidade de disponibilidade de água, agregação, resistência à compactação, calor e temperatura), químicas (reserva de nutrientes, pH, capacidade de troca de cátions, capacidade tampão, formação de quelatos), biológicas (biomassa microbiana, atividade biológica, biofrações lábeis de nutrientes) e ecológicas (biodiversidade, sequestro de C, resiliência e formação de complexos organometálicos que reduzem a atividade de elementos xenobióticos).

No experimento da UFSM, Ferreira et al. (2013) observaram que relação de estratificação do carbono (0-5: 5-15 cm) foi superior em sistemas com utilização das seguintes plantas de cobertura: milho + feijão-de-porco (*Zea mays* L. + *Canavalia ensiformis*), milho + mucuna-cinza (*Zea mays* L. + *Stizolobium cinereum* Piper & Tracy) e milho + nabo-forageiro (*Zea mays* L. + *Raphanus sativus* var. *oleiferus* Metzg.), enquanto o pousio e a sucessão foram desfavoráveis no incremento da qualidade do solo. A relação de estratificação crítica do Argissolo com utilização de plantas de cobertura foi de 1,7, ou seja, a partir desse valor os sistemas indicaram manutenção/ascensão de qualidade e abaixo indicaram declínio. Enfim, esses índices foram sensíveis para distinguir a qualidade do solo a partir do uso de diferentes culturas de cobertura.

## Adubos verdes para descompactação biológica do solo

A compactação é um dos principais processos de degradação dos solos agrícolas (Horn et al., 2003) e é expressa pelo aumento da densidade do solo e pela redução do seu espaço poroso, em resposta a um histórico de cargas ou pressões exercidas na sua superfície, pelo frequente



**Figura 3.** Qualidade do solo e suas relações com o índice de manejo de carbono (A, B), respiração do solo (C, D) e estabilidade de agregados (E, F), avaliados pelo kit de qualidade do solo (linha cheia) e metodologia tradicionalmente utilizada na ciência do solo (linha pontilhada) em Santa Maria, RS (A, C, E), e Eldorado do Sul, RS (B, D, F).

Fonte: Amado et al. (2007).

trânsito de máquinas ou animais (Baver et al., 1972), especialmente em condições de elevada umidade (Silva et al., 2002). No SPD, a compactação tem sido sugerida como uma das causas de limitação do rendimento das culturas de grãos (Amado et al., 2005).

A escarificação mecânica esporádica tem sido recomendada para eliminar a compactação do solo em áreas de plantio direto consolidado (Camara; Klein, 2005b). O uso do escarificador tem por objetivos: aumentar a porosidade, reduzir a densidade e, ao mesmo tempo, romper as crostas superficiais e camadas subsuperficiais compactadas (Kochhann; Denardin, 2000). Camara e Klein (2005a) observaram que a escarificação de solo compactado sob SPD reduziu a densidade do solo e melhorou a condutividade hidráulica e a taxa de infiltração de água. O efeito da escarificação é temporário, portanto o solo escarificado tende a se reconsolidar, retornando em curto espaço de tempo à sua condição original (Busscher et al., 2002), exigindo a utilização regular da escarificação. Secco e Reinert (1997) observaram que o efeito residual da escarificação em um Latossolo de textura muito argilosa do Rio Grande do Sul não seria superior a 10 meses.

As condições do solo escarificado frequentemente se aproximam daquelas observadas em áreas de preparo convencional (PC), com redução dos estoques de C orgânico do solo e menor disponibilidade de N (Lovato et al., 2004), além da exposição do solo à erosão. Por esse motivo, o uso frequente do escarificador como método de descompactação do solo sob SPD tem enfrentado resistência por parte dos produtores rurais e da assistência técnica do Rio Grande do Sul (A compactação..., 2006).

Além dos métodos mecânicos, existe a alternativa de uso de plantas de cobertura com sistema radicular pivotante e bem desenvolvido (método biológico), como o nabo-forageiro, com capacidade de crescer em camadas compactadas, formar bioporos estáveis e melhorar os atributos físicos do solo (Cubilla et al., 2002). Kubota et al. (2005), em avaliação realizada após o manejo do nabo-forageiro, não observaram efeito imediato da cultura de cobertura na melhoria das condições físicas de um Argissolo de textura média e, ao contrário, verificaram aumento da densidade do solo na camada de 0 m a 0,05 m. Esse efeito foi atribuído pelos autores à pressão exercida no solo pelas raízes do nabo-forageiro, por causa do grande diâmetro de sua raiz pivotante principal. No entanto, em avaliação posterior realizada após a colheita da cultura da soja, os mesmos autores observaram aumento da macroporosidade, da porosidade total e da estabilidade de agregados do solo em áreas que anteriormente receberam nabo-forageiro no inverno, em relação àquelas onde foi cultivado trigo.

Para fins de cobertura do solo, a densidade de semeadura do nabo-forageiro recomendada é de 15 kg ha<sup>-1</sup> a 20 kg ha<sup>-1</sup> de sementes (Calegari, 1990). No entanto, alguns agricultores têm aumentado a densidade de semeadura do nabo-forageiro, para diminuir o diâmetro e aumentar o número de raízes pivotantes por unidade de área. Dessa maneira, teoricamente, ocorre redução da pressão lateral da raiz do nabo-forageiro sobre o solo e aumento do número de bioporos verticais formados pelas raízes após a sua decomposição.

A eficiência do método biológico também é dependente do estado inicial de compactação do solo. Mesmo os adubos verdes indicados para essa finalidade têm o desenvolvimento de suas raízes limitado quando o solo apresenta níveis críticos de densidade e resistência à penetração (Cubilla et al., 2002). Ao avaliarem a capacidade do sistema radicular de 22 espécies de plantas em se desenvolver em um substrato que apresentava 4,2 MPa de resistência à penetração, Materechera et al. (1991) observaram aumento do diâmetro e redução média de 90% no comprimento das raízes em relação ao tratamento com 0 MPa de resistência à penetração. No mesmo trabalho, os autores observaram uma correlação positiva entre o diâmetro da raiz e a capacidade de crescimento em solo compactado. Por essa razão, concluíram que o nabo-forrageiro apresentou maior potencial para atuar como escarificador biológico do que a aveia. Em um estudo desenvolvido em casa de vegetação utilizando um Latossolo com 527 g kg<sup>-1</sup> de argila, Cintra e Mielniczuk (1983) observaram que a raiz pivotante da soja não conseguiu penetrar numa camada de solo com densidade de 1,30 t m<sup>-3</sup>, enquanto a colza (*Brassica napus*) somente teve a sua raiz pivotante afetada quando a densidade do solo foi superior a 1,60 t m<sup>-3</sup>.

A investigação científica apresenta resultados contrastantes quanto ao efeito dos adubos verdes em promover a descompactação do solo. No noroeste do estado do Rio Grande do Sul, foi desenvolvido em Latossolo Vermelho de textura muito argilosa (641 g kg<sup>-1</sup> de argila) um experimento conduzido em conjunto pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) e pela Cooperativa Mista São Luiz (Coopermil), de Santa Rosa, RS. O objetivo era comparar a escarificação mecânica (escarificador de cinco hastes) e a biológica (nabo-forrageiro) no que se refere a amenizar o estado de compactação e potencializar os rendimentos das culturas da soja e do trigo. Maiores detalhes do trabalho podem ser encontrados em Nicoloso et al. (2008). Nesse experimento, os tratamentos testados foram plantio direto de aveia-preta (PD-Av), aveia-preta sob solo escarificado mecanicamente (Esc-Av), plantio direto de nabo-forrageiro e aveia-preta (PD-Nb + Av) e nabo-forrageiro e aveia-preta em solo escarificado (Esc-Nb + Av). A escarificação mecânica foi realizada antes da semeadura das plantas de cobertura de inverno, em 2006. Ao final do ciclo das plantas de cobertura de solo de inverno, elas foram dessecadas e a soja foi semeada em plantio direto. No inverno do ano seguinte, foi implantada a cultura do trigo em sucessão à soja em plantio direto.

A escarificação mecânica não aumentou a produção de matéria seca das plantas de cobertura de solo no inverno, no entanto a consorciação do nabo-forrageiro com a aveia-preta promoveu incremento na produção de matéria seca (Tabela 5). A maior produção de fitomassa observada nos consórcios de nabo-forrageiro e aveia-preta foi encontrada anteriormente por Giacomini et al. (2003) e Silva et al. (2007). Segundo Giacomini et al. (2003), o nabo-forrageiro beneficia-se da maior disponibilidade de N em solos anteriormente cultivados com leguminosas como a soja; esse fato reflete em aumento da produção de matéria seca do consórcio e em predomínio de fitomassa do nabo-forrageiro em relação à aveia-preta, o que também é observado por Nicoloso et al. (2008).

**Tabela 5.** Produção de matéria seca de plantas de cobertura de solo no inverno sob diferentes sistemas de manejo em Santa Rosa, RS, 2006.

Tratamento <sup>(1)</sup>	Matéria seca (Mg ha <sup>-1</sup> )
PD-Av	4,16b
PD-Nb + Av	7,88a
Esc-Av	4,80b
Esc-Nb + Av	8,52a

<sup>(1)</sup>PD-Av = aveia-preta em plantio direto; PD-Nb + Av = consórcio de nabo-forrageiro e aveia-preta em plantio direto; Esc-Av = aveia-preta em solo escarificado; Esc-Nb + Av = consórcio de nabo-forrageiro e aveia-preta em solo escarificado.

Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Fonte: Nicoloso et al. (2008).

Nicoloso et al. (2008) não encontraram diferença entre os valores de densidade do solo (Ds) observados em nenhuma das camadas de solo avaliadas. Na camada de 0 m a 0,05 m, o tratamento PD-Nb + Av apresentou um valor de Ds numericamente superior aos demais solos, incluindo o solo em sua condição original (Tabela 6). Tal resultado assemelha-se ao de Kubota et al. (2005), que observaram Ds maior na camada de 0 m a 0,05 m do solo após o uso do nabo-forrageiro. Trabalhando com solo de textura média, os autores atribuíram o aumento de Ds na camada mais superficial à pressão lateral exercida pelas raízes do nabo-forrageiro no solo, por causa do grande diâmetro de sua raiz pivotante principal. Kubota et al. (2005) utilizaram 20 kg ha<sup>-1</sup> de sementes de nabo-forrageiro, enquanto Nicoloso et al. (2008) utilizaram 30 kg ha<sup>-1</sup>. A maior população de plantas utilizada nesse trabalho teve como objetivo reduzir o diâmetro médio e aumentar o número de raízes do nabo-forrageiro por área, o que contribuiria para a redução da pressão causada pelo crescimento da raiz principal sobre o solo, além de aumentar o número de bioporos formados no solo após a decomposição dessas raízes. Tanto Kubota et al. (2005) quanto Nicoloso et al. (2008) observaram que o nabo-forrageiro reduziu a Ds na camada adjacente, de 0,05 m a 0,10 m. Por sua vez, o tratamento Esc-Av apresentou valores de Ds numericamente menores do que os demais tratamentos, embora a diferença não tenha sido significativa. Na média da camada de 0 m a 0,20 m, o tratamento Esc-Av reduziu a Ds em apenas 4,8% em relação ao tratamento PD-Av, 9 meses após a escarificação mecânica. Esse resultado assemelha-se ao de Camara e Klein (2005a), que observaram redução da Ds de 3,7%, 6 meses após a operação de escarificação.

Nicoloso et al. (2008) observaram que a porosidade do solo foi um indicador mais sensível às alterações induzidas pelos tratamentos do que a densidade do solo. A macroporosidade foi alterada em todas as camadas avaliadas, enquanto a microporosidade foi alterada apenas nas camadas de 0 m a 0,05 m e de 0 m a 0,20 m. A porosidade total somente teve alterações significativas na camada mais superficial do solo. Observou-se, ainda, que os tratamentos com nabo-forrageiro foram eficientes em aumentar a macroporosidade em todas as camadas avaliadas, enquanto o escarificador isoladamente apenas apresentou aumento de macroporosidade na camada de 0 m a 0,05 m. Tais resultados confirmam a limitada persistência do efeito do escarificador como

ferramenta de descompactação em solo de textura muito argilosa. Num período de apenas 9 meses, o solo retornou à sua condição original na camada de 0,05 m a 0,20 m.

**Tabela 6.** Densidade do solo (Ds), macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi) e porosidade total (Pt), em diferentes profundidade de um Latossolo Vermelho distroférico de textura muito argilosa, sob diferentes sistemas de manejo em Santa Rosa, RS, 2006.

Tratamento <sup>(1)</sup>	Ds (t m <sup>-3</sup> )	Ma	Mi (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	Pt
<b>0,0 m – 0,05 m</b>				
PD-Av	1,07	0,08 b	0,43 ab	0,52 b
PD-Nb+Av	1,12	0,12 ab	0,39 b	0,51 b
Esc-Av	1,00	0,13 ab	0,53 a	0,66 a
Esc-Nb+Av	1,06	0,14 a	0,47 ab	0,61 ab
<b>Inicial</b>	<b>1,09</b>	<b>0,07</b>	<b>0,45</b>	<b>0,52</b>
<b>0,05 m – 0,10 m</b>				
PD-Av	1,31	0,03 b	0,37	0,40
PD-Nb+Av	1,26	0,10 a	0,31	0,41
Esc-Av	1,20	0,04 b	0,42	0,46
Esc-Nb+Av	1,23	0,08 a	0,38	0,46
<b>Inicial</b>	<b>1,36</b>	<b>0,02</b>	<b>0,36</b>	<b>0,38</b>
<b>0,10 m – 0,15 m</b>				
PD-Av	1,36	0,03 b	0,39	0,42
PD-Nb+Av	1,37	0,06 a	0,32	0,37
Esc-Av	1,31	0,02 b	0,42	0,44
Esc-Nb+Av	1,34	0,06 a	0,35	0,41
<b>Inicial</b>	<b>1,33</b>	<b>0,03</b>	<b>0,37</b>	<b>0,40</b>
<b>0,15 m – 0,20 m</b>				
PD-Av	1,31	0,02 c	0,38 a	0,40
PD-Nb+Av	1,36	0,06 a	0,31 b	0,37
Esc-Av	1,28	0,03 bc	0,38 a	0,41
Esc-Nb+Av	1,40	0,04 ab	0,34 ab	0,39
<b>Inicial</b>	<b>1,32</b>	<b>0,02</b>	<b>0,39</b>	<b>0,41</b>
<b>0,0 m – 0,20 m</b>				
PD-Av	1,26	0,04 b	0,39 ab	0,43
PD-Nb+Av	1,28	0,08 a	0,34 b	0,42
Esc-Av	1,20	0,05 b	0,44 a	0,49
Esc-Nb+Av	1,26	0,08 a	0,39 ab	0,47
<b>Inicial</b>	<b>1,27</b>	<b>0,04</b>	<b>0,39</b>	<b>0,43</b>

<sup>(1)</sup>PD-Av = aveia-preta em plantio direto; PD-Nb + Av = consórcio de nabo-ferrageiro e aveia-preta em plantio direto; Esc-Av = aveia-preta em solo escarificado; Esc-Nb + Av = consórcio de nabo-ferrageiro e aveia-preta em solo escarificado.

Médias seguidas por letras distintas, na mesma coluna e profundidade, diferem pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

Fonte: Nicoloso et al. (2008).

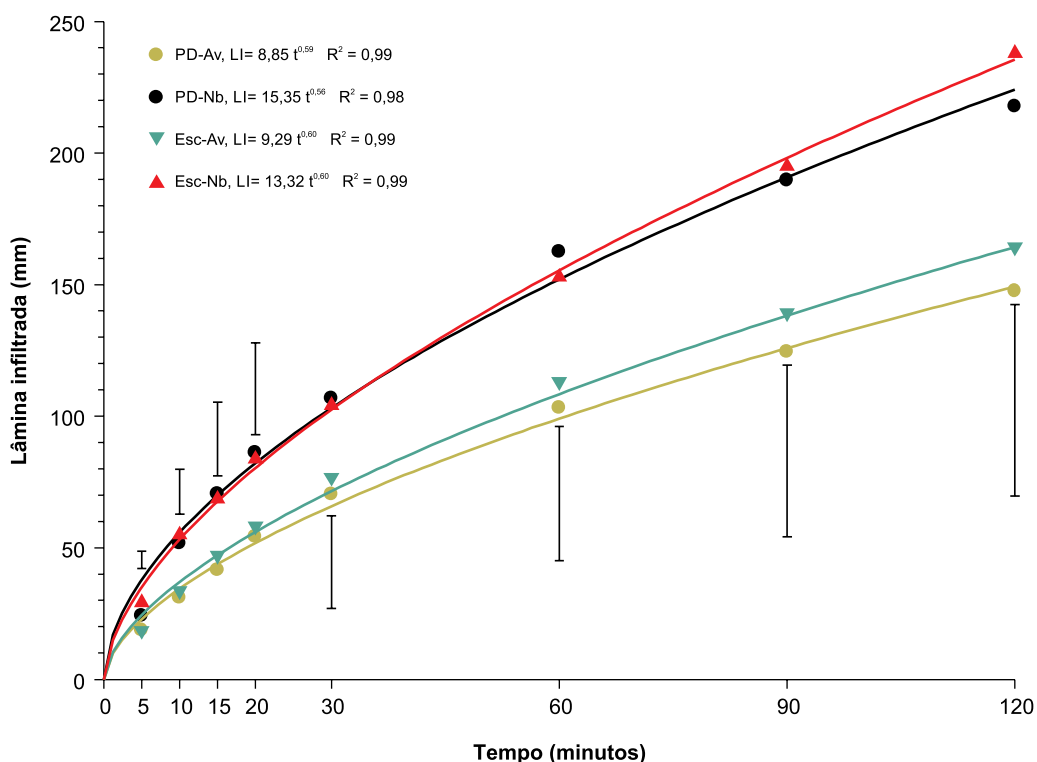


Por sua vez, o nabo-forageiro permitiu o aumento da macroporosidade quando foi utilizado como método único para descompactação do solo e quando foi associado ao escarificador. Nessa situação, as raízes do nabo-forageiro desenvolvidas no solo escarificado provavelmente evitaram a reconsolidação do solo e seu retorno ao estado de compactação original, conforme verificado no tratamento Esc-Av. Na média da camada de 0 m a 0,20 m, o nabo-forageiro (escarificação biológica), associado ou não ao uso do escarificador mecânico, duplicou os valores de macroporosidade do solo, em relação ao tratamento PD-Av e à condição original do solo, enquanto o uso do escarificador mecânico como método isolado de descompactação não promoveu aumento da macroporosidade nessa mesma camada. Nesse caso, infere-se que o efeito da escarificação biológica foi preponderante sobre a escarificação mecânica.

Como método isolado de descompactação, a escarificação mecânica não favoreceu a infiltração de água no solo (Nicoloso et al., 2008) (Figura 4). No entanto, o uso do nabo-forageiro, isoladamente ou associado à escarificação mecânica prévia do solo, aumentou a lâmina de água infiltrada no solo. Nos tratamentos PD-Nb + Av e Esc-Nb + Av, após 2 horas de avaliações, a lâmina de água infiltrada foi de 224 mm e 235 mm, respectivamente; enquanto, nos tratamentos PD-Av e Esc-Av, foi de 149 mm e 164 mm, respectivamente. O tratamento Esc-Av aumentou a lâmina de água infiltrada em apenas 10% em relação ao tratamento PD-Av, transcorridos 9 meses da sua operação. Secco e Reinert (1997) observaram que o efeito da escarificação mecânica não persistiu além de 10 meses, o que pode explicar a diferença entre os resultados de infiltração obtidos no presente trabalho com os de Camara e Klein (2005a).

Os tratamentos com escarificação biológica aumentaram, em média, 46,6% a lâmina de água infiltrada, em relação aos tratamentos sem nabo-forageiro (Nicoloso et al., 2008). Resultados distintos foram obtidos por Alves Sobrinho et al. (2003), que observaram redução da taxa de infiltração de água em um Latossolo com textura muito argilosa por meio do uso do nabo-forageiro, em relação à taxa de infiltração de água da aveia-preta. No entanto, Alves Sobrinho et al. (2003) realizaram as avaliações para determinação da infiltração de água no solo, logo após o manejo das plantas de cobertura de inverno. No trabalho de Nicoloso et al. (2008), a decomposição das raízes, ocorrida nos 4 meses transcorridos após o manejo das culturas de cobertura e as avaliações de infiltração de água, pode explicar o aumento da infiltração de água nos tratamentos PD-Nb + Av e Esc-Nb + Av. Os bioporos verticais formados pelas raízes do nabo têm alta estabilidade e, após a sua decomposição, atuam como canais preferenciais para a infiltração da água no solo e para o crescimento radicular das culturas econômicas implantadas posteriormente (Willians; Weil, 2004). Sasal e Andriulo (2005), à semelhança do verificado por Nicoloso et al. (2008), observaram que o nabo-forageiro também aumentou as taxas de infiltração de água no solo, em um Argissolo da Argentina.

O aumento da macroporosidade do solo (Sasal; Andriulo, 2005), a maior estabilidade (Willians; Wiel, 2004) e a continuidade e verticalidade (Sasal et al., 2006) dos bioporos formados pelo sistema radicular do nabo-forageiro são determinantes para o aumento da infiltração de água no solo.



**Figura 4.** Lâmina de água infiltrada em um Latossolo Vermelho distroférico de textura muito argilosa sob diferentes sistemas de manejo em Santa Rosa, RS, 2006.

PD-Av = aveia-preta em plantio direto; PD-Nb + Av = consórcio de nabo-forrageiro e aveia-preta em plantio direto; Esc-Av = aveia-preta em solo escarificado; Esc-Nb + Av = consórcio de nabo-forrageiro e aveia-preta em solo escarificado.

As barras verticais correspondem à diferença mínima significativa pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Fonte: Nicoloso et al. (2008).

O maior rendimento de soja foi obtido no tratamento Esc-Nb + Av ( $3,73 \text{ mg ha}^{-1}$ ), que não diferiu de PD-Nb + Av, com produtividade 7,5% superior à média dos demais tratamentos (Nicoloso et al., 2008) (Tabela 7). O maior rendimento de soja observado no tratamento Esc-Nb + Av pode ser atribuído à interação dos seguintes fatores: maior cobertura de solo e maior produção de fitomassa (Tabela 5), melhores condições físicas (Tabela 6) e maior infiltração de água no solo (Figura 4), bem como, possivelmente, maior taxa de mineralização da matéria orgânica do solo escarificado (Lovato et al., 2004), uma vez que o tratamento PD-Nb + Av apresentava cobertura de solo e condições físicas e de infiltração de água no solo semelhantes às daquele tratamento. Além disso, os maiores valores de macroporosidade do solo (Tabela 6) observados nos tratamentos Esc-Nb + Av e PD-Nb + Av podem ter implicado uma drenagem mais rápida e melhor oxigenação do solo, o que pode ter contribuído para o maior rendimento de soja no ano de 2006, em que ocorreram elevadas precipitações durante o ciclo da cultura.

**Tabela 7.** Rendimento de grãos de soja em um Latossolo Vermelho distroférico de textura muito argilosa sob diferentes sistemas de manejo em Santa Rosa, RS, 2007.

Tratamento <sup>(1)</sup>	Produtividade de grãos (mg ha <sup>-1</sup> )
PD-Av	3,45b
PD-Nb+Av	3,49ab
Esc-Av	3,47b
Esc-Nb+Av	3,73a

<sup>(1)</sup>PD-Av = aveia-preta em plantio direto; PD-Nb+Av = consórcio de nabo-forageiro e aveia-preta em plantio direto; Esc-Av = aveia-preta em solo escarificado; Esc-Nb+Av = consórcio de nabo-forageiro e aveia-preta em solo escarificado.

Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Fonte: Nicoloso et al. (2008).

O efeito do nabo-forageiro como planta descompactadora foi observado também na cultura do trigo (Nicoloso et al., 2008) (Tabela 8), um ano após a aplicação dos tratamentos. Isso demonstra que, mais uma vez, os bioporos formados por esse adubo verde têm alta estabilidade e continuam beneficiando o rendimento das culturas econômicas subsequentes. Em contraste, a escarificação mecânica, como técnica isolada para amenizar a compactação do solo, demonstrou limitada eficiência, com rendimentos de trigo intermediários e próximos ao tratamento testemunha.

Em resumo, a escarificação biológica (nabo-forageiro + aveia-preta) aumentou a macroporosidade do solo, diminuiu a resistência do solo à penetração e melhorou a infiltração de água no solo, em um Latossolo de textura muito argilosa, inicialmente compactado. Foi também alternativa eficiente para aumentar a persistência no que se refere à melhoria das condições físicas do solo induzidas pela escarificação mecânica. Em um ano com precipitação elevada, o tratamento que combinou escarificação mecânica e biológica do solo apresentou os maiores rendimentos de soja e trigo, não diferindo do SPD com apenas escarificação biológica.

**Tabela 8.** Rendimento de grãos de trigo em um Latossolo Vermelho distroférico de textura muito argilosa sob diferentes sistemas de manejo em Santa Rosa, RS, 2007.

Tratamento <sup>(1)</sup>	Rendimento de grãos (mg ha <sup>-1</sup> )
PD-Av	2,20b
PD-Nb+Av	2,57a
Esc-Av	2,30ab
Esc-Nb+Av	2,58a

<sup>(1)</sup>PD-Av = aveia-preta em plantio direto; PD-Nb+Av = consórcio de nabo-forageiro e aveia-preta em plantio direto; Esc-Av = aveia-preta em solo escarificado; Esc-Nb+Av = consórcio de nabo-forageiro e aveia-preta em solo escarificado.

Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% probabilidade.

Fonte: Nicoloso et al. (2008).

## Ciclagem de nutrientes e fertilização em sistemas de produção de grãos

A maior ciclagem de nutrientes por adubos verdes deve-se à sua elevada capacidade de absorção, em razão do desenvolvido sistema radicular, com capacidade de trazer à superfície nutrientes de camadas mais profundas, além de promover a liberação de ácidos orgânicos, que aumentam a disponibilidade de nutrientes; a associação com micorrizas, que expande o sistema radicular; e a modificação química da rizosfera, que favorece a absorção de nutrientes.

A fitomassa dos adubos verdes, ao ser decomposta pela atividade biológica do solo, disponibiliza gradualmente os nutrientes acumulados para as culturas de grãos em sucessão, seguindo uma taxa aproximadamente semelhante à da decomposição da fitomassa, com exceção do K, que tem liberação ainda mais rápida (Mielniczuk, 1998). Em condições de clima tropical e subtropical, a velocidade de decomposição dos resíduos é rápida, mesmo quando eles são deixados na superfície do solo. Portanto, não há necessidade de incorporar os resíduos de adubos verdes ao solo por meio do preparo, para que os nutrientes sejam liberados em sincronia com a demanda das culturas de grãos. Esse fato é relevante, pois possibilita conciliar o interesse da conservação do solo com os da fertilidade e nutrição de plantas.

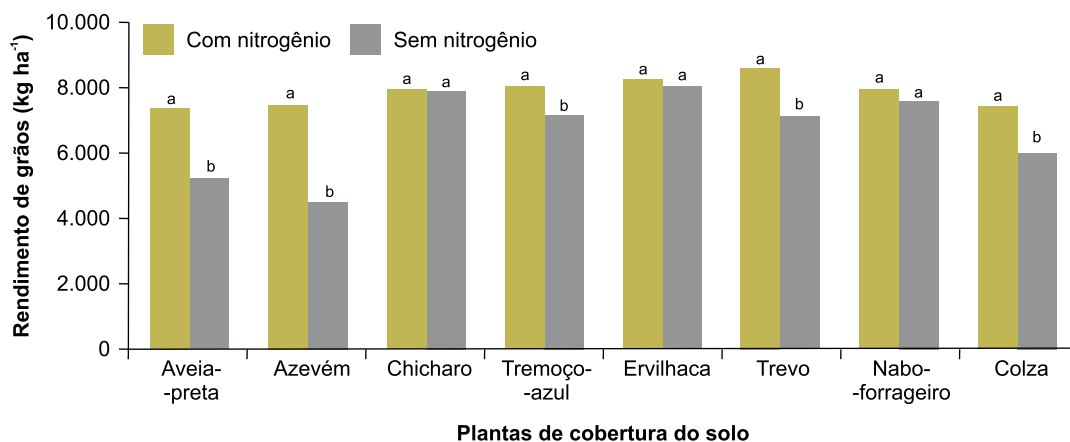
A quantidade de nutrientes contidos na fitomassa é variável e depende da espécie de adubo verde utilizado, da fertilidade do solo e das demais condições que afetam o desenvolvimento vegetal. A utilização de ervilhaca, ervilha-forrageira, tremoço e nabo-forrageiro, como adubos verdes de inverno, antecessores ao milho, tem proporcionado, além do requerido aporte de fitomassa, significativa quantidade de nutrientes fixados e/ou ciclados (Tabela 9). O desempenho dos adubos verdes na melhoria da fertilidade do solo varia de acordo com os seguintes fatores: produção de fitomassa, histórico do SPD (tempo de adoção), nível de fertilidade do solo, clima (temperatura e precipitação), época de semeadura e estágio do adubo verde na época do manejo e de ocorrência de pragas e doenças, entre outros. Para ilustrar essa variabilidade de produção de fitomassa, no ano agrícola 1995–1996 observou-se a ocorrência de um inverno seco com baixas precipitações. Nesse caso, a produção de massa seca e a ciclagem de nutrientes dos adubos verdes foram limitadas pela disponibilidade hídrica. Em 1996–1997, as condições climáticas mostraram-se mais favoráveis ao crescimento e ao desenvolvimento dos adubos verdes de inverno, com incremento na produção de massa seca e na ciclagem de nutrientes. Nesse contexto, o consórcio de adubos verdes é importante para minimizar a alternância interanual na produção de fitomassa, determinada pelas condições climáticas e pela ocorrência de pragas e doenças.

A possibilidade de redução da adubação nitrogenada no milho, quando cultivado sob resíduos culturais de leguminosas e crucíferas com baixa relação C:N, já foi amplamente comprovada (Costa, 1993; Fiorin et al., 1998) (Figuras 5 e 6). Nota-se pela Figura 5 que os maiores rendimentos

**Tabela 9.** Produção de massa seca (MS) e ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura do solo de inverno. Fundação Centro de Experimentação e Pesquisa (Fundacep), Cruz Alta, RS.

Planta de cobertura	MS	N	Relação C:N	P	K	Ca	Mg
	(kg ha <sup>-1</sup> )						
<b>Ano 1995–1996</b>							
Ervilhaca	3.268	98	13	15	156	34	9
Tremoço-azul	3.411	94	14	17	131	44	17
Nabo-forrageiro	4.646	110	15	27	204	85	27
Aveia + ervilhaca	3.473	89	15	16	154	31	8
Aveia-preta	3.307	62	21	13	106	12	6
<b>Ano 1996–1997</b>							
Ervilhaca	6.490	198	13	24	239	59	22
Tremoço-azul	7.093	164	18	24	205	84	37
Nabo-forrageiro	7.188	166	17	17	204	106	42
Aveia + ervilhaca	8.644	188	19	25	249	54	23
Aveia-preta	6.995	82	43	14	143	23	13

Fonte: Fiorin et al. (1998).

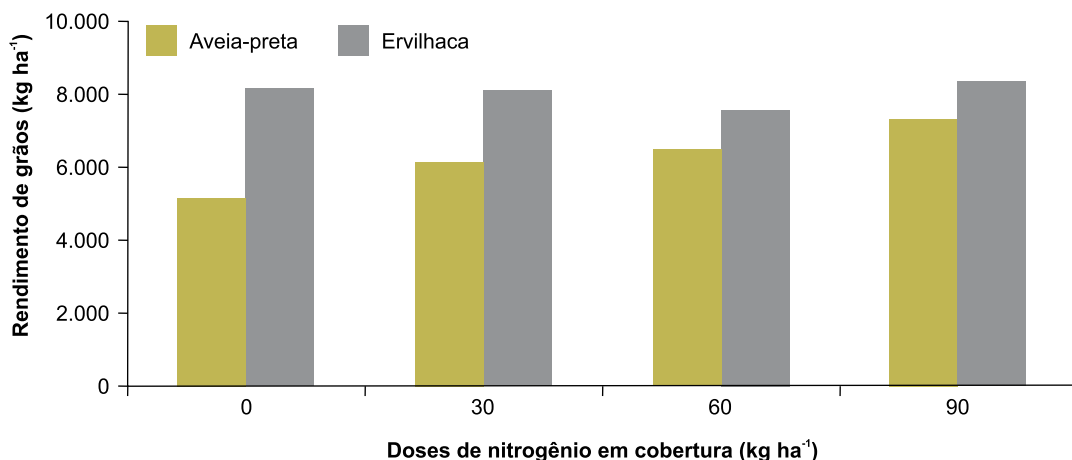


**Figura 5.** Rendimento de grãos de milho, cultivado com (30 kg de N na semeadura + 60 kg de N em cobertura) e sem adubação nitrogenada, sobre diferentes plantas de cobertura de inverno no sistema plantio direto. Fundação Centro de Experimentação e Pesquisa (Fundacep), Cruz Alta, RS.

Médias seguidas por letras minúsculas iguais não diferem entre si pelo teste de Duncan, a 5% de significância.

Fonte: Fiorin et al. (1998).

de milho foram alcançados em sucessão às leguminosas – ervilhaca, chícharo (*Lathyrus sativus* L.), tremoço-azul e trevo-vesiculoso (*Trifolium vesiculosum* Savi) – e ao nabo-forrageiro. As diferenças de rendimento do milho induzidas pelos adubos verdes são ampliadas em ausência de adubação nitrogenada mineral. Após a aveia-preta, o azevém e a colza, observaram-se os menores



**Figura 6.** Rendimento de grãos de milho cultivado sobre resteva de aveia-preta e ervilhaca em diferentes doses de nitrogênio em cobertura em Cruz Alta, RS.

Médias seguidas por letras minúsculas iguais não diferem entre si pelo teste de Duncan, a 5% de significância.

rendimentos de milho e as maiores diferenças quando se comparam tratamentos com e sem adubação nitrogenada.

Na Figura 6, observa-se que as doses de N mineral aplicadas apresentaram maior efeito quando o milho foi cultivado após a aveia-preta. Nesse caso, houve um aumento no rendimento de milho até a maior dose aplicada (90 kg ha<sup>-1</sup>). A ausência de resposta às doses de N após ervilhaca provavelmente foi devida ao incremento de N pela leguminosa por meio da fixação biológica. Mesmo nas maiores doses de N mineral, a aveia-preta não alcançou o rendimento observado após a ervilhaca. Esse fato provavelmente deve-se ao incremento da qualidade do solo após a ervilhaca, definido como efeito rotação, que incrementa o teto de rendimento do milho em relação ao alcançado com a aveia-preta.

O uso de leguminosas de inverno e do nabo-forrageiro possibilitou uma redução de 50% a 70% no requerimento de adubação nitrogenada na cultura do milho (Fiorin et al., 1998).

Com o objetivo de orientar a utilização de adubação nitrogenada na presença de adubos verdes em sistemas de produção de grãos, Amado et al. (2002) sugeriram utilizar a produção de fitomassa e a espécie de adubo verde para, juntamente com o teor de matéria orgânica e com a expectativa de rendimento do milho, determinar a adubação mineral complementar (Tabela 10).

O intervalo de tempo entre o manejo das plantas de cobertura de inverno e a semeadura do milho cultivado em sucessão tem influenciado o rendimento alcançado. Esse fato está associado, principalmente, a dois aspectos (Fiorin, 1999): primeiro pela imobilização de N pelos microrganismos do solo, processo que se intensifica a partir da adição dos resíduos ao solo e, segundo pelos efeitos alelopáticos de compostos orgânicos que são liberados durante o processo da decomposição da fitomassa de certos adubos verdes, como o azevém.

Com relação à imobilização de N pelos microrganismos do solo, no início da decomposição dos resíduos, principalmente de espécies com alta relação C:N, há um pico de imobilização (imobilização > mineralização), acompanhado de um decréscimo temporário de N mineral do solo. Nesse processo, deve-se considerar que os microrganismos são mais eficientes que as plantas em utilizar o N do solo. Com o passar do tempo, acontece a liberação do N anteriormente imobilizado pelos microrganismos, porém, muitas vezes em assincronia com a demanda das culturas, especialmente aquelas que são exigentes no que se refere a esse nutriente. Assim, a liberação do N acumulado na fitomassa de aveia muitas vezes ocorre somente no florescimento do milho quando o potencial de rendimento já pode estar comprometido. Isso ocorre pelo fato de esse potencial ser definido nos primeiros dias após a emergência. Considerando-se isso, o manejo de adubos verdes pertencentes à família das gramíneas deve proporcionar um maior espaço de tempo para a semeadura do milho. Porém, esse período não pode ser tão longo que venha causar implicações negativas quanto aos manejos de plantas daninhas, de insetos nocivos e da época de semeadura mais recomendada para o milho. Na sucessão gramínea de inverno/milho, deve-se dar maior atenção ao manejo da adubação nitrogenada de arranque. Assim, a dose de N no momento da semeadura deve ser de pelo menos  $30 \text{ kg ha}^{-1}$ , o que reduz o efeito de imobilização de N, assim como a primeira dose da adubação de N em cobertura pode ser antecipada.

Já com relação aos efeitos alelopáticos, esses inibem e/ou prejudicam a germinação e o desenvolvimento inicial da cultura subsequente. Nesse caso específico, quanto maior o espaço de tempo entre o manejo do adubo verde de inverno e a semeadura do milho, menores serão os efeitos das substâncias alelopáticas, pois haverá tempo para que sejam neutralizadas por reações bioquímicas no solo ou lixiviadas para camadas mais profundas.

A intensidade do efeito alelopático tem variado de acordo com os seguintes aspectos: época de semeadura do milho (cedo – agosto/setembro – ou tarde – novembro/dezembro), ano (temperatura e precipitação), quantidade e qualidade de fitomassa aportada e estágio do adubo verde no momento do manejo e, principalmente, da espécie utilizada. De modo geral (Figura 7), houve melhor resposta ao intervalo de 10 dias entre a semeadura do milho e o manejo das leguminosas (ervilhaca e tremoço-azul) e do nabo-forrageiro. A redução no rendimento do milho alcançou até  $1.500 \text{ kg ha}^{-1}$ , quando os manejos de ervilhaca e tremoço-azul foram feitos no mesmo dia da semeadura do milho. Entre os adubos verdes avaliados, o nabo-forrageiro foi o que apresentou menor necessidade de intervalo em relação ao cultivo seguinte. Para as gramíneas de inverno (aveia-preta e azevém), o intervalo de 20 dias entre o manejo e a semeadura do milho apresentou incremento de rendimento de até  $1.000 \text{ kg ha}^{-1}$ , quando comparado ao manejo no mesmo dia da semeadura. Esses resultados são atribuídos aos efeitos conjugados de redução da imobilização de N do solo e de alelopatia pela decomposição de resíduos vegetais.

**Tabela 10.** Recomendação de adubação nitrogenada para o milho adaptada ao sistema plantio direto e ao uso de culturas de cobertura no Rio Grande do Sul e Santa Catarina.

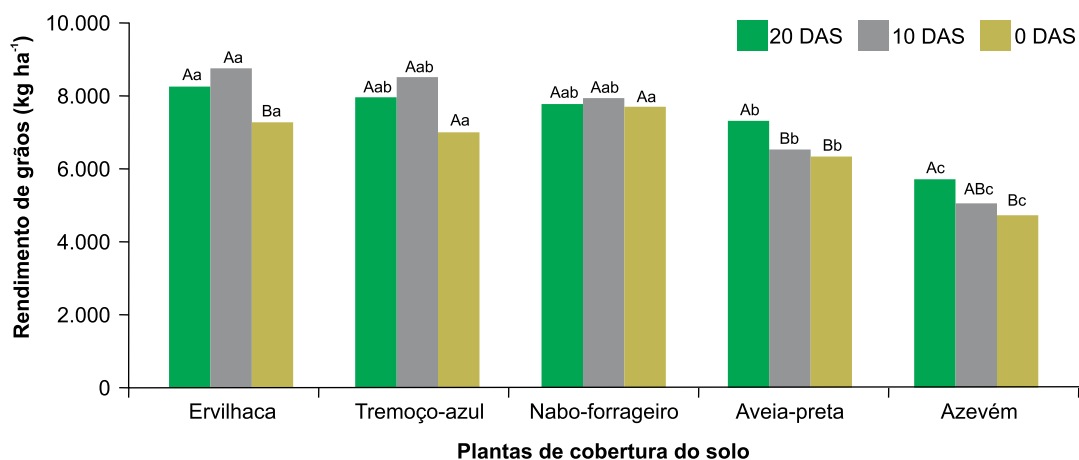
Cultura de cobertura anterior <sup>(2)</sup>	Expectativa de produtividade de grãos de milho (t ha <sup>-1</sup> ) <sup>(1)</sup>					
	< 3		3-6		6-9	
	Matéria orgânica do solo (%)					
	< 2,5	2,5-5,0	> 5,0	< 2,5	2,5-5,0	> 5,0
	(kg N ha <sup>-1</sup> )					
<b>Leguminosa<sup>(3)</sup></b>						
Baixa produtividade	40	30	20	80	70	50
Média produtividade	20	0	0	60	50	<40
Alta produtividade	0	0	0	50	40	<30
<b>Consórcio<sup>(4)</sup></b>						
Predomínio gramínea	60	40	<30	100	80	60
Equilibrada	40	30	20	80	70	50
Predomínio leguminosa	20	0	0	60	50	<40
<b>Gramínea<sup>(5)</sup></b>						
Baixa produtividade	80	60	<40	110	90	<65
Média produtividade	80	60	<40	120	100	80
Alta produtividade	80	60	<40	140	100	80
Pousio inverno	80	60	<40	130	90	<65

<sup>(1)</sup>A expectativa de produtividade é baseada em anos com precipitação pluviual normal. <sup>(2)</sup>Milho em rotação anual durante o verão com a soja poderá ter a recomendação de adubação nitrogenada reduzida em até 20%. <sup>(3)</sup>Leguminosas: baixa produtividade de matéria seca (MS) < 2 t ha<sup>-1</sup>; média produtividade de MS 2 t ha<sup>-1</sup>-3 t ha<sup>-1</sup>; alta produtividade de MS > 3 t ha<sup>-1</sup>. <sup>(4)</sup>Consorciação com predomínio de gramínea = ½ gramínea + ½ leguminosa; consorciação equilibrada (½ de leguminosa + ½ de gramíneas); consorciação com predomínio de leguminosa = ½ leguminosa + ½ gramínea. <sup>(5)</sup>Gramíneas: baixa produtividade de MS < 2 t ha<sup>-1</sup>; média produtividade de MS 2 t ha<sup>-1</sup>-4 t ha<sup>-1</sup>; alta produtividade de MS > 4 t ha<sup>-1</sup>.

Nabo-forrageiro pode ser considerado como uma leguminosa de média produtividade para solos com >2,5% de MOS e produtividade de MS >3,0 t ha<sup>-1</sup> e leguminosa de baixa produtividade para solos <2,5% de MOS e produtividade de MS <3,0 t ha<sup>-1</sup>.

Fonte: Amado et al. (2002).





**Figura 7.** Rendimento de milho em resposta a três épocas de manejo de diferentes plantas de cobertura do solo de inverno, Fundação Centro de Experimentação e Pesquisa (Fundacep), Cruz Alta, RS, 1995.

DAS = dias antes da semeadura do milho. Médias seguidas pelas mesmas letras, minúsculas (comparação entre plantas de cobertura dentro da mesma época de manejo) e maiúsculas (comparação entre épocas de manejo na mesma planta de cobertura), não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% probabilidade.

Fonte: Ruedell (1995).

Os resíduos de canola e de nabo-forageiro (Figura 8) também têm sido reportados como tendo efeito negativo no desenvolvimento inicial de soja, conforme informado por Sérgio Schneider (informação verbal)<sup>1</sup>.



Foto: Sérgio Schneider

**Figura 8.** Efeito alelopático do nabo-forageiro sobre a soja, em Santa Rosa, RS, 2007.

<sup>1</sup> Informação fornecida por Sérgio Schneider em reunião da Cooperativa São Luiz (Coopermil) de Santa Rosa, RS, em maio de 2007.

Em regiões onde se cultiva o milho “do cedo” (agosto/setembro), é comum a colheita ocorrer de janeiro até meados de fevereiro. Nesse caso, quando o sistema de rotação de culturas previr o cultivo de trigo no inverno, torna-se possível o cultivo de plantas de cobertura do solo de verão após o milho na entressafra, com os objetivos de cobertura do solo, ciclagem e/ou fixação de nutrientes e aporte de fitomassa. Na Tabela 11, observa-se o potencial dos adubos verdes no aporte de massa seca (carbono) e de nutrientes quando comparados à vegetação espontânea ou à produção de feijão. As maiores produções de massa seca foram obtidas no momento do cultivo das leguminosas de verão, com destaque para a crotalária-júncea. A acumulação de nutrientes na fitomassa variou de acordo com a espécie avaliada. A maior quantidade de N acumulada foi verificada no feijão-de-porco, seguida pela mucuna-preta e pela crotalária-júncea.

**Tabela 11.** Acúmulo de massa seca (MS) da parte aérea, nutrientes e relação carbono/nitrogênio (C:N) das culturas utilizadas entre milho e trigo. Fundação Centro de Experimentação e Pesquisa (Fundacep), Cruz Alta, RS, 1996.

Adubo verde	MS	C	N	P	K	Ca	Mg	C:N
	(kg ha <sup>-1</sup> )							
Mucuna-preta	4.877ab	1.915b	146a	14,9a	80ab	60b	20,4a	13
Crotalária-júncea	6.147a	2.624a	138ab	13,8ab	104a	50bc	24,2a	20
Feijão-de-porco	4.226b	1.700b	154a	10,6bc	85a	93a	23,3a	11
Guandu-anão	3.857bc	1.624b	108bc	10,7b	62bc	32cd	12,6b	16
Nabo-forrageiro	2.986cd	1.019c	88c	9,3c	96a	62b	21,4a	11
Feijão-preto	2.218d	870c	24d	2,6d	50c	22de	12,6b	36
Vegetação espontânea	338e	116d	10d	1,1d	14d	3e	2,8c	11

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan, a 5% de probabilidade.

Fonte: Bianchi et al. (1997).

No acúmulo de fósforo (P), destacaram-se a mucuna-preta e a crotalária-júncea. Já o potássio (K) foi absorvido em maior quantidade pela crotalária-júncea, pelo nabo-forrageiro, pelo feijão-de-porco e pela mucuna-preta. O feijão-de-porco absorveu a maior quantidade de cálcio (Ca). Por sua vez, a crotalária-júncea, o feijão-de-porco, o nabo-forrageiro e a mucuna-preta foram as culturas que mais absorveram magnésio (Mg) do solo. A ciclagem desses nutrientes promovida pelos adubos verdes será importante, por exemplo, na nutrição do trigo cultivado na sequência, pois, durante o período de inverno, não estarão sujeitos a perdas por erosão ou lixiviação.

A utilização de adubos verdes no outono possibilita a redução da adubação nitrogenada mineral na cultura do trigo. Os adubos verdes (feijão-de-porco, nabo-forrageiro, guandu-anão, crotalária-júncea e mucuna-preta) proporcionaram rendimentos de trigo superiores aos obtidos com feijão-preto (*Phaseolus vulgaris* L.) e vegetação espontânea (Tabela 12). Nesse caso, o nabo-forrageiro apresentou um efeito semelhante ao das leguminosas na economia da adubação nitrogenada no trigo.

**Tabela 12.** Rendimento de grãos de trigo, em resposta às culturas que o antecederam e à adubação nitrogenada de cobertura. Fundação Centro de Experimentação e Pesquisa (Fundacep), Cruz Alta, RS, 1996.

Planta de cobertura e cultura	Recomendação de N em cobertura (%) <sup>(1)</sup>						Média
	0	25	50	75	100	125	
	<b>Rendimento de grãos (kg ha<sup>-1</sup>)</b>						
Mucuna-preta	2.894	2.776	2.893	2.761	3.268	2.930	2.920ab
Crotalária-juncaea	3.077	2.820	3.008	3.151	2.816	2.864	2.957a
Feijão-de-porco	3.353	3.092	3.261	3.176	2.960	3.298	3.190a
Guandu-anão	2.992	2.989	3.117	3.416	3.144	2.820	3.080a
Nabo-forageiro	2.695	2.864	3.331	3.449	3.206	2.967	3.085a
Feijão-preto	2.636	2.280	2.742	2.658	2.842	3.063	2.703b
Vegetação espontânea	2.390	2.414	2.482	2.846	3.077	2.783	2.665b
<b>Média</b>	<b>2.862</b>	<b>2.748</b>	<b>2.976</b>	<b>3.066</b>	<b>3.045</b>	<b>2.960</b>	

<sup>(1)</sup>100% da recomendação = 45 kg ha<sup>-1</sup> de N em cobertura no perfilhamento do trigo.

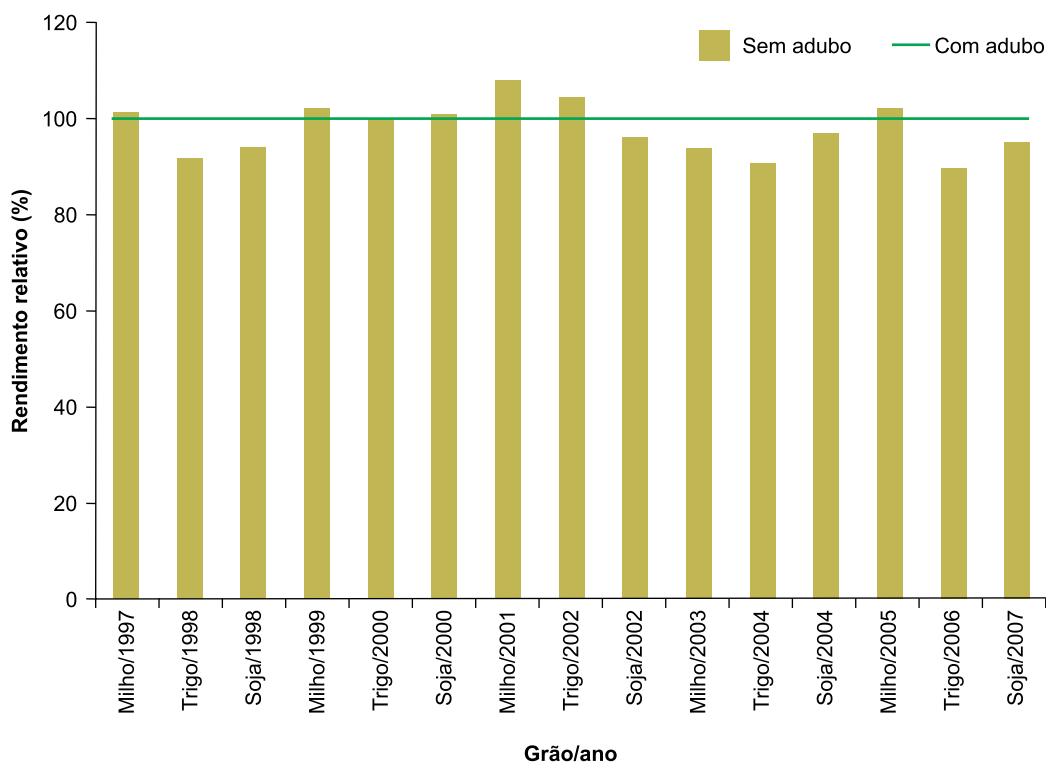
Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Duncan, a 5% de probabilidade.

Fonte: Bianchi et al. (1997).

Em SPD consolidado e com o uso intensivo de adubos verdes, a ciclagem de nutrientes na fitomassa pode ser muito intensa.

Em um experimento conduzido em Cruz Alta, RS, Fiorin (2007) avaliou o efeito da ciclagem de nutrientes proporcionada por adubos verdes de inverno e de verão, num sistema de rotação de culturas de soja, milho e trigo. O solo classificado como Latossolo Vermelho-Escuro (fase argilosa da unidade de mapeamento Passo Fundo) vem sendo manejado no SPD desde 1987. Os adubos verdes de inverno utilizados foram: aveia-preta, ervilhaca-comum, aveia-preta + ervilhaca, tremoço-azul e nabo-forageiro. Os adubos verdes de verão foram: nabo-forageiro e crotalária-júncea. A soja, o milho e o trigo foram as culturas utilizadas para a produção de grãos. A área é classificada como de alta fertilidade e a adubação foi realizada somente com P e K no tratamento ervilhaca + adubo mineral (50 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O), usado para repor aproximadamente a exportação das culturas de milho, trigo e soja. A adubação nitrogenada mineral foi utilizada para avaliar a contribuição dos adubos verdes. Foram comparados os tratamentos sem adubação com aqueles que receberam fertilização de P e K. Até o 5º ano do experimento em 2002, observou-se pequena diferença no rendimento relativo de grãos (milho, trigo e soja) (Figura 9). Assim, a intensa ciclagem de nutrientes promovida pelos adubos verdes foi suficiente para manter a produtividade das culturas de grãos por 6 anos (três ciclos de rotação de culturas), em relação ao tratamento com adição de P e K, em uma área de alta fertilidade. Esse resultado está provavelmente associado à redução das perdas de nutrientes por erosão e lixiviação, e ao melhor aproveitamento dos nutrientes existentes no solo. No entanto, a partir do 5º ano, nas áreas sem adubação houve redução de 9,6%, 6,5% e 11,1% na produtividade das culturas de milho, trigo e

soja, respectivamente, em relação à produtividade das áreas com adubação. Esse decréscimo é atribuído à exportação de nutrientes nos grãos, o qual vai gradativamente diminuindo a disponibilidade de nutrientes no solo, o que é fato esperado. No entanto, ficou evidenciado o potencial dos adubos verdes no que se refere a tornar o sistema produtivo menos dependente do uso de insumos externos, o que possibilita flexibilidade na reposição dos nutrientes exportados dependendo do fluxo de caixa da propriedade. A elevada ciclagem de nutrientes permite a adubação do sistema de culturas e não mais de cada cultura isoladamente. Assim, os agricultores podem aproveitar as condições de mercado (preço), a disponibilidade de mão de obra e de máquinas e as condições climáticas favoráveis para escolher o momento e a cultura na qual ocorrerá a reposição dos nutrientes exportados pelos grãos.



**Figura 9.** Rendimento relativo de grãos de milho, trigo e soja de áreas sem adubação (colunas na cor mostarda) em relação a áreas que recebem adubação com P e K (linha com rendimento relativo = 100%). Fundação Centro de Experimentação e Pesquisa (Fundacep), Cruz Alta, RS, 2005.

Fonte: Fiorin (2007).

A fertilização mineral dos adubos verdes de inverno, visando à posterior transferência dos nutrientes – via decomposição dos resíduos, para as culturas de grãos cultivadas na sequência –, tem proporcionado agilidade na semeadura de verão, melhor aproveitamento das condições de umidade, além de ausência de danos ao sistema radicular das culturas econômicas, ocasionado

por elevada concentração de fertilizantes na linha de semeadura. Além disso, o desenvolvido sistema radicular dos adubos verdes tem elevada capacidade de absorção de nutrientes, reduzindo a probabilidade de perdas dos nutrientes do sistema. Esses nutrientes absorvidos pelos adubos verdes serão utilizados para fazer fotossíntese, estimular a ciclagem de outros nutrientes, aumentar a fixação biológica de N pelas leguminosas, produzir mais matéria seca e estimular o desenvolvimento do sistema radicular, com reflexos positivos na infiltração de água, atividade biológica e estrutura do solo; portanto, esses nutrientes dos fertilizantes, ao retornarem ao solo na forma de fitomassa, apresentam um valor agregado muito grande, capaz de desencadear processos de reorganização do solo, que resultarão no aumento do potencial produtivo.

## Incremento do rendimento e da rentabilidade proporcionados pelos adubos verdes

Na região Sul, e também na maioria das demais regiões agrícolas do Brasil, tem-se observado, nas lavouras comerciais de verão, uma predominância da cultura da soja em relação ao milho ou a outras culturas de grãos (Tabela 13). Esse fato está associado a questões de mercado, de preferência dos agricultores e de especialização do sistema produtivo. No entanto, vários trabalhos de pesquisa, aliados às experiências dos produtores, demonstram que a monocultura da soja eleva os custos de produção, aumenta a dependência de uso de insumos externos e a necessidade de investimento em máquinas agrícolas, o que coloca em risco a sustentabilidade do sistema de produção (Ruedell, 1998).

**Tabela 13.** Número de propriedades comerciais com plantio de soja e milho por região agrícola<sup>(1)</sup>.

Cultura	Região 1	Região 2	Região 3	Região 4	Total
Soja	123	146	403	114	786
Milho	35	29	78	22	164
<b>Total</b>	<b>158</b>	<b>175</b>	<b>481</b>	<b>136</b>	<b>950</b>
Municípios	59	47	60	32	198

<sup>(1)</sup>Região 1 = Rio Grande do Sul, Santa Catarina e metade Sul do Paraná; Região 2 = metade Norte do Paraná, metade Sul do Mato Grosso do Sul, Sudoeste e Sudeste de São Paulo; Região 3 = Mato Grosso, metade Norte do Mato Grosso do Sul, parte dos estados de São Paulo, Minas Gerais e Goiás; Região 4 = Tocantins e parte dos Estados da Bahia, Maranhão, Piauí e Goiás.

Fonte: Bastos Filho et al. (2007).

Pesquisas que avaliam o balanço de C, por meio da utilização de medições micrometeorológicas, concluíram que a soja tem balanço neutro ou mesmo negativo, o que indica que a espécie não apresenta potencial para aumentar o teor de matéria orgânica (Verma et al., 2005; Escobar et al., 2007). Acresce-se a esse fato a baixa relação C:N dos resíduos, que se decompõem muito

rapidamente, e o sistema radicular pouco desenvolvido, que não favorece a formação de macrogregados, nem a infiltração de água e a aeração, além de não contribuir para a qualidade do solo de modo geral. No entanto, a soja é uma cultura rústica, com potencial de produção em solos de menor potencial produtivo que os requeridos por outras culturas mais exigentes como o milho, além de fixar biologicamente elevada quantidade de N, que tem reflexos positivos nas culturas subsequentes. O milho, por contribuir com grande quantidade de resíduos culturais e apresentar sistema radicular bem desenvolvido, tem sido uma cultura mais indicada para aumentar o teor de matéria orgânica e a qualidade do solo. Com base no exposto, fica evidenciada a necessidade de um esquema de rotação soja/milho. No entanto, a viabilidade técnica e econômica da cultura do milho depende do uso de adubos verdes, que permitem a obtenção de rendimentos competitivos, com redução do aporte de insumos externos, e resultam em menor custo de produção.

A rotação de culturas de grãos e o uso de adubos verdes devem ser atividades complementares no SPD. Tais atividades permitem, em primeiro lugar, que haja “planejamento das atividades da propriedade como um todo”. Além disso, possibilitam a redução dos custos fixos e variáveis e o aumento da rentabilidade (Fiorin, 2003b, 2007).

A rotação de culturas envolve os seguintes fatores: divisão da propriedade em glebas, seleção das culturas de grãos e de adubos verdes a serem utilizados, estabelecimento de uma sequência de culturas e avaliação da proporção de área a ser ocupada com cada cultura. Com base nesse conceito, que compreende tempo e espaço, os sistemas mais utilizados são um terço ( $1/3$ ) – dois terços ( $2/3$ ) ou um meio ( $1/2$ ) – um meio ( $1/2$ ), que representam diferentes proporções das culturas de grãos de verão que serão utilizadas nas glebas da propriedade (Fiorin; Campos, 1998). As leguminosas de inverno devem prioritariamente anteceder o milho, que é a cultura que apresenta a maior probabilidade de incremento no rendimento com essa prática, além de apresentar a maior probabilidade de economia como adubação nitrogenada.

Na Figura 10, ilustra-se um sistema um terço ( $1/3$ ) – dois terços ( $2/3$ ), um dos mais utilizados no Rio Grande do Sul. Nesse caso, a propriedade está dividida em três glebas. A cultura do milho ocupa uma gleba, enquanto a soja ocupa as outras duas glebas da propriedade no verão. A cada ano, a lavoura de milho muda de gleba. Dessa forma, em 3 anos, é completada a rotação e todas as glebas são cultivadas uma vez com milho. Nessa estratégia, em uma gleba a soja é cultivada em área que teve milho no ano anterior (soja de 1º ano após milho); enquanto na outra gleba, é cultivada em área que recebeu soja no ano anterior (soja de 2º ano após milho).

No inverno, em dois terços ( $2/3$ ) da propriedade, antes da cultura da soja, devem ser utilizadas gramíneas, tais como aveias, trigo, cevada e pastagens, em proporção variável, conforme o interesse do produtor. A utilização de culturas de grãos no período de inverno é interessante, visto que, embora tenha retorno econômico limitado, proporciona um giro de capital na propriedade e/ou reduz o custo de produção das culturas de soja e milho no verão.

Gleba	Ano 1		Ano 2		Ano 3	
	Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão
1	Trigo Aveia-preta Pastagem	Soja	Ervilhaca Nabo-forageiro Erv + Av	Milho Sorgo	Trigo Aveia-preta Pastagem	Soja
2	Trigo Aveia-preta Pastagem	Soja	Trigo Aveia-preta Pastagem	Soja	Ervilhaca Nabo-forageiro Erv + Av	Milho Sorgo
3	Ervilhaca Nabo-forageiro Erv + Av	Milho Sorgo	Trigo Aveia-preta Pastagem	Soja	Trigo Aveia-preta Pastagem	Soja

Figura 10. Exemplo de rotação de culturas com 1/3 de milho e 2/3 de soja.

Erv + Av = ervilhaca + aveia-preta.

Fonte: Fiorin e Campos (1998).

Na gleba restante da propriedade (1/3), pode ser utilizada ervilhaca, nabo-forageiro, aveia-preta + ervilhaca e consórcios de adubos verdes de inverno, antes da cultura do milho. O uso de leguminosas é muito importante por serem plantas fixadoras e/ou cicladoras de nutrientes no solo, bem como por proporcionarem uma “rotação de inverno”, que ameniza a predominância das gramíneas nesse período. Ressalta-se que, nos primeiros anos de adoção do SPD, deve-se ter cuidado quanto ao uso de leguminosas ou de nabo-forageiro de forma isolada, pois essas espécies, embora atendam à elevada demanda por N na fase de recuperação do teor de matéria orgânica, são de baixa relação C:N, com decomposição muito rápida, fato que pode comprometer a manutenção da cobertura do solo e o controle da erosão.

Na Figura 11, ilustra-se um sistema um meio (1/2) – um meio (1/2). Nesse caso, a cultura do milho ocupa 50%; e a cultura da soja, outros 50% da propriedade. No verão seguinte, a área em que foi cultivada a soja recebe o milho, e vice-versa. Nessa estratégia, o ciclo de rotação se completa a cada dois anos, quando toda a propriedade recebeu um cultivo de milho. A cultura da soja sempre é cultivada em área anteriormente plantada com milho (soja de 1º ano após milho). Nessa rotação, existe maior oportunidade para se trabalhar com diferentes adubos verdes e normalmente têm se verificado os melhores resultados no que se refere à recuperação do teor de matéria orgânica, qualidade do solo e manutenção da produtividade.



Gleba	Ano 1		Ano 1		
	Inverno	Verão/Outono	Inverno	Verão/Outono	
1	Ervilhaca Erv + Av Nabo-forageiro	Milho Sorgo	Nabo-forageiro Crotalária-júncea Feijão Soja	Trigo Cevada Aveia-preta	Soja
2	Trigo Cevada Aveia-preta	Soja	Ervilhaca Erv + Av Nabo-forageiro	Milho Sorgo	Nabo-forageiro Crotalária-júncea Feijão Soja

**Figura 11.** Rotação de culturas  $1/2$  de milho e  $1/2$  de soja.

Erv + Av = ervilhaca + aveia-preta.

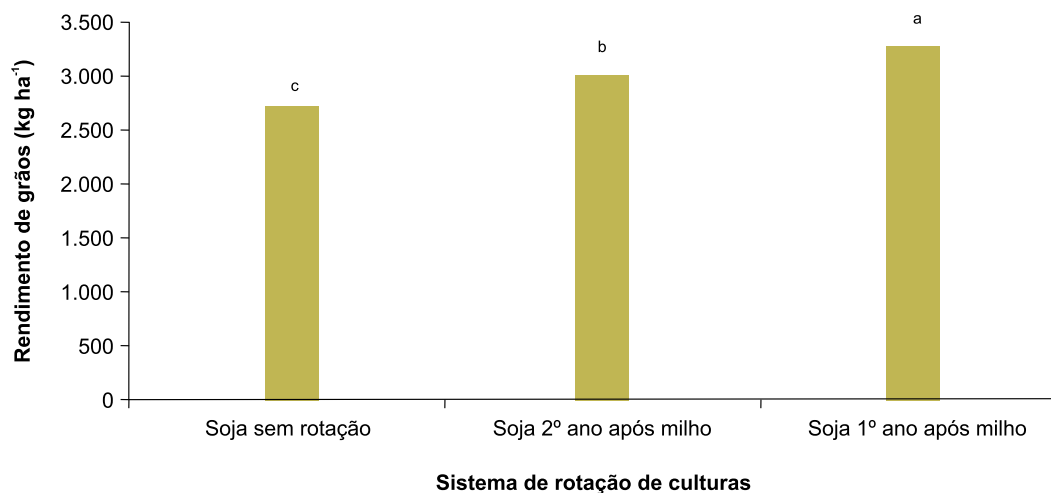
Fonte: Fiorin e Campos (1998).

Dependendo da região, na fronteira oeste do Rio Grande do Sul, por exemplo, onde existe a maior frequência de déficit hídrico no verão, ou da vocação e do interesse do produtor, a cultura do milho pode ser substituída pelo sorgo (granífero ou de pastejo) ou por milheto para corte ou pastejo.

A cultura do milho é muito importante para a viabilização do plantio direto como sistema de produção viável, econômico e sustentável (Ruedell, 1995). Na Figura 12, são apresentados os efeitos da rotação sobre o rendimento de soja cultivada no 1º e no 2º ano após o milho; e, quando em monocultura, numa média de 7 anos. O sistema de rotação utilizado – aveia-preta/soja; ervilhaca + aveia-preta/milho; trigo/soja – foi disposto em campo concomitantemente em três parcelas distintas, de tal forma que em todos os anos foi possível obter o resultado de todas as culturas de grão (Ruedell, 1995).

O cultivo de milho exerceu efeito residual positivo sobre o rendimento da soja, uma vez que a oleaginosa produziu aproximadamente 20% a mais no 1º ano após milho e 10% no 2º ano após milho, quando comparado à soja em monocultura (Ruedell, 1995). Segundo o autor, provavelmente a soja, após o milho, se beneficia por causa dos seguintes aspectos: menor incidência de pragas e doenças, nutrientes que são reciclados pela palhada do milho, principalmente o K (a soja é exigente na absorção desse nutriente). Nesse aspecto, as culturas da soja e do milho são complementares (Ruedell, 1995). A rotação soja/milho é tradicionalmente utilizada no meio-oeste americano. A diferença entre os sistemas de culturas no Sul do Brasil e nos Estados Unidos está na presença de adubos verdes, uma vez que no Brasil eles antecedem as culturas de grãos e podem contribuir para acelerar as mudanças na qualidade do solo.





**Figura 12.** Rendimento de grãos de soja, sob sistema plantio direto, no 1º e no 2º ano após o milho comparativamente à soja em monocultura (média de 7 anos). Fundação Centro de Experimentação e Pesquisa (Fundacep), Cruz Alta, RS, 1995.

Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% probabilidade.

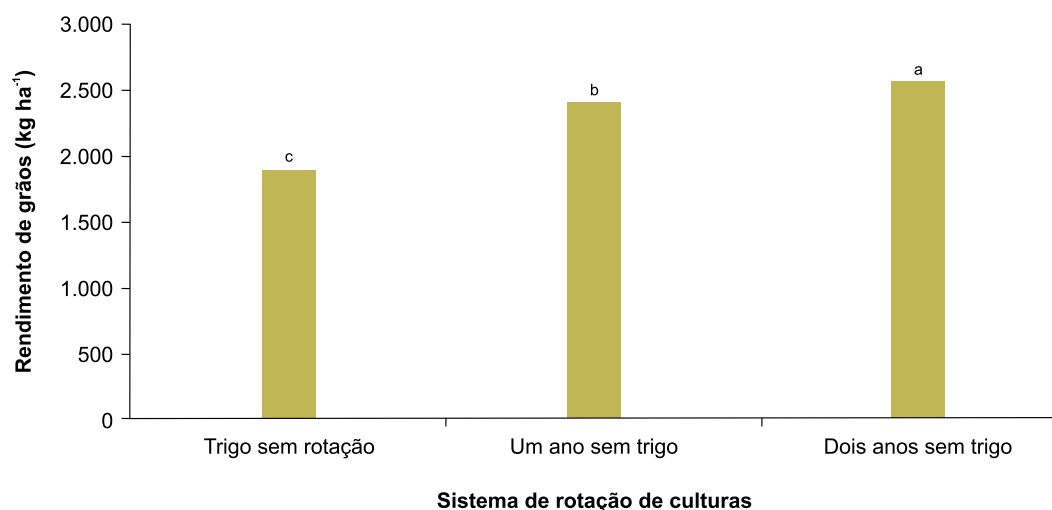
Fonte: Ruedell (1995).

A ampla predominância do cultivo de gramíneas no período de inverno tem sido motivo de questionamentos no Rio Grande do Sul (Fiorin, 2007). A rotação de culturas de inverno tem influenciado positivamente a produtividade do trigo (Figura 13). Quando comparada ao sistema de monocultura, a utilização de rotação de culturas no inverno, com 1 e 2 anos sem trigo, tem aumentado a produção de trigo em 27% e 36%. Deve-se destacar a interação do sistema de cultura com o clima. Por exemplo, em condições temperadas, o trigo tem sido utilizado em monocultivo; no entanto, em condições de clima subtropical, a incidência de pragas e doenças exige maior intensidade na rotação de culturas. Nesse caso, tem-se uma oportunidade para o cultivo de adubos verdes de inverno que aumenta a diversidade do sistema de cultura.

A rentabilidade da rotação de culturas é frequentemente arguida como motivo para a sua não adoção. Em um trabalho conduzido pela Fundacep, na média de 7 anos, o sistema de maior renda bruta foi de 50% de milho e 50% de soja; o sistema com 25% de milho e 75% de soja foi intermediário e a monocultura de soja o de menor rentabilidade (Figura 14).

Segundo Ruedell (1995), a cultura do milho foi a que proporcionou a maior renda bruta, em média US\$ 708,00 ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Parte desse resultado positivo deve ser atribuída ao uso de adubos verdes de inverno antes da cultura do milho. Nas condições subtropicais, a ordem decrescente de sensibilidade ao monocultivo foi a seguinte: trigo, soja e milho (Figura 15).

Os custos e a rentabilidade de uma cultura não devem ser considerados de maneira isolada, e sim no contexto da propriedade como um todo. A utilização de diferentes culturas de grãos

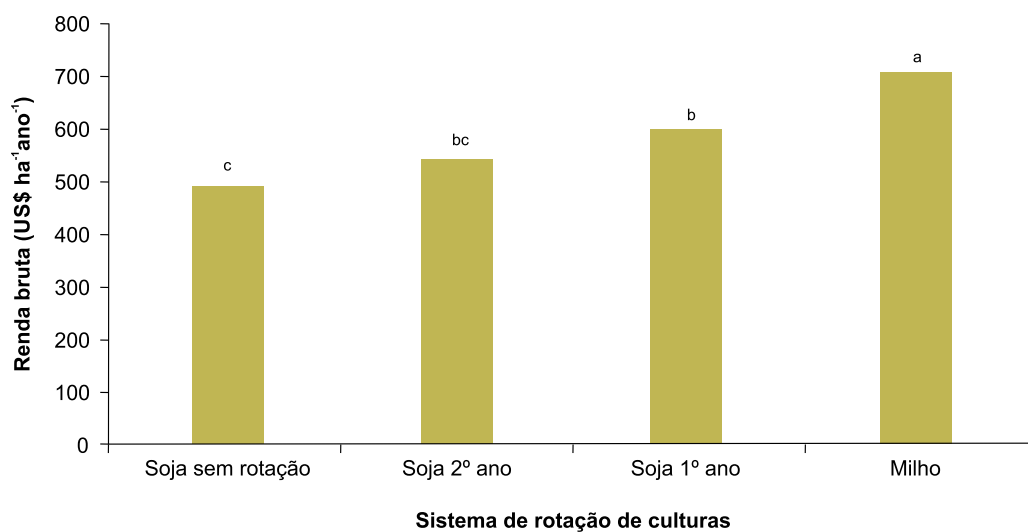


**Figura 13.** Rendimento de grãos de trigo em sistemas de rotação de culturas com trigo a cada 2 e 3 anos comparativamente ao trigo sem rotação conduzidos em plantio direto (média de 7 anos). Fundação Centro de Experimentação e Pesquisa (Fundacep), Cruz Alta, RS, 1995.

Trigo sem rotação = trigo/soja. Trigo a cada 2 anos = aveia/soja–trigo/soja; Trigo a cada 3 anos = aveia + ervilhaca/milho–trigo/soja–aveia/soja.

Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% probabilidade.

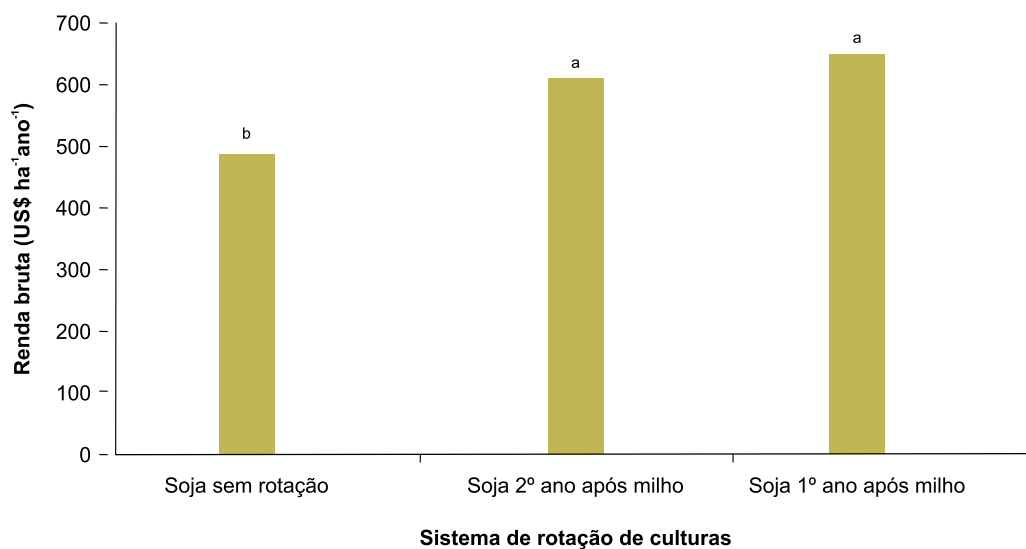
Fonte: Ruedell (1995).



**Figura 14.** Renda bruta de uma propriedade em plantio direto com diferentes sistemas de rotação (média de 7 anos). Fundação Centro de Experimentação e Pesquisa (Fundacep), Cruz Alta, RS, 1995.

Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% probabilidade.

Fonte: Ruedell (1995).



**Figura 15.** Renda bruta obtida no verão em três propriedades rurais conduzidas no sistema plantio direto com diferentes sistemas de rotação de culturas (média de 7 anos). Fundação Centro de Experimentação e Pesquisa (Fundacep), Cruz Alta, RS, 1995.

Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% probabilidade.

Fonte: Ruedell (1995).

permite um escalonamento nas operações de semeadura, colheita e manejo. Esse fato se traduz em otimização no uso de máquinas agrícolas, mão de obra, além de maior rendimento (Fiorin, 1999).

Na Tabela 14, tem-se uma análise econômica da rotação de culturas aplicada a uma propriedade no Planalto Médio do Rio Grande do Sul, sob SPD (Arns, 2004). No sistema 1, semelhante ao apresentado na Figura 11, a cultura da soja ocupa 50% e a cultura do milho, outros 50% da propriedade. No verão seguinte, a área em que foi cultivada a soja recebe o milho, e vice-versa; dessa forma, a soja não é cultivada consecutivamente na mesma área. No inverno, na área em que foi cultivado milho, é plantado o nabo-forrageiro antes da cultura do trigo. Nos restantes 50% da área onde foi cultivada soja, cultivam-se adubos verdes (ervilhaca e ervilhaca + aveia) antecessoras ao milho. No sistema 2, semelhante ao apresentado na Figura 10, a cultura da soja ocupa dois terços ( $\frac{2}{3}$ ) e a cultura do milho um terço ( $\frac{1}{3}$ ) da propriedade. No inverno, utiliza-se um terço ( $\frac{1}{3}$ ) com a cultura do trigo e um terço ( $\frac{1}{3}$ ) com a da aveia-preta (ambas devem preceder à soja); e um terço ( $\frac{1}{3}$ ) com nabo-forrageiro, ervilhaca e ervilhaca + aveia-preta, como adubos verdes que antecedem o milho. A sequência de culturas utilizada nesse sistema é: aveia/soja/trigo/soja/adubos verdes de inverno/milho. Nesse sistema, o uso de adubos verdes tem sempre prioridade no que se refere ao milho. O sistema 3 caracteriza-se pelo cultivo de gramíneas no

**Tabela 14.** Índices econômicos em três sistemas<sup>(1)</sup> de rotação de culturas no período de 1998 a 2000 numa propriedade do Planalto Médio do Rio Grande do Sul.

Indicador	Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3
	(US\$ ha <sup>-1</sup> )		
Receita total	534,0	465,2	410,9
Custos variáveis	166,7	146,5	137,3
Margem bruta	367,3	318,6	273,6
Custo fixo total	128,7	136,0	143,8
Custo operacional total	295,5	282,6	281,0
Lucro operacional	238,6	182,6	129,8
Remuneração total	147,1	148,9	150,6
Custo total	442,6	431,5	431,7
Margem líquida	91,4	33,7	- 20,9

<sup>(1)</sup>Sistema 1 = ervilhaca + aveia/milho/nabo-forrageiro/trigo/soja; Sistema 2 = aveia/soja/trigo/soja/adubos verdes/milho; Sistema 3 = trigo/soja/aveia-preta/soja/aveia-preta/soja.

Fonte: Arns (2004).

inverno [um terço ( $1/3$ ) de trigo e dois terços ( $2/3$ ) de aveia-preta] e pela monocultura de soja no verão (100%) (Arns, 2004). Esses três sistemas representam os mais utilizados pelos agricultores, no Planalto Médio do Rio Grande do Sul.

Pelos resultados apresentados na Tabela 14, a margem bruta expressa pela diferença existente entre a receita total e os custos variáveis foi maior no sistema 1, decrescendo 13% e 23% nos sistemas 2 e 3, respectivamente. A redução das receitas nos sistemas 2 e 3 pode ser explicada pela variação das áreas de cultivo e pela diferença na produtividade da soja e do trigo nos sistemas avaliados. Como os sistemas 2 e 3 possuem trigo em proporções menores e o milho inexistente no sistema 3, e essas culturas têm custos variáveis maiores do que a soja, o custo variável total desses sistemas foi maior. Porém, mesmo com custos variáveis maiores, os sistemas 1 e 2 apresentaram margem bruta maior que a monocultura (Arns, 2004). Pode-se observar também o aumento nos custos fixos de 6% e 12%, nos sistemas 2 e 3, respectivamente, em relação ao sistema 1. Esse aumento deve-se à maior necessidade de máquinas e de mão de obra dos sistemas que cultivam área menor de milho no verão. Apesar de uma receita menor e de custos fixos maiores, os sistemas 2 e 3 ainda obtiveram um lucro operacional positivo, porém, esses lucros foram 23% e 45% menores, respectivamente, em relação ao sistema 1 (Arns, 2004).

Ao incluir nos custos as remunerações do capital, da terra e do empresário agrícola, observa-se que a maior variação da margem líquida foi verificada entre o sistema 1 e o 3 (122%). Para cada unidade capital aplicada, o produtor rural teria um retorno de 0,21 (21%) e 0,08 (8%) nos sistemas 1 e 2, respectivamente. O sistema 3 apresenta resultado menor que um, assim, para cada unidade aplicada, haveria um prejuízo de 0,05 (5%) (Arns, 2004).

## O planejamento agrícola e a eficiência dos adubos verdes

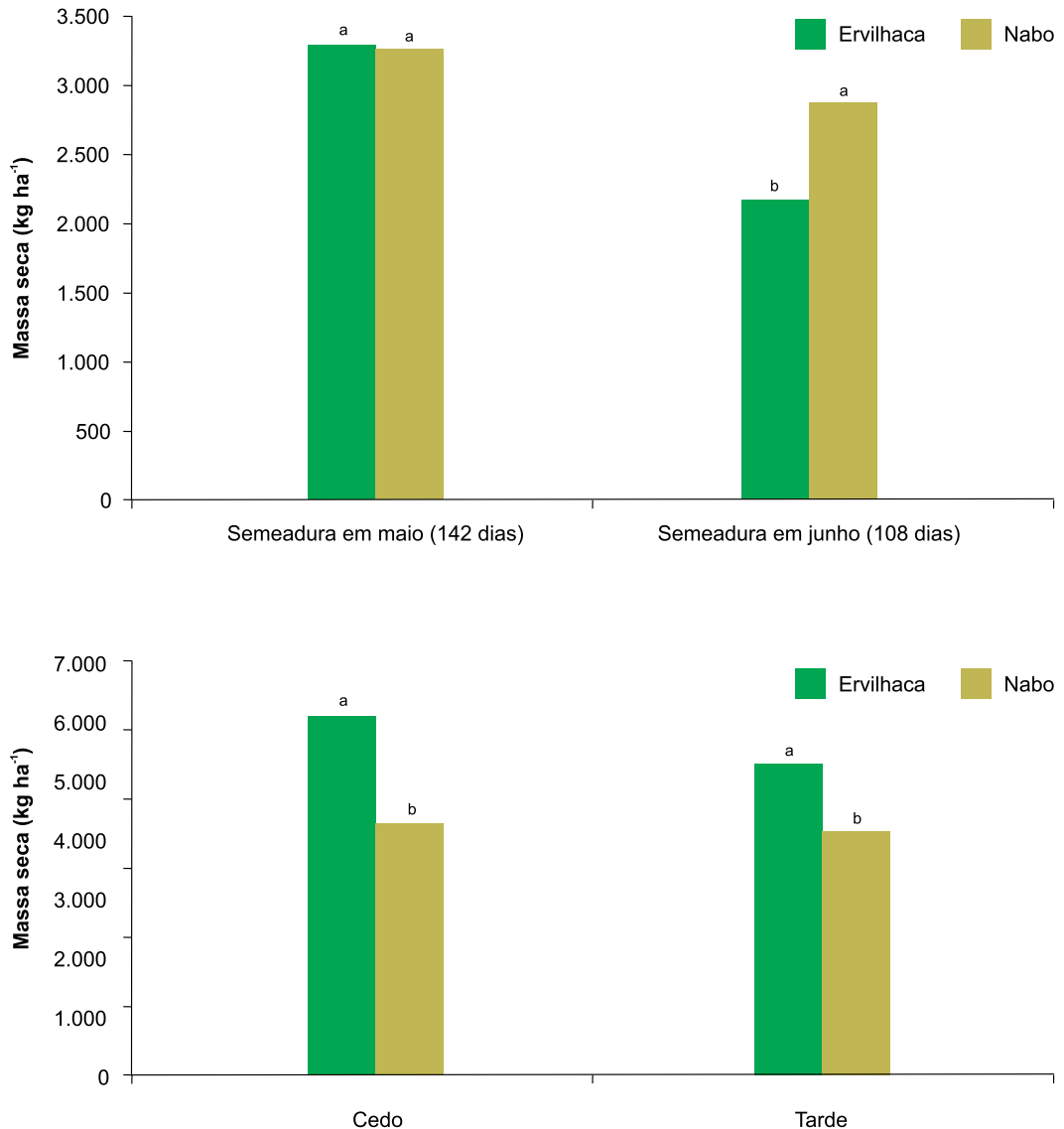
A ainda limitada utilização de adubos verdes nos sistemas de produção de grãos é um indicativo da falta de entendimento com relação às vantagens que essa prática pode trazer ao sistema produtivo. O custo da aquisição de sementes aliado à necessidade de obtenção de ganhos imediatos são itens que justificam a sua não adoção (Fiorin, 2003a). No entanto, os resultados de pesquisa e a experiência acumulada pelos agricultores inovadores demonstram que a utilização de adubos verdes é uma das práticas mais eficientes para qualificar o SPD.

O planejamento estratégico da propriedade, o conhecimento e a persistência do produtor são os principais requisitos para o uso de adubos verdes. Eles devem ser semeados, preferencialmente, tão logo seja colhida a cultura de grão. Com isso, intensifica-se o processo de ciclagem de nutrientes, além de propiciar rápida cobertura e proteção do solo. Nesse sistema há possibilidade de os adubos verdes apresentarem a máxima produção de fitomassa e ciclagem e/ou aporte de nutrientes. Se o produtor, por falta de planejamento, atrasar de 20 a 40 dias a semeadura dos adubos verdes, dependendo da espécie e da região, pode-se perder de 20% a 50% do potencial de produção de massa seca e ciclagem de nutrientes, com consequentes reflexos negativos no rendimento da cultura de grãos cultivada na sequência.

Para demonstrar a significância desse efeito, a Fundacep desenvolveu, por um período de 3 anos, um trabalho de pesquisa para avaliar duas épocas de implantação de ervilhaca e nabo-forrageiro: semeadura “no cedo” (15 de maio) e “no tarde” (18 de junho), ou seja, 34 dias de intervalo. O objetivo da pesquisa foi avaliar a produção de massa seca e de ciclagem e/ou aporte de nutrientes. A ervilhaca semeada “no cedo” teve um período de crescimento de 142 dias, e apresentou uma produção de massa seca de  $1.119 \text{ kg ha}^{-1}$  (52%), superior à semeada “no tarde” (Figura 16). Para o nabo-forrageiro, essa superioridade foi de apenas  $391 \text{ kg ha}^{-1}$  (14%). O efeito positivo da maior produção de massa seca, no momento da semeadura “no cedo”, está associado ao maior período disponível para o crescimento. Isso se refletiu no rendimento de milho cultivado em sucessão, que foi superior em  $807 \text{ kg ha}^{-1}$  (15,2%) e  $138 \text{ kg ha}^{-1}$  (3,3%), respectivamente, para a ervilhaca e o nabo-forrageiro, quando comparada à época de semeadura “do tarde” (Figura 16). Os resultados indicam uma relação positiva entre a quantidade de resíduos de adubos verdes aportada e o rendimento de milho cultivado na sequência.

Uma alternativa é semear o adubo verde antes mesmo da colheita da cultura de grãos. Na cultura da soja, é possível implantar os adubos verdes, tais como aveia e azevém, via sobressemeadura, antes mesmo da queda das folhas da oleaginosa. Com isso, intensificam-se os processos de ciclagem de nutrientes e a atividade biológica, e os efeitos positivos dos adubos verdes são potencializados. Na Figura 17, observa-se o nabo-forrageiro já estabelecido, no momento da

colheita da soja, em uma propriedade em Lagoa Vermelha, RS. A porosidade biológica induzida pelo uso frequente de nabo-forrageiro no programa de rotação favoreceu o desenvolvimento radicular da soja.



**Figura 16.** Potencial de produção de massa seca de ervilhaca e nabo-forrageiro semeado no cedo (15 de maio) e no tarde (18 de junho) e efeito no rendimento de grãos de milho (média de 3 anos). Fundação Centro de Experimentação e Pesquisa (Fundacep), Cruz Alta, RS, 2005.

Médias seguidas pelas mesmas letras, minúsculas (Comparação entre plantas de cobertura dentro da mesma época de semeadura), não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% probabilidade.

Fonte: Florin (2007).



Fotos: Telmo Jorge Carneiro Amado

**Figura 17.** Sobressemeadura de nabo-forageiro e melhoria das condições físicas do solo (A), favorecendo o desenvolvimento radicular da soja (B), em Lagoa Vermelha, RS, no ano de 2007.

No SPD, deve-se evitar o uso contínuo da mesma espécie ou de espécies de mesma família botânica. Embora existam algumas culturas de grãos com melhor adaptação ao monocultivo, a diversificação e a utilização de maior número de espécies têm mostrado resultados que vão desde a menor ocorrência de pragas e doenças até o maior rendimento.

## Considerações finais

O SPD contribuiu para controlar a erosão, que foi um dos principais desafios iniciais dos sistemas intensivos de produção de grãos. No entanto, a sustentabilidade da agricultura em condições tropicais está também associada ao sucesso na manutenção/incremento do teor de matéria orgânica do solo. Os sistemas comerciais de produção de grãos tendem a ser especializados, com um número reduzido de espécies e limitada adição quantitativa e qualitativa de fitomassa ao solo. A busca por rendimentos competitivos das culturas de grãos, aliada à necessidade da manutenção de custos em patamares acessíveis aos produtores e a minimização do impacto ambiental, permite que haja necessidade de aprimoramento do SPD. A ampliação do uso de adubos verdes em sistemas de produção de grãos, sob SPD, representa uma das mais eficientes oportunidades para diversificar os sistemas de culturas, incrementar o teor de matéria orgânica e aumentar a eficiência no uso de insumos, o que responde às principais demandas da agricultura contemporânea.

## Referências

A COMPACTAÇÃO dos solos é um fator limitante da produtividade no plantio direto? **Revista Plantio Direto**, v. 15, n. 92, p. 11-12, mar./abr. 2006.

- ALVES SOBRINHO, T.; VITORINO, A. T. C.; SOUZA, L. C. F.; GONÇALVES, M. C.; CARVALHO, D. F. Infiltração de água no solo em sistemas de plantio direto e convencional. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v. 7, n. 2, p. 191-196, maio/ago. 2003.
- AMADO, T. J. C.; CONCEIÇÃO, P. C.; BAYER, C.; ELTZ, F. L. F. Qualidade do solo avaliada pelo "Soil Quality Kit Test" em dois experimentos de longa duração no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 1, p. 109-121, jan./fev. 2007.
- AMADO, T. J. C.; ELTZ, F. L. F. Plantio direto na palha rumo à sustentabilidade agrícola nos trópicos. **Ciência e Ambiente**, n. 27, p. 49-66, jul./dez. 2003.
- AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; AITA, C. Recomendações de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de cobertura do solo, sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 1, p. 241-248, jan./mar. 2002.
- AMADO, T. J. C.; NICOLOSO, R. S.; LANZANOVA, M. E.; SANTI, A.; LOVATO, T. A compactação pode comprometer os rendimentos de áreas sob plantio direto. **Revista Plantio Direto**, ano 15, n. 89, p. 34-42, set./out. 2005.
- ARNS, A. D. Análise econômica da rotação de culturas no sistema plantio direto através de uma visão sistêmica da propriedade rural. **Revista Plantio Direto**, ano 13, n. 81, p. 25-32, maio/jun. 2004.
- ASSOCIAÇÃO DE PLANTIO DIRETO NO CERRADO. **Plantio direto tropical**. Disponível em: <http://www.apdc.com.br>. Acesso em: 4 jun. 2007.
- BASTOS FILHO, G. B.; NAKAZONE, D.; BRUGGEMANN, G.; MELO, H. Uma avaliação do plantio direto no Brasil. **Revista Plantio Direto**, n. 101, p. 14-17, 2007.
- BAVER, L. D.; GARDNER, W. H.; GARDNER, W. R. **Soil physics**. 4th ed. New York: John Wiley, 1972. 498 p.
- BAYER, C.; MARTIN NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, p. 677-683, jul. 2004.
- BIANCHI, M. A.; FIORIN, J. E.; CANAL, I. N.; PETRERE, C.; CAMPOS, B. C. de. Resposta do trigo a culturas semeadas após o milho no sistema plantio direto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., 1997, Rio de Janeiro. **Informação de solos na globalização do conhecimento sobre o uso das terras**: anais. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. 1 CD-ROM.
- BUSSCHER, W. J.; BAUER, P. J.; FREDERICK, J. R. Recompaction of a coastal loamy sand after deep tillage as a function of subsequent cumulative rainfall. **Soil and Tillage Research**, v. 68, n. 1, p. 49-57, Oct. 2002.
- CALEGARI, A. **Plantas para adubação verde de inverno no sudoeste do Paraná**. Londrina: Fundação Instituto Agrônomo do Paraná, 1990. 37 p. (IAPAR. Boletim técnico, 35).
- CAMARA, R. K.; KLEIN, V. A. Escarificação em plantio direto como técnica de conservação do solo e da água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 5, p. 789-796, set./out. 2005a.
- CAMARA, R. K.; KLEIN, V. A. Propriedades físico-hídricas do solo sob plantio direto escarificado e rendimento da soja. **Ciência Rural**, v. 35, n. 4, p. 813-819, jul./ago. 2005b.
- CINTRA, F. L. D.; MIELNICZUK, J. Potencial de algumas espécies vegetais para a recuperação de solos com propriedades físicas degradadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 7, n. 2, p. 197-201, maio/ago. 1983.
- CONCEIÇÃO, P. C.; AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; SPAGNOLLO, E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 29, n. 5, p. 777-788, set./out. 2005.
- CORBEELS, M.; MARCHÃO, R. L.; NETO, M. S.; FERREIRA, E. E.; SCOPEL, E.; BRITO, O. R. Evidence of limited carbon sequestration in soils under no-tillage systems in the Cerrado of Brazil. **Scientific reports**, v. 6, article number, 21450, 2016.
- COSTA, M. B. B. da (coord.). **Adubação verde no Sul do Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro: AS-PTA, 1993. 346 p.
- CUBILLA, M.; REINERT, D. J.; AITA, C.; REICHERT, J. M. Plantas de cobertura do solo: uma alternativa para aliviar a compactação em sistema plantio direto. **Revista Plantio Direto**, n. 71, p. 29-32, set./out. 2002.
- DERPSCH, R.; SIDIRAS, N.; HEINZMANN, F. X. Manejo do solo com coberturas verdes de inverno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 20, n. 7, p. 761-773, jul. 1985.



DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (ed.). **Defining soil quality for a sustainable environment**: proceedings of a symposium. Madison: ASA: SSSA, 1994. p. 3-21. (SSSA Special publication, 35).

ESCOBAR, L. F.; AMADO, T. J. C.; MORAES, O.; ZIMERMANN, H. R.; CARNEIRO, J.; CHAVEZ, L. F.; FIORIN, J. Fluxo de CO<sub>2</sub> na cultura da soja sob sistema plantio direto avaliado pelo método de covariância dos vórtices. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., 2007, Gramado. **Conquistas e desafios da ciência do solo brasileira**. [Porto Alegre]: Ed. da UFRGS Solos: SBCS, Núcleo Regional Sul, 2007. 1 CD-ROM.

ESTADOS UNIDOS. Agricultural Research Service. Soil Quality Institute. **Soil quality test kit guide**, 2001. 82 p. Disponível em: [http://soils.usda.gov/sqi/assessment/files/test\\_kit\\_complete.pdf](http://soils.usda.gov/sqi/assessment/files/test_kit_complete.pdf). Acesso em: 10 mar. 2010.

FAO. **Investing in Sustainable Agricultural Intensification**: the role of conservation agriculture. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2008.

FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE PLANTIO DIRETO NA PALHA. Disponível em: <http://www.febrapdp.org.br>. Acesso em: 3 abr. 2015.

FERREIRA, A. O.; SÁ, J. C. M.; BRIEDIS, C.; FIGUEIREDO, A. G. Desempenho de genótipos de milho cultivados com diferentes quantidades de palha de aveia preta e doses de nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 2, p. 173-179, 2009.

FERREIRA, A. O.; AMADO, T. J. C.; NICOLOSO, R. da S.; SÁ, J. C. M.; FIORIN, J. E.; HANSEL, D. S. S.; MENEFE, D. Soil carbon stratification affected by long-term tillage and cropping systems in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 133, p. 65-74, 2013. DOI: 10.1016/j.still.2013.05.011.

FIORIN, J. E. **A rotação de culturas e as plantas de cobertura de inverno**. Cruz Alta: Fundacep Fecotriço, 2003b. 1 fôlder.

FIORIN, J. E. A rotação de culturas e as plantas de cobertura de solo. **Informativo Fundacep**, ano 6, n. 2, p. 1-8, abr. 1999.

FIORIN, J. E. **Avaliação de plantas de cobertura e/ou proteção do solo em sistemas de produção em plantio direto**. Porto Alegre: Fapergs, 2003a. 46 p. Relatório de Pesquisa Projeto - FAPERGS.

FIORIN, J. E. Rotação de culturas e as plantas de cobertura do solo. In: FIORIN, J. E. (coord.). **Manejo e fertilidade do solo no Sistema Plantio Direto**. Cruz Alta: Fundacep, 2007. p. 145-184.

FIORIN, J. E.; CAMPOS, B. C. de. Rotação de culturas. In: CAMPOS, B. C. de (coord.). **A cultura do milho no plantio direto**. Cruz Alta: Fundacep Fecotriço, 1998. p. 7-14.

FIORIN, J. E.; CANAL, I. N.; CAMPOS, B. C. de. Fertilidade do solo. In: CAMPOS, B.-H. C. de (coord.). **A cultura do milho no plantio direto**. Cruz Alta: Fundacep Fecotriço, 1998. p. 15-54.

GIACOMINI, S. J.; AITA, C.; VENDRUSCOLO, E. R. O.; CUBILLA, M.; NICOLOSO, R. S.; FRIES, M. R. Matéria seca, relação C:N e acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio em misturas de plantas de cobertura de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 2, p. 325-334, mar./abr. 2003.

HORN, R.; WAY, T.; ROSTEK, J. Effect of repeated tractor wheeling on stress/strain properties and consequences on physical properties in structured arable soils. **Soil and Tillage Research**, v. 73, n. 1/2, p. 101-106, Oct. 2003.

ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. Soil quality indicator properties in mid-atlantic soils as influenced by conservation management. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 55, n. 1, p. 69-78, Winter 2000.

KLUTHCOUSKI, J.; AIDAR, H. Implantação, condução e resultados obtidos com o sistema santa fé. In: KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F.; AIDAR, H. (ed.). **Integração lavoura-pecuária**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. p. 407-459.

KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F. Desempenho de culturas anuais sobre palhada de Brachiaria. In: KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F.; AIDAR, H. (ed.). **Integração lavoura-pecuária**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. p. 500-522.

KOCHHANN, R. A.; DENARDIN, J. E. **Implantação e manejo do sistema plantio direto**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2000. 36 p. (Embrapa Trigo. Documentos, 20).

KUBOTA, A.; HOSHIBA, K.; BORDON, J. Green-manure turnip for soybean based no-tillage farming systems in Eastern Paraguay. **Scientia Agricola**, v. 62, n. 2, p. 150-158, Mar./Apr. 2005.

- LARSON, W. E.; PIERCE, F. J. Conservation and enhancement of soil quality. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON EVALUATION FOR SUSTAINABLE MANAGEMENT IN THE DEVELOPING WORLD, 1991, Chiang Rai. **Technical papers...** Bangkok: International Board for Soil Research and Management, 1991. v. 2, p. 175-203. (IBSRAM proceedings, 12).
- LOVATO, T.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F. Adição de carbono e nitrogênio e sua relação com os estoques no solo e o rendimento do milho em sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 1, p. 175-187, jan./fev. 2004.
- MATERECHERA, S. A.; DEXTER, A. R.; ALSTON, A. M. Penetration of very strong soils by seedling roots of different plant species. **Plant and Soil**, v. 135, n. 1, p. 31-41, Aug. 1991.
- MIELNICZUK, J. Rotação de culturas e níveis críticos de biomassa sobre o solo. In: ENCONTRO LATINO-AMERICANO SOBRE PLANTIO DIRETO NA PEQUENA PROPRIEDADE, 3., 1998, Pato Branco. **Programação...** [Londrina: Iapar, 1998]. 1 CD-ROM.
- NICOLOSO, R. S.; AMADO, T. J. C.; SCHNEIDER, S.; LANZANOVA, M. E.; GIRARDELLO, V. C.; BRAGAGNOLO, J. Eficiência da escarificação mecânica e biológica na melhoria dos atributos físicos de um latossolo muito argiloso e no incremento do rendimento de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 1, p. 1723-1734, jan./fev. 2008.
- PESSÔA, A. S. M. (coord.) **O estado da arte do plantio direto em 2015**. 2016. Relatório Final (PA Nº 1434/15) do Rally da Safra para avaliação das safras de soja, milho verão e milho safrinha nos estados de RS, SC, PR, MS, MT, GO, MG, DF, BA, MA, TO, PA e PI. Disponível em: <http://agrisus.org.br/projetos.asp?cod=1221>. Acesso em: 11 jun. 2016.
- PETRERE, C.; ARNS, U.; FIORIN, J. E. Doses de nitrogênio em cobertura no milho cultivado sob diferentes plantas de cobertura de inverno em sistema plantio direto na palha – avaliação preliminar. In: REUNIÃO TÉCNICA ANUAL DO MILHO, 39., 1994, Cruz Alta. **Anais...** Cruz Alta: Fundacep Fecotrig, 1995. p. 26-28.
- REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência e Ambiente**, v. 27, p. 29-48, 2003.
- RUEDELL, J. A soja numa agricultura sustentável. In: SILVA, M. T. B. da (coord.). **A soja em rotação de culturas no plantio direto**. Cruz Alta: Fundacep Fecotrig, 1998. p. 1-31.
- RUEDELL, J. **Plantio direto na região de Cruz Alta**. Cruz Alta: Fundacep Fecotrig, 1995. 134 p.
- SÁ, J. C. D. M.; LAL, R. Stratification ratio of soil organic matter pools as an indicator of carbon sequestration in a tillage chronosequence on a Brazilian Oxisol. **Soil and Tillage Research**, v. 103, p. 46-56, 2009.
- SÁ, J. C. D. M.; SANTOS, J. B. dos; LAL, R.; MORAES, A. de; TIVET, F.; SÁ, M.; BRIEDIS, C.; FERREIRA, A. de O.; EURICH, G.; FARIAS, A.; FRIEDRICH, T. Soil-specific inventories of landscape carbon and nitrogen stocks under no-till and native vegetation to estimate carbon offset in a subtropical ecosystem. **Soil Science Society of America Journal**, v. 77, p. 2094-2110, 2013. DOI: [10.2136/sssaj2013.01.0007](https://doi.org/10.2136/sssaj2013.01.0007).
- SÁ, J. C. D. M.; SÉGU, L.; TIVET, F.; LAL, R.; BOUZINAC, S.; BORSZOWSKI, P. R.; BRIEDIS, C.; SANTOS, J. B. dos; DA CRUZ HARTMAN, D.; BERTOLONI, C. G. Carbon depletion by plowing and its restoration by no-till cropping systems in Oxisols of subtropical and tropical agro-ecoregions in Brazil. **Land Degradation & Development**, v. 26, p. 531-543, 2015. DOI: [10.1002/ldr.2218](https://doi.org/10.1002/ldr.2218).
- SÁ, J. C. D. M.; TIVET, F.; LAL, R.; BRIEDIS, C.; HARTMAN, D. C.; SANTOS, J. Z. dos; SANTOS, J. B. dos. Long-term tillage systems impacts on soil C dynamics, soil resilience and agronomic productivity of a Brazilian Oxisol. **Soil Tillage Research**, v. 136, p. 38-50, 2014. DOI: [10.1016/j.still.2013.09.010](https://doi.org/10.1016/j.still.2013.09.010).
- SÁ, J. C. M. Manejo da fertilidade do solo no plantio direto. In: SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S.; LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G.; FAQUIN, V.; FURTINI NETO, A. E.; CARVALHO, J. G. (ed.). Soil fertility, soil biology, and plant nutrition interrelationships. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, p. 267-320, 1999.
- SASAL, M. C.; ANDRIULO, A. E. Cambios en la porosidad edáfica bajo siembra directa por la introducción de *Raphanus sativus* L. (nabo forrajero). **Revista de Investigaciones Agropecuarias**, v. 34, n. 3, p. 131-150, Dic. 2005.
- SASAL, M. C.; ANDRIULO, A. E.; TABOADA, M. A. Soil porosity characteristics and water movement under zero tillage in silty soils in Argentinian Pampas. **Soil and Tillage Research**, v. 87, n. 1, p. 9-18, May 2006. DOI: [10.1016/j.still.2005.02.025](https://doi.org/10.1016/j.still.2005.02.025).
- SECCO, D.; REINERT, D. J. Efeitos imediato e residual de escarificadores em Latossolo vermelho-escuro sob plantio direto. **Engenharia Agrícola**, v. 16, n. 3, p. 52-61, mar. 1997.

SILVA, A. A.; SILVA, P. R. F.; SUHRE, E.; ARGENTA, G.; STRIEDER, M. L.; RAMBO, L. Sistemas de coberturas de solo no inverno e seus efeitos sobre o rendimento de grãos do milho em sucessão. **Ciência Rural**, v. 37, n. 4, p. 928-935, jul./ago. 2007.

SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Fatores controladores da compressibilidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico e de um Latossolo Vermelho distrófico típico. II – Grau de saturação em água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 1, p. 9-15, jan./mar. 2002.

VERMA, S. B.; DOBERMANN, A.; CASSMAN, K. G.; WALTERS, D. T.; KNOPS, J. M. H.; ARKEBAUER, T. J.; SUYKER, A. E.; BURBA, G. G.; AMOS, B.; YANG, H. S.; GINTING, D.; HUBBARD, K. G.; GITELSON, A. A.; WALTER-SHEA, E. A. Annual carbon dioxide exchange in irrigated and rainfed maize-based agroecosystems. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 131, n. 1/2, p. 77-96, July 2005.

VEZZANI, F. M. **Qualidade do sistema solo na produção agrícola**. 2001. 184 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Agregação e estoque de carbono em Argissolo submetido a diferentes práticas de manejo agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 213-223, 2011.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 4, p. 743-755, jul./ago. 2009.

WILLIAMS, S. M.; WEIL, R. R. Crop cover root channels may alleviate soil compaction effects on soybean crop. **Soil Science Society of America Journal**, v. 68, n. 4, p. 1403-1409, July 2004.



Capítulo 17

# Adubação verde e rotação de culturas para cana-de-açúcar

---

Denizart Bolonhezi  
Antonio Cesar Bolonhezi  
José Aparecido Donizeti Carlos



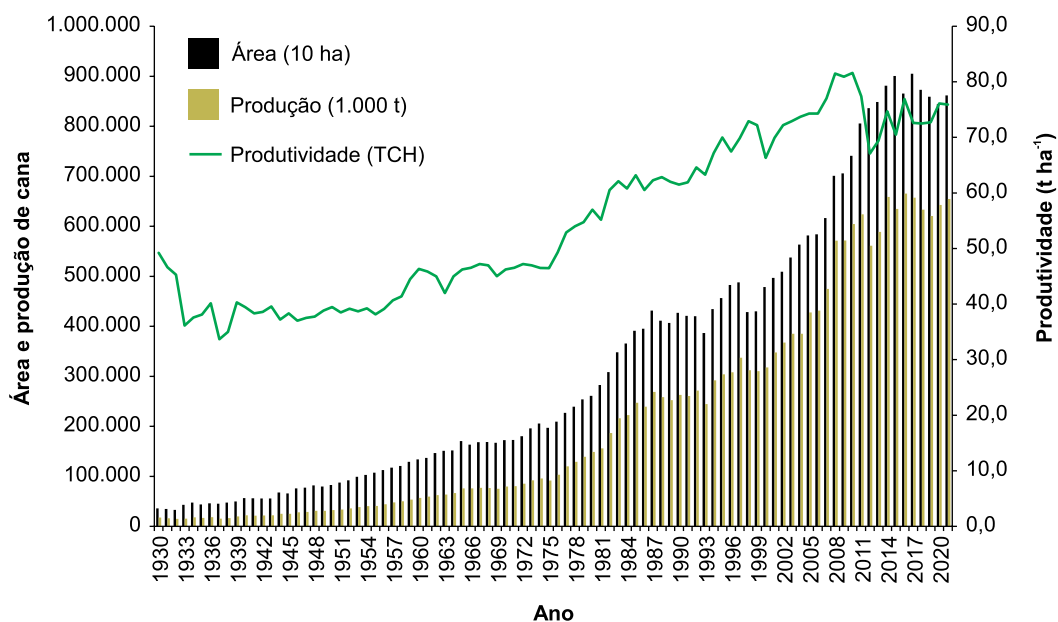
## Introdução

A cultura da cana-de-açúcar, presente no Brasil desde a época do descobrimento, vem assumindo cada vez maior importância no contexto mundial, em virtude do seu potencial como biocombustível. Vários fatores concorreram para isso, principalmente os expressivos aumentos no preço do barril do petróleo e a consequente busca por combustíveis alternativos, e questões ambientais, sobretudo as relativas ao aquecimento global. Esse cenário tem contribuído para a expansão da cultura canavieira, que vem acontecendo desde 2003, na região Centro-Sul, impulsionada pelas exportações de álcool, que passaram de 600 milhões em 2003 para 5,1 bilhões de litros em 2009, e pelas transformações no complexo agroindustrial, decorrentes do processo de desregulamentação do setor, iniciado em 1990 (Veiga Filho; Ramos, 2006; União da Indústria de Cana-de-Açúcar, 2011).

No Brasil, a área cultivada com cana-de-açúcar corresponde a aproximadamente 11,2 milhões de hectares, estando distribuída principalmente em duas regiões: a região Nordeste, responsável por 1,27 milhões de hectares, e a região Centro-Sul, por aproximadamente 9,9 milhões de hectares, responsáveis pela produção de 652 milhões de toneladas de matéria-prima, 38 milhões de toneladas de açúcar e 27 bilhões de litros de etanol (Canasat, 2016; União da Indústria de Cana-de-Açúcar, 2016). A produtividade média de colmos cresceu  $40 \text{ t ha}^{-1}$  entre 1975 e 2008, com destaque para os canaviais paulistas, que apresentaram uma média de  $82 \text{ t ha}^{-1}$  (Figura 1).

Esses resultados podem ser atribuídos ao melhoramento genético, ao uso de insumos e ao aperfeiçoamento das práticas culturais. Todavia, depois da crise iniciada em 2009, foram fechadas 96 das 384 unidades industriais e, conseqüentemente, desde a safra de 2016/2017, a produtividade média não conseguiu ultrapassar  $72 \text{ t ha}^{-1}$  (Delgado et al., 2017). Isso foi resultado da redução dos investimentos em reforma de canaviais e em tratamentos culturais, associado a problemas climáticos e a impactos da mecanização, bem como à elevação de custos.

O desafio é manter ou aumentar a produtividade em consonância com indicadores de sustentabilidade ambiental e com a redução de custos de produção. A projeção de produtividades com três dígitos deve ser acompanhada de práticas agrícolas que contribuam para reduzir custos e



**Figura 1.** Evolução anual da área colhida, produção e produtividade de cana-de-açúcar no Brasil, no período de 1930 a 2020.

Fonte: Adaptado de Lanzotti (2000), União da Indústria de Cana-de-Açúcar (2016) e Conab (2017).

otimizar insumos. Essa situação é semelhante à ocorrida na Austrália, na década de 1990, quando se verificou que, por mais de 25 anos, a produtividade não tinha crescido, mesmo fazendo uso de novos genótipos e insumos modernos. Esse fenômeno, denominado de *yield decline*, atribuído principalmente ao monocultivo, demandou a instalação de uma rede de pesquisa (Sugar Yield Decline Joint Venture), a qual concluiu que a produtividade aumentou entre 20% e 30% com a adoção da rotação de culturas com culturas comerciais e leguminosas adubos verdes, sobretudo quando associada ao manejo conservacionista do solo (Bell et al., 1998, 2007; Garside; Bell, 2011). Há milênios, os benefícios da rotação de culturas com adubos verdes já eram apregoados pelos chineses; porém, a falta de planejamento, aliada aos aspectos econômicos, frequentemente inviabilizava sua adoção (Reeves, 1994). No sistema vigente de produção da cana-de-açúcar, a rotação de culturas com adubos verdes é feita parcialmente nas regiões tradicionais de cultivo, e suas vantagens já são conhecidas desde a década de 1950, para as condições da região Centro-Sul brasileira.

Rotação de culturas consiste em sistema de cultivo alternado de diferentes espécies, em um mesmo terreno, obedecendo a uma sequência preestabelecida, com base na prática de adubação verde (Mascarenhas; Tanaka, 1993). Por conseguinte, sucessão de culturas é o sistema mais adequado para canaviais, pois o cultivo dessas espécies é feito, em média, depois de cinco cortes, no período de reforma, o qual compreende poucos meses, até a implantação do novo canavial. A renovação de canaviais é imprescindível para manter elevada a produtividade média das áreas comerciais cultivadas com cana-de-açúcar. Os critérios para a reforma, que variam de acordo com a empresa e a região produtora, dependem dos seguintes fatores: histórico de produtividade do



talhão (menos de 60 t ha<sup>-1</sup> de colmos é a quantidade recomendada para a reforma do canavial), necessidade de substituição de genótipos, ocorrência de problemas fitossanitários (nematóides, insetos e patógenos), necessidade de correção da fertilidade e da compactação do solo, e perspectiva de aumento dos lucros para fazer frente aos custos de implantação. Em algumas usinas, o percentual destinado à reforma é fixado em 15% da área plantada por ano (Bolonha, 2007; Bolonha; Gonçalves, 2015).

Para as condições da região Centro-Sul, a área destinada à renovação nas últimas dez safras representou, em média, 9,1% dos canaviais (Tabela 1). Essa expressiva diminuição, observada também em outros estados, decorreu do crescimento das áreas de expansão. De acordo com Rudolf et al. (2010), entre 2005 e 2009, o crescimento da cana-de-açúcar no estado de São Paulo foi de 54,6%. Considerando-se a região Nordeste, estimam-se mais de 200 mil hectares de canaviais reformados com o cultivo de adubos verdes, com destaque para as crotalárias e as mucunas, embora existam outras espécies com potencial para isso.

No momento de reformar, para decidir entre a adubação verde e o emprego da cultivar oleaginosa/leguminosa com finalidade comercial – soja (*Glycine max* (L.) Merrill) ou amendoim (*Arachis hypogaea* L.) –, o proprietário da usina ou o fornecedor deverá avaliar os seguintes aspectos: a) infraestrutura regional para cultivo e comercialização; b) preços obtidos com grãos; c) custo com semente das espécies de adubos verdes; d) histórico fitossanitário do talhão; e e) período disponível entre o corte e o plantio do novo canavial.

De acordo com Prado (2005, 2016), o ambiente de produção para cana-de-açúcar depende das condições físicas, hídricas, morfológicas, químicas e mineralógicas dos solos, as quais auxiliam sobremaneira na alocação das variedades. O ambiente de produção é dividido em 10 níveis: A1 e A2, B1 e B2, C1 e C2, D1 e D2, E1 e E2. Conforme os critérios de Prado (2005, 2016), os ambientes de produção D apresentam solos ácidos (retenção de cátions < 1,5 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> de argila), água disponível baixa/média e potencial produtivo, que varia de 72 t ha<sup>-1</sup> a 80 t ha<sup>-1</sup>. Ambientes classificados como E apresentam solos ácidos, com predominância de álicos (saturação por alumínio > 50%), água disponível muito baixa e potencial produtivo menor que 68 t ha<sup>-1</sup>.

De maneira geral, em virtude da rusticidade das espécies consideradas adubos verdes, sua aplicação é preferencialmente destinada a áreas marginais ou ambientes de produção caracterizados como D e E, nos quais são esperadas melhores respostas.

A grande quantidade de palhço remanescente da colheita mecanizada de cana crua, estimada entre 13 t ha<sup>-1</sup> e 20 t ha<sup>-1</sup> de matéria seca (Oliveira et al., 1999), proporciona inúmeras vantagens agronômicas (Resende et al., 2006); em contrapartida, aumenta os custos com o preparo de solo na reforma, em torno de 30%, em comparação com o preparo de solo convencional (Conde; Donzelli, 1997). Nessas condições, a semeadura direta das espécies de adubos verdes e o plantio direto da cana-de-açúcar subsequente são desejáveis e encontram respaldo técnico. Como, no sistema plantio direto, os resíduos não são incorporados ao solo, o termo plantas de

**Tabela 1.** Área total (ha), em reforma e percentual das soqueiras reformadas nos estados da região Centro-Sul do Brasil, da safra 2010/2011 a 2020/2021.

Safra	Área (1.000 ha)	SP	MG	PR	GO	MS	Região Centro-Sul
<b>2010/2011</b>	<b>Total</b>	<b>4.357,0</b>	<b>721,9</b>	<b>582,3</b>	<b>599,3</b>	<b>396,2</b>	<b>6.923,2</b>
	Reforma	348,3	37,8	65,3	29,0	20,2	533,9
	% de reforma	8,0	5,2	11,2	4,8	5,1	7,7
<b>2011/2012</b>	<b>Total</b>	<b>4.370,1</b>	<b>779,8</b>	<b>611,4</b>	<b>678,4</b>	<b>480,9</b>	<b>7.213,5</b>
	Reforma	414,9	59,7	97,3	37,5	35,2	681,2
	% de reforma	9,5	7,7	15,9	5,5	7,3	9,4
<b>2012/2013</b>	<b>Total</b>	<b>4.419,5</b>	<b>805,5</b>	<b>610,8</b>	<b>725,9</b>	<b>542,7</b>	<b>7.359,8</b>
	Reforma	529,9	62,3	89,4	64,1	34,0	815,8
	% de reforma	12,0	7,7	14,6	8,8	6,3	11,1
<b>2013/2014</b>	<b>Total</b>	<b>4.552,0</b>	<b>866,5</b>	<b>586,4</b>	<b>818,4</b>	<b>654,5</b>	<b>7.734,8</b>
	Reforma	529,0	71,9	113,0	83,3	45,8	872,8
	% de reforma	11,6	8,3	19,3	10,2	7,0	11,3
<b>2014/2015</b>	<b>Total</b>	<b>4.685,7</b>	<b>853,1</b>	<b>635,0</b>	<b>854,2</b>	<b>668,3</b>	<b>7.977,9</b>
	Reforma	473,5	87,5	101,4	89,3	60,2	836,8
	% de reforma	10,1	10,3	16,0	10,4	9,0	10,5
<b>2015/2016</b>	<b>Total</b>	<b>4.498,3</b>	<b>824,9</b>	<b>515,7</b>	<b>885,8</b>	<b>596,8</b>	<b>7.696,9</b>
	Reforma	453,6	69,2	51,9	81,6	56,4	746,2
	% de reforma	10,1	8,4	10,1	9,2	9,5	9,7
<b>2016/2017</b>	<b>Total</b>	<b>4.773,2</b>	<b>848,0</b>	<b>617,7</b>	<b>962,6</b>	<b>619,0</b>	<b>8.130,4</b>
	Reforma	451,6	73,5	54,4	87,8	67,5	763,4
	% de reforma	9,5	8,7	8,8	9,1	10,9	9,4
<b>2017/2018</b>	<b>Total</b>	<b>4.558,4</b>	<b>820,6</b>	<b>583,7</b>	<b>911,6</b>	<b>666,0</b>	<b>7.837,8</b>
	Reforma	518,4	81,8	75,9	116,5	67,5	899,5
	% de reforma	11,4	10,0	13,0	12,8	10,1	11,5
<b>2018/2019</b>	<b>Total</b>	<b>4.426,2</b>	<b>854,2</b>	<b>569,1</b>	<b>917,1</b>	<b>647,4</b>	<b>7.705,6</b>
	Reforma	565,3	75,6	96,1	114,4	76,9	961,1
	% de reforma	12,8	8,8	16,9	12,5	11,9	12,5
<b>2019/2020</b>	<b>Total</b>	<b>4.302,2</b>	<b>820,6</b>	<b>531,0</b>	<b>943,3</b>	<b>661,0</b>	<b>7.552,1</b>
	Reforma	598,1	77,7	97,6	122,9	91,0	1.047
	% de reforma	13,9	9,5	18,4	13,0	13,8	13,8
<b>2020/2021</b>	<b>Total</b>	<b>4.444,2</b>	<b>854,2</b>	<b>518,8</b>	<b>971,6</b>	<b>637,2</b>	<b>7.720,8</b>
	Reforma	547,2	76,2	92,5	67,6	61,2	896,8
	% de reforma	12,3	8,9	17,8	7,0	9,6	11,6
	<b>Média de 11 safras</b>	<b>493,6</b>	<b>70,3</b>	<b>85,0</b>	<b>81,3</b>	<b>56,0</b>	<b>800,8</b>
		<b>11,0</b>	<b>8,5</b>	<b>14,7</b>	<b>9,4</b>	<b>9,1</b>	<b>10,8</b>

cobertura é mais adequado do que adubos verdes, pois essas plantas melhoram os atributos químicos, físicos e microbiológicos do solo, mesmo quando mantidas em superfície.

Em vista do exposto, o presente capítulo tem como objetivos: apresentar os benefícios do uso de adubos verdes para cana-de-açúcar, tanto em rotação quanto em cultivo consorciado, baseando-se em resultados científicos; citar as características das espécies com potencial de utilização; mencionar os aspectos agrônômicos de manejo; e apresentar algumas demandas de pesquisa.

## Benefícios da rotação com adubos verdes para cana-de-açúcar

Os benefícios decorrentes da sucessão de culturas, da rotação de culturas ou do cultivo intercalar, com a utilização de espécies de adubos verdes, no campo ocorrem simultaneamente; por isso, é difícil identificar qual efeito contribui mais para o aumento da produtividade. A seguir, serão apresentados os principais benefícios da adubação verde para a cana-de-açúcar, por meio de argumentos, com resultados científicos publicados ou fotos que ilustram os textos.

## Controle da erosão hídrica, do assoreamento de sulco e da compactação do solo

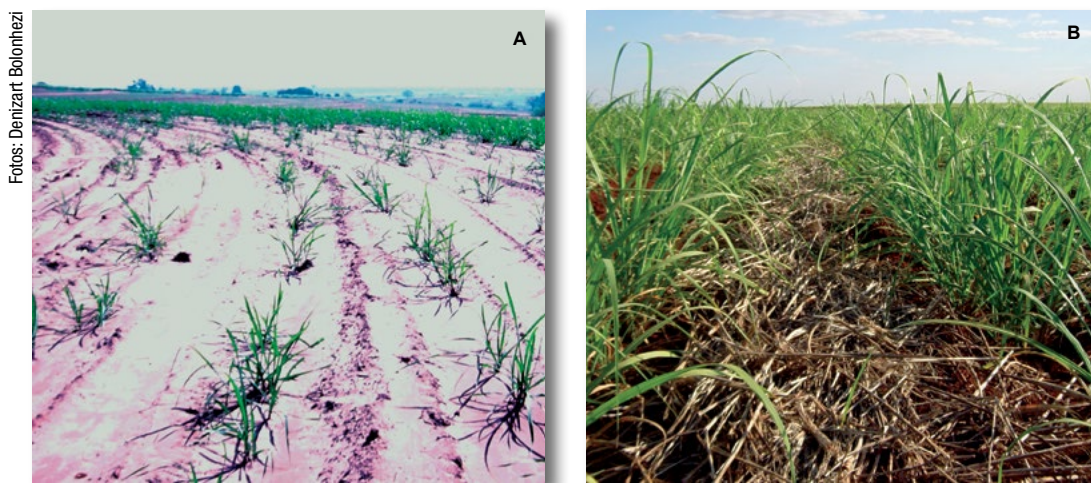
A cana-de-açúcar, em comparação com outras culturas (mamona, mandioca, feijão), é considerada pouco vulnerável à erosão hídrica, por alguns motivos: a) por ser plantada predominantemente durante o outono, período de baixa pluviosidade; b) por causa da rugosidade da superfície do solo, proporcionada pela sulcação; e c) por ser semiperene (o solo é preparado a cada 5 anos, em média). Estudos sobre perdas de água e solo, realizados durante 13 anos (entre 1943 e 1959) em quatro regiões do estado de São Paulo (Mococa, Ribeirão Preto, Pindorama e Campinas), concluíram que, em média, a cana-de-açúcar perde  $16,4 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  e 98 mm (2,8% da chuva anual), posição que coloca essa cultura próximo da cultura do milho (Marques et al., 1961; Lombardi Neto et al., 1982). No entanto, o período de reforma coincide com os meses de maior precipitação pluviométrica; conseqüentemente, é alto o risco de erosão hídrica. Conforme estudos conduzidos por De Maria e Dechen (1998), na fase de implantação do canavial, as perdas de terra podem chegar a  $49 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , enquanto as perdas de água, em torno de 7,5% da chuva, valores que correspondem à retirada de 0,5 cm de solo e à produção de 100 L  $\text{m}^2$  de enxurrada, valores que são substancialmente reduzidos a partir do segundo corte.

No estado de São Paulo, há uma legislação específica sobre o uso, a conservação e a preservação do solo agrícola, baseada na Lei Estadual nº 6.171, de 1988 (São Paulo, 1988),

regulamentada pelo Decreto nº 41.719, de 1997 (São Paulo, 1997), e complementadas por duas resoluções da Secretaria de Agricultura e Abastecimento (SAA), nºs 7 (São Paulo, 1997) e 11 (São Paulo, 2015), por uma portaria (nº 6, de 24/6/1997) e por dois decretos: nºs 44.884 (São Paulo, 2000) e 45.273 (São Paulo, 2004). Embora outros estados também apresentem legislações, somente em São Paulo (Defesa Agropecuária da SAA) e no Paraná (Agência de Defesa Agropecuária do Paraná – Adapar) é que existem órgãos governamentais específicos para a fiscalização e a aplicação da legislação. Vale salientar que as penalidades incidem sobre os autores, quaisquer que sejam eles: arrendatários, parceiros, posseiros, gerentes, técnicos responsáveis ou proprietário da terra.

Em condição de cana crua, as perdas podem ser reduzidas de três a dez vezes (Bertoni et al., 1986; Prove et al., 1995); porém, é no momento da reforma que o sistema está mais vulnerável à erosão ocasionada pelas intensas chuvas que ocorrem nesse período. Mesmo em terraços bem dimensionados, as três principais fases do processo erosivo (desagregação, transporte e depósito) podem acontecer intensivamente. Conde e Donzelli (1997) esclarecem que o plantio direto da crotalaria-júncea (*Crotalaria juncea*) permitiu eliminar terraços em declividade, até 6%.

A utilização de adubos verdes é uma ferramenta importante no controle da erosão em cana-de-açúcar, pois normalmente as espécies apresentam crescimento inicial rápido, o que permite eficiente cobertura do solo. Esse benefício é extremamente importante na condição de Argissolos, em razão da declividade mais acentuada, da menor infiltração de água (por causa do horizonte Bt) e da maior suscetibilidade do horizonte A (textura arenosa). Nesses solos, é comum o assoreamento de sulco, fato que demanda replantio. Os resíduos de adubos verdes aumentam a rugosidade na superfície do solo, o que diminui expressivamente a desagregação das partículas e, conseqüentemente, o selamento superficial. Esse exemplo pode ser visualizado na Figura 2, que demonstra os prejuízos do assoreamento do sulco em canavial plantado sobre Argissolo, em Catanduva, SP, por causa da chuva de 150 mm no mês de maio de 2007.



**Figura 2.** Falha na brotação em virtude do assoreamento de sulco, Catanduva, SP (A); plantio direto sobre *Crotalaria juncea*, em Guaira, SP (B).

Na comunidade científica, é praticamente consenso considerar a atividade das raízes como a estratégia mais indicada para melhorar a estrutura de um solo; a subsolagem, por sua vez, é somente uma prática paliativa. Pelo fato de os adubos verdes serem plantas rústicas e por apresentarem sistemas radiculares abundantes e profundos, são extremamente importantes para a formação e a estabilização de agregados, melhorando, assim, a infiltração e a aeração.

## Fixação biológica de nitrogênio e micorrização

Um canalial a ser renovado, quando em sistema de colheita mecanizada crua, pode potencialmente fornecer aproximadamente 197 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio (N), considerando-se a quantidade presente no palhicho residual, na rebrota da soqueira e no sistema radicular (Franco et al., 2007). Todavia, muito pouco é mineralizado e disponibilizado para a planta no momento ideal, ou seja, em torno de 4% em um ano (Gava et al., 2003). Portanto, considerando os elevados preços dos fertilizantes (US\$ 2 por kg de N), o cultivo prévio ou intercalar de adubos verdes (leguminosas) apresenta-se como importante estratégia para reduzir custos com adubação.

A fixação biológica de N atmosférico (N<sub>2</sub>) realizada pelas espécies leguminosas por meio da associação simbiótica com bactérias do gênero *Bradyrhizobium* permite, ao menos, suprir a cana-planta com volume de N necessário. A fixação biológica de N (FBN) pela cana-de-açúcar, por meio de bactérias diazotróficas, também pode contribuir com o fornecimento de N, com 17% a 60% do N total necessário para a planta (Ruschel; Vose, 1982; Polidoro et al., 2001). Essa associação é favorecida pela melhoria da qualidade biológica do solo, por intermédio da adoção de práticas conservacionistas, que garantem o aumento da biodiversidade e a redução de pesticidas.

O emprego de fertilizante nitrogenado em cana iniciou-se em 1940, com a aplicação de nitrato de sódio; porém, nessa época, predominava o uso de adubos verdes no manejo nutricional da cana. Desde então, já se conhecia que a quantidade de N na matéria seca da crotalária e da mucuna representava 3,2% e 2,2%, respectivamente (Catani et al., 1954).

As quantidades de N e de outros macronutrientes absorvidos pelas distintas leguminosas utilizadas em sucessão com a cana-de-açúcar encontram-se na Tabela 2. Potencialmente, todas são capazes de suprir as quantidades de N requeridas pela cana-de-açúcar; entretanto, deve-se considerar a sincronia entre a demanda nutricional da planta e a disponibilidade de nutrientes provenientes da decomposição. Pesquisas que utilizam técnica isotópica (<sup>15</sup>N) demonstraram que, do N fixado pela mucuna-preta (*Mucuna aterrima*) e pela crotalária-júncea, cerca de 60% a 80% permanecem na matéria orgânica do solo, 36% são absorvidos pela cultura seguinte e de 5% a 10% são perdidos no sistema solo-planta (Ambrosano, 1995; Ambrosano et al., 2009). Segundo Ambrosano et al. (2005b), a maior recuperação foi encontrada na ocasião da colheita, em que 40% foram para a fonte sulfato de amônio e 10% para a fonte adubo verde, quando foram aplicados 195,6 kg ha<sup>-1</sup> e 70 kg ha<sup>-1</sup> de N, respectivamente, na forma de crotalária-júncea e sulfato

**Tabela 2.** Quantidades de macronutrientes deixados no solo pelas principais espécies de leguminosas utilizadas como adubos verdes na cultura da cana-de-açúcar.

Espécie	Matéria seca (t ha <sup>-1</sup> )	N	P	K	Ca	Mg	S	Autor
Crotalária-júncea ( <i>Crotalaria juncea</i> )	16	313	34	293	-	-	-	Glória et al. (1980)
	10	250	19	120	231	47	-	Calegari (1995)
	7,1	235	18,5	101,5	53,3	29,1	16,3	Caceres e Alcarde (1995)
	17,8	612	25	507	163	84	-	Duarte Júnior (2005)
	6,2	97	5,8	33	34	21	-	Ambrosano et al. (2010)
Crotalária-spectábilis ( <i>C. spectabilis</i> )	6,0	130	5,4	95	26	22	-	Calegari (1995)
	4,2	113,4	8,8	94,5	63,0	15,5	7,6	Caceres e Alcarde (1995)
Mucuna-preta ( <i>Mucuna aterrima</i> )	5,7	147	17	196	-	-	-	Glória et al. (1980)
	10	250	19	120	231	47	-	Calegari (1995)
	3,0	81	6,3	36,6	18,6	7,5	4,2	Caceres e Alcarde (1995)
	10	250	13	141	118	27	-	Duarte Júnior (2005)
	5,0	109	8,9	50	61	17	-	Ambrosano et al. (2010)
Lablab ( <i>Dolichos lablab</i> )	-	135	30	40	-	-	-	Albuquerque et al. (1980)
	8,0	189	35	187	109	38	-	Calegari (1995)
	3,5	94,5	8,8	48,7	22,8	9,1	8,1	Caceres e Alcarde (1995)
Guandu-anão ( <i>Cajanus cajan</i> )	5,5	141,9	10,5	62,2	25,3	10,5	-	Caceres e Alcarde (1995)
Feijão-de-porco ( <i>Canavalia ensiformis</i> )	5,0	160	7,5	281	68	32	-	Calegari (1995)
	5,0	190	10	67,5	50,5	18	10,5	Caceres e Alcarde (1995)
	12,6	403	19	709	141	118	27	Duarte Júnior (2005)
Feijão-mungo ( <i>Vigna radiata</i> )	2,2	27	2,4	17	17	12	-	Ambrosano et al. (2010)
Girassol 'IAC-Uruguai' ( <i>Helianthus annuus</i> )	15,2	71	7,7	120	171	98	-	Ambrosano et al. (2010)
Soja ( <i>Glycine max</i> )	7,7	261	22	223	-	-	-	Glória et al. (1980)
	6,2	51	4,0	42	97	26	5	Barcelos (1990)
	3,0	96	2,4	45	28	14	10	Embrapa (2004)
	3,6	122	8,7	14	46	28	-	Ambrosano et al. (2010)
Amendoim-ereto ( <i>Arachis hypogaea</i> )	2,4	33	6,0	68	31	14	6	Barcelos (1990)
	1,8	34	3,8	27	18	11	-	Ambrosano et al. (2010)
Amendoim-rasteiro ( <i>Arachis hypogaea</i> )	6,0	108	8,4	60	70	28	6	Bolonhezi (2007)
	1,9	39	2,7	35	19	13	-	Ambrosano et al. (2010)

de amônio. Quanto maior a eficiência da adubação verde, maior será a preservação do N presente no material orgânico original do solo (Ambrosano et al., 2009).

Deve-se considerar também que os teores de N variam entre as partes das plantas. Em consequência disso, a decomposição e a disponibilidade são afetadas. Resende et al. (2000) verificaram que, na crotalária-júncea, a produção de matéria seca ( $t\ ha^{-1}$ ) e o N total ( $kg\ ha^{-1}$ ) foram, respectivamente, 10,41 e 114,85 nos talos e 114,85 e 83,77 nas folhas. Por sua vez, para o feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*), esse resultado foi de 4,12 e 64,92 nos talos e de 2,97 e 108,79 nas folhas. Esses autores concluíram, também, que o tempo de meia-vida do N contido em crotalária-júncea e feijão-de-porco foi de 34 e 45 dias para as folhas e de 88 e 109 dias para os talos, respectivamente.

Já em relação às leguminosas comerciais, as espécies de adubos verdes fornecem quantidades muito maiores de N. Eventualmente, quando a época de plantio do novo canavial está comprometida, pode-se optar por não colher os grãos das leguminosas comerciais cultivadas na renovação. Hemwong et al. (2008) verificaram, para as condições da Tailândia, que, embora a soja ( $234\ kg\ ha^{-1}$  de N, 78% de FBN) tenha fixado mais N do que o amendoim ( $170\ kg\ ha^{-1}$  de N, 67% de FBN), a quantidade de N presente nos resíduos da colheita da soja e do amendoim foram, respectivamente, de  $61\ kg\ ha^{-1}$  e  $146\ kg\ ha^{-1}$ . Isso ocorre por causa da grande exportação de N pelos grãos de soja, o que, para as cultivares atuais, representa aproximadamente 61% do N fixado. Os adubos verdes ocasionam outras alterações que favorecem a fertilidade do solo, tais como: incremento significativo na soma de bases, em virtude dos aumentos nos teores de cálcio (Ca) e magnésio (Mg), elevação do pH e do percentual de saturação por bases (V%) e aumento da matéria orgânica e dos teores de fósforo (P).

A associação de espécies de adubos verdes com fungos micorrízicos arbusculares (FMA) é outro aspecto relevante, todavia pouco estudado para cana-de-açúcar. As espécies de adubos verdes favorecem a multiplicação dos FMA e sua colonização na cultura subsequente, o que ajuda a aumentar a absorção de nutrientes com baixa mobilidade no solo (P, principalmente), além de outros benefícios (resistência a patógenos de raízes e ao déficit hídrico). Ambrosano et al. (2010) relatam que as maiores porcentagens de infecção de raízes por micorrizas ocorreram com cultivo prévio de amendoim-rasteiro (74%) e girassol 'IAC-Uruguai' (73%), seguidos pela mucuna-preta e crotalária-júncea, com, respectivamente, 65% e 49%. Além disso, em razão do profundo sistema radicular, as espécies de adubos verdes devolvem para as camadas superficiais os elementos lixiviados, e realizam com eficiência a ciclagem de nutrientes e a absorção de microelementos nutrientes, principalmente do zinco (Zn), presente em grandes quantidades no girassol 'IAC-Uruguai', provavelmente por causa da associação de micorrizas nas raízes.

## Redução da população de nematoides

Na cultura da cana-de-açúcar, já foram registradas 310 espécies e 48 gêneros de nematoides, dos quais os ectoparasitos são os mais abundantes, embora os endoparasitas sedentários



sejam os principais responsáveis pelas perdas significativas na produtividade, que pode chegar a 15,3% (Rosa et al., 2004; Cadet; Spaul, 2005). Há três princípios gerais envolvidos no controle dos nematoides fitoparasitos por meio do uso de adubos verdes, quais sejam: redução da população por causa da falta de alimento (plantas não hospedeiras); liberação de substâncias orgânicas tóxicas no momento da decomposição dos restos culturais; e formação de substrato propício ao desenvolvimento de microrganismos antagônicos. É importante esclarecer que não existe adubo verde ideal, que controle todos os nematoides; portanto, identificar o problema é fundamental para lograr êxito com o uso dessas espécies (Tabela 3).

**Tabela 3.** Reação de adubos verdes aos nematoides das galhas e das lesões.

Espécie de nematoide	Hospedeiro desfavorável	Hospedeiro favorável
<i>Meloidogyne javanica</i>	Crotalárias, milheto, aveia	Feijão-de-porco, lablab, nabo-forrageiro
<i>Meloidogyne incognita</i>	Crotalárias, mucunas, aveia	Feijão-de-porco, lablab, nabo-forrageiro
<i>Pratylenchus brachyurus</i>	Crotalárias, nabo-forrageiro	Mucunas

Fonte: Adaptado de Rossi (2002).

Deve-se, também, considerar que muitas vezes o controle é eficiente somente para algumas raças de determinado nematoide, o que exige maior refinamento na identificação. Inomoto et al. (2006) verificaram que a mucuna-preta é muito eficiente para evitar a multiplicação de *Meloidogyne javanica*, mas favorece as populações de *Pratylenchus brachyurus*. Convém salientar que são sérios os problemas de ataque de *Pratylenchus* spp. na cana-de-açúcar, razão pela qual muitas usinas evitam o cultivo de soja na renovação. De maneira geral, a espécie mais utilizada no controle de nematoides em cana-de-açúcar é a *Crotalaria spectabilis*, pois apresenta os dois mecanismos de controle, diminui a população pelo fato de não ser hospedeira e aprisiona as fêmeas nas raízes, o que reduz efetivamente o desenvolvimento e a reprodução dos nematoides-das-galhas (*Meloidogyne incognita*).

Pesquisas demonstraram que exsudatos de células de crotalaria-júncea, em condições controladas, inibem o desenvolvimento de formas juvenis de *M. incognita*, com resultados semelhantes à aplicação do nematicida aldicarb (Rocha; Campos, 2004). Todavia, por causa da alta volatilidade ou rápida decomposição por microrganismos, essas substâncias tóxicas (ácidos acético, propiônico e butírico) apresentam baixa eficiência em condições de campo. Por sua vez, já existe comprovação de que a redução da população de *M. incognita*, após a incorporação da mucuna-preta, deve-se à liberação de substâncias de cadeias longas com atividade nematicida (triacontil tetracosanato e tetracontanol), as quais atuam sobre as formas juvenis desses nematoides e são liberadas para o solo após a decomposição dos resíduos. Para as condições africanas, Adediran et al. (2005) verificaram que, após 30 meses do plantio da cana, a redução da população dos nematoides quantificados (*Meloidogyne* sp., *Pratylenchus* sp. e *Helicotylenchus* sp.), por causa do cultivo prévio com *Chromolaena odorata*, mucuna (*Mucuna utilis*) e vegetação espontânea,



foram, respectivamente, 67% a 79%, 64% a 72% e 30% a 49%. Os autores esclarecem que a supressão da população de *Pratylenchus* sp., em razão do cultivo da mucuna, foi em média de 60%.

Em condições de campo, há resultados que demonstram a redução da população de *M. incognita* e *M. javanica* depois do cultivo de crotalária-júncea por 2 anos (Moura, 1991), e aumento significativo na produtividade de colmos (Moura, 1995). Rosa et al. (2003) constataram a redução da população de *Meloidogyne* sp. e o aumento de *Pratylenchus zae*, porém sem acréscimos na produtividade. Por sua vez, Dinardo-Miranda e Gil (2005) verificaram que o cultivo de *C. juncea* não só não reduziu a população de *M. javanica* como também aumentou a de *P. zae*; contudo, os mesmos autores concluíram que a sucessão dessa leguminosa incrementou a produtividade de colmos em 20,8 t ha<sup>-1</sup>.

A população de nematoides de vida livre (benéficos) em relação aos parasitas aumenta de 6:1 para 136:1 quando leguminosas adubos verdes são cultivadas em reforma de canaviais (Stirling et al., 2001). A manutenção da palhada de cana crua na superfície do solo também contribui para aumentar a população de nematoides benéficos e reduzir as populações de *M. javanica* e *P. zea*, respectivamente, em 69% e 59% depois de 6 meses (Stirling, 2008). Bell et al. (2007) sumarizam resultados de pesquisa australianos, os quais demonstram que a adoção de manejo conservacionista de solo com rotação de culturas ajuda a reduzir em 72% a participação de *Pratylenchus* sp. na população total de nematoides no solo, entre outros benefícios que conferem aumento à capacidade produtiva do solo. Cardoso et al. (2015), comparando a abundância de nematoides em mata e canaviais em diferentes locais, no estado de Pernambuco, verificaram que, em fragmentos de vegetação nativa, 69% dos nematoides eram de vida livre, enquanto, em canaviais, 76% dos indivíduos quantificados eram de espécies parasitas de planta, dos quais predominaram os gêneros *Pratylenchus* (41%) e *Helicotylenchus* (23%). O restabelecimento do equilíbrio entre organismos benéficos e patógenos dependerá de alterações nas práticas agrícolas e da inserção de espécies utilizadas como adubos verdes em esquemas de rotação ou consorciação.

Além de controlar nematoides, o aumento da biodiversidade proporcionado pelo cultivo de espécies de adubos verdes contribui para diminuir a pressão de doenças que afetam a cana-de-açúcar. Pankhurst et al. (2005) avaliaram, para as condições da Austrália, a contribuição de diferentes rotações no controle de fungos deletérios e nematoides parasitas. Delinearam experimento de longa duração, no qual avaliaram *Urochloa* (Syn. *Brachiaria*) *decumbens*, *Arachis pintoi*, soja, amendoim e pousio, por 4,5 anos, em relação ao cultivo contínuo, combinados com biocidas (fungicidas, nematicidas). Concluíram que a resposta ao uso de fungicida + nematicida em condições de monocultivo, pousio, rotação com leguminosas e pastagem foi, respectivamente, de 47%, 30%, 13% e 10%. Esse resultado indica que o aumento na biodiversidade do solo proporcionado pelas culturas de rotação contribuiu significativamente para controlar as populações de nematoides e inóculo de fungos patogênicos; por conseguinte, diminuiu a resposta aos pesticidas.

Buscar sistemas agrícolas mais equilibrados e menos dependentes de insumos e defensivos é uma constante na comunidade científica e forte demanda no setor produtivo canavieiro. Solo saudável é aquele que tem capacidade de realizar suas funções no ecossistema dentro das limitações do seu entorno, mantendo larga e diversa microbiota e patógenos supressores, sem comprometer o desenvolvimento das culturas (Bracking et al., 2017; Ferris, 2017). De acordo com Stirling et al. (2016), solo saudável, que é o que mais se aproxima da condição da vegetação nativa, exerce várias funções: decompõe e mineraliza materiais orgânicos, redistribui nutrientes, melhora a estrutura do solo, reduz a erosão, biodegrada toxinas e controla pragas e patógenos. Bracking et al. (2017) esclarece que, em solo sob cultivo com cana-de-açúcar, a população microbiana é reduzida em 50% a 70%, em comparação com solos sob vegetação nativa em áreas adjacentes, condição que resulta em baixa capacidade de reação ao aumento da população de patógenos e pragas, pois é baixa a oferta de carbono (C) lábil para a atividade microbiana e, conseqüentemente, para toda a cadeia alimentar do solo.

## Supressão de plantas daninhas e fitorremediação de herbicidas

Entre as cerca de mil espécies infestantes que exercem efeitos diretos ou indiretos sobre a produção e os custos da cana-de-açúcar, destaca-se a tiririca (*Cyperus rotundus*). Essa espécie compromete a brotação e o desenvolvimento inicial, e pode reduzir o estande de 25% a 30%, mesmo com capinas, o que denota o forte efeito alelopático dessa infestante (Wutke; Arévalo, 2006). O efeito alelopático do feijão-de-porco sobre plantas de tiririca é o mais conhecido, embora as mucunas também ocasionem efeito inibitório sobre outras espécies. Bolonhezi e Bolonhezi (1992) constataram que, mesmo com a redução da população de plantas de feijão-de-porco, há um eficiente controle de tiririca. Além disso, caso os resíduos não sejam incorporados ao solo, a palhada dos adubos verdes funciona como barreira física contra a emergência das plantas daninhas. O controle de plantas infestantes pode ser maior que 80% quando se utiliza adubação verde na cultura da cana, com grande viabilidade de combinação com outros métodos de controle (Tabela 4).

No que concerne à cana crua, a adoção de sistemas de manejo conservacionistas do solo pode auxiliar sobremaneira a controlar plantas daninhas. Pesquisas conduzidas em condição de Argissolo e Latossolo no estado de São Paulo estudaram a interação entre sistemas de manejo do solo e culturas utilizadas em sucessão, entre elas a crotalária-júncea e a mucuna-cinza, além de pousio, soja, amendoim e girassol. Verificou-se que a manutenção da palhada de cana crua no sistema plantio direto reduziu significativamente a diversidade de espécies (11 de um total de 25 identificadas), diminuiu a população de plantas infestante, a biomassa seca e o índice de valor de importância relativo das plantas daninhas (Soares et al., 2011). Embora, no pousio, o plantio direto e o cultivo mínimo reduzam a biomassa seca das plantas daninhas em 62% e 55%, respectivamente, em comparação com o plantio convencional, se for utilizada a rotação de

**Tabela 4.** Controle de plantas infestantes em área de reforma de cana-de-açúcar.

Tratamento	Total por canteiro	<i>Panicum maximum</i> <i>Cyperus rotundus</i> <i>Indigofera hirsuta</i>			Controle (%)
		(g m <sup>-2</sup> )			
Testemunha	549,1	3,50	40,8	6,50	0,0
Sulfentrazona	47,2	0,25	-	-	91,4
Halosulfurona	305,2	1,00	1,25	0,25	44,4
Crotalária-júncea ( <i>Crotalaria juncea</i> )	45,1	1,25	2,00	3,50	91,8
Crotalária-espectábilis ( <i>Crotalaria spectabilis</i> )	69,4	-	3,00	1,00	87,4
Feijão-de-porco ( <i>Canavalia ensiformis</i> )	48,7	2,00	3,25	-	91,1
Guandu ( <i>Cajanus cajan</i> )	49,4	1,25	1,25	1,25	91,0
Girassol ( <i>Helianthus annuus</i> )	387,1	1,00	41,0	3,00	29,5
Lablab ( <i>Dolichos lablab</i> )	111,8	1,00	5,50	2,00	79,6
Mucuna-preta ( <i>Mucuna aterrima</i> )	23,1	0,25	-	-	95,8

Fonte: Adaptado de Wutke e Arévalo (2006).

culturas com crotalária-júncea ou mucuna-cinza, o efeito dessas sobre a vegetação espontânea será tão significativo que praticamente dispensará o manejo de solo (Soares et al., 2012; Soares et al., 2016). O cultivo do girassol, por exemplo, que apresenta duplo propósito (para adubação verde e comercial), apresenta o seguinte problema: por causa da baixa disponibilidade de herbicidas seletivos e da alta susceptibilidade dessa espécie a doenças quando cultivada no verão – principalmente quando se utilizam genótipos precoces, tais como IAC-larama (85 dias de ciclo) –, a infestação de plantas daninhas é maior, em comparação com leguminosas (adubos verdes) e comerciais (Soares et al., 2017).

O uso intensivo de herbicidas na cultura da cana-de-açúcar, principalmente das moléculas de longo residual, pode ocasionar, ao longo do tempo, problemas de fitotoxicidade ou até mesmo contaminação de aquíferos, sobretudo nos solos com baixos teores de argila e C orgânico. Entre os herbicidas, o tebuthiuron é um dos mais utilizados e o que apresenta maior persistência (de 11 a 25 meses). A fitorremediação, que é a técnica mais eficiente de descontaminação de solos, consiste no cultivo de plantas que degradam parcial ou totalmente esses compostos. Muitas espécies de adubos verdes, em virtude da rusticidade, prestam-se como plantas fitorremediadoras. Resultados de pesquisas demonstram que a mucuna-preta foi eficiente em degradar tebuthiuron

na dose de 0,5 kg ha<sup>-1</sup>, enquanto o feijão-de-porco e o tremoço-branco (*Lupinus albus*) toleraram até 1,5 kg ha<sup>-1</sup> (Pires et al., 2003, 2006).

## Aumento na produtividade de colmos e açúcar

O conjunto dos benefícios comentados nos itens anteriores confere acréscimos consideráveis na produtividade de colmos e ganhos nas características tecnológicas da cana-de-açúcar. As primeiras pesquisas sobre os benefícios agrônômicos da adubação verde para cana-de-açúcar, realizadas por Souza (1953) e Cardoso (1956), forneceram valiosos subsídios técnicos.

As pesquisas conduzidas por Cardoso (1956) demonstraram que o cultivo prévio de crotalária-júncea e lablab proporcionou aumentos de 10,7 t ha<sup>-1</sup> e 16,2 t ha<sup>-1</sup> na produtividade de colmos, respectivamente, para média de três cortes. A mesma pesquisa comprovou ainda que, para uma média de dez experimentos, a crotalária-júncea e a mucuna-preta proporcionaram aumentos médios de 14 t ha<sup>-1</sup> na produtividade da cana-de-açúcar. Nessa fase inicial, outras pesquisas já apontavam ganhos na produtividade de cana com o cultivo de crotalária-júncea (Wutke; Alvarez, 1968; Campos, 1977).

No final da década de 1980, Mascarenhas et al. (1994) conduziram experimentos na região nordeste do estado de São Paulo, os quais demonstraram que a crotalária-júncea e a mucuna-preta conferiram acréscimos de 27 t ha<sup>-1</sup> e 25 t ha<sup>-1</sup> na produtividade de colmos, e de 3,0 t ha<sup>-1</sup> e 3,2 t ha<sup>-1</sup> na produtividade de açúcar, respectivamente. Por sua vez, os aumentos referentes à aplicação de 40 kg ha<sup>-1</sup> de N foram de 9,0 t ha<sup>-1</sup> e 1,1 t ha<sup>-1</sup>. Verificaram também que os acréscimos na produtividade do cultivo, em termos percentuais, foram os seguintes: crotalária-júncea por 2 anos (39%), mucuna por 2 anos (33%), soja seguida por mucuna (33%), mucuna seguida por soja (27%) e 2 anos com soja (colheita dos grãos) (26%). Além desses resultados, concluíram que o lucro por hectare da cana após mucuna-preta e crotalária-júncea foram, respectivamente, de US\$ 72,91 e US\$ 60,22 a mais que o tratamento em pousio.

Trabalhos nacionais ratificam os aumentos decorrentes da adubação verde na produtividade de colmos. Em condição de Neossolo Quartzarênico, Cáceres e Alcarde (1995) verificaram que, no primeiro corte, a cana após sucessão com crotalária-júncea e *C. spectabilis* produziu 15 t ha<sup>-1</sup> de colmos a mais que o tratamento com pousio. Contudo, no segundo corte, essa diferença diminuiu para 7,2 t ha<sup>-1</sup> e praticamente desapareceu no terceiro corte. As características tecnológicas não foram alteradas em nenhum dos cortes. Para o genótipo RB72454, Resende et al. (2000), em pesquisa conduzida no Rio de Janeiro, verificaram ganhos de 7 t ha<sup>-1</sup> e 10 t ha<sup>-1</sup> de colmos, com cultivo prévio de feijão-de-porco (*C. ensiformis*) e crotalária-júncea. Para a condição do Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico, em Piracicaba, SP, pesquisas conduzidas com o genótipo IAC 87-3396 demonstraram que o cultivo de crotalária-júncea e mucuna-preta proporcionou ganhos de 25 t ha<sup>-1</sup> na média de dois cortes (Ambrosano et al., 2005a; Rossi et al., 2006). Por sua vez, na média de três cortes, os acréscimos proporcionados somente em razão da crotalária-júncea

foram de 21 t ha<sup>-1</sup> (Sakai et al., 2007). Considerando a média de cinco cortes, a maior renda líquida foi verificada com o cultivo de cana-de-açúcar após crotalária-júncea, que apresentou ganhos de 61% em relação ao pousio, seguido pela mucuna-preta (Ambrosano et al., 2013).

Para as condições de Campos dos Goytacazes, RJ, foram obtidos acréscimos, em relação à testemunha, da ordem de 42 t ha<sup>-1</sup>, 35 t ha<sup>-1</sup> e 33 t ha<sup>-1</sup> na produtividade de colmos, para cultivo anterior de feijão-de-porco, mucuna-preta e crotalária-júncea. Convém esclarecer que, nessa pesquisa, o genótipo SP 80-1842 foi plantado diretamente sobre os adubos verdes (Duarte Júnior, 2006).

Resultados em áreas comerciais têm indicado que a crotalária-júncea pode elevar a produtividade da cana-de-açúcar entre 5% a 10%, com algum reflexo positivo no aumento da longevidade (Orlando Filho et al., 1994). Esses resultados concordam com pesquisas realizadas em diversos locais, tais como: Cuba (Cuellar Ayala et al., 2003), que obteve aumentos de 14% a 84%, quando comparados à monocultura; Ásia (Bokhtiar et al., 2003), onde os acréscimos foram de 21% e 26%, para cultivo de crotalária-júncea e *Sesbania aculeata*, respectivamente; Austrália, cujos ganhos foram de até 27% na produtividade de colmos (Garside et al., 2007), podendo chegar a 47% quando associada ao plantio direto, em relação ao alqueive. Shumann et al. (2000), para as condições da África do Sul, em extensa revisão, concluem que os ganhos em produtividade da cana-de-açúcar em rotação com crotalária-júncea e feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.) são de 45% e 23%, no primeiro corte e nas soqueiras, respectivamente.

Considerando que a grande expansão da canavicultura tem ocorrido principalmente nas áreas de Cerrado, nas quais predominam ambientes de produção D e E (ver conceito na introdução deste capítulo), Bolonhezi e Fernandes (2006) avaliaram a contribuição da crotalária-júncea, da *C. spectabilis*, da mucuna-preta e do guandu, para os genótipos RB867515 e SP 83-2847, em condição de Latossolo Vermelho distroférico, localizado em Aparecida do Taboado, MS. Resultados preliminares da produtividade de cana-planta apresentaram ganhos de 12 t ha<sup>-1</sup> e 16 t ha<sup>-1</sup>, em relação à testemunha, para o cultivo prévio de guandu e crotalária-júncea, respectivamente.

## Modalidades de cultivo dos adubos verdes utilizados na reforma de canaviais

Embora existam centenas de espécies leguminosas com potencial de utilização na reforma, no cultivo intercalar e pelo método inter-rotacional ocorrendo simultaneamente (Meiosi) em canaviais, as principais são: crotalária-júncea, *C. spectabilis*, feijão-de-porco (*C. ensiformes*), lablab, mucuna-preta, mucuna-cinza (*M. cinereum*) e guandu. Eventualmente, culturas comerciais, como o feijão-caupi, o girassol e a soja, são utilizadas com a finalidade de adubação verde, assim como

outras espécies não leguminosas, como o nabo-forrageiro (*Raphanus sativus*). As características dessas espécies foram apresentadas no Capítulo 3, do Volume 1, desta obra.

O cultivo de espécies leguminosas em sucessão, período compreendido entre a retirada de um canavial e o plantio de um novo, é a modalidade predominante no sistema de produção da cana-de-açúcar. As características da sucessão ou rotação de cultivos (poucas situações) para cana-de-açúcar já foram discutidas nos itens anteriores. Todavia, existem outras modalidades viáveis para sua utilização, tais como: o cultivo intercalar e o sistema denominado Meiosi.

O cultivo intercalar (ou consórcio de espécies comerciais, ou adubos verdes) com a cultura da cana-de-açúcar é conhecido e praticado desde o século 17, em muitos países, sobretudo naqueles onde predomina a agricultura em pequena escala, por representar um meio eficiente de aumentar a renda e assegurar a produção de alimentos, otimizando, assim, o uso das terras agrícolas. A maioria dos resultados de pesquisa sobre cultivo intercalar refere-se ao uso de culturas comerciais na implantação dos canaviais (Goviden, 1990; Parsons, 1999, 2003). Enquanto, nas Ilhas Maurício, por exemplo, foram obtidos resultados favoráveis em termos de produtividade (ganhos de 23 t ha<sup>-1</sup> de colmos) do consórcio de cana-de-açúcar com batata, os quais contribuíram para que 77% das áreas de cultivo desse tubérculo fossem feitas nas entrelinhas dos canaviais (Goviden, 1990); em outros países, como a Nigéria, foram constatadas, porém, quedas entre 14% e 32% no rendimento dos canaviais consorciados com soja, gergelim e quiabo (Ndarubu et al., 2000), ou, então, com tomate e melão (Gana; Busari, 2003). Nankar (1990), para as condições da Índia, menciona que o cultivo de batata consorciada com cana-de-açúcar diminuiu, em 11%, problemas associados à qualidade dos tubérculos e reduziu o custo de produção da batata, sem reduzir a produtividade de colmos. E há outros tantos benefícios do cultivo intercalar mencionados na literatura, tais como: controle de plantas daninhas (Ndarubu et al., 2000; Kaur et al., 2016), melhoria nos atributos físicos e químicos do solo (Suman et al., 2006; Singh et al., 2008), aumento da atividade microbiana no solo e consequente aumento da mitigação de gases do efeito estufa (Li et al., 2013). Quanto à redução das emissões de óxido nitroso, o cultivo intercalar de soja no plantio de cana-de-açúcar, além de proporcionar ganhos em produtividade da soja, reduz as emissões em até 40% (Yang et al., 2013; Luo et al., 2016).

Estima-se que, até 2050, a população na Índia chegará a 1,76 bilhão de habitantes, situação que demandará 35 milhões de toneladas de açúcar e 32 milhões de toneladas de grãos, principalmente pulse crops (leguminosas com grãos secos). Embora os resultados de produtividade nem sempre sejam vantajosos, alguns autores mencionam benefícios em termos de retorno econômico, taxa de ocupação do solo e produtividade equivalente (Rheman et al., 2014; Gouri et al., 2015). Pesquisas mais recentes na Índia, que utilizaram sistemas mecanizados (Khippal et al., 2016), concluíram que a produtividade de colmos não é reduzida significativamente com o cultivo consorciado de pulse crops; todavia, os benefícios da otimização do tempo e do uso da terra continuam sendo confirmados (entre 22% e 28% superior).

O cultivo intercalar com espécies utilizadas como adubos verdes também é empregado na implantação de canaviais e, em menor escala, nas soqueiras, considerando que nestas últimas é preciso recorrer ao uso de semeadoras especializadas para a semeadura sobre palhada, principalmente para a cana crua. Yadav e Yaduvanshi (2001), para as condições da Índia, verificaram que o consórcio de *S. aculeata*, por 6 semanas, com cana-planta reduziu entre 9% e 13% o número de perfilhos; contudo, a incorporação dos resíduos proporcionou aumento de 10% na produtividade da soqueira no ano seguinte.

Compilando resultados de 16 pesquisas conduzidas na Índia, Ramesh et al. (2003) concluíram que o cultivo de crotalária-júncea, *Sesbania rostrata*, feijão-caupi e *S. aculeata* proporcionou ganhos em rendimento de colmos, que variaram de 4,0% a 12%, de 7,65% a 16,8%, de 2,3% a 14,8% e de 0,54% a 15,2%, respectivamente. Ramouthar et al. (2013), para as condições da África do Sul, não verificaram redução na produtividade de colmos em sete de nove ensaios conduzidos com cultivo intercalar de soja usados como adubos verdes.

Em termos de sanidade vegetal, o cultivo intercalar deve ser utilizado com cautela, pois pode aumentar o potencial de inóculo de doenças e nematoides prejudiciais à cultura principal. Todavia, quando se utiliza a espécie mais indicada, a prática pode contribuir sobremaneira no controle de nematoides, ponto importante a ser considerado para a cana-de-açúcar. Nesse sentido, Berry et al. (2009) verificaram que, nos primeiros 3 meses de consórcio, os cultivos de amendoim e mucuna-anã reduziram e aumentaram a população de *Meloidogyne*, enquanto o cultivo de feijão-de-lima (*Phaseolus limensis*) funcionou muito bem como cultura-armadilha, favorecendo o crescimento radicular da cana-de-açúcar. De acordo com Ramouthar et al. (2013), a adubação verde com leguminosas, mesmo com todos os seus benefícios, só é praticada a cada 7 anos, em média, enquanto o cultivo intercalar pode ser aplicado todos os anos.

O cultivo intercalar de adubos verdes pode ser uma alternativa para complementar a adubação nitrogenada na soqueira. Em áreas com disponibilidade de irrigação do canavial, podem ser utilizadas até mesmo espécies que apresentam bom desempenho no outono/inverno, como o tremoço-branco, e, dependendo da época, o feijão-de-porco ou o guandu-anão, conforme apresentado nas Figuras 3 e 4. Em condição de colheita mecanizada de cana crua na Austrália, Cajas et al. (2016) estudaram o cultivo intercalar de soja e feijão-mungo (*Vigna radiata*) combinados com doses de N (0,41% e 67% e 100% das doses de N recomendadas) em cobertura na cana-de-açúcar. Verificaram, então, que a combinação da leguminosa com a diminuição da quantidade de N mineral aplicado diminuiu as emissões de  $N_2O$  entre 50% e 70%, sem resultar em queda expressiva na produtividade de colmos.

No Brasil, os resultados de pesquisa foram, na sua maioria, conduzidos em condição de cana queimada e apresentaram resultados controversos. Resende et al. (2003) estudaram a influência de diferentes espécies de leguminosas semeadas em consórcio com o genótipo RB72454, durante os períodos de desenvolvimento da cana-planta e a primeira soca. Concluíram



Foto: Denizart Bolonhezi



Figura 3. Cultivo intercalar de tremoço-branco em canaviais irrigados, colhido em julho de 2008, em Sertãozinho, SP.

Fotos: Denizart Bolonhezi



Figura 4. Detalhes da *Crotalaria spectabilis* semeada diretamente sobre palhada (A). Cultivo intercalar com cana-de-açúcar (B).

que o perfilhamento foi 33% menor quando a cana-de-açúcar se desenvolveu consorciada por 70 dias com crotalária-júncea e feijão-de-porco (*C. ensiformes*), o que resultou em diminuição da produtividade, sobretudo no segundo corte. Contudo, verificaram que o cultivo intercalar com *C. spectabilis* aumentou em 7,2 t ha<sup>-1</sup> a produtividade de colmos em relação à testemunha solteira e sem N.



Por sua vez, Bolonhezi e Torrezan (2007) avaliaram a semeadura de duas linhas de guandu e feijão-de-porco na entrelinha do genótipo SP 71-6163. Os autores concluíram que, na média de 3 anos, a produtividade de colmos reduziu em  $14,8 \text{ t ha}^{-1}$ . No entanto, esclareceram que a diminuição do estande de plantas poderia viabilizar esse sistema. Pinazza et al. (2008) estudaram a possibilidade do plantio da cana-de-açúcar em sulcos duplos com o propósito de viabilizar a mecanização de culturas intercalares. Concluíram, então, que o emprego de sulcos duplos ( $0,5 \text{ m} \times 2,30 \text{ m}$ ) é viável, permitindo o plantio e a colheita das culturas consorciadas; todavia, constataram que a produtividade da variedade RB735275 foi reduzida em 9% (uma linha de milho) e 26% (duas linhas de milho) no primeiro corte, e em 32% (uma linha de milho) e 49% (duas linhas de milho). De acordo com Ambrosano et al. (2013), a crotalária-júncea, entre oito espécies de leguminosas estudadas (*mucuna-anã*, *Crotalaria ochroleuca*, *Crotalaria mucronata*, *Crotalaria brevisflora*, feijão-guandu, girassol e feijão-de-porco), foi a única que reduziu significativamente a produtividade de colmos (40%), enquanto a *C. ochroleuca* aumentou em  $7 \text{ t ha}^{-1}$  de colmos em relação à testemunha.

No Brasil, a espécie mais utilizada em cultivo intercalar é a *C. spectabilis*, semeada em talhões colhidos em final de safra, sem residual de herbicidas e com palhicho enleirado. Nesse caso, a semeadura é realizada a lanço, nas entrelinhas de soqueiras, com média de três cortes, e as sementes são distribuídas a lanço e incorporadas com gradagem leve. O manejo das plantas daninhas deve levar em consideração o uso de princípios ativos que sejam seletivos para ambas as culturas, ou seja, para a cana-de-açúcar e a cultura intercalar. Infelizmente, há poucas informações sobre a seletividade de herbicidas para adubos verdes, sendo que os poucos resultados conhecidos se referem à crotalária (Braz et al., 2016). Portanto, com o crescimento da escala de adoção, surgiram soluções sem critérios da pesquisa, que não apresentaram recomendações e muito menos registro, mas que se mostram eficientes no controle de plantas daninhas, tais como: diclosulan, s-metolachlor + sulfentrazona (solo úmido) e sulfentrazona + clomazona (em condições de solo seco). Embora a semeadura direta (Figura 4) seja desejável, ela demanda equipamento adequado, em virtude da grande quantidade de resíduos produzidos.

O sistema conhecido como Meiosi, desenvolvido por Barcelos (1984, 1990), consiste no plantio de linhas duplas de cana-de-açúcar no período das águas, intercaladas por faixas de leguminosas semeadas simultaneamente, sobre as quais são plantadas, no outono, as mudas obtidas dos sulcos contíguos. Entre as diversas vantagens que apresenta, destaca-se a redução expressiva na quantidade de mudas utilizadas (de  $1,5 \text{ t ha}^{-1}$  a  $2 \text{ t ha}^{-1}$ ) e no gasto com transporte. Nesse sistema (Figura 5), tem-se utilizado muito o cultivo de adubos verdes, principalmente as crotalárias, que são incorporadas ou não, antes do plantio de outono. Esse sistema é amplamente utilizado nas regiões canavieiras tradicionais e permite a redução média nos custos de implantação em torno de US\$ 217 por hectare. Nas regiões de expansão, trata-se de uma excelente alternativa considerando a baixa disponibilidade de mudas.



Figura 5. Sistema Meiosi com *Crotalaria spectabilis*, em Conceição das Alagoas, MG.

## Métodos de semeadura e manejo da fitomassa

O êxito da adubação verde depende da escolha da espécie mais adequada; porém, a expressão do potencial de cada espécie dependerá do conhecimento dos aspectos agrônômicos envolvidos na sua produção, desde a semeadura até o manejo da fitomassa. A semeadura pode ser realizada em linha ou a lanço, e a escolha dependerá da disponibilidade dos seguintes fatores: semeadoras, tamanho da área a ser reformada, quantidade e preço das sementes e sistema de manejo do solo adotado. Informações sobre a quantidade de sementes, espaçamento, população de plantas, época de semeadura e ciclo das principais espécies encontram-se descritas no Capítulo 3, do Volume 1, desta obra.

Com relação às crotalárias e outras espécies de sementes pequenas, predomina o sistema de distribuição a lanço, graças à rapidez da operação e ao fato de dispensar o uso de semeadora. Há indícios de que a distribuição das plantas por meio desse sistema favorece o controle de nematoides, quando comparado com a semeadura em linha. Os principais inconvenientes desse sistema são: maior gasto com sementes, maior número de operações (distribuição, aplicação de herbicida, incorporação da semente e do herbicida) e maior dificuldade no controle de plantas daninhas. Para a semeadura a lanço, normalmente são empregados distribuidores de fertilizantes (pendular ou disco) na distribuição e gradagens na incorporação (Figura 6).



Foto: Denizart Bolonhezi

Foto: José Aparecido Donizeti Carlos

**Figura 6.** Distribuidor pendular de sementes (A); campo de *Crotalaria spectabilis* semeada a lanço, em Catanduva, SP (B).

O elevado custo com sementes, aliado à necessidade de diminuir o número de operações, impulsiona a busca por soluções que reduzam o custo com semeadura de crotalaria-júncea. Nesse propósito, alguns equipamentos foram criados para efetuar a distribuição das sementes, a aplicação do herbicida e a incorporação de ambos, simultaneamente (Figura 7).



Foto: Denizart Bolonhezi

Foto: José Alcides Fernandes Ferreira

**Figura 7.** Sistema tríplice (semeadura, aplicação de herbicida e incorporação) de semeadura de crotalaria-júncea, em Catanduva, SP (A); vista com detalhe do equipamento (B).

O primeiro protótipo de equipamento para a aplicação de herbicida feita simultaneamente à semeadura foi desenvolvido pelo engenheiro-agrônomo Mário Torres, cooperado da Coopercana, e aperfeiçoado pelo Grupo Cerradinho. Esse equipamento permite reduzir os custos da semeadura da crotalaria de US\$ 156 para US\$ 75 por hectare. A incorporação também pode ser feita por meio do arado escarificador ou de subsolador com destorroador (Figura 8), no caso de opção pelo cultivo mínimo. Existe no mercado um equipamento específico que contém reservatórios de sementes. Também é possível utilizar o chamado “correntão” com distorcedor,



Foto: José Aparecido Donizetti Carlos



A



B

Foto: Denizart Bolonhezi

**Figura 8.** Subsolador com rolo destorroador, em Coruripe, AL (A); equipamento semelhante utilizado para cultivo mínimo, em Guaíra, SP, no ano de 2008 (B).

arrastado por dois tratores, sistema esse que apresenta alto rendimento operacional e permite a operação com solo em umidade adequada para semear.

Tem crescido o interesse pelo uso da mistura de diferentes espécies de adubos verdes, conhecida como “coquetéis” ou “compostos”. Essa mistura favorece a biodiversidade, em razão dos diferentes fatores presentes, como hábitos de crescimento, exploração radicular e composição nutricional e florística. Nesse caso, por causa das diferenças de tamanho e forma das sementes, a distribuição a lanço é a mais indicada. Deve-se tomar cuidado com a proporção utilizada entre as espécies, bem como com a qualidade das sementes. No exemplo ilustrado na Figura 9, foram utilizadas cinco espécies – nabo-forageiro, crotalária-júncea, *C. spectabilis*, milheto (*Pennisetum glaucum*) e guandu –, misturadas em proporções iguais.

Foto: Denizart Bolonhezi



A



B

Foto: José Aparecido Donizetti Carlos

**Figura 9.** Coquetel de sementes de cinco espécies de adubos verdes (A); visual de área com coquetel, 90 dias após a semeadura, em Arês, RN (B).

Da mesma forma, deve-se tomar cuidado com a inclusão de certas espécies gramíneas, como o milho ou o sorgo, pois elas apresentam crescimento mais rápido e, assim, podem dominar as demais, o que diminui a eficiência das leguminosas. Perin et al. (2004) relatam que a quantidade de N fornecida ao solo é de, respectivamente, 173 kg ha<sup>-1</sup> e 89 kg ha<sup>-1</sup> para a cro-talária-júncea em cultivo isolado e consorciado com milho. Além disso, as gramíneas podem aumentar a população de *Diatraea saccharalis* (broca) na cana plantada posteriormente.

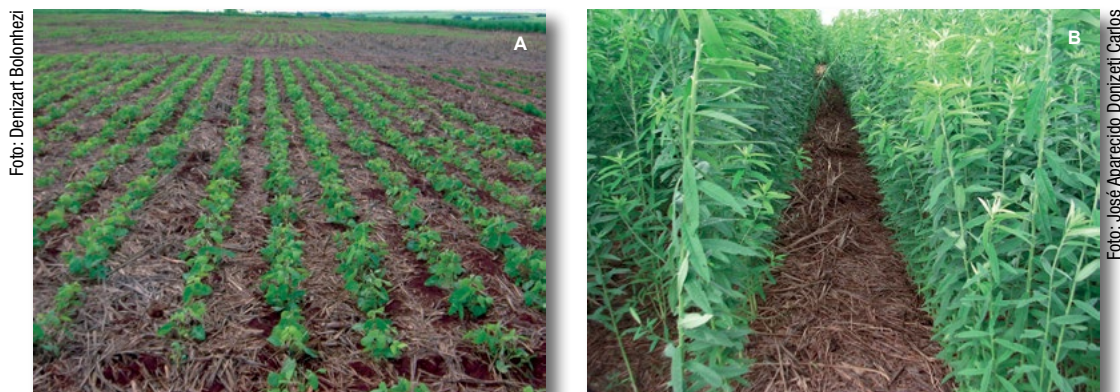
A opção por semeadura em linha permite reduzir os gastos com semente, uniformizar a emergência e favorecer o controle de plantas daninhas, caso seja necessário. A disponibilidade de discos específicos para cada tamanho de semente não é mais um entrave para a adoção da semeadura em linha. É importante mencionar que, na utilização de semeadoras pneumáticas, as sementes devem estar bem limpas, para evitar o entupimento, que é bem frequente, o que compromete o estande final de plantas. O plantio direto na reforma de canaviais, entre outras vantagens, reduz os custos de produção, diminui a emissão de CO<sub>2</sub> para a atmosfera e favorece o desenvolvimento inicial, pois estimula a nodulação das leguminosas e armazena mais água no solo (Bolonha, 2007).

Para a condição de soqueira de cana crua, a semeadora de plantio direto deve apresentar modificações, a fim de evitar o embuchamento ou a deposição das sementes sobre a palhada, principalmente em relação à altura do chassi, ao diâmetro do disco corta-palha e à presença de haste escarificadora (Figura 10). Com esse sistema, é possível romper a camada superficial mais adensada, que resulta do uso, por anos seguidos, da colheita mecanizada. Tanto em pesquisa quanto em validações comerciais, o estande de plantas não fica comprometido quando se utilizam sementes de qualidade e se faz uma boa regulagem no equipamento (Figura 11).



Fotos: José Aparecido Donizeti Carrios

**Figura 10.** Semeadora específica para semeadura direta em cultivo intercalar de soqueira de cana crua (A); detalhe do disco corta-palha e “facão” (B).



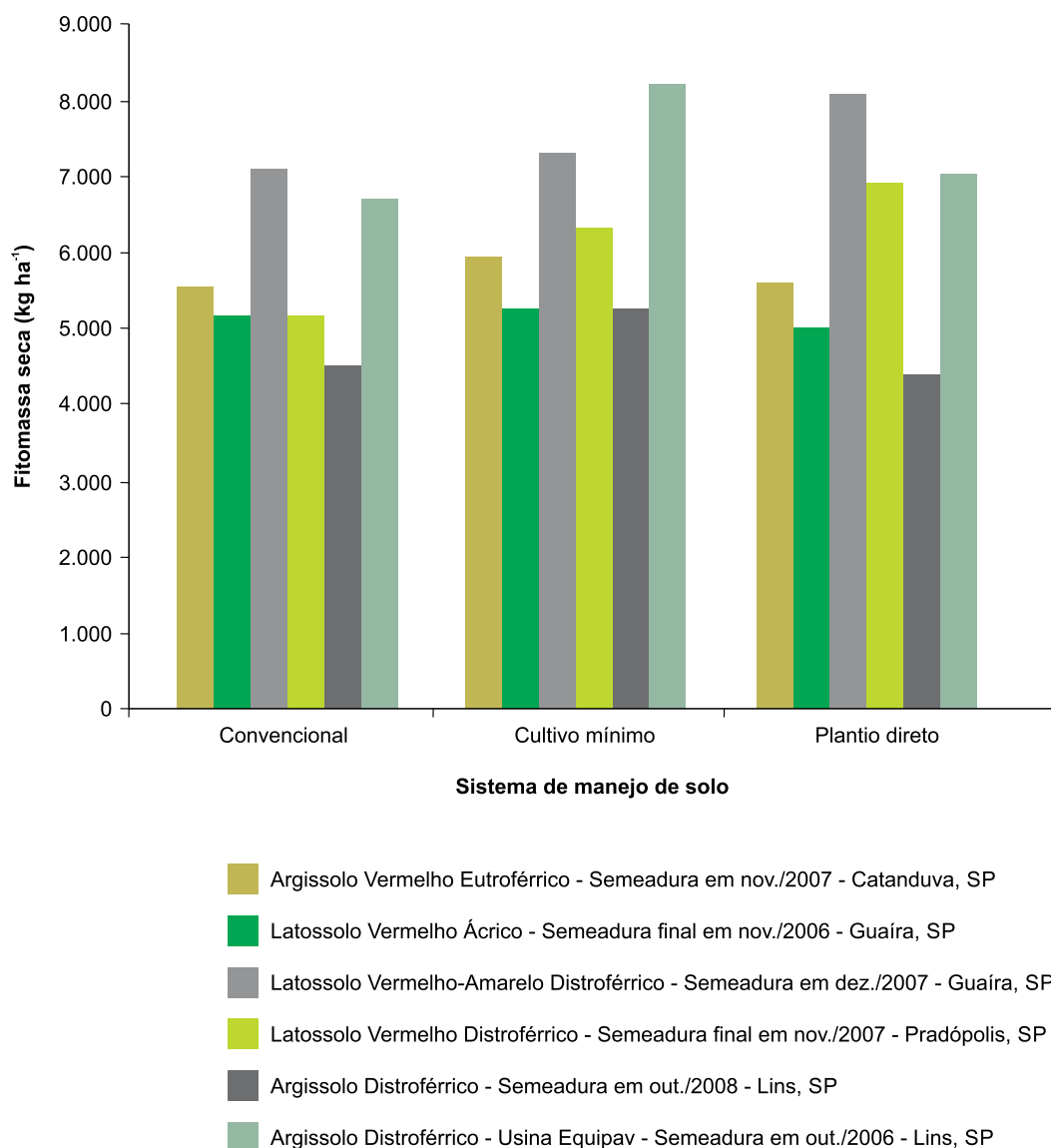
**Figura 11.** Semeadura direta de mucuna-verde (*Mucuna pruriens*), em Guariba, SP (A); semeadura direta de crotalaria-júncea, em Guaíra, SP (B).

Em Bolonhezi (2008), observa-se que a semeadura direta de *Mucuna pruriens* não compromete a produção de matéria seca da parte aérea; ao contrário, em alguns experimentos são verificados aumentos médios de  $1.500 \text{ kg ha}^{-1}$  (Figura 12). Os aumentos são mais expressivos para a crotalaria-júncea quando se utiliza manejo de solo conservacionista (Figura 13).

Convém salientar que, embora a mucuna-verde (*Mucuna aterrima*) apresente menor potencial de produção de biomassa, ela é mais rústica, o que permite semeadura em épocas tardias e em ambientes mais desfavoráveis. O manejo da fitomassa, a rigor, deveria ser realizado no florescimento, pois é nesse estágio que o acúmulo de matéria seca é maior. Todavia, essa operação é realizada frequentemente aos 90 dias, pois é nessa fase que os benefícios já ocorreram. A escolha do equipamento dependerá da espécie, da disponibilidade de máquinas, da época e do sistema de plantio da cana-de-açúcar a ser empregado na sequência.

O manejo da fitomassa pode ou não contemplar a incorporação de resíduos vegetais ao solo. A incorporação é preconizada no conceito clássico de adubação verde, com o objetivo de acelerar a decomposição e, conseqüentemente, a disponibilidade dos nutrientes; contudo, desagrega a estrutura e expõe o solo a problemas de erosão e perda de água, além de favorecer a infestação por plantas daninhas. Pode ser realizada com arado (disco e/ou aiveca), que apresenta baixo rendimento operacional ( $0,4 \text{ ha h}^{-1}$  a  $0,6 \text{ ha h}^{-1}$ ), ou por meio de grade (Figura 14), que apresenta rendimento de  $1,3 \text{ ha h}^{-1}$  a  $16 \text{ ha h}^{-1}$ .

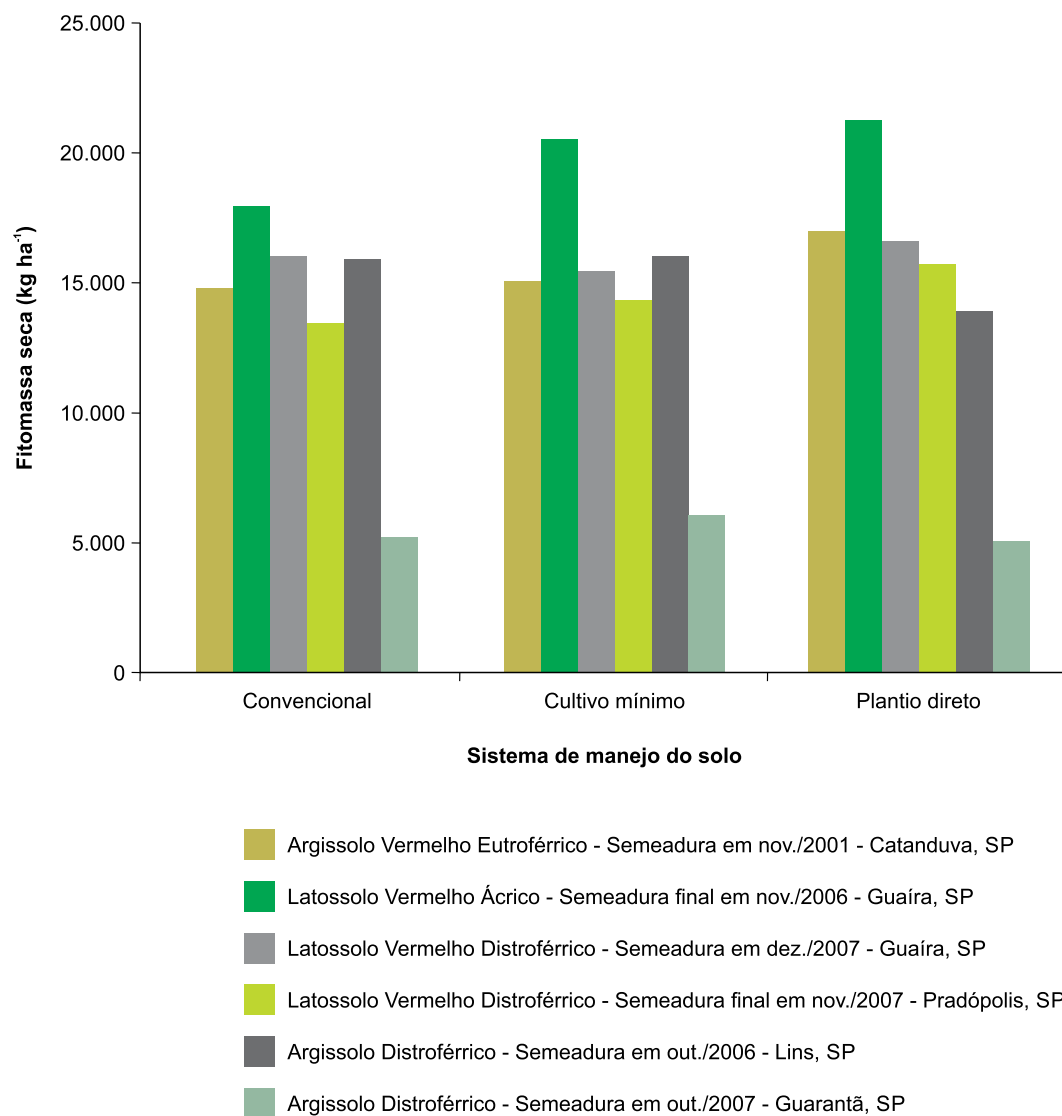
Quando o intuito é manter os resíduos na superfície do solo, os implementos agrícolas mais utilizados são: roçadoras, trituradores, rolo-faca ou tronco arrastado por trator, com a finalidade de quebrar as plantas no sentido da sulcagem. O uso de roçadoras apresenta baixo rendimento operacional ( $0,5 \text{ ha h}^{-1}$  a  $0,8 \text{ ha h}^{-1}$ ) e não é recomendado para manejo de *C. juncea*, em virtude da grande quantidade de fibra presente nessa espécie (Figura 15), característica que resulta em embuchamento.



**Figura 12.** Produção de biomassa de mucuna-verde em diferentes locais e sistemas de manejo de solo. Avaliação realizada entre 90 e 110 dias após sementeira (média de quatro repetições).

Fonte: Adaptado de Bolonhezi (2008).

O manejo com triturador (Figura 16) é mais eficiente, pois independe da característica do resíduo. Além disso, proporciona uma boa largura de trabalho (2 m a 3 m) e um bom rendimento operacional (1,0 ha h<sup>-1</sup> a 1,6 ha h<sup>-1</sup>). Entretanto, é exigente no que se refere à potência do trator e aumenta sobremaneira a decomposição dos resíduos. Quando as facas não estão niveladas e bem afiadas, a superfície do solo pode ser revolvida.



**Figura 13.** Produção de biomassa de crotalaria-júncea em diferentes locais e sistemas de manejo de solo. Avaliação realizada entre 90 e 110 dias após sementeira (média de quatro repetições).

Fonte: Adaptado de Bolonhezi (2008).

Rolo-faca (Figura 17) é um implemento desenvolvido por agricultores do Paraná, inicialmente para a rolagem de aveia-preta (*Avena strigosa*). É fabricado em diversos países. Nos Estados Unidos, recebe a denominação de *Brazilian system soil conservation*. Adaptado ao setor sucroalcooleiro, já foi muito utilizado pela sua praticidade. Contudo, apresenta baixo rendimento operacional ( $0,8 \text{ ha h}^{-1}$  a  $1,0 \text{ ha h}^{-1}$ ) e contribui para aumentar os problemas de compactação, razão pela qual é mais adequado para solos com textura médio-arenosa (Luz et al., 2005). Como, depois da sua passagem, a superfície do solo fica irregular, deve ser utilizado em períodos secos.



Fotos: José Aparecido Donizeti Carlos



**Figura 14.** Gradagem para incorporação de crotalária-júncea, em Araraquara, SP (A); quantidade de resíduos de crotalária-júncea após gradagem, em Araraquara, SP (B).

Fotos: José Alcides Hernandes Ferreira



**Figura 15.** Manejo de crotalária-júncea com roçadora de arrasto (A); resíduo de crotalária-júncea após uso de roçadora (B).

Foto: Edison Cabral da Silva



Foto: José Aparecido Donizeti Carlos

**Figura 16.** Triturador no manejo de crotalária-júncea (A); manejo de crotalária-mucronata, em Tangará da Serra, MT (B).

Fotos: José Aparecido Donizetti Carlos



**Figura 17.** Rolo-faca utilizado no manejo de adubos verdes, em Descalvado, SP (A); detalhe da biomassa de crotalária-júncea dias após rolagem (B).

Um sistema prático muito utilizado, que consiste em quebrar as plantas imediatamente antes da sulcagem, faz uso de equipamentos que variam desde um simples tombador ou “poste”, até modelos desenvolvidos especificamente para essa finalidade. O tronco improvisado na propriedade tem largura variável (de 5 m a 6 m) e apresenta, segundo Luz et al. (2005), alto rendimento operacional ( $2,5 \text{ ha h}^{-1}$  a  $3,0 \text{ ha h}^{-1}$ ); porém, o sentido do plantio fica condicionado ao do manejo (Figura 18). O manejo frontal ou “para-choque” é realizado por equipamento composto de um rolo-faca dianteiro, desenvolvido pela Coopersucar e modificado por diversas usinas (Figura 18). Esse manejo, que é bem econômico, é conjugado com a operação de sulcagem. Todavia, como dificulta a visibilidade para o operador, resulta na falta de paralelismo dos sulcos, motivo por que requer o uso de um marcador com disco (Luz et al., 2005). Esse problema é parcialmente resolvido com os tratores equipados com GPS (sistema de posicionamento global).

Em situação de plantio direto manual, semimecanizado ou mecanizado da cana-de-açúcar, é desejável não fazer o manejo da fitomassa antes do plantio, pois isso evita que as gemas fiquem

Fotos: José Aparecido Donizetti Carlos



**Figura 18.** Manejo com tronco arrastado, em Matão, SP (A); manejo frontal com equipamento do modelo Coopersucar (B).



em contato com bolsões de ar, o que resulta em falhas significativas na brotação, a qual pode aumentar em 50%. A sulcagem direta já é bastante praticada, tanto nas regiões tradicionais quanto nas áreas de expansão (Figura 19). Uma das vantagens desse sistema é o maior aproveitamento da umidade do solo, sobretudo em plantios tardios. No sistema de plantio semimecanizado e mecanizado, as mudas (colmos inteiros ou picados) são distribuídas na mesma operação de sulcagem e adubação (Figura 20). O plantio mecanizado favorece a adoção de manejo conservacionista do solo, por causa da expressiva quantidade de massa transportada pelas plantadoras, a qual facilita a abertura dos sulcos de plantio. O plantio direto de cana é viável em muitas situações, e não há restrições quanto ao estabelecimento inicial (Figura 21); porém, é imprescindível conhecer a susceptibilidade da espécie escolhida na rotação, quanto à dessecação com glifosato, para que sejam evitadas surpresas desagradáveis, como a rebrota de guandu (Figura 21).

Foto: José Aparecido Donizeti Carlos



A



B

Foto: Antonio César Bolonhezi

**Figura 19.** Sulcagem direta sobre *Crotalaria spectabilis*, em Ibitiúva, SP (A); sulcagem direta sobre crotalária-júncea, em Aparecida do Taboado, MS (B).

Foto: José Barbosa Duarte Junior



A



B

Foto: Denizart Bolonhezi

**Figura 20.** Plantadora semimecanizada sobre crotalária-júncea, em Campos dos Goytacazes, RJ (A); plantadora de cana picada sobre mucuna-verde, em Guairá, SP (B).

A compactação e o pisoteio das soqueiras, decorrentes da colheita mecanizada, são as principais causas da diminuição da produtividade e da longevidade dos canaviais. O controle do tráfego, associado com preparo profundo, tem sido preconizado como solução desses problemas e essa prática está inserida no conceito de “canteirização”. De acordo com Lanças (2015), can-



**Figura 21.** Plantio direto sobre *Crotalaria spectabilis* (A) e plantio direto sobre guandu (B), em Aparecida do Taboado, MS.

teirização é um conceito surgido em 2007, durante o *Seminário de Mecanização e Produção de Cana-de-Açúcar*, do grupo Idea. Consiste em manter uma faixa com dois sulcos de cana, para não atrapalhar o tráfego, para potencializar as condições de crescimento do sistema radicular, além de proporcionar zonas de maior infiltração de água. Pode ser executada com implementos específicos que permitam o revolvimento em uma faixa, na qual os corretivos, os fertilizantes, os compostos e a fitomassa vegetal são incorporados, em profundidade ou não (Figura 22). Segundo Marasca et al. (2015), a resistência do solo à penetração medida no sulco do plantio em preparo convencional total é três a sete vezes maior que a verificada no preparo localizado profundo sem e com o controle de tráfego, respectivamente. A sulcação profunda e canteirizada tem que ser direcionada da maneira mais adequada possível, respeitando um planejamento realizado anteriormente, pois pode favorecer a ocorrência de erosão. Deve-se salientar também que o uso sem critérios dessa tecnologia pode ocasionar problemas operacionais, como atolamento de tratores, rebaixamento da soqueira, confinamento do sistema radicular, entre outros.

O conceito de agricultura conservacionista é mais adequado para cana-de-açúcar do que o termo plantio direto, considerando que o solo é movimentado durante a operação de sulcação. Os alicerces da agricultura conservacionista estão contidos nos seguintes princípios: nenhum ou mínimo revolvimento do solo (menos que 25% da superfície) continuamente, manutenção da fitomassa residual cobrindo a superfície do solo (pelo menos 30% de cobertura) e diversificação de culturas, por meio da rotação ou da associação (FAO, 2014). De acordo com Kassam et al. (2015), no mundo são estimados 157 milhões de hectares cultivados sob esses princípios, dos quais 32 milhões de hectares estão no Brasil. Em virtude dos problemas decorrentes da compactação,

Foto: José Barbosa Duarte Junior



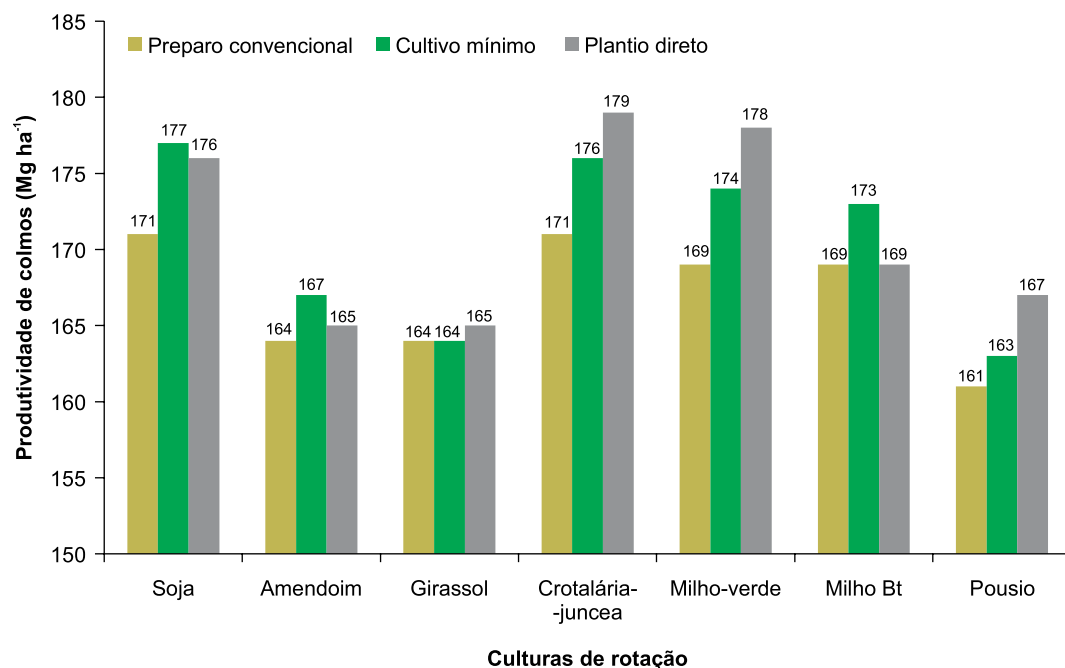
Foto: Denizart Bolonhezi

**Figura 22.** Equipamento utilizado para preparo localizado e incorporação da fitomassa de *Crotalaria* sp. (A) e modelo com reservatório para aplicação de corretivos em profundidade (B).

alguns autores consideram o controle de tráfego como um quarto pilar da agricultura conservacionista (Derpsch et al., 2011). Por se tratar de um conceito holístico, Derpsch (2014) informa que os benefícios somente serão verificados se os três princípios forem aplicados conjuntamente. A sulcação direta, tanto no plantio manual quanto no mecanizado, sobre palhada de crotalária-júncea e mucuna-verde semeadas diretamente sobre palhiço de cana crua proporciona ganhos em produtividade, além das vantagens em termos de conservação do solo e redução dos custos de produção (Bolonhezi et al., 2010). O plantio direto de cana-de-açúcar reduz as falhas de brotação, pois a tentativa de incorporar os resíduos de crotalária-júncea favorece a formação de bolsões de ar ao redor das gemas das mudas, diminuindo a absorção de água e proporcionando aumento de 13,9% nas falhas. Verifica-se, nos resultados apresentados na Figura 23, que as maiores produtividades de colmo foram obtidas no plantio direto sobre crotalária-júncea, que superou em 18 t ha<sup>-1</sup> o pousio combinado com preparo convencional.

Em virtude do maior gasto com mudas (em média 18 t ha<sup>-1</sup>) e da maior porcentagem de falhas na brotação, a adoção do plantio mecanizado não avança na proporção esperada. Já o retorno ao sistema de plantio convencional enfrenta legislação mais severa quanto à segurança do trabalhador, demandando o desenvolvimento de outros sistemas de plantio alternativos, tais como o sistema “esparrama”, o transplântio de mudas pré-brotadas e o uso de gemas peletizadas. Na Tabela 5, mostram-se características de cada um desses sistemas de plantio. Em todos eles, é possível conciliar a adoção de espécies de adubos verdes em rotação.

O transplântio de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar já é conhecido no Brasil desde o final da década de 1980 (Stolf; Tokeshi, 1990), mas recentemente foi remodelado pelo Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), passando, então, a ser conhecido como sistema mudas pré-brotadas (MPB) (Landell et al., 2013). Esse sistema de propagação consiste na extração das gemas, na formação da muda em substrato sob ambiente protegido e no posterior transplântio em campo, podendo proporcionar ganhos de 18% na produtividade (Mohanty et al., 2015). Variações desse



**Figura 23.** Produtividade de colmos na cana-planta da variedade SP86-155, submetida ao plantio mecanizado em diferentes manejos de solo (preparo convencional, cultivo mínimo e plantio direto) e culturas de rotação (soja, amendoim, girassol, crotalária-juncea, mucuna-verde, milho Bt) e pousio em Latosso Vermelho-Amarelo, Usina Guará, 2009.

Fonte: Bolonhezi e Gonçalves (2015).

sistema também foram desenvolvidos por algumas empresas privadas que atuam nesse segmento. Esses sistemas variam quanto ao tamanho do tubete, aos insumos e aos procedimentos utilizados. De acordo com Abd El Mawla et al. (2014), o uso de mudas pré-brotadas reduz em cinco vezes o gasto com matéria-prima, economiza 2.000 m<sup>3</sup> em quantidade de água utilizada na irrigação, melhora a sincronização do perfilamento e, conseqüentemente, a uniformização do estande, além de reduzir o tempo de formação do canavial. No sistema MPB do IAC (Figura 24A), a taxa de multiplicação chega a 1:60 e até 1:100. O transporte das mudas é feito em caminhões-cargo, com capacidade para 51.300 mudas, suficientes para formar 3,9 ha. Contudo, o transplântio de mudas pré-brotadas (Figura 24B) depende intensamente de irrigação na fase inicial de desenvolvimento, e a seletividade aos herbicidas não é a mesma que a da cana-de-açúcar propagada pelo sistema convencional; ademais, faltam informações sobre a viabilidade do manejo conservacionista. Tendo em vista que é preconizado principalmente para a formação de viveiro de mudas, o uso da adubação verde com leguminosas é importante para proporcionar ganhos em rendimento e qualidade.

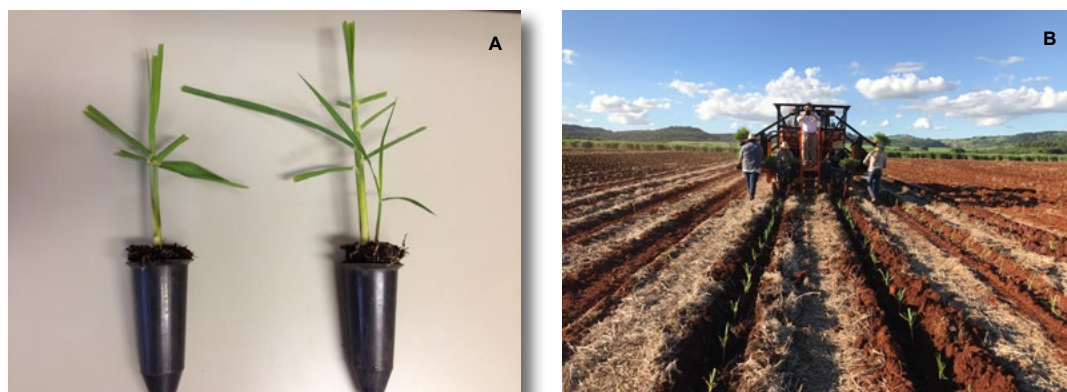
Com o objetivo de estudar a viabilidade do transplântio de mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar em sucessão a diferentes opções de culturas, projetos de pesquisa estão em desenvolvimento na Agência Paulista de Tecnologia do Agronegócio (APTA/IAC) em Ribeirão Preto, desde 2015,



**Tabela 5.** Características dos principais sistemas de plantio de cana-de-açúcar.

Sistema de plantio	Quantidade de mudas (t ha <sup>-1</sup> )	Atendimento NR31 <sup>(1)</sup>	Percentual de falhas	Exigência hídrica	Custo
Convencional	10	Não	Baixo	Média	Médio
Mecanizado	18-20	Sim	Alto	Baixa	Alto
Esparrama	10	Sim	Baixo	Média	Médio
Muda pré-brotada	1-2	Sim	Baixo	Alta	Alto
Gemas peletizadas	1-2	Sim	Baixo	Alta	Alto

<sup>(1)</sup> Norma Regulamentadora nº 31 estabelece regras relacionadas à saúde e à segurança nas atividades e operações ligadas à agricultura, pecuária, silvicultura e exploração florestal.



Fotos: Denizart Bolonhezi

**Figura 24.** Sistema muda pré-brotada do Instituto Agrônomo de Campinas (A) e transplântio direto após soja semeada diretamente sobre cana crua (B).

financiados pela Fundação Agrisus. Na Figura 25, estão apresentados alguns detalhes do manejo preparo em faixa, realizado com equipamento denominado de *Rip Strip*, adaptado ao espaçamento da cana-de-açúcar. A semeadura direta da mucuna-verde proporcionou ganhos de 1.335 kg ha<sup>-1</sup> na biomassa seca da parte aérea; conseqüentemente, forneceu 93 kg ha<sup>-1</sup> de N a mais para a cana-de-açúcar. Além desse benefício, a manutenção da palhada de mucuna-verde na superfície do solo contribuiu para reduzir em 68% a infestação de plantas daninhas (Figura 26). Resultados preliminares demonstram que o transplântio de MPB sobre palhada de mucuna-verde proporcionou menor infestação de plantas daninhas, aumento no conteúdo de água no solo, redução na temperatura na superfície do solo, aumento de perfilhos por metro, aumento entre 10,8 t ha<sup>-1</sup> e 18 t ha<sup>-1</sup> na produtividade de colmos da variedade IACSP 95-5000 e aumento de 17 t ha<sup>-1</sup> no estoque de C na camada de 0 a 60 cm (Bolonhezi et al., 2017). O desenvolvimento inicial da variedade IACSP 95-5000 no transplântio direto sobre palhada de mucuna-verde pode ser visualizado na Figura 27.

O uso de MPB em cana-de-açúcar tem sido muito difundido na implantação de sistema Meiosi, considerando que proporciona uma maior taxa de desdobramento. Enquanto, no

Fotos: Denizart Bolonhezi



**Figura 25.** Sequência de operações para transplântio, após uso do *Rip Strip*, sobre palhada de mucuna-verde: mucuna antes da dessecação (A); mucuna após dessecação (B); uso do *Rip Strip* após a dessecação (C); transplântio das mudas de cana-de-açúcar em muda pré-brotada (D).

passado, preconizava-se o uso de dois sulcos de cana-de-açúcar para fornecerem mudas para oito sulcos de plantio, com o uso do MPB foi possível reduzir para uma única linha-mãe, que proporciona desdobramentos de 1:12 (plantio de cana entre maio e junho), 1:10 (plantio entre julho e setembro) e 1:08 (plantio entre outubro e novembro), podendo chegar a 1:30 em alguns casos. É comum o uso de coquetel de espécies (40% de *Crotalaria ochroleuca* + 60% de *Crotalaria spectabilis*), por conta do crescimento mais rápido e do maior número de gemas por colmo.





Fotos: Denizart Bolonhezi

**Figura 26.** Infestação de mato: aos 37 dias após transplântio (DAT) no preparo de solo convencional (A); aos 67 DAT no tratamento convencional (B); aos 37 DAT da cana-de-açúcar no tratamento *Rip Strip* (C); aos 67 DAT de muda pré-brotada (MPB) no tratamento *Rip Strip* (D).



Fotos: Denizart Bolonhezi

**Figura 27.** Variedade IACSP-955000: aos 120 dias após transplântio no tratamento com preparo do solo (A); aos 120 dias após o transplântio no tratamento *Rip Strip* (B).

## Considerações finais

Em razão da expansão canavieira, estima-se que, anualmente, mais de 1 milhão de hectares estejam disponíveis para renovação na região Centro-Sul, os quais são passíveis da prática da rotação de culturas com espécies de adubos verdes. O lastro de conhecimento técnico-científico já acumulado, aliado às validações em escala comercial, permite afirmar que os ganhos médios na produtividade sejam de aproximadamente 20 t ha<sup>-1</sup> de colmos quando se utiliza sucessão com leguminosas adubos verdes, com possível efeito residual até o segundo corte e provável aumento nas características tecnológicas. Além disso, a quantidade de N fixado é suficiente para suprir as exigências da cana-planta.

A associação dessa prática com manejos conservacionistas de solo potencializa os benefícios agrônômicos e ambientais, além de contribuir para a redução dos custos. De modo geral, o aumento na produtividade da cana-planta amortiza entre 40% e 60% os custos de implantação do novo canavial. Os princípios da agricultura conservacionista são compatíveis com os sistemas Meiosi, mudas pré-brotadas e cultivo intercalar.

No contexto da canavicultura, a rotação ou cultivo intercalar de adubos verdes é a prática cultural com a melhor relação custo-benefício, principalmente em razão do fornecimento de N. Considerando-se as inúmeras vantagens, essa prática deveria fazer parte do planejamento agrônômico rotineiro dos canaviais. Todavia, a fim de evitar problemas e consequente retração da sua adoção, é imprescindível conhecer bem as características da espécie, utilizar sementes de qualidade e semear no momento e nas condições mais indicadas.

## Referências

- ABD EL MAWLA, H. A.; HEMIDA, B.; MAHMOUD, W. A. Study on the mechanization of sugarcane transplanting. **International Journal of Engineering and Technical Research**, v. 2, n. 8, p. 237-241, Aug. 2014.
- ADEDIRAN, J. A.; ADEGBITE, A. A.; AKINLOSOTU, T. A.; AGBAJE, G. O.; TAIWO, L. B.; OWOLADE, O. F.; OLUWATOSIN, G. A. Evaluation of fallow and cover crops for nematode suppression in three agroecologies of south western Nigeria. **African Journal of Biotechnology**, v. 4, n. 10, p. 1034-1039, 2005.
- ALBUQUERQUE, G. A. C. de; ARAÚJO FILHO, J. T.; MARINHO, M. L. **Adubação verde e sua importância econômica**. Rio Largo: IAA: Planalsucar, Coone, 1980. 10 p. (PLANALSUCAR. Boletim).
- AMBROSANO, E. F.; CANTARELLA, H.; ROSSI, F.; SCHAMMASS, E. A.; SILVA, E. C.; AMBROSANO, G. M. B.; DIAS, F. L. F.; TRIVELIN, P. C. O.; MURAOKA, T. Desempenho de adubos verdes e da primeira soqueira de cana-de-açúcar cultivados consorciadamente. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 8, n. 3, p. 80-90, 2013.
- AMBROSANO, E. J. **Dinâmica do nitrogênio dos adubos verdes, crotalária-juncea (*Crotalaria juncea*) e mucuna-preta (*Mucuna aterrima*), em dois solos cultivados com milho**. 1995. 83 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

AMBROSANO, E. J.; AZCÓN, R.; CANTARELLA, H.; AMBROSANO, G. M. B.; SCHAMMASS, E. A.; MURAOKA, T.; TRIVELIN, P. C. O.; ROSSI, F.; GUIRADO, N.; UNGARO, M. R. G.; TERAMOTO, J. R. S. Crop rotation biomass and arbuscular mycorrhizal fungi effects on sugarcane yield. **Scientia Agricola**, v. 67, n. 6, p. 692-701, Nov./Dec. 2010. DOI: [10.1590/S0103-90162010000600011](https://doi.org/10.1590/S0103-90162010000600011).

AMBROSANO, E. J.; GUIRADO, N.; CANTARELLA, H.; ROSSETTO, R.; MENDES, P. C. D.; ROSSI, F.; AMBROSANO, G. M. B.; ARÉVALO, R. A.; SCHAMMAS, E. A.; ARCARO JÚNIOR, I.; FOLTRAN, D. E. Plantas para cobertura do solo e adubação verde aplicadas ao plantio direto. **Informações Agronômicas**, n. 112, p. 1-16, dez. 2005a.

AMBROSANO, E. J.; TRIVELIN, P. C. O.; CANTARELLA, H.; AMBROSANO, G. M. B.; SCHAMMASS, E. A.; MURAOKA, T.; GUIRADO, N.; ROSSI, F. Nitrogen supply to maize from sunn hemp and velvet bean green manures. **Scientia Agricola**, v. 66, n. 3, p. 386-394, May/June 2009. DOI: [10.1590/S0103-90162009000300014](https://doi.org/10.1590/S0103-90162009000300014).

AMBROSANO, E. J.; TRIVELIN, P. C.; CANTARELLA, H.; AMBROSANO, G. M. B.; SCHAMMAS, E. A.; GUIRADO, N.; ROSSI, F.; MENDES, P. C. D.; MURAOKA, T. Utilization of nitrogen from green manure and mineral fertilizer by sugarcane. **Scientia Agricola**, v. 62, n. 6, p. 534-542, Nov./Dez. 2005b. DOI: [10.1590/S0103-90162005000600004](https://doi.org/10.1590/S0103-90162005000600004).

BARCELOS, J. E. T. de. **Comparação entre dois sistemas de rotação da cana-de-açúcar (*Saccharum sp.*)**. 1990. 67 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Jaboticabal.

BARCELOS, J. E. T. de. Meiosi cana-alimentos (método intercalar rotacional ocorrendo simultaneamente). **Saccharum**, v. 7, n. 31, p. 10-18, 1984.

BELL, M. J.; GARSIDE, A. L.; CUNNIGHAM, G.; HALPIN, N.; BERTHELSEN, J. E.; RICHARDS, C. L. Grain legume in sugarcane farming systems. **Australian Society of Sugar Cane Technologists**, v. 20, p. 97-103, 1998.

BELL, M. J.; STIRLING, G. R.; PANKHURST, C. E. Management impacts on health of soil supporting Australian grain and sugarcane industries. **Soil and Tillage Research**, v. 97, n. 2, p. 256-271, Dec. 2007. DOI: [10.1016/j.still.2006.06.013](https://doi.org/10.1016/j.still.2006.06.013).

BERRY, S. D.; DANA, P.; SPAULL, V. W.; CADER, P. Effect of intercropping on nematodes in two small-scale sugarcane farming systems in South Africa. **Nematropica**, v. 39, n. 1, 2009.

BERTONI, J.; PASTANA, F. I.; LOMBARDI NETO, F.; BENATTI JÚNIOR, R. **Conclusões gerais das pesquisas sobre conservação do solo, no Instituto Agronômico**. Campinas: IAC, 1986. 57 p. (IAC. Circular técnica, 20).

BOKHTIAR, S. M.; GAFUR, M. A.; RAHMAN, A. B. M. M. Effects of *Crotalaria* and *Sesbania acuelata* green manures and N fertilizer on soil fertility and the productivity of sugarcane. **The Journal of Agricultural Science**, v. 140, n. 3, p. 305-309, May 2003. DOI: [10.1017/S0021859603003022](https://doi.org/10.1017/S0021859603003022).

BOLONHEZI, A. C.; BOLONHEZI, D. Influência da população de plantas de feijão-de-porco para adubação verde em cultivos de verão. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BOTÂNICA DE SÃO PAULO, 9., 1992, Ilha Solteira. **Resumos...** Ilha Solteira: Ed. da Unesp, 1992. p. 238.

BOLONHEZI, A. C.; FERNANDES, F. M. **II relatório técnico do convênio UNESP/ Canavale Agrícola e Comercial**. Ilha Solteira, 2006. 1 CD-ROM.

BOLONHEZI, A. C.; TORREZAN, M. A. Intercultivo de adubos verdes na entrelinha de socas tardias de cana-de-açúcar. **Cultura Agronômica**, v. 17, n. 1, p. 87-95, 2007.

BOLONHEZI, D. **Projeto SPD na reforma de cana crua**: relatório. Ribeirão Preto, 2008.

BOLONHEZI, D. **Sistemas conservacionistas de manejo do solo para cultivares de amendoim em sucessão à cana crua e pastagem**. 2007. 158 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Jaboticabal.

BOLONHEZI, D.; GONÇALVES, N. H. **Sucessão e rotação de culturas na produção de cana-de-açúcar**. In: BELARDO, G. de C.; CASSIA, M. T.; SILVA, R. P. de. (org.). Processos agrícolas e mecanização da cana-de-açúcar. Jaboticabal: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2015. v. 1, p. 219-242.

BOLONHEZI, D.; MONTEZUMA, M. C.; FINOTO, E. L.; IVAN, L. M. A.; GOMES, G.; PALHARES, R.; GENTILIN JÚNIOR, O.; BOLONHEZI, A. C. Influence of conservation tillage and crop rotation on sugarcane yield. In: INTERNATIONAL SOIL CONSERVATION CONGRESS - ISCO, 16., 2010, Santiago de Chile. **Proceedings...** 2010. p. 18-23.

BOLONHEZI, D.; NORONHA, R. H. de F.; FURLANI, C. E. A.; XAVIER, M. A.; GARCIA, J. C.; ABREU, M. F. Sugarcane propagated by pre-sprouted buds in different soil managements after green manuring for Brazilian crop system. In: WORLD CONGRESS ON CONSERVATION AGRICULTURE, 7., 2017, Rosario. **Proceedings...** Rosario: [s.n.], 2017. p. 181.



BRACKING, R.; SCHMIDT, S.; WALTER, D.; BHUIYAN, S.; BUCKLEY, S.; ANDERSON, J. Soil Biology Healthy – What is it and how can we improve it? **Proceedings of the Australian Society of Sugar Cane Technology**, v. 39, p. 141-154, 2017.

BRAZ, G. B. P.; OLIVEIRA JUNIOR, R. S.; CONSTANTIN, J.; TAKANO, H. K.; GODINHO, F. B. Sletivity of herbicides applied in post-emergence of showy *Crotalaria*. **Revista Caatinga**, v. 29, n. 4, p. 918-926, 2016. DOI: [10.1590/1983-21252016v29n417rc](https://doi.org/10.1590/1983-21252016v29n417rc).

CACERES, N. T.; ALCARDE, J. C. Adubação verde com leguminosas em rotação com cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.). **Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil**, v. 13, n. 5, p. 16-20, 1995.

CADET, P.; SPAUL, V. Nematode parasites of sugarcane. In: LUC, M.; SIKORA, R.; BRIDGE, J. (ed.). **Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture**. Wallingford: Cabi, 2005. p. 645-674.

CAJAS, M. E. S.; ROBISON, N.; ROYLE, A.; DI BELLA, L.; WANG, W.; HEENAN, M.; REEVES, S.; SCHMIDT, S.; BRACKIN, R. Reducing nitrous oxide emissions from sugarcane soil with legume intercropping. In: INTERNATIONAL NITROGEN INITIATIVE CONFERENCE, 7., 2016, Melbourne. **Solutions to improve nitrogen use efficiency for the world: proceedings**. Melbourne, 2016. Acesso em: [www.ini2016.com](http://www.ini2016.com). 20 dez. 2017.

CAMPOS, J. C. B. **Relatório sobre campos demonstrativos de adubação verde na cana-de-açúcar**. Campos dos Goytacazes: Fundenor, 1977. 6 p.

CANASAT: mapeamento da cana via imagens de satélite de observação da terra. [São José dos Campos]: Inpe, [2016]. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/laf/canasat>. Acesso em: 14 ago. 2017.

CARDOSO, E de M. **Contribuição para o estudo da adubação verde dos canaviais**. 1956. 109 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

CARDOSO, M. de O.; PEDROSA, E. M.; FERRIS, H.; ROLIM, M. M.; VICENTE, T. F. da S.; DAVID, M. F. de L. Comparing sugarcane fields and forest fragments: the effect of disturbance on soil physical properties and nematode assemblages. **Soil and Use Management**, v. 31, p. 397-407, 2015.

CATANI, R. A.; GARGANTINI, H.; GALLO, J. R. A fixação do nitrogênio do ar pelas bactérias que vivem associadas com as leguminosas crotalária e mucuna. **Bragantia**, v. 14, n. 1, p. 1-8, 1954.

CONAB (Brasil). **Acompanhamento de safra brasileira: cana-de-açúcar, terceiro levantamento, janeiro/2011**. Brasília, DF, 2011. Disponível em: [http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11\\_01\\_06\\_09\\_14\\_50\\_boletim\\_cana\\_3o\\_lev\\_safra\\_2010\\_2011.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11_01_06_09_14_50_boletim_cana_3o_lev_safra_2010_2011.pdf). Acesso em: 11 mar. 2011.

CONDE, A. J.; DONZELLI, J. L. Manejo conservacionista do solo para áreas de colheita mecanizada de cana queimada e sem queimar. In: SEMINÁRIO DE TECNOLOGIA AGRONÔMICA, 7., 1997, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Centro de Tecnologia Cooperucar, 1997. p. 193-205.

CUELLAR AYALA, I.; ORTIZ, M. E. de L.; RUIZ, A. G.; GÓMEZ, D. P.; DELGADO, R. V.; AGUILAR, I. S. **Caña de azúcar: paradigma de sostenibilidad**. La Habana: Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar, 2003. 169 p.

DE MARIA, I. C.; DECHEN, S. C. F. Perdas por erosão em cana-de-açúcar. **STAB**, v. 17, p. 20-21, 1998.

DELGADO, F.; EVANGELISTA, M.; ROITMAN, T. BioCombustíveis. **Cadernos FGV Energia**, v. 4, n. 8, 2017, 115 p.

DERPSCH, R. Why do we need to standardize no-tillage research? **Soil and Tillage Research**, v. 137, p. 16-22, 2014.

DERPSCH, R.; FRIEDRICH, T.; LANDERS, J.; RAIMBOW, R.; REICOSKY, D.; SÁ, J. C. M.; STURNY, W. G.; WALL, P.; WARD, R. C. About the necessity of adequately defining no-tillage - a discussion paper. In: WORLD CONGRESS OF CONSERVATION AGRICULTURE, 5., 2011, Brisbane. **Proceedings...** Brisbane, 2011. p. 90-91.

DINARDO-MIRANDA, L. L.; GIL, M. A. Efeito da rotação com *Crotalaria juncea* na produtividade da cana-de-açúcar, tratada ou não com nematicidas no plantio. **Nematologia Brasileira**, v. 29, n. 1, p. 63-66, jun. 2005.

DUARTE JÚNIOR, J. B. **Avaliação agrônômica da cana-de-açúcar, milho e feijão em sistema de plantio direto em comparação ao convencional em Campos dos Goytacazes-RJ**. 2006. 284 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Niterói.

EMBRAPA SOJA. **Tecnologias de produção de soja - Região Central do Brasil 2004**. Londrina: Embrapa Soja, 2004. p. 67. (Embrapa Soja. Sistema de Produção, 6).

FERRIS, H. **Nemaplex: Nematode plant Expert Information System**. A virtual Encyclopedia on Soil and Plant Nematodes. <http://www.nemaplex.ucdavis.edu>. Acesso em: 16 nov. 2017.

FRANCO, H. C. J.; VITTI, A. C.; FARONI, C. E.; CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P. C. O. Estoque de nutrientes em resíduos culturais incorporados ao solo na reforma de áreas com cana-de-açúcar. **STAB**, v. 25, n. 6, p. 32-36, 2007.

GANNA, A. K.; BUSARI, L. D. Intercropping study in sugarcane. **Sugar Tech**, v. 5, n. 3, p. 193-196, 2003.

- GARSDALE, A. L.; BELL, M. J. Growth and yield responses to amendments to the sugarcane monoculture: effects of crop, pasture and bare fallow breaks and soil fumigation on plant and ratoon crops. **Crops & Pasture Science**, v. 62, p. 396-412, 2011. DOI: [10.1071/CP11013](https://doi.org/10.1071/CP11013).
- GAVA, G. J. C.; TRIVELIN, P. C. O.; VITTI, A. C.; OLIVEIRA, M. W. Recuperação do nitrogênio <sup>15</sup>N da uréia e da palhada por soqueira de cana-de-açúcar. (*Saccharum* sp.). **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, v. 27, n. 4, p. 621-630, jul./ago. 2003.
- GLÓRIA, N. A. da; MATTIAZZO, M. E.; PEREIRA, V.; PARO, J. M. Avaliação da produção de adubos verdes. **Saccharum**, v. 3, n. 8, p. 31-35, 1980.
- GOURI, V.; CHITKALA, T.; KUMARI, M. B. G. S.; PRASADA RAO, K. **Indian Journal of Sugarcane Technology**, v. 30, n. 1, p. 12-14, 2015.
- GOVINDEN, N. Intercropping of sugar-cane with potato in Mauritius: a successful cropping system. **Field Crops Research**, v. 25, n. 1-2, p. 99-110, 1990.
- HEMWONG, S.; CADISH, G.; TOOMSAN, B.; LIMPINUNTANA, V.; VITYAKON, P.; PATANOTHAI, A. Dynamics of residue decomposition and N<sub>2</sub> fixation of grain legumes upon sugarcane residue retention as an alternative to burning. **Soil and Tillage Research**, v. 99, n. 1, p. 84-97, Apr. 2008.
- INOMOTO, M. M.; MOTTA, L. C. C.; BELUTI, D. B.; MACHADO, A. C. Z. Reação de seis adubos verdes a *Meloidogyne javanica* e *Pratylenchus brachyurus*. **Nematologia Brasileira**, v. 30, n. 1, p. 39-44, abr. 2006.
- KASSAM, A.; FRIEDRICH, T.; DERPSCH, R.; KIENZLE, J. Overview of worldwide spread of conservation agriculture. **Field Action Science Reports**, v. 8, 2015. Disponível em: <http://www.factsreports.reveus.org/3966>. Acesso em: 20 dez. 2017.
- KAUR, N.; BHULLAR, M.; GILL, G. Weed management in sugarcane-canola intercropping systems in northern India. **Field Crops Research**, v. 188, p. 1-9, 2016. DOI: [10.1016/j.fcr.2016.01.009](https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.01.009).
- KHIPPAL, A.; SINGH, S.; SHEOKAND, R.; SINGH, J.; VERMA, R.; KUMAR, R. Mechanized and profitable intercropping of legumes in autumn planted sugarcane. **Legume Research**, v. 39, n. 3, p. 411-418, 2016.
- LANÇAS, K. P. Compactação, descompactação e canteirização na cana-de-açúcar. In: BELARDO, G. C. de; CASSIA, M. T.; SILVA, R. P. da. (org.). **Processos agrícolas e mecanização da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: Sbea, 2015. p. 457-486.
- LANDELL, M. G. A.; CAMPANA, M. P.; FIGUEIREDO, P. **Sistema de multiplicação de cana-de-açúcar com uso de mudas pré-brotadas (MPB), oriundas de gemas individualizadas**. 2. ed. Campinas: Instituto Agronômico, 2013. 16 p. (Documentos IAC, 109).
- LANZOTTI, C. R. **Uma análise energética de tendência do setor sucroalcooleiro**. 2000. 76 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- LI, X.; MU, Y.; CHENG, Y.; LIU, X.; NIAN, H. Effects of intercropping sugarcane and soybean on growth, rhizosphere soil microbes, nitrogen and phosphorus availability. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 35, p. 1113-1119, 2013.
- LOMBARDI NETO, F.; DECHEN, S. C. F.; CASTRO, O. M. A cultura da cana-de-açúcar e as perdas por erosão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 4., 1982, Campinas. **Resumos...** Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1982. p. 24.
- LUO, S.; YU, L.; LIU, Y.; ZHANG, Y.; YANG, W.; LI, Z.; WANG, J. Effects of reduced nitrogen input on productivity and N<sub>2</sub>O emissions in a sugarcane/soybean intercropping system. **Europeana Journal of Agronomy**, v. 81, p. 76-85, 2016. DOI: [10.1016/j.eja.2016.09.002](https://doi.org/10.1016/j.eja.2016.09.002).
- LUZ, P. H. de C.; VITTI, G. C.; QUINTINO, T. A.; OLIVEIRA, D. B. de. **Utilização de adubação verde na cultura da cana-de-açúcar**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz; Gape: Usina São Manoel, 2005. 53 p. Disponível em: <http://www.gape-esalq.com.br/adubacao%20verde%20cana-de-acucar.pdf>. Acesso em: 18 jul. 2008.
- MARASCA, I.; LEMOS, S. V.; SILVA, R. B.; GUERRA, S. P. S.; LANÇAS, K. P. Soil compaction curve of na oxisol under sugarcane planted after in-row deep tillage. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 1490-1497, 2015. DOI: [10.1590/01000683rbcsc20140559](https://doi.org/10.1590/01000683rbcsc20140559).
- MARQUES, J. Q. A.; BERTONI, J.; BARRETO, G. B. Perdas por erosão no Estado de São Paulo. **Bragantia**, v. 20, n. 47, p. 1143-1182, 1961.
- MASCARENHAS, H. A. A.; TANAKA, R. Rotação de culturas. In: WUTKE, E. B.; BULISANI, E. A.; MASCARENHAS, H. A. A. (ed.). **Curso sobre adubação verde no Instituto Agronômico**. Campinas: Instituto Agronômico, 1993. p. 71-86. (IAC. Documentos, 35).
- MASCARENHAS, H. A. A.; TANAKA, R. T.; COSTA, A. A.; ROSA, F. V.; COSTA, V. F. **Efeito residual de leguminosas sobre rendimento físico e econômico da cana-planta**. Campinas: Instituto Agronômico, 1994. 15 p. (IAC. Boletim científico, 32).

- MOHANTY, M.; DAS, P. P.; NANDA, S. S. Introducing SSI (Sustainable Sugarcane Initiative) technology for enhanced cane production and economic returns in real farming situations under east coast climatic conditions of India. **Sugar Tech**, v. 17, n. 2, p. 116-120, 2015.
- MOURA, R. M. Dois anos de rotação de culturas em campos de cana-de-açúcar para controle de meloidoginose. I. Efeito dos tratamentos na população do nematóide. **Nematologia Brasileira**, v. 15, n. 1, p. 1-7, jul. 1991.
- MOURA, R. M. Dois anos de rotação de culturas em campos de cana-de-açúcar para controle de meloidoginose. 2. Considerações sobre o método e reflexos na produtividade agroindustrial da cana-planta. **Fitopatologia Brasileira**, v. 20, n. 4, p. 597-600, dez. 1995.
- NANKAR, J. T. Scope and prospects for intercropping of potato with sugarcane in Maharashtra State, India. **Field Crops Research**, v. 25, p. 123-132, 1990. DOI: [10.1016/0378-4290\(90\)90077-O](https://doi.org/10.1016/0378-4290(90)90077-O).
- NDARUBU, A. A.; BUSARI, L. D.; MISARI, S. M. Weed management in sugarcane intercropped with arable crops in Nigeria. **Sugar Tech**, v. 2, n. 3, p. 34-41, 2000.
- OLIVEIRA, M. W.; TRIVELIN, P. C. O.; PENATTI, C. P.; PICCOLO, M. C. Decomposição e liberação de nutrientes da palhada de cana-de-açúcar em campo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n. 12, p. 2359-2362, dez. 1999.
- ORLANDO FILHO, J.; MACEDO, N.; TOKESHI, H. Seja doutor do seu canal. **Informações Agrônomicas**, n. 67, set. 1994.
- PANKHURST, C. E.; BLAIR, B. L.; MAGAREY, R. C.; STIRLING, G. R.; GARSIDE, A. L. Effects of biocides and rotation breaks on soil organisms associated with the poor early growth of sugarcane in continuous monoculture. **Plant and Soil**, v. 268, n. 1, p. 255-269, Jan. 2005.
- PARSONS, M. J. Successful intercropping of sugarcane. **South African Sugar Technologists Association**, n. 7, 2003.
- PARSONS, M. J. Intercropping with sugarcane. **South African Sugar Technologists Association**, n. 7, p. 77-98, 1999.
- PERIN, A.; SANTOS, R. H. S.; URQUIAGA, S.; GUERRA, J. G. M.; CECCON, P. R. Produção de fitomassa, acúmulo de nutrientes e fixação biológica de nitrogênio por adubos verdes em cultivo isolado e consorciado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 1, p. 35-40, jan. 2004.
- PINAZZA, A. H.; STOLF, R.; MARGARIDO, L. A. C.; MACEDO, N. Sistema de produção de cana-de-açúcar em sulco duplo para a viabilização da mecanização de culturas intercalares. **STAB**, v. 27, p. 73-76, 2008.
- PIRES, F. R.; PROCÓPIO, S. O. de; SOUZA, C. M. de; SANTOS, J. B. dos; SILVA, G. P. Adubos verdes na fitorremediação de solos contaminados com herbicida tebutiuron. **Caatinga**, v. 19, n. 1, p. 92-97, 2006.
- PIRES, F. R.; SOUZA, C. M.; SILVA, A. A.; QUEIROZ, M. E. L. R.; PROCÓPIO, S. A.; SANTOS, J. B.; SANTOS, E. A.; CECON, P. R. Seleção de plantas com potencial para fitorremediação de tebutiuron. **Planta Daninha**, v. 21, n. 3, p. 451-458, 2003.
- POLIDORO, J. C.; RESENDE, A. S. de; QUESADA, D. M.; XAVIER, R. P.; COELHO, C. H. M.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S. **Levantamento da contribuição da fixação biológica de nitrogênio para a cultura da cana-de-açúcar no Brasil**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2001. 9 p. (Embrapa Agrobiologia. Documentos, 144).
- PRADO, H. do. Ambientes de produção de cana-de-açúcar na Região Centro-Sul do Brasil. **Encarte de Informações Agrônomicas**, n. 110, p. 12-17, jun. 2005.
- PRADO, H. do. **Pedologia fácil**: aplicações em solos tropicais. Piracicaba: O Autor, 2016. 271 p.
- PROVE, B. G.; GOOGAN, V. J.; TRUONG, P. N. V. Nature and magnitude of soil erosion in sugarcane land on the wet tropical coast of north-eastern. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v. 35, n. 5, p. 641-649, 1995.
- RAMESH, T.; CHINNUSAMY, C.; JAYANTHI, C. Green manuring in sugarcane – a review. **Agricultural Review**, v. 24, n. 2, p. 130-135, 2003.
- RAMOUTHAR, P. V.; RHODES, R.; WETTERGREEN, T.; PILLAY, U.; JONES, M. R.; VAN ANTWERPEN, R.; BERRY, S. D. Intercropping in sugarcane: A practice worth pursuing. **Proceedings of the South African Sugar Technologists' Association**, n. 86, p. 55-66, 2013.
- REEVES, D. W. Cover crops and rotations. In: HATFIELD, J. L.; STEWART, B. A. (ed.). **Crops residues management**. Boca Raton: CRC, 1994. p. 125-172. (Advances in soil science.).

- REHMAN, A.; QAMAR, R.; QAMAR, J. Economic Assessment of Sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) through Intercropping. **Journal of Agricultural Chemistry and Environment**, v. 3, p. 24-28, 2014. DOI: [10.4236/jacen.2014.33B004](https://doi.org/10.4236/jacen.2014.33B004).
- RESENDE, A. S. de; XAVIER, R. P.; OLIVEIRA, O. C. de; URQUIAGA, S.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M. Long-term effects of pre-harvest burning and nitrogen and vinasse applications on yield of sugar cane and soil carbon and nitrogen stocks on a plantation in Pernambuco, N.E. Brazil. **Plant and Soil**, v. 281, n. 1/2, p. 339-351, Mar. 2006.
- RESENDE, A. S. de; XAVIER, R. P.; QUESADA, D. M.; COELHO, C. H. M.; BODDEY, R. M.; ALVES, B. J. R.; GUERRA, J. G. M.; URQUIAGA, S. **Incorporação de leguminosas para fins de adubação verde em pré-plantio de cana-de-açúcar**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2000. 18 p. (Embrapa Agrobiologia. Documentos, 124).
- RESENDE, A. S. de; XAVIER, R. P.; QUESADA, D. M.; URQUIAGA, S.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M. Use of green manures in increasing inputs of biologically fixed nitrogen to sugar cane. **Biology and Fertility of Soils**, v. 37, n. 4, p. 215-220, Apr. 2003.
- ROCHA, F. S.; CAMPOS, V. P. Efeito de exsudatos de cultura de células de plantas em juvenis de segundo estágio de *Meloidogyne incognita*. **Fitopatologia Brasileira**, v. 29, n. 3, p. 294-299, maio/jun. 2004.
- ROSA, R. C. T.; MOURA, R. M. de; PEDROSA, E. M. R. Efeitos do uso de *Crotalaria juncea* e carbofuran em fitonematóides ectoparasitos em cana-de-açúcar. **Fitopatologia Brasileira**, v. 29, n. 4, p. 447-449, jul./ago. 2004.
- ROSA, R. C. T.; MOURA, R. M.; PEDROSA, E. M. R. Efeitos do uso de *Crotalaria juncea* e carbofuran observados na colheita de cana planta. **Nematologia Brasileira**, v. 27, n. 2, p. 167-171, dez. 2003.
- ROSSI, C. E. Adubação verde no controle de nematóides. **Agroecologia Hoje**, v. 2, n. 15, p. 26-27, maio/jun. 2002.
- ROSSI, F.; AMBROSANO, E. J.; ROSSETTO, R.; CANTARELLA, H.; GUIRADO, N.; MENDES, P. C. D.; AMBROSANO, G. M. B.; SAKAI, R. H.; SILVA, P. H. da; BRÉFERE, F. A. T.; GODOY, A. P.; BELIZÁRIO, A. Produtividade e infestação de *Diatraea saccharalis* no cultivo agroecológico da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 1, n. 1, p. 83-86, 2006.
- RUDORFF, B. F. T.; AGUIAR, D. A.; SILVA, W. F.; SUGAWARA, L. M.; ADAMI, M.; MOREIRA, M. A. Studies on the rapid expansion of sugarcane for ethanol production in São Paulo State (Brazil) using Landsat data. **Remote Sensing**, v. 2, p. 1057-1076, 2010. Disponível em: [http://www.mdpi.com/search?q=&journal=remotesensing&volume=2&authors=&section=&issue=&article\\_type=&special\\_issue=&page=1057&search=Search](http://www.mdpi.com/search?q=&journal=remotesensing&volume=2&authors=&section=&issue=&article_type=&special_issue=&page=1057&search=Search). Acesso em: 11 mar. 2011.
- RUSCHEL, A. P.; VOSE, P. B. Nitrogen cycling in sugarcane. **Plant and Soil**, v. 67, n. 1/3, p. 139-146, 1982.
- SAKAI, R. H.; NEGRINI, A. C.; AMBROSANO, E. J.; ROSSI, F.; BUENO, J. R. Produtividade da cana-de-açúcar em três cortes após a adubação verde com *Crotalaria juncea* e N-mineral no momento da reforma. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 2, n. 2, p. 782-786, 2007.
- SÃO PAULO (Estado). **Decreto nº 41.719, de 16 de abril de 1997**. Regulamenta a Lei 6.171, de 4 de julho de 1988, alterada pela Lei 8.421, de 23/11/1993, que dispõe sobre o uso, conservação e preservação do solo agrícola. Disponível em: <https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/1997/decreto-41719-16.04.1997.html>. Acesso em: 25 jun. 2018.
- SÃO PAULO (Estado). **Decreto nº 44.884 de 11 de maio de 2000**. Introduce disposição de caráter transitório e dá nova redação a dispositivos do Decreto nº 41.719, de 16 de abril de 1997, alterado pelo Decreto nº 42.056, de 6 de agosto de 1997, que regulamenta a Lei nº 6.171, de 4 de julho de 1988, modificada pela Lei nº 8.421, de 23 de novembro de 1993, que dispõe sobre o uso, a conservação e a preservação do solo agrícola. Disponível em: <https://governo-sp.jusbrasil.com.br/legislacao/142795/decreto-44884-00>. Acesso em: 25 jun. 2018.
- SÃO PAULO (Estado). **Decreto nº 45.273, de 13 de setembro de 2004**. Altera a redação da alínea “c” do inciso VI do artigo 5º do Decreto nº 37.085, de 3 de outubro de 1997, com a redação conferida pelo Decreto nº 38.815, de 16 de dezembro de 1999. Disponível em: [http://www3.prefeitura.sp.gov.br/cadlem/secretarias/negocios\\_juridicos/cadlem/integra.asp?alt=14092004D%20452730000](http://www3.prefeitura.sp.gov.br/cadlem/secretarias/negocios_juridicos/cadlem/integra.asp?alt=14092004D%20452730000). Acesso em: 25 jun. 2018.
- SÃO PAULO (Estado). **Lei nº 6.171, de 4 de julho de 1988**. Dispõe sobre o uso, conservação e preservação do solo agrícola. Disponível em: <http://www.cati.sp.gov.br/portal/themes/unify/arquivos/produtos-e-servicos/legislacao-dcaa/Lei%20Estadual%206.171%20de%201988%20-%20Uso%20e%20Conserva%C3%A7%C3%A3o%20do%20Solo.pdf>. Acesso em: 25 jun. 2018.



- SÃO PAULO (Estado). Resolução da Secretaria de Agricultura e Abastecimento, nº 7, de 14 de maio de 1997. Estabelece valores de multas por infração às Leis nº 6171/88 e 8421/93. **Diário Oficial do Estado**, São Paulo, 16 maio 1997. Folhas 4, seção I.
- SÃO PAULO (Estado). Resolução da Secretaria de Agricultura e Abastecimento, nº 11 de 15 de abr. 2015. Dispõe sobre normas e procedimentos para efeito de aplicação do Decreto 41.719, de 16 abr. 1997, que trata do uso, conservação e preservação do solo agrícola no Estado de São Paulo. **Diário Oficial do Estado**, São Paulo, 17 abril 2015.
- SHUMANN, R. A.; MEYER, J. H.; VAN ANTWERPEN, R. A review of green manuring practices in sugarcane production. **Proceedings of the South African Sugar Technologists Association**, n. 7, p. 93-100, 2000.
- SINGH, A. K.; MENHI, L.; ARCHNA, S. Effect of intercropping in sugarcane (*Saccharum complex hybrid*) on productivity of plant cane-ratoon system. **Indian Journal of Agronomy**, v. 53, n. 2, 2008.
- SOARES, M. B. B.; BIANCO, S.; FINOTO, E. L.; BOLONHEZI, D.; ALBUQUERQUE, J. A. A.; SILVA, A. A. Phytosociological study on the weed communities in green sugarcane field reform using conservation tillage and oilseed crops in succession. **Applied Ecology and Environmental Research**, v. 15, p. 417-428, 2017.
- SOARES, M. B. B.; FINOTO, E. L.; BOLONHEZI, D.; CARREGA, W.; ALBUQUERQUE, J. A. A.; PIROTTA, M. Z. Fitossociologia de plantas daninhas sob diferentes sistemas de manejo do solo em áreas de reforma de cana crua. **AgroAmbiente**, v. 5, p. 173-181, 2011.
- SOARES, M. B. B.; FINOTO, E. L.; BOLONHEZI, D.; CARREGA, W.; ALBUQUERQUE, J. A. A. Plantas daninhas em área de reforma de cana crua com diferentes sistemas de manejos do solo e adubos verdes em sucessão. **AgroAmbiente**, v. 6, p. 25-33, 2012.
- SOARES, M. B. B.; BIANCO, S.; FINOTO, E. L.; BOLONHEZI, D.; ALBUQUERQUE, J. A. A.; SILVA, A. A. Weed community in a raw sugarcane renovation área submitted to different soil managements. **Planta Daninha**, v. 34, p. 91-98, 2016.
- SOUZA, D. F. de. **A adubação verde e o problema dessa prática agrícola na lavoura canavieira paulista**. 1953. 47 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- STIRLING, G. R. The impact of farming systems on soil biology and soilborne diseases: examples from the Australian sugar and vegetable industries – the case for better integration of sugarcane and vegetable production and implications for future research. **Australian Plant Pathology**, v. 37, p. 1-18, 2008.
- STIRLING, G. R.; BLAIR, B. L.; PATTEMORE, J. A.; GARSIDE, A. L.; BELL, M. J. Changes in nematode populations on sugarcane following fallow, fumigation and crop rotation, and implications for the role of nematodes in yield decline. **Australian Plant Pathology**, v. 30, p. 323-335, 2001.
- STIRLING, G.; HAYDEN, H.; PATTISON, T.; STIRLING, M. **Soil health soil biology, soilborne diseases and sustainable agriculture**. [S.l.]: Csiro, 2016, 280 p.
- STOLF, R.; TOKESHI, H. A ratoon transplanting technique for renewing sugarcane fields. **Sugarcane**, v. 2, n. 19, p. 6-9, 1990.
- SUMAN, A.; MENHI, L.; SINGH, A. K.; GAUR, A. Microbial biomass turnover in Indian Subtropical soils under different sugarcane intercropping systems. **Agronomy Journal**, n. 98, p. 698-704, 2006.
- UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR (São Paulo). **Dados e cotações**: estatística: produção Brasil. [São Paulo], 2016. Disponível em: <http://www.unica.com.br/dadoscotacao/estatistica>. Acesso em: 10 ago. 2016.
- VEIGA FILHO, A. de A.; RAMOS, P. Proálcool e evidências de concentração na produção e processamento de cana-de-açúcar. **Informações Econômicas**, v. 36, n. 7, p. 48-61, jul. 2006.
- WUTKE, A. C. P.; ALVAREZ, R. Restauração do solo para a cultura de cana-de-açúcar. **Bragantia**, v. 27, n. 18, p. 201-217, 1968.
- WUTKE, E. B.; ARÉVALO, R. A. **Adubação verde com leguminosas no rendimento da cana-de-açúcar e no manejo de plantas infestantes**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2006. 28 p. (Série Tecnologia APTA; Boletim Técnico IAC, 198).
- YADAV, D. V.; YADUVANSHI, N. P. S. Integration of green manure intercropping and fertilizer-N for yield and juice quality and better soil conditions in sugarcane grown after mustard and wheat in different plant arrangements. **Journal of Agricultural Science**, v. 136, p. 199-205, 2001.
- YANG, W.; LI, Z.; WANG, J.; WU, P.; ZHANG, Y. Crop yield, nitrogen acquisition and sugarcane quality as affected by interspecific completion and nitrogen application. **Field Crops Research**, v. 146, p. 44-50, 2013.

Capítulo 18

# Adubação verde em fruteiras tropicais

---

José Eduardo Borges de Carvalho  
Francisco Alisson da Silva Xavier  
Luciano da Silva Souza  
Cláudio Luiz Leone Azevedo  
Antonio Alberto Rocha Oliveira



## Introdução

O principal problema da maioria dos cultivos nos trópicos, principalmente nas áreas onde a fruticultura se expandiu, é a acelerada diminuição de sua produtividade, atribuída à degradação física, química e biológica dos solos.

A agricultura convencional praticada em diversas regiões é responsável por intensa degradação ambiental, relacionada ao uso e ao manejo inadequado do solo no controle de plantas infestantes. A correção desse processo requer o desenvolvimento de sistemas de produção agrícolas economicamente viáveis e energeticamente eficientes.

A falta de conhecimento por parte dos produtores sobre o período crítico de interferência das plantas infestantes, para a maioria das fruteiras, tem provocado um trânsito exagerado de máquinas dentro dos pomares e o manejo inadequado da superfície do solo, contribuindo, assim, para aumentar sua compactação e degradação pela perda da sua capacidade produtiva.

Sabendo-se que a competição entre as plantas consideradas infestantes não resulta de todos os fatores de produção durante todo o ano, mas, sim, em determinado período em que um desses fatores seja escasso e em momento crítico para a cultura, é perfeitamente viável adotar um manejo mais racional dessa vegetação espontânea, por meio de ações que contribuam para a melhoria da estrutura dos solos, previnam a compactação, reduzam os custos e façam uso do manejo integrado de pragas (MIP) e da ciclagem de nutrientes.

No Brasil, ainda se produzem fruteiras, a exemplo dos citros, onde o controle de plantas infestantes é feito por meio de gradagens, quatro ou cinco vezes ao ano. O uso contínuo de gradagens causa efeitos negativos sobre a estrutura do solo e da planta, além de acelerar a oxidação da matéria orgânica, o que diminui seu teor e, conseqüentemente, a agregação do solo. Das operações realizadas nos pomares, o controle de plantas infestantes é a de maior potencial de degradação das propriedades físicas do solo, se efetuado de maneira inadequada (Figura 1).

A prática do manejo de coberturas vegetais/adubos verdes nas entrelinhas do pomar para a produção de biomassa e a formação de cobertura morta (*mulching*) vem crescendo na



**Figura 1.** Manejo inadequado do solo no controle de plantas infestantes nas entrelinhas da cultura, com o uso de grade para o controle do mato, em Rio Preto da Eva, AM, 2014 (A), e em Lagarto, SE, 2016 (B e C).

fruticultura, apoiada pelos resultados de trabalhos científicos em citros e em outras fruteiras. Essa prática milenar na agricultura contribui sobremaneira para diminuir as agressões ao meio ambiente (Silva et al., 1999; Ambrosano et al., 2000), proporcionando benefícios ao fruticultor e ao ecossistema sob os aspectos econômico e ambiental. Os resultados dessa prática agrícola têm demonstrado que a adubação verde, quando adequadamente manejada, além de propiciar o controle de plantas infestantes, promove aumentos na produtividade das culturas e, sobretudo, protege e conserva o solo, além de contribuir para a redução do uso de agrotóxicos, no controle químico do mato e das pragas, pela preservação dos seus inimigos naturais.

As cadeias produtivas de frutas tropicais enfrentam grandes desafios, como a escassez de água e de mão de obra, o surgimento de novas pragas e as bruscas oscilações climáticas.

Para enfrentá-los, torna-se imperativo que os produtores adotem tecnologias poupadoras de insumos e recursos, como o manejo de coberturas vegetais, que também possam contribuir para a preservação dos serviços ambientais.

As leguminosas, pelas suas características, mais do que qualquer outra família de plantas, exercem um papel significativo nos sistemas de produção de frutas, seja como adubos verdes pela ciclagem de nutrientes e a fixação biológica de N (FBN), seja como agente de controle integrado de plantas infestantes. A adubação verde não se restringe ao uso de espécies leguminosas; plantas de outras famílias são também utilizadas, tais como as gramíneas/poáceas, principalmente o milheto [*Pennisetum glaucum* (L.) R. Brown], a aveia-preta (*Avena strigosa* Schreb.) e os capins-braquiária [*Urochloa* (Syn. *Brachiaria*) sp.], além das crucíferas/brássicas, como o nabo-forrageiro (*Raphanus sativus* L.).

O manejo adequado de plantas infestantes na fruticultura consiste na instalação e manutenção da cobertura permanente do solo na entrelinha da cultura, com leguminosas, gramíneas, crucíferas ou um coquetel delas, roçada três ou quatro vezes ao ano, e duas aplicações de herbicida pós-emergente, para o controle das plantas infestantes e a formação de cobertura morta nas linhas de plantio. Para os citros, nas condições tropicais, é fundamental manter a proteção do solo com coberturas vegetais implantadas (Carvalho et al., 1998b), ou até mesmo manter a própria vegetação espontânea, que muitas vezes se mostra mais eficiente na proteção do solo, e pode até mesmo apresentar, no seu tecido vegetal, teores de fósforo (P), potássio (K) e magnésio (Mg) similares ou superiores aos de algumas leguminosas utilizadas para adubação verde.

Este capítulo apresenta os resultados de várias pesquisas realizadas no Brasil sobre adubos verdes como melhoradores de solo e no manejo integrado de plantas infestantes, principalmente aqueles gerados no Nordeste brasileiro. Seu objetivo é divulgar os efeitos benéficos dessas práticas sobre a manutenção e o aumento da fertilidade do solo, além da produtividade da cultura, garantindo, assim, mais sustentabilidade e competitividade para a atividade frutícola.

## Benefícios dos adubos verdes para a fruticultura

### Efeito dos adubos verdes sobre a incidência de plantas infestantes

Considerando-se que o adubo verde pode inibir a germinação ou o estabelecimento de uma planta infestante, testaram-se diversas coberturas vivas na cultura da laranja, para o controle de plantas infestantes. Constataram-se, então, os seguintes resultados: a *Crotalaria ochroleuca* G. Don exerceu efeito supressor sobre essas plantas, especialmente no controle de capim-colchão

[*Digitaria sanguinalis* (L.) Scop.] e de tiririca (*Cyperus rotundus* L.); por sua vez, a mucuna-preta (*Mucuna aterrima* L.) respondeu pelo melhor controle das principais plantas infestantes presentes na cultura (Rupper, 1987; Jarillo, 1994).

O controle de plantas infestantes depende da quantidade da biomassa roçada e deixada na superfície do solo e do seu tempo de permanência, chegando, em alguns casos, a um controle aproximado de 90. A velocidade de degradação dessa cobertura morta depositada vai depender da escolha da espécie do adubo verde e do ambiente. Como a cobertura morta produzida pelas leguminosas decompõe-se rapidamente, tem-se recomendado alternar ou consorciar com a utilização de gramíneas, como o milheto e o sorgo-forrageiro [*Sorghum bicolor* (L.) Moench], cuja fitomassa seca se decompõem mais lentamente, permanecendo, assim, por mais tempo cobrindo o solo.

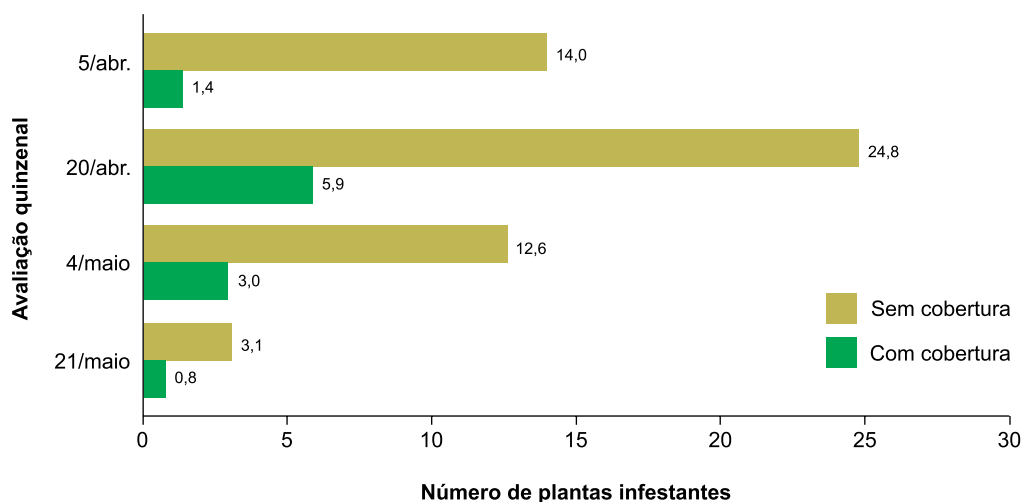
Em solos de Tabuleiros Costeiros, Fernandes et al. (1998) mostraram que as leguminosas mais eficientes foram as de folhas largas e de crescimento rápido, como a mucuna-preta e o feijão-de-porco [*Canavalia ensiformis* (L.) D.C.], que eliminaram quase totalmente as plantas infestantes presentes na área experimental. Quanto à capacidade de controle do mato pelas crotalárias, os mesmos autores verificaram que a da *Crotalaria spectabilis* Roth foi muito superior à *Crotalaria breviflora* D.C. Conforme os autores, essa diferença deve estar relacionada a substâncias alelopáticas, e não à competição por luz ou por outros recursos. O uso de leguminosa com alta capacidade competitiva, como adubo verde, propicia economia no controle de plantas infestantes, por reduzir a produção de sementes e as infestações posteriores dessas plantas interferentes (Silva et al., 1996).

Para a bananeira sem irrigação, mesmo em cultivos em áreas não declivosas, recomenda-se, no primeiro ano, o plantio de feijão-de-porco nas ruas (espaçamento largo) e o uso de resíduos da bananeira (se houver disponibilidade) nas linhas. O feijão-de-porco deve ser plantado no início das chuvas, ceifado (em qualquer fase de desenvolvimento) na estação seca (para não haver competição por água com a bananeira) e deixado na superfície do solo. A partir do segundo ano de implantação, devem-se manejar os restos culturais nas entrelinhas, como método integrado de controle de plantas infestantes (Borges; Souza, 1998).

A cobertura morta com restos culturais na cultura da banana contribuiu para a redução do número de plantas infestantes por metro quadrado (Figura 2), em comparação com o tratamento sem cobertura morta, no qual foi realizada a capina manual (Oliveira; Souza, 2003).

Souza Filho et al. (2003) analisaram as variações nos efeitos alelopáticos do calopogônio (*Calopogonium mucunoides* Desv.) de acordo com sua idade (2, 4, 6, 8, 10 e 12 semanas após a emergência) e com a densidade de sementes da espécie receptora (500, 1.000, 2.000, 3.000 e 4.000 sementes por metro quadrado). Em cada idade, as plantas foram coletadas e separadas na parte aérea e nas raízes. Os efeitos alelopáticos foram avaliados sobre a germinação das sementes das plantas infestantes: *Mimosa pudica* L. (malícia), *Urena lobata* L. (malva), *Senna obtusifolia* L.





**Figura 2.** Número de plantas infestantes amostradas por metro quadrado nos tratamentos em estudo (condução do pomar com cobertura morta composta de restos vegetais da bananeira e sem cobertura morta por meio de capina manual), em Visconde do Rio Branco, MG, 2003.

Fonte: Oliveira e Souza (2003).

(mata-pasto) e *Senna occidentalis* (L.) Link (fedegoso). A intensidade dos efeitos alelopáticos foi menor à medida que aumentou a densidade de sementes das espécies infestantes. Essa variação foi mais intensa nas espécies com sementes grandes, como malva e mata-pasto, do que naquelas de sementes pequenas, como malícia e fedegoso. A idade da planta foi fator determinante na atividade alelopática do calopogônio. Aparentemente, a planta aloca essa sua característica de forma diferenciada nas raízes e na parte aérea. A parte aérea do calopogônio revelou intensidade de efeitos alelopáticos crescentes até a idade de 4 semanas, quando atingiu seu valor máximo; nas raízes, foram crescentes até 12 semanas de crescimento, quando os efeitos superaram aqueles promovidos pela parte aérea. Dessa forma, é possível fazer o manejo da leguminosa forrageira calopogônio, visando maximizar sua capacidade supressora, por seu potencial alelopático, como também da gramínea braquiária-ruziziense (*Urochloa ruziziensis*) (Figuras 3 e 4).

Estudou-se também a interferência de espécies mais utilizadas como adubos verdes sobre a supressão da comunidade infestante. Entre as espécies de plantas presentes, as mais frequentes nesse trabalho foram *Digitaria horizontalis* Willd. e *Amaranthus spinosus* L. Verificou-se que as espécies *Crotalaria spectabilis* Roth, *Sorghum bicolor* L. Moench, *Crotalaria ochroleuca*, *Mucuna aterrima* L. e *Mucuna pruriens* (L.) D.C. reduziram o número e o peso da matéria seca da população das plantas infestantes avaliadas [*D. horizontalis*, Catirina (*Hyptis iophanta* Mart. Ex Benth.) e *A. spinosus*], principalmente as duas últimas, enquanto *Panicum americanum* L. mostrou-se menos eficiente nesse aspecto, proporcionando maior peso de matéria seca de plantas infestantes (Brançalião et al., 2006).

Fotos: José Eduardo Borges de Carvalho



**Figura 3.** Efeito alelopático do calopogônio sobre a supressão de plantas infestantes em pomar de tangerineira 'Pokan', em Cerro Azul, PR, 2014 (A e B), e de laranjeira 'Pera', em Lagarto, SE, 2016 (C).

Fotos: José Eduardo Borges de Carvalho



**Figura 4.** Efeito alelopático e exclusão de luz da palhada do braquiária-ruziziense (*Urochloa ruziziensis*) sobre a supressão de plantas infestantes em pomar de tangerineira 'Piemonte', em Iranduba, AM, 2015.

Em 2 anos de avaliação, Trezzi e Vidal (2004) observaram, no primeiro ano do estudo, que níveis de palha de sorgo (*Sorghum* spp.) de 1,3 t ha<sup>-1</sup> foram suficientes para reduzir 50% das infestações de *Urochloa* (Syn. *Brachiaria*) *plantaginea* (Link) R. Webster e *Sida rhombifolia* L. No segundo ano, 4 t ha<sup>-1</sup> de palha de sorgo ou milheto foram suficientes para reduzir 91%, 96% e 59% da população total de *U. plantaginea*, *Sida rhombifolia* e *Bidens pilosa* L., respectivamente. Os autores concluíram que a presença de resíduos da parte aérea de sorgo é mais importante na supressão de plantas infestantes do que a presença de resíduos das raízes dessa cultura.

Considerando-se que a palhada na superfície do solo pode interferir na infestação de plantas infestantes, Mateus et al. (2004) estudaram o efeito de quantidades de palhada do sorgo-de-guiné gigante (*S. bicolor*) sobre o solo (6.100 kg ha<sup>-1</sup>, 7.100 kg ha<sup>-1</sup>, 19.500 kg ha<sup>-1</sup>, 26.700 kg ha<sup>-1</sup>, 28.100 kg ha<sup>-1</sup> e 30.200 kg ha<sup>-1</sup> de palhada) e concluíram que houve redução do número de plantas infestantes estabelecidas com o incremento da palhada. A partir de 15.000 kg ha<sup>-1</sup>, o controle de plantas infestantes foi superior a 90%. Nessa mesma linha, San Martin (2004) estudou, na cultura dos citros, o efeito da cobertura morta produzida pelos adubos verdes lablab (*Dolichos lablab* L.), guandu-anão (*Cajanus cajan* var. *Flavus* DC.), crotalária, guandu [*Cajanus cajan* (L.) Millsp.], milheto, uma mistura de três coberturas (guandu + lablab + crotalária) e a infestação natural do pomar de laranja, composta principalmente por capim-colonião (*Panicum maximum* Jacq.) sobre as plantas infestantes poaia (*Richardia brasiliensis* Gomes), capim-colonião, erva-palha (*Blainvillea bariastata* DC), falsa-serralha (*Emilia sonchifolia* DC), capim-colchão, corda-de-viola [*Ipomea grandifolia* (Dammer) O'Don], picão-preto (*Bidens pilosa*), guanxuma (*Sida santaremnensis* H. Monteiro) e tiririca, em condições de pós e pré-emergência. Observou que a utilização de coberturas mortas produzidas pelas distintas vegetações contribuiu para a redução da população de plantas infestantes, e os melhores resultados foram obtidos com a vegetação natural (capim-colonião) e com a mistura dos adubos verdes. O autor concluiu que os adubos verdes podem contribuir para a redução da comunidade infestante, controlando-o de forma sustentável, além de contribuir com outros benefícios (San Martin, 2004).

Em trabalho com a cultura do mamão, submetida a vários manejos de superfície do solo para o controle integrado de plantas infestantes, Santana et al. (2005) avaliaram o banco de sementes dessas plantas no solo (BSS). Os autores concluíram que os sistemas de manejo com capina em área total e de herbicida pós-emergente nas linhas da cultura, bem como o plantio nas entrelinhas de leguminosas, como feijão-de-porco e crotalária, reduziram o BSS. Nessa redução, dos adubos verdes utilizados, a crotalária foi a mais eficiente.

Correia et al. (2006) avaliaram os efeitos da semeadura no outono/inverno de diferentes espécies para a formação de palha (3,0 t ha<sup>-1</sup> e 5,5 t ha<sup>-1</sup>) sobre a emergência de plantas infestantes. As espécies semeadas foram: sorgo-forrageiro, milheto, capim-pé-de-galinha [*Eleusine coracana* (L.) Gaertn.] e braquiarião [*Urochloa* (Syn. *Brachiaria*) *brizantha* (Hochst.) Stapf]. Houve menor emergência de plantas infestantes nas coberturas de sorgo e braquiária, e o mesmo fato ocorreu nos maiores níveis de palha. O número de plântulas que emergiram de picão-preto, *Amaranthus*



spp., *Commelina benghalensis* L., *Leucas martinicensis* (Jacq.) R. Br. e gramíneas diminuiu graças às coberturas. Por sua vez, a palhada incrementou a emergência de *Chamaesyce* spp.

Martins et al. (2016), avaliando o efeito de coberturas vegetais de inverno sobre o controle de plantas infestantes, verificaram que as coberturas mortas de aveia-preta e nabo-forrageiro proporcionam as menores densidades de plantas infestantes e acúmulos de massa seca da comunidade infestante, independentemente da aplicação de herbicidas. Houve maior germinação de *B. pilosa* nas parcelas mantidas com a cobertura de tremçoço.

Campiglia et al. (2010), ao estudarem diferentes culturas de cobertura de inverno – ervilhaca-peluda (*Vicia villosa* Roth.), trevo-subterrâneo (*Trifolium subterraneum* L.), aveia-preta (*Avena sativa* L.), e uma mistura de (ervilhaca-peluda e aveia-preta) e um tratamento convencional (pousio) –, observaram que a *A. sativa* foi a melhor cobertura para controlar plantas daninhas de caruru (*Amaranthus retroflexus* L.). Radicetti et al. (2013) também relataram maior eficiência dos resíduos de aveia na supressão de *A. retroflexus* em comparação com as coberturas com *V. villosa* e *Brassica napus* L.

Com o objetivo de avaliar o efeito de plantas utilizadas como adubos verdes na cobertura do solo, sobre o comportamento fitossociológico da comunidade de plantas espontâneas na cultura do maracujazeiro, Toledo et al. (2009) testaram a crotalária-júncea, a mucuna-preta, a puerária [*Pueraria phaseoloides* (Roxb.) Benth.] e o lablab. Os resultados obtidos indicaram que a crotalária-júncea foi a que apresentou a maior produção de fitomassa seca e a única que proporcionou cobertura total da área, em razão de sua fácil adaptação e rápido crescimento. Em decorrência disso, foi a espécie que melhor controlou a incidência das plantas infestantes.

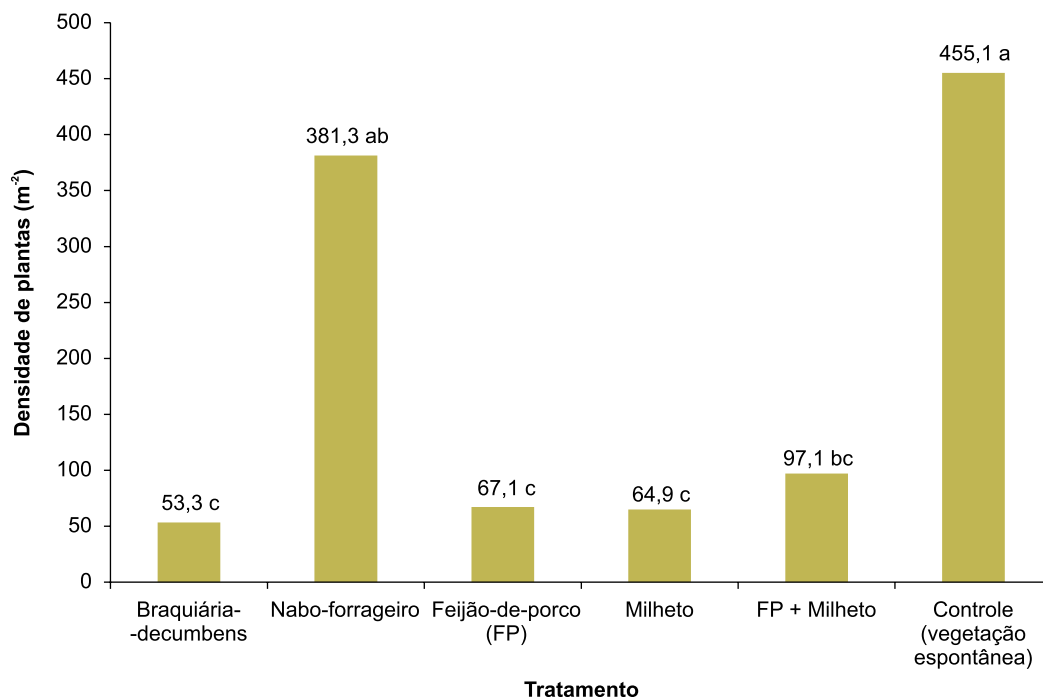
No trabalho desenvolvido por Borges et al. (2014), foram avaliados a cobertura do solo e o efeito supressivo de plantas infestantes de quatro coberturas vegetais – *Sorghum bicolor*, *Pennisetum glaucum* e *Urochloa* Syn. (*Brachiaria*) *ruziziensis* (R. Germain&Evrard) Morrone –, em diferentes densidades de semeadura, e um tratamento com a vegetação espontânea, e concluíram que *U. ruziziensis* e *S. bicolor*, independentemente das densidades de semeadura, apresentaram alto efeito supressivo sobre as plantas infestantes e boa cobertura do solo, com redução na produtividade de biomassa seca e na densidade das infestantes acima de 90% e com cobertura do solo superior a 80%. Estudos feitos por Braz et al. (2010) demonstraram que *U. ruziziensis* tem longo período de altas taxas de crescimento. Esse expressivo crescimento da *U. ruziziensis* por longo período parece estar relacionado à sua alta capacidade competitiva em comparação com as demais espécies. Assim, quando as plantas de *S. bicolor* e milho entram em senescência, com o avanço da maturidade fisiológicas das sementes, permitem maior exposição das plantas infestantes à radiação solar e acesso a outros fatores de crescimento, como nutrientes e água, favorecendo o desenvolvimento das plantas infestantes.

Avaliou-se a eficiência de níveis de biomassa de diferentes plantas de cobertura [*P. glaucum* – cultivares ADR 7010 e ADR 300, *C. ochroleuca*, *U. ruziziensis*, *Fagopyrum tataricum* (L.) Gaertn.

e *Crambe abyssinica* Hochst. ex R.E.] sobre a superfície do solo, no controle do capim-timbete (*Cenchrus echinatus* L.). A espécie *U. ruziziensis* destacou-se pela supressão ao desenvolvimento de *C. echinatus*, ao reduzir o número de plantas emergidas, o índice de velocidade de emergência, a biomassa seca da parte aérea e das raízes, o volume radicular e a área foliar (Silva et al., 2015).

Na Figura 5, são apresentados os resultados de densidade das plantas infestantes no momento em que foi feita a roçagem das plantas de cobertura num pomar de laranjeira 'Pera', em Rio Preto da Eva, AM. Os tratamentos com as plantas de cobertura capim-braquiária, feijão-de-porco, milho e feijão-de-porco + milho proporcionaram maior efeito supressor sobre as plantas infestantes graças à maior produção de fitomassa e à maior taxa de crescimento em comparação com os demais tratamentos.

O nabo-forrageiro não foi eficiente na supressão das plantas infestantes quando comparado às outras plantas de cobertura. Esse resultado pode estar relacionado à baixa produção de matéria seca e ao baixo índice de crescimento dessa espécie nas condições em que o trabalho foi desenvolvido. O manejo do produtor (controle) apresentou elevados valores de densidade e matéria seca total de plantas infestantes. Esse resultado mostra que a implantação de espécies de cobertura, principalmente gramíneas e leguminosas, reduz consideravelmente a densidade e a produção de matéria seca dessas espécies infestantes (Damasceno, 2013).

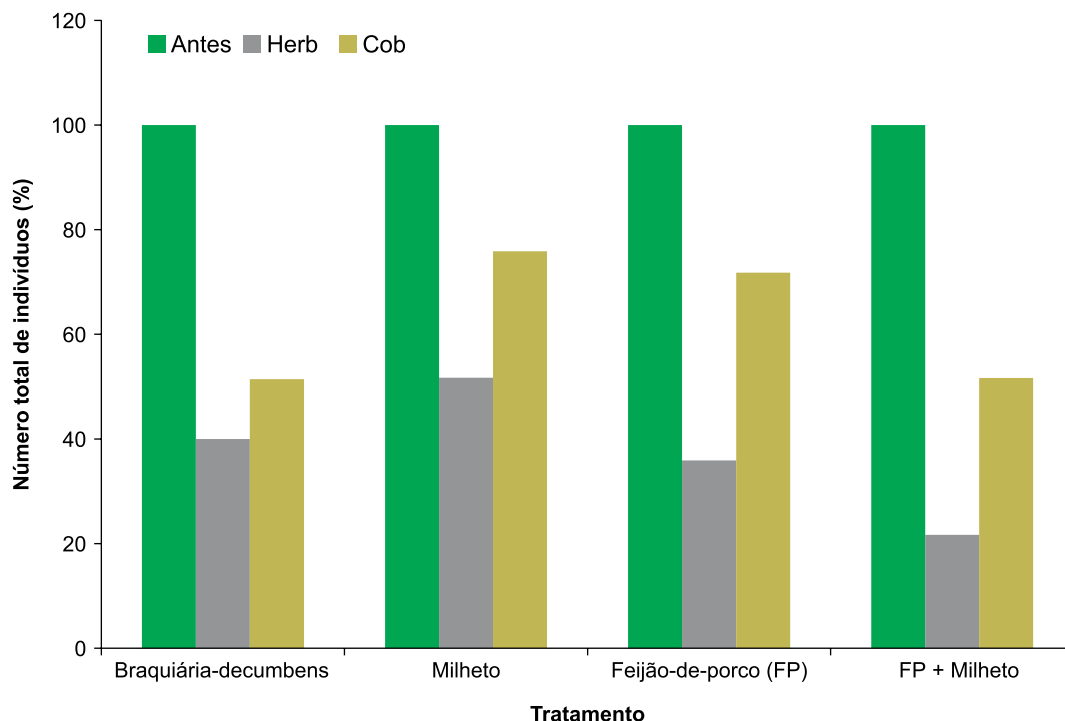


**Figura 5.** Supressão de plantas infestantes por coberturas vegetais antes do corte mecânico, em Rio Preto da Eva, AM, 2012.

Fonte: Damasceno (2013).

Em Neto Filho e Carvalho (2013), são apresentados os percentuais de controle do mato nas linhas de plantio de um pomar de laranja 'Pera' no município de Rio Real, BA (Figura 6). O número de espécies encontradas antes da roçagem de cada cobertura vegetal foi considerado como 100% de indivíduos. O capim-braquiária depositado nas entrelinhas do pomar para a produção de biomassa controlou 49% do total de plantas infestantes, enquanto o herbicida pós-emergente controlou 60%. Isso demonstra o grande potencial dessa cobertura em controlar as plantas infestantes, pela formação de cobertura morta com mais durabilidade sobre o solo, quando comparada com o controle químico com herbicida. Resultado semelhante foi observado com o coquetel feijão-de-porco com milho, com um percentual de controle da comunidade infestante de 48%. Nesse caso, o herbicida proporcionou um nível de controle de 78%. Nas condições desse estudo, o milho, sozinho, assim como o feijão-de-porco se mostraram ineficientes para a substituição de pelo menos uma aplicação de herbicida.

Em resumo, independentemente da cobertura vegetal escolhida (gramínea, leguminosa, a mistura delas ou mesmo a vegetação espontânea nativa na área), o importante é entender que a incorporação dessa tecnologia ao sistema produtivo contribui, significativamente, para o controle de plantas infestantes, além de reduzir o uso de herbicidas e proteger o solo, impedindo



**Figura 6.** Percentual de controle de plantas infestantes por coberturas vegetais em um pomar de laranja 'Pera' em comparação ao número de indivíduos antes da roçagem das coberturas, com e sem o uso de herbicida pós-emergente, para o controle do mato nas linhas de plantio, em Rio Real, BA, 2013.

sua degradação. A decisão quanto ao tipo de adubo verde a ser plantado deverá, contudo, levar em conta a demanda do pomar e sua adaptabilidade ao ambiente.

## Incorporação de fitomassa e velocidade de decomposição dos adubos verdes

A produção de fitomassa dos adubos verdes varia conforme o ambiente no qual estão inseridos. De modo geral, em regiões de temperatura e umidade elevadas, há maior produção de matéria seca. A incorporação de fitomassa da parte aérea ao solo é fundamental para a manutenção dos estoques de matéria orgânica e, conseqüentemente, para melhorar sua fertilidade. Esse processo é governado, entre outros fatores, pela qualidade do material vegetal e pelo clima predominante, especialmente pelos fatores temperatura, precipitação e umidade. A qualidade do material está associada com a composição química dos tecidos vegetais quanto aos teores de nutrientes, lignina, celulose, hemicelulose e polifenóis. Os fatores climáticos, por sua vez, também são determinantes da velocidade de decomposição dos resíduos, resultando em maior ou menor incorporação de carbono (C) e demais nutrientes ao solo.

Em estudos conduzidos em quatro ecossistemas citrícolas do estado de São Paulo, o feijão-de-porco foi a cobertura que mais incorporou matéria seca ao solo, seguido pelas espécies milho e sorgo-forrageiro (Carvalho, 2000a). Na região de Rio Real, litoral norte da Bahia, em estudo avaliando as espécies capim-braquiária, feijão-de-porco, milho e o uso combinado de feijão-de-porco + milho, constatou-se que a produção de matéria seca da fitomassa da parte aérea variou de 1,5 t ha<sup>-1</sup> a 3,6 t ha<sup>-1</sup> (Oliveira et al., 2013). A espécie milho proporcionou maior estoque de biomassa do que a leguminosa. A produção de fitomassa no tratamento-controle (vegetação espontânea) foi aproximadamente a metade da produzida pelas gramíneas. A combinação feijão-de-porco + milho aumentou a produção de fitomassa em comparação com o cultivo solteiro de feijão-de-porco, o que sugere ser uma opção de manejo mais eficiente no que concerne à produção de matéria seca. O estoque de C na matéria seca da parte aérea variou de 0,6 t ha<sup>-1</sup> a 1,5 t ha<sup>-1</sup>. Os maiores estoques de C na matéria seca ocorreram nas espécies milho e no consórcio feijão-de-porco + milho. Em média, o C representou 43% da produção de fitomassa da parte aérea nas diferentes espécies de adubos verdes. Desse percentual, somente pequena parte é convertida em matéria orgânica do solo, por meio de mecanismos que levam à humificação, enquanto a outra é convertida em CO<sub>2</sub>, por meio de processos de foto-oxidação ou respiração de microrganismos que utilizam C como fonte de energia.

Carvalho et al. (1999) apresentaram uma compilação de informações bastante robusta sobre o manejo de adubos verdes adaptados à região do Cerrado, relativas à produção e ao manejo de biomassa, à ciclagem de nutrientes, à cobertura do solo, às formas de semeadura e produção de sementes. Também são relatadas as opções de cultivo mais indicadas para inserir os adubos verdes nos sistemas agrícolas da região. Outros estudos na literatura também se empenharam



em avaliar a produção de fitomassa de diferentes adubos verdes, incluindo leguminosas, não leguminosas e gramíneas (Perin et al., 2004; San Martin, 2004; Crusciol et al., 2005; Fabian et al., 2006; Santos et al., 2006).

Carvalho et al. (2004) avaliaram o manejo de coberturas vegetais no controle integrado de plantas infestantes na cultura do mamão, cujos resultados mostraram que o feijão-de-porco foi a cobertura que mais incorporou matéria seca ao solo, seguido pela crotalária (*Crotalaria juncea* L.) e pelo caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp).

Conhecer o padrão da decomposição e de liberação de nutrientes é condição essencial para selecionar adubos verdes. De posse desse conhecimento, será possível fazer um planejamento adequado da utilização dos benefícios dessa tecnologia; por exemplo, a sincronização entre a demanda de nutrientes da cultura de interesse econômico e a liberação de nutrientes dos resíduos (Aita; Giacomini, 2006; Gama-Rodrigues et al., 2007). O processo de decomposição é governado por vários fatores: pela qualidade do substrato orgânico, que está relacionada com os constituintes orgânicos (exemplos: celuloses, hemiceluloses, polifenóis e ligninas) e os teores de nutrientes; pelas condições ambientais, controladas pelo clima; e pela comunidade microbiana decompositora, que se adapta conforme a qualidade do material orgânico depositado (Mafangoya et al., 1998).

No município de Rio Real, BA, leguminosas e gramíneas apresentaram distintas velocidades de decomposição. Em todos os tratamentos, a cinética do processo de decomposição dos resíduos culturais foi similar, decrescendo exponencialmente com o tempo. Algumas espécies, como o feijão-de-porco, apresentou tempo de meia-vida ( $t_{1/2}$ ) de 38 dias (Tabela 1). A inclusão de uma gramínea ao tratamento com leguminosa aumentou o  $t_{1/2}$  em 22% em comparação com o cultivo solteiro da leguminosa, sugerindo ser uma melhor opção de manejo para aumentar o potencial de cobertura do solo nessa região.

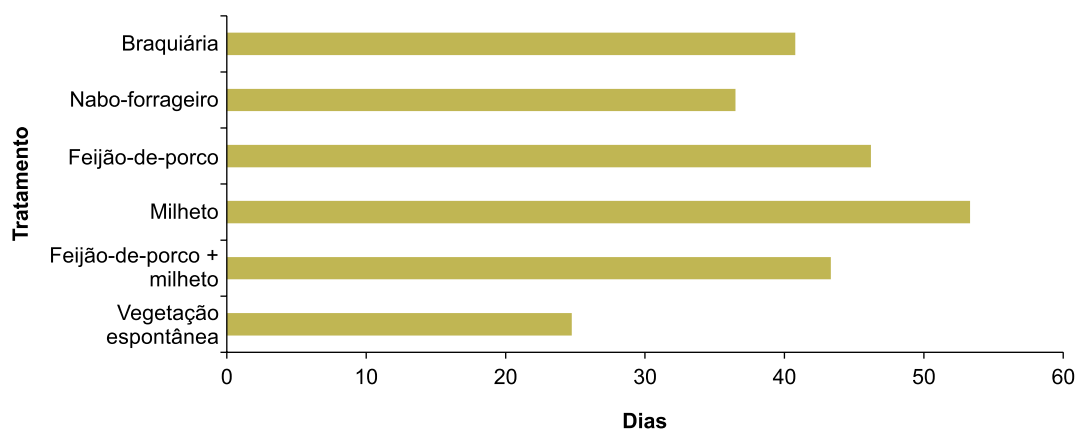
Por apresentarem maior relação C:N, gramíneas têm maior tempo de decomposição do que as leguminosas, como também constatado por Timossi et al. (2007). O consórcio feijão-de-porco/milheto apresentou um padrão de decomposição mais lento do que o padrão do feijão-de-porco. Esse resultado pode ser atribuído ao balanceamento da relação C:N decorrente da combinação

**Tabela 1.** Constante de decomposição ( $k$ ) e tempo de meia-vida ( $t_{1/2}$ ) da fitomassa seca remanescente das espécies utilizadas como adubos verdes em pomar de laranjeira, em Rio Real, BA, 2013.

Tratamento	$k$ (g dia <sup>-1</sup> )	$t_{1/2}$ (dias)
Braquiária-decumbens	0,010	68
Milheto	0,008	91
Feijão-de-porco	0,018	38
Feijão-de-porco/milheto	0,014	49
Vegetação espontânea	0,020	37

de uma gramínea com uma leguminosa. Giacomini et al. (2003) destacaram que, além de proteger o solo e de adicionar N pela fixação biológica, o consórcio entre espécies de adubos verdes deve proporcionar produção de matéria seca com relação C:N intermediária àquela das espécies em cultivo solteiro.

Na região Norte do País, em estudo desenvolvido no município de Rio Preto da Eva, AM, o  $t_{1/2}$  médio para diferentes adubos verdes foi de 44 dias (Damasceno, 2013). O milho, por exemplo, da mesma forma como se deu na região Nordeste, apresentou maior tempo de permanência sobre o solo (Figura 7). A inclusão de adubos verdes no sistema de produção de citros na região Norte representa aumento do tempo de permanência de solo coberto em 43% em comparação com o manejo convencional, feito pela roçagem da vegetação espontânea nas entrelinhas. Sendo um ambiente com grande volume de precipitação na estação chuvosa, manter o solo coberto deve ser uma estratégia preferencialmente adotada em lavouras permanentes, como citros.



**Figura 7.** Tempo de meia-vida da fitomassa da parte aérea das plantas de cobertura após a roçagem, em Rio Preto da Eva, AM, 2013.

Feijão-de-porco + milho = plantio consorciado de feijão-de-porco + milho, na proporção de 50%. Tempo de meia-vida ( $t_{1/2}$ ) calculado como sendo:  $t_{1/2} = \ln(2)/k$ , em que  $k$  é a constante de decomposição obtida no ajuste ao modelo exponencial:  $X = X_0 e^{-kt}$ .

Fonte: Damasceno (2013).

Moraes (2001), avaliando a velocidade de decomposição da palhada de milho e sorgo, bem como o acúmulo de nutrientes na fitomassa e sua mineralização, observou que a taxa média de decomposição da palhada é maior nos primeiros 42 dias e que a mineralização dos nutrientes é mais acentuada nos primeiros 63 dias após a dessecação dos resíduos.

A produção de massa seca, a taxa de decomposição e a liberação de nitrogênio (N) de sete tipos de plantas utilizadas na adubação verde, ou como cobertura de solo, foram avaliadas por Torres et al. (2005), em Uberaba, MG (Cerrado). Foram avaliados: milho-pérola, *Urochloa* (Syn. *Brachiaria*) *brizantha*, sorgo-forageiro, guandu, crotalária-júncea e aveia-preta. O milho e a

crotalária foram as espécies que apresentaram a maior produção de massa seca, o maior acúmulo e a maior taxa de liberação de N. Todas as coberturas apresentaram a maior taxa de liberação de N até 42 dias após a dessecação.

Crusciol et al. (2013) investigaram a produção de matéria seca e a dinâmica de decomposição e liberação de nutrientes das espécies guandu e milheto quando plantados em monocultivo ou consorciados, na região de Botucatu, SP. O milheto produziu maior quantidade de fitomassa, acumulou mais nutrientes e apresentou maiores taxas de liberação de macronutrientes e silício (Si). O Si foi o elemento que teve a menor taxa de liberação, restando, na última avaliação, 62%, 82% e 74% do total acumulado na fitomassa, respectivamente, de milheto, guandu-anão e consórcio. Os autores ponderam que adubos verdes com maior relação C:Si são mais indicados para o sistema de plantio direto, pois são mais resistentes à decomposição, permanecendo por mais tempo como cobertura do solo.

Em estudo conduzido por Ziech et al. (2015), no estado do Paraná, avaliou-se o potencial de proteção do solo dos seguintes adubos verdes de inverno: aveia-preta (*Avena strigosa* Schreb.), azevém (*Lolium multiflorum* Lam.), centeio (*Secale cereale* L.), tremoço-branco (*Lupinus albus* L.), ervilhaca-comum (*Vicia sativa* L.), nabo-forageiro (*Raphanus sativus* L.) e consórcios entre aveia-preta + ervilhaca-comum (A + E) e aveia-preta + ervilhaca-comum + nabo-forageiro (A + E + N) para a proteção do solo. A aveia-preta (*Avena strigosa*), em cultivo solteiro e consorciado, apresentou elevado potencial para cobertura do solo aos 50 dias após a semeadura, com aporte de matéria seca superior a 2,6 t ha<sup>-1</sup> na superfície do solo. O consórcio A + E + N apresentou decomposição intermediária aos cultivos solteiros e promoveu a manutenção de, no mínimo, 1.045 kg ha<sup>-1</sup> de palhada sobre o solo, 120 dias após seu manejo.

De acordo com os autores, a combinação entre gramínea, leguminosa e brássica representa uma estratégia que, por meio da relação C:N do conjunto de plantas, busca alterar a taxa de decomposição dos resíduos vegetais e, concomitantemente, visa aumentar o potencial de adição de N ao sistema. A participação da aveia-preta nos consórcios reduziu a taxa de decomposição em comparação com a leguminosa e as crucíferas puras. Isso possibilitou a permanência de 81% e 79% da matéria seca inicial dos consórcios entre A + E e A + E + N, em superfície, aos 30 dias, o que representa 3,6 t ha<sup>-1</sup> de resíduos em cobertura, respectivamente. Entre os sistemas utilizados, a ervilhaca-comum apresentou o menor potencial para proteção do solo, por conta da baixa persistência de seus resíduos ao longo dos 90 dias de avaliação, tendo mantido apenas 46% (933 kg ha<sup>-1</sup>) de matéria seca remanescente. A aveia-preta apresentou a menor taxa de decomposição, com manutenção de 63% (2,9 t ha<sup>-1</sup>) de matéria seca remanescente em cobertura do solo, seguida dos consórcios entre A + E e A + E + N, com 59% (2,6 t ha<sup>-1</sup>) e 55% (2,5 t ha<sup>-1</sup>), respectivamente.

## Efeitos dos adubos verdes sobre a ciclagem de nutrientes

A ciclagem de nutrientes é um dos processos mais importantes que ocorrem no ecossistema, e envolve a relação solo-planta-atmosfera. Descreve o uso, o movimento e a reciclagem de nutrientes no ambiente. Os ciclos dos nutrientes são governados por componentes vivos e não vivos, e inclui processos de natureza biológica, geológica e química (Bormann; Likens, 1967).

Os adubos verdes têm alto potencial para melhoria da ciclagem de nutrientes quando incorporados a sistemas agrícolas. De modo geral, têm um sistema radicular que consegue explorar camadas de solo mais profundas, de onde extraem nutrientes que serão incorporados à fitomassa. Em seguida, com a senescência ou o manejo da fitomassa da parte aérea, uma parte desses nutrientes retorna ao solo, concentrando-se na camada mais superficial, e pode ser assimilada pelas espécies de interesse econômico. Além de influenciar o sistema radicular, as leguminosas têm a capacidade de fixar biologicamente o N atmosférico, representando uma adição de N ao sistema. A capacidade de estocar nutrientes varia conforme a espécie de adubo verde; e a velocidade com que retornam ao solo, além dos fatores climáticos, depende da natureza estrutural dos tecidos vegetais, ou seja, da sua capacidade de utilizar um determinado nutriente. Por exemplo, o K, por não participar da composição química dos tecidos vegetais, geralmente é o elemento mais rapidamente liberado durante a decomposição. O armazenamento e a liberação de nutrientes dos adubos verdes também variam se o cultivo é solteiro ou consorciado. Na segunda forma, geralmente emprega-se o cultivo simultâneo de mais de duas espécies, comumente denominado de ‘coquetel’, que pode ser formado por diferentes espécies da mesma família (exemplo, coquetel de leguminosas) ou de famílias diferentes, envolvendo leguminosas, gramíneas, oleaginosas, entre outras.

Em estudo desenvolvido por Oliveira e Xavier (2013), na região de Rio Real, litoral norte da Bahia, adubos verdes cultivados nas entrelinhas de um pomar de laranjeira acumularam maiores quantidades de N, K e Ca, e menores quantidades de P, Mg e S (Tabela 2).

**Tabela 2.** Acúmulo de macronutrientes na fitomassa da parte aérea das plantas de cobertura aos 90 dias após a semeadura, no município de Rio Real, BA, 2013.

Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	S
	(kg ha <sup>-1</sup> )					
Braquiária-decumbens	76,65b	6,30b	4,38d	9,03c	8,49a	4,93b
Milheto	58,69b	12,43a	36,94b	10,01c	7,25a	6,56b
Feijão-de-porco	117,06a	7,34b	34,89b	60,37a	7,57a	11,25a
Feijão-de-porco/milheto	73,10b	11,33a	43,49a	44,22b	10,23a	8,04b
Vegetação espontânea	26,86c	11,19a	22,23c	17,31c	7,61a	5,97b
<b>Média</b>	<b>70,47</b>	<b>9,72</b>	<b>28,39</b>	<b>28,19</b>	<b>8,23</b>	<b>7,35</b>

Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste Scott Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Oliveira e Xavier (2013).

A leguminosa feijão-de-porco foi a que acumulou maior quantidade de N, com aproximadamente 41% a mais em relação às demais. Possivelmente, essa resposta está associada à maior capacidade de FBN desse elemento pelas leguminosas, fato amplamente evidenciado na literatura. Assim como para o N, o feijão-de-porco apresentou maior potencial para reciclagem de cálcio (Ca) (Tabela 2). As gramíneas capim-braquiária e milheto acumularam 84% menos Ca que a leguminosa, evidenciando que, para uma maior reciclagem de Ca no solo, a inclusão de uma leguminosa, como o feijão-de-porco, é mais interessante que o cultivo solteiro de uma gramínea. O maior potencial de reciclagem de K foi dado pelo cultivo consorciado de feijão-de-porco + milheto, que foi 17% maior que nos cultivos solteiros. Isso demonstra que o cultivo combinado de leguminosa com gramínea é mais favorável à reciclagem de K no ambiente do que os cultivos solteiros dessas espécies.

Soares et al. (2006) avaliaram o potencial de reciclagem de nutrientes das seguintes espécies: feijão-de-porco, crotalária, *Panicum purpurascens*, braquiário e milheto. Os autores concluíram que o feijão-de-porco e o braquiário foram as espécies que apresentaram maior capacidade recicladora dos nutrientes C, N, P, K, Ca e Mg.

O cultivo intercalar com leguminosas plantadas por 4 anos agrícolas nas entrelinhas da laranjeira 'Pera', em Bebedouro, SP (Tabela 3), proporcionou a incorporação de macro e micronutrientes ao solo (Silva et al., 2002). Nesse estudo, a crotalária foi a espécie que se destacou como a maior produtora de fitomassa e incorporadora de nutrientes, seguida pelo guandu e pelo feijão-de-porco.

Por seu turno, resultados obtidos por Neves et al. (1998) permitiram concluir que a inclusão de adubos verdes em um pomar de tangerineira 'Poncan' no Paraná não afetou os teores de nutrientes no solo nas condições estudadas. Contudo, Neves e Dechen (2001), decorridos 10 anos

**Tabela 3.** Quantidade média de nutrientes incorporados ao solo pelos adubos verdes<sup>(1)</sup>, com base no material vegetal produzido, em Bebedouro, SP, 2002.

Crotalária-espectabilis	Macronutriente (kg ha <sup>-1</sup> )						Micronutriente (g ha <sup>-1</sup> )				
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Crotalária-júncea	183	39	204	105	52	13	236	92	4,2	721	275
Crotalária-espectabilis	44	10	56	38	10	3	74	30	561	170	64
Guandu	144	30	131	55	21	10	157	82	3,1	506	144
Mucuna-preta	86	19	73	39	14	6	93	64	8,1	612	103
Mucuna-anã	91	15	55	32	14	7	91	74	5,8	714	105
Lablab	67	19	69	42	19	7	93	32	4,6	578	100
Feijão-de-porco	169	31	138	109	30	11	169	42	4,0	780	133

<sup>(1)</sup>Quantidade de nutrientes, considerando-se plantio em área total; para área de citros utilizada, considerar 50% dos valores.

Fonte: Silva et al. (2002).

da instalação desse mesmo trabalho, observaram que os teores de matéria orgânica aumentaram de 29,2 g dm<sup>-3</sup>, no início do experimento, para 35,3 g dm<sup>-3</sup>, utilizando amendoim-rasteiro (*Arachis prostrata* Benth). O tratamento-controle utilizando roçadeira/grade apresentou um teor de matéria orgânica de 31,0 g dm<sup>-3</sup>.

Em um pomar adulto de laranja 'Pera', nas condições da ecorregião Tabuleiros Costeiros de Sergipe, a substituição do N mineral na adubação pelo suprimento aportado ao solo com a FBN promovida pelas leguminosas feijão-de-porco, crotalária-júncea e mucuna-preta foi estudada por Anjos et al. (2007). Os autores concluíram que o plantio dessas leguminosas nas entrelinhas promoveu ganho de pelo menos 50% no que se refere à redução do N mineral. A fitomassa da vegetação espontânea incorporou percentuais bem menores que a das leguminosas durante os 4 anos avaliados (Tabela 4). Entre as leguminosas, a crotalária incorporou maior quantidade de matéria seca do que o feijão-de-porco. No entanto, pelo fato de apresentar concentração 60% superior de N acondicionado, o feijão-de-porco incorpora mais esse nutriente anualmente (27% a mais de N por hectare).

**Tabela 4.** Matéria seca do mato e leguminosas, teor de nitrogênio (N) e adição anual, em Umbaúba, SE.

Tratamento	Matéria seca Média anual (t ha <sup>-1</sup> ) <sup>(1)</sup>	N na matéria seca (g kg <sup>-1</sup> )	Adição anual de N (kg ha <sup>-1</sup> ) <sup>(1)</sup>
Vegetação espontânea + 100% N	1,67	1,30	21,70
Crotalária-júncea + 0% N	3,22	2,20	70,70
Feijão-de-porco + 0% N	2,55	3,50	89,10
Crotalária-júncea + 25% N	3,55	2,10	74,30
Feijão-de-porco + 25% N	2,75	3,40	93,80
Crotalária-júncea + 50% N	3,72	2,20	81,80
Feijão-de-porco + 50% N	3,02	3,50	105,60
Mucuna-preta + 50% N	3,36	2,50	84,00
Vegetação espontânea + 0% N	1,90	1,30	24,60

<sup>(1)</sup>As leguminosas plantadas nas entrelinhas ocupam 50% da área.

Fonte: Anjos et al. (2007).

Na mesma linha de pesquisa sobre a adubação verde em pomar cítrico, os resultados obtidos por Ragozo et al. (2006) demonstraram que leguminosas, em comparação com gramíneas, apresentaram teores mais elevados de N, Ca, boro (B), ferro (Fe) e zinco (Zn) (Tabela 5).

De modo geral, o manejo convencional do solo na citricultura não prevê a adoção de culturas de cobertura ou adubos verdes nas entrelinhas dos pomares. Em muitos casos, recomenda-se até a passagem de grade-aradora para fazer o controle do mato no local. As consequências negativas desse tipo de manejo podem ser facilmente verificadas, ano após ano, pela perda da

**Tabela 5.** Teores médios de macro e micronutrientes presentes no tecido vegetal de leguminosas e gramíneas cultivadas como adubos verdes nas entrelinhas de um pomar de laranja 'Pera', em Botucatu, SP, 2005.

Adubo verde	Macronutriente (g kg <sup>-1</sup> )						Micronutriente (mg kg <sup>-1</sup> )				
	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Feijão-de-porco	27,0	1,9	8,0	13,0	6,0	2,0	26,0	7,0	289,0	33,0	25,0
Guandu-anão	21,0	1,7	7,0	6,0	4,0	2,0	24,0	9,0	364,0	30,0	26,0
Lablab	22,0	2,0	8,0	12,0	6,0	2,0	33,0	8,0	625,0	53,0	40,0
Braquiária-brizanta	13,0	2,0	12,0	5,0	7,0	2,0	12,0	6,0	225,0	34,0	21,0

Fonte: Ragozo et al. (2006).

fertilidade do solo. Beraldo et al. (2007), avaliando o manejo da cobertura vegetal morta na reciclagem de nutrientes ao solo, em um pomar de laranja 'Pera', em Paranavaí, PR, demonstraram que é possível modificar esse cenário por meio do uso de coberturas ou adubos verdes. Os resultados evidenciaram maior acúmulo de P, Mg e K no solo no tratamento em que a cobertura morta permaneceu na entrelinha, o que indica melhoria no processo de reciclagem de nutrientes nessa região.

Em estudo conduzido por Bremer Neto et al. (2008), constatou-se que a leguminosa estiolantes (*Stylosanthes guianensis* (Aubl.) Sw.) proporcionou aumento da concentração foliar de N em comparação com a vegetação intercalar composta por *U. ruziziensis*. A cobertura morta não reduziu a disponibilidade de N para as plantas cítricas. Verificou-se correlação positiva entre a densidade do sistema radicular na camada superficial do solo com a concentração foliar de P e a produção de frutos.

Borges e Lima (2003) avaliaram a inclusão de feijão-de-porco nas entrelinhas no sistema de produção do maracujá-amarelo (*Passiflora edulis* Sims). Os resultados indicaram que o manejo com o adubo verde associado ao controle químico das plantas infestantes nas linhas proporcionou melhoria significativa nas propriedades químicas do solo; no segundo ano, aumentou a produtividade do maracujá-amarelo, apesar de as culturas intercalares (milho e feijão) terem sido adubadas.

Giacomini et al. (2003) relataram que o consórcio entre a gramínea aveia-preta e a leguminosa ervilhaca-comum apresentou maior taxa de liberação de nutrientes do que a aveia-preta solteira. Segundo esses autores, a menor relação C:N e, sobretudo, a maior quantidade de nutrientes solúveis em água na leguminosa são fatores que podem interferir na liberação de nutrientes.

Um estudo em condições de campo conduzido por Espindola et al. (2006) teve por objetivo avaliar a decomposição e a liberação de nutrientes pela parte aérea de leguminosas herbáceas perenes. Os tratamentos foram constituídos por diferentes plantas de cobertura do solo, consorciadas com bananeira: amendoim-forrageiro (*Arachis pintoi* Krap. & Greg), cudzu-tropical [*P. phaseoloides* (Roxb.) Benth], siratro [*Macroptilium atropurpureum* (DC) Urb.] e vegetação es-



pontânea com predomínio de capim-colonião. Os resultados obtidos permitiram concluir que as leguminosas herbáceas perenes e o capim-colonião apresentaram diferentes padrões de decomposição dos resíduos e liberação de nutrientes; as leguminosas apresentaram rápida liberação de N, enquanto o capim-colonião causou imobilização desse nutriente. Todas as espécies avaliadas apresentaram rápida liberação de K e lenta liberação de Ca. Entre as leguminosas avaliadas, pode-se recomendar o amendoim-forrageiro para situações em que haja necessidade de liberação mais rápida de N, enquanto cudzu-tropical e siratro foram mais recomendados para cultivos nos quais se espera liberação mais lenta desse nutriente. Pacheco et al. (2011b) também destacaram que o milheto apresenta rápida liberação de nutrientes por apresentar ciclo fenológico precoce. Em outro trabalho, Pacheco et al. (2013) verificaram que *U. ruziziensis* e *Urochloa brizantha* Hochst. ex A. Rich. apresentaram maior eficiência no acúmulo e na liberação de nutrientes, principalmente quanto ao K.

Os efeitos dos cultivos isolado e consorciado dos adubos verdes de verão crotalária e milheto sobre os teores e o acúmulo de nutrientes, bem como na FBN, foram estudados por Perin et al. (2004). Os autores observaram que a presença da crotalária resultou em maiores teores de N e Ca, enquanto o milheto e a vegetação espontânea proporcionaram maiores teores de K. O acúmulo de P e Mg foi fortemente influenciado pela produção de fitomassa, e atingiu valores elevados com a presença da crotalária. O acúmulo de N e Ca foi resultado tanto dos maiores teores quanto da maior produção de matéria seca nos tratamentos com a leguminosa, o que comprova essa excelente estratégia de incremento de N no solo.

A quantidade de nutrientes que pode ser liberada por meio da decomposição dos adubos verdes varia também conforme a idade da planta no momento do corte ou da dessecação. O estudo de Crusciol et al. (2005) avaliou a persistência da palhada e a liberação de nutrientes dos resíduos de nabo-forrageiro aos 0, 13, 35 e 53 dias após o corte. Os resultados mostraram que o nabo-forrageiro produziu, até o estágio de pré-florescimento, elevada quantidade de matéria seca da parte aérea em cultivo de inverno, acumulando 57 kg ha<sup>-1</sup>, 15 kg ha<sup>-1</sup>, 86 kg ha<sup>-1</sup>, 37 kg ha<sup>-1</sup>, 12 kg ha<sup>-1</sup> e 14 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, de N, P, K, Ca, Mg e S. A roçagem do nabo-forrageiro no estágio de pré-florescimento apresentou rápida degradação da palhada, o que acarretou liberação de quantidades significativas de macronutrientes. Os autores concluíram que a maior velocidade de liberação de macronutrientes ocorreu no período compreendido entre 10 e 20 dias após o corte da fitomassa.

Ao avaliarem várias coberturas de solo nas entrelinhas de um pomar cítrico, Auler et al. (2008) verificaram que a grama-batatais ou grama-mato-grosso (*Paspalum notatum* Flügge) e a *Urochloa* (Syn. *Brachiaria*) *humidicola* (Rendle) Morrone & Zuloaga proporcionaram incrementos significativos no teor de C orgânico no solo quando comparadas à vegetação espontânea dessecada com herbicida pós-emergente e à cobertura com a leguminosa perene amendoim-forrageiro (*Arachis pintoii*). Contudo, não houve diferenças significativas entre os tratamentos para a produção acumulada de frutos nas safras de 1996 a 2005.

Adubos verdes são também utilizados na etapa de preparo do solo, enquadrando-se na concepção de plantas melhoradoras do solo. Balota e Auler (2011a) avaliaram dois sistemas de preparo do solo – preparo convencional [PC] e preparo em faixa [PF] – e diferentes coberturas intercalares (*Calopogonium muconoides*, *Arachis pintoi*, *Paspalum notatum* e a gramínea *Urochloa humidicola*) sobre os teores de C, N e P da biomassa microbiana em um pomar de citros. Depois de 5 anos, os resultados mostraram que o preparo do solo e as diferentes coberturas vegetais influenciaram na mineralização do C e do N, tanto na projeção da copa quanto na entrelinha. A diminuição do distúrbio do solo durante o preparo – representado pelo preparo em faixas, em vez de área total – aumenta a ciclagem de C, N e P na biomassa microbiana nas entrelinhas, local onde não houve movimentação do solo. Os autores observaram ainda que o incremento nos teores de C, N e P microbiano foi maior quando cultivadas gramíneas, em detrimento das leguminosas.

A fragmentação mecânica da palhada dos adubos verdes após o corte ou a dissecação parece não ser uma opção de manejo conveniente para aumentar a velocidade da degradação ou a liberação dos nutrientes, conforme sugere o estudo de Ferrari Neto et al. (2012). Nesse experimento, avaliou-se a persistência da palhada e a liberação de macronutrientes, carbono e silício da fitomassa do consórcio guandu-anão + milho, com e sem a fragmentação mecânica. Os resultados mostraram que a fragmentação da palhada não alterou a decomposição e a liberação de N, P, K, Ca, Mg e S. As máximas liberações diárias ocorreram de 0 a 18 dias depois do manejo (DAM). Aos 91 DAM, pelo menos 80% de todos os macronutrientes foram liberados para o solo. O K foi o nutriente mais rapidamente liberado, restando aos 91 DAM apenas 1,4% da quantidade total acumulada, na média dos manejos com e sem fragmentação mecânica. O Si foi o elemento mais lentamente liberado da palhada, restando ainda aos 91 DAM, em média, 69% da quantidade total acumulada.

Os mecanismos pelos quais uma planta de cobertura do solo (*U. ruziziensis*) pode melhorar a disponibilidade do fósforo (P) de fertilizantes e do solo foram avaliados por Merlin e Roselem (2014). Constatou-se que o cultivo de *U. ruziziensis*, na presença de fertilizantes fosfatados, aumentou o teor de P disponível do solo, em profundidade. A relação C:P também foi aumentada pela planta de cobertura. Observou-se também que o cultivo de *U. ruziziensis* elevou os teores de P na fração húmica do solo. O estudo concluiu que essa gramínea aumenta a disponibilidade de P no solo por prevenir a fixação do P aplicado como fertilizante e por manter o P em formas orgânicas.

## Efeito dos adubos verdes sobre os atributos físicos dos solos cultivados com fruteiras

O manejo inadequado do solo em pomares de citros, principalmente nas entrelinhas, inclui o tráfego intenso de máquinas e implementos. A movimentação do solo nessas condições tem contribuído para reduzir a disponibilidade de água e ar para as plantas frutíferas, pela compac-

tação do solo e conseqüente redução dos macroporos, criando uma condição pouco propícia ao desenvolvimento das raízes. Esses fatores contribuem para a redução da longevidade das plantas cítricas e para a baixa produtividade média observada em São Paulo e na região litorânea do Nordeste brasileiro.

O nível adequado de qualidade de solo para a citricultura depende, sobretudo, das boas condições dos indicadores relacionados com os atributos físicos, visando conferir um bom desenvolvimento ao sistema radicular. Esse fato ganha relevância quando se trata da citricultura desenvolvida nos Tabuleiros Costeiros, a exemplo do que ocorre na região citrícola do litoral norte da Bahia e de Sergipe. Nos solos dessa região, ocorre o fenômeno natural conhecido como coesão, que é o endurecimento do horizonte subsuperficial quando a umidade do solo é baixa. A coesão limita o desenvolvimento do sistema radicular dos citros em profundidade, o que leva a planta a concentrar o sistema radicular na camada superficial. Os graus da coesão desse horizonte variam de duro, muito duro ou até extremamente duro quando seco, e friável quando úmido. Nos Latossolos Amarelos e Argissolos Amarelos sob floresta primária, a profundidade de ocorrência dos horizontes coesos normalmente coincide com os horizontes AB e/ou BA. Nos solos cultivados, em decorrência da erosão superficial, a coesão pode ser verificada nos primeiros 10 cm a 20 cm de profundidade.

O adubo verde pode ser utilizado como medida biológica para amenizar os efeitos nocivos da compactação do solo, por reduzir a sua resistência à penetração (Minatel et al., 2006).

Resultados obtidos por Yaacob e Blair (1981) demonstraram efeitos benéficos do cultivo de leguminosas sobre as taxas de infiltração de água e sobre a estabilidade estrutural do solo. Verificou-se aumento da proporção de agregados maior que 2 mm, de 47% para 62%, com o cultivo de siratro, e de 39% para 77% com o cultivo de soja.

Anjos et al. (2006), avaliando diferentes práticas de manejo do solo em um pomar de citros na região de Tabuleiros Costeiros de Sergipe, observaram que a utilização de gradagem para controle de plantas espontâneas diminuiu o grau de estabilidade e o diâmetro médio dos agregados do solo. Porém, quando foram adotadas práticas mais conservacionistas, como fazer apenas a roçagem do mato deixando os resíduos sobre o solo, bem como usar adubos verdes, os atributos físicos do solo melhoraram.

As gramíneas, em virtude da alta densidade de suas raízes (Figura 8), contribuem com os processos de formação e estabilização de agregados do solo. As raízes promovem a aproximação de partículas, pela constante absorção de água do solo. As periódicas renovações do sistema radicular e a uniforme distribuição dos exsudados orgânicos no solo estimulam a atividade microbiana, cujos subprodutos também atuam na estabilização dos agregados (Brandão; Silva, 2012). Assim, as gramíneas constituem uma excelente opção de cobertura vegetal para a fruticultura em geral.



**Figura 8.** Sistema radicular do capim-braquiária [*Urochloa* Syn. (*Brachiaria*) *decumbens*] como cobertura vegetal nas entrelinhas de um pomar de laranja 'Pera', em Rio Real, BA, 2016.

Estudos mostram que a manutenção da cobertura vegetal nas entrelinhas de pomares de citros se reflete em melhoria dos atributos físicos do solo. A substituição das gradagens nas entrelinhas do pomar cítrico pela vegetação nativa roçada durante o ano, ou a alternância, cultivando-se leguminosas, como feijão-de-porco, crotalária e guandu, mostrou ser uma excelente alternativa para melhorar as propriedades físicas do solo. Decorridos 24 e 48 meses do início do estudo, o manejo de coberturas reduziu a densidade do solo em detrimento do aumento da porosidade total; nesse caso, acompanhado ou não do aumento da macroporosidade e de discreta redução da microporosidade. Além disso, a velocidade de infiltração de água no solo (até 180 minutos) foi maior no sistema com coberturas vegetais e subsolagem, o que resultou em maior infiltração acumulada. Dessa forma, o manejo do solo com adubos verdes (leguminosas) reduziu, substancialmente, as perdas de água por evaporação e escoamento (Carvalho et al., 1996a, 1996b, 1998a, 1998b; Souza et al., 2001).

Alterações nos atributos físicos do solo em área de semeadura direta utilizando-se diferentes plantas de cobertura foram avaliadas por Torres et al. (2015). De modo geral, o cultivo de coberturas proporcionou recuperação da agregação do solo. Por exemplo, no tratamento com milheto, aumentou a agregação nas camadas subsuperficiais, o que foi atribuído ao maior desenvolvimento do sistema radicular fasciculado dessas plantas. Os autores concluíram que a utilização de diferentes coberturas e a introdução do sistema de semeadura direta depois de 12 anos proporcionaram alterações positivas nos atributos físicos, na camada superficial do solo.

O adubo verde pode ser utilizado como medida biológica para amenizar os efeitos nocivos da compactação do solo, por reduzir sua resistência à penetração (Minatel et al., 2006). O sistema radicular desenvolvido provoca desarranjos no solo ao penetrar nas camadas compactadas e, ao sofrer decomposição, deixa canais que contribuem para a infiltração de água e a difusão de gases, melhorando a qualidade física do solo.

Em dois ecossistemas citrícolas do estado de São Paulo (Taiacu e Barretos), avaliou-se o uso da subsolagem associada ao manejo de coberturas vegetais, no controle integrado de plantas infestantes sobre as propriedades físicas do solo. Observou-se, dois anos após iniciado o experimento, aumento na porosidade total, principalmente na macroporosidade, e redução na densidade do solo na profundidade de 0 a 0,40 m, em comparação com o estado inicial do solo. A melhoria nas propriedades físicas foi mais relevante em Taiacu, pois, em Barretos, o solo já apresentava uma condição física inicial mais favorável (Souza et al., 2001).

Em experimento conduzido num solo de Tabuleiros Costeiros, nas combinações laranja 'Pera'/limoeiro 'Volkameriano' e laranja 'Pera'/limoeiro 'Cravo', foram avaliados dois sistemas de preparo do solo na implantação do pomar e no controle de plantas infestantes (Carvalho et al., 2003a): o sistema convencional e o melhorado. O sistema convencional, adotado pela maioria dos produtores, consistiu em aração, gradagem, sulcamento, plantio das mudas cítricas em covas de 0,40 m x 0,40 m x 0,40 m e controle mecânico de plantas infestantes por meio de capinas nas linhas de plantio e gradagem nas entrelinhas das plantas. O sistema melhorado utilizou a subsolagem como preparo primário do solo, na profundidade média de 0,55 m, um ano antes do plantio, semeadura direta do feijão-de-porco, como cultura de espera e melhoradora do solo, e plantio, em covas, das mudas cítricas. No sistema melhorado, o controle integrado de plantas infestantes foi realizado dessecando-se o mato nas linhas com glifosato, duas vezes ao ano. Nas entrelinhas, foi feito o plantio direto do feijão-de-porco no início do período das águas, e roçado no final desse período, para evitar a competição por água com a planta cítrica e para a formação de cobertura morta sobre o solo. Observou-se que, decorridos 3 anos da implantação do pomar, o manejo adotado proporcionou melhorias significativas dos atributos físicos do solo nas linhas e entrelinhas da cultura, em comparação com o sistema convencional do produtor (Tabela 6), o que proporcionou condições mais favoráveis ao crescimento e à produção da planta cítrica.

Esse mesmo trabalho mostrou que a melhoria da estrutura do solo, proporcionada pela adoção do preparo inicial com subsolagem nas linhas de plantio, associado ao cultivo de coberturas vegetais nas entrelinhas, contribuiu para aumentar a retenção de água no perfil do solo, em comparação com o sistema convencional, em 71% dos meses avaliados. Dessa forma, o período de disponibilidade de água para a planta cítrica foi ampliado tanto nas linhas quanto nas entrelinhas da cultura. Para as condições do Nordeste brasileiro, e também dos solos em estudo, esses resultados apontam que diminuir revolvimento do solo e manter cobertura vegetal contribuem para o aumento da produtividade, pela redução das perdas de frutos nos estádios cotonete, chumbinho e, em muitos casos, na fase de pré-colheita (Carvalho et al., 2003a).

O manejo do solo com subsolagem e a utilização de coberturas vegetais no controle integrado de plantas infestantes contribuíram para aumentar a retenção de água nesse solo e o período de disponibilidade para a laranja 'Pera', quando comparado ao sistema convencional do produtor.

**Tabela 6.** Atributos físicos do solo, na profundidade de 0 a 0,40 m, de dois sistemas de controle de plantas infestantes nas linhas e entrelinhas da laranja 'Pera', sobre dois porta-enxertos diferentes, submetidas a dois manejos de solo, em Cruz das Almas, BA, 2002.

Manejo	Propriedade física do solo (média)				
	Porosidade (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )			Densidade do solo (kg dm <sup>-3</sup> )	Condutividade hidráulica (cm h <sup>-1</sup> )
	Total	Macro	Micro		
Linha de plantio (subsolagem + plantio de leguminosa)	0,43	0,18	0,24	1,41	19,45
Linha de plantio (três capinas manuais nas linhas + três gradagens nas entrelinhas)	0,35	0,09	0,25	1,61	1,33
Alterações médias (%) na linha de plantio	+22,9	+97,4	-4,7	-14,2	+1.362
Entrelinha de plantio (subsolagem + plantio de leguminosa)	0,39	0,14	0,25	1,49	6,29
Entrelinha de plantio (três capinas manuais nas linhas + três gradagens nas entrelinhas)	0,34	0,08	0,26	1,60	4,87
Alterações médias (%) nas entrelinhas	+14,6	+71	-3,8	-7,3	+29,1

Fonte: Carvalho et al. (2003a).

Souza et al. (2006) avaliaram semanalmente, de junho de 1999 a maio de 2003, a umidade do solo, em períodos intermitentes, nas profundidades de 0,30 m a 1,50 m, em Latossolo Amarelo coeso de Tabuleiros Costeiros, em dois sistemas de manejo: produtor – capinas manuais nas linhas e gradagens nas entrelinhas; e melhorado – herbicida nas linhas e cobertura vegetal com feijão-de-porco nas entrelinhas do pomar. Esses tratamentos foram aplicados a quatro combinações de copa x porta-enxerto de citros: 1) lima-ácida 'Tahiti' x limoeiro 'Volkameriano'; 2) lima-ácida 'Tahiti' x citrumelo 'Swingle'; 3) laranja 'Pera' x limoeiro 'Volkameriano'; e 4) laranja 'Pera' x limoeiro 'Cravo'. O armazenamento de água no solo no sistema de manejo melhorado foi ligeiramente superior ao do sistema do produtor. Os autores observaram ainda que o armazenamento da água no solo foi maior para a copa de laranja 'Pera', principalmente quando enxertada em limoeiro 'Cravo' (Souza et al., 2006).

A competição por água entre a planta cítrica e as coberturas feijão-de-porco, soja-perene (*Neonotonia wightii* Lackey, Syn. *Glycine javanica* L; *G. Wightii* Verdc.), calopogônio, braquiária-ruziense e vegetação espontânea foi avaliada nas condições da citricultura dos Tabuleiros Costeiros do estado de Sergipe, no período seco de novembro de 2014 a março de 2015 (Pinto et al., 2015). Utilizou-se, como bioindicador, o teor prolina em folhas de laranja, que é um aminoácido, cuja produção está diretamente associada ao estresse hídrico da planta. Os resultados mostraram que, no mês de novembro, altos teores de prolina na laranja ocorreram em todos os tratamentos, exceto na vegetação espontânea. No período de dezembro a fevereiro (período de máxima competição), as coberturas calopogônio, braquiária-ruziense e feijão-de-porco

induziram menor teor de prolina do que a soja-perene e a vegetação espontânea. Isso sugere que essas espécies causaram menor estresse na laranjeira pela competição por água, o que indica que coberturas vegetais perenes, como o calopogônio, podem permanecer nas entrelinhas do pomar por todo o ano.

Decorridos 4 anos do plantio do mamão, Carvalho et al. (2006a) observaram uma melhoria da estrutura do solo na profundidade de 0 a 40 cm para o grupo de tratamentos no qual se utilizaram leguminosas como coberturas vegetais, em relação ao estado inicial do solo (Tabela 7). Nos tratamentos em que houve manejo da vegetação espontânea e naqueles em que foram utilizadas enxada e grade no controle de plantas infestantes, o impacto na melhoria das propriedades físicas do solo foi menor, com redução de 15% da porosidade total, no caso dos mecanizados. A condutividade hidráulica saturada foi menor nos tratamentos sem manejo de leguminosas. No tratamento com subsolagem cruzada antes do plantio + calagem + gesso agrícola e feijão-de-porco nas ruas da cultura (T7), foi cerca de 12 vezes maior do que no T2 (grade nas entrelinhas e herbicida nas linhas de plantio), e cerca de três vezes maior do que no T1 (capina em área total). Com isso, constatou-se um efeito positivo e significativo da subsolagem, associado ao cultivo de leguminosa, na melhoria do fluxo de água no solo.

**Tabela 7.** Porosidade total (Pt), macroporosidade (Mp), microporosidade (Mip), densidade do solo (Ds) e condutividade hidráulica saturada ( $K_0$ ), em solo de Tabuleiro Costeiro com e sem subsolagem e diferentes sistemas de controle de plantas infestantes com e sem manejo de coberturas vegetais, em Cruz das Almas, BA, 2004.

Grupo de manejo <sup>(1)</sup>	Acréscimo (%)			Redução (%)	
	Pt (%)	Mp (%)	$K_0$ (cm h <sup>-1</sup> )	Mip (%)	Ds (g m <sup>-3</sup> )
Coberturas T4 a T7	13,8	106,1	877,94	-13,37	-7,14
Espontâneas T8	2,74	56,79	439,8	-13,02	-2,38
Mecanizados T1 a T3	-15,20	41,58	681,19	-30,70	-4,76

<sup>(1)</sup>T1 = capina em área total; T2 = grade nas entrelinhas e herbicida nas linhas de plantio; T3 = capina em área total + subsolagem cruzada antes do plantio; T4 = subsolagem cruzada antes do plantio + feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*) nas ruas da cultura; T5 = subsolagem cruzada antes do plantio + crotalária (*Crotalaria juncea*) nas ruas da cultura; T6 = subsolagem cruzada antes do plantio + caupi (*Vigna unguiculata* sp.) nas ruas da cultura; T7 = subsolagem cruzada antes do plantio + calagem + gesso agrícola e feijão-de-porco nas ruas da cultura; T8 = subsolagem cruzada antes do plantio + vegetação nativa nas ruas da cultura, roçada quando necessário.

Fonte: Carvalho et al. (2006a).

No norte do Paraná, foram avaliadas as relações hídricas, os parâmetros fisiológicos, a umidade do solo e a produção de frutos da combinação laranjeira 'Pera' x limoeiro 'Cravo', no cultivo das seguintes plantas de cobertura permanentes: grama-mato-grosso, amendoim-forrageiro e vegetação espontânea (Fidalski et al., 2006). A manutenção da cobertura permanente com amendoim-forrageiro nas entrelinhas do pomar promoveu a competição pela água do solo com a laranjeira. Já a manutenção da grama-mato-grosso nas entrelinhas do pomar proporcionou



melhores relações hídricas e metabólicas às laranjeiras, o que não comprometeu a produção de frutos. Da mesma forma, o amendoim-forrageiro não comprometeu a produção, em relação à testemunha, com baixa cobertura vegetal. Em outro trabalho, Fidalski et al. (2007) quantificaram os impactos do uso de cobertura permanente do solo sobre alguns indicadores de sua qualidade física, em um pomar de laranjeira. Os tratamentos de coberturas permanentes nas entrelinhas com a grama-mato-grosso, manejada com roçadas, e com a leguminosa amendoim-forrageiro foram comparados ao manejo tradicional. Os autores concluíram que a manutenção da vegetação das entrelinhas com grama-mato-grosso ou grama-batatais por um período de 4 anos melhorou os atributos que governam a qualidade física do solo, independentemente da posição do trator (rodado e entrerrodado). A qualidade física do solo foi negativamente afetada na posição rodado sob o manejo com amendoim-forrageiro e nas posições rodado e entrerrodado no manejo tradicional da vegetação espontânea com herbicida pós-emergente.

Com o objetivo de melhorar as propriedades físicas do solo em um pomar cítrico com histórico de compactação, Bordin et al. (2008) avaliaram o efeito da escarificação do solo sobre o crescimento de adubos verdes e o desempenho das plantas. Os autores observaram que a fitomassa da parte aérea do guandu e a do milho aumentaram com a escarificação do solo. O crescimento do sistema radicular do milho foi maior em relação ao guandu no manejo escarificado, e igual ao guandu no manejo não escarificado. O crescimento e a produção das plantas cítricas não foram influenciados pelos tratamentos. Com a escarificação do solo, a macroporosidade do solo aumentou, enquanto a densidade e a resistência à penetração de raízes diminuíram.

As respostas fisiológicas da laranjeira 'Pera' ao sistema de manejo de cobertura permanente em um Argissolo Vermelho distrófico de textura arenosa foram avaliadas por Fidalski et al. (2008). O estudo caracterizou as variáveis fisiológicas das folhas da laranjeira e o teor de água no solo em sistemas de cobertura permanente, na entrelinha com grama-mato-grosso (ou grama-batatais), amendoim-forrageiro e vegetação espontânea. Os resultados apontaram que a presença da gramínea no centro da entrelinha ampliou a utilização e a eficiência de absorção da água no solo, pelas laranjeiras, na camada de 0 a 15 cm, de modo a compensar provável competição por água. Os autores destacaram que a dependência do potencial da água nas folhas das laranjeiras em relação aos teores de água no solo, tanto na projeção da copa quanto no centro das entrelinhas, explicada pela análise de trilha, foi atribuída à melhoria da qualidade física e hídrica do solo.

Estudou-se o efeito do plantio direto com revolvimento apenas da faixa de plantio, e o convencional em área total, com e sem o manejo de cobertura morta nas linhas da cultura. O preparo convencional comprometeu a qualidade física do solo sob o rodado, enquanto o plantio direto aumentou a qualidade física do solo pelo manejo da cobertura morta nas linhas das laranjeiras (Fidalski et al., 2009). Concluiu-se que o preparo primário mais adequado do solo visando melhorar as propriedades físicas do solo abrange a subsolagem, quando necessária, associada ao plantio de coberturas vegetais melhoradoras do solo nas entrelinhas da cultura, preferencialmente aquelas com sistema radicular profundo e vigoroso.

## Efeito dos adubos verdes sobre os atributos microbiológicos dos solos cultivados com fruteiras

O controle químico das plantas infestantes por meio do uso de herbicida pós-emergente aplicado nas linhas, associado ao manejo de entrelinhas com vegetação espontânea roçada por todo o ano e com uso do feijão-de-porco plantado nas águas e roçado na seca, apresentou os melhores graus de colonização radicular por fungos micorrízicos arbusculares, quando comparado aos métodos mecânicos de controle do mato, pelo fato de criar condições mais favoráveis, no solo, para a permanência e a multiplicação desses fungos (Carvalho et al., 1995). Desses, o manejo da leguminosa nas ruas da cultura apresentou o maior grau de colonização radicular em relação à vegetação espontânea.

O manejo, por 18 meses, de adubos verdes no cultivo do mamoeiro, nas condições dos solos de Tabuleiros Costeiros, testados por Maia et al. (2003), não promoveu alterações na biomassa microbiana nas duas épocas amostradas (final do período seco, em maio, e final do chuvoso, em novembro). A respiração basal sofreu influência dos manejos apenas no final do período seco, no qual o controle de plantas infestantes, com enxada em área total, foi o que apresentou maior taxa de respiração, seguido do manejo com subsolagem + feijão-de-porco nas entrelinhas da cultura. O quociente metabólico (razão entre a respiração basal do solo e o C da biomassa microbiana do solo) e a atividade enzimática não foram influenciados pelos manejos de coberturas verdes. O uso de subsolagem em associação com o plantio de feijão-de-porco nas entrelinhas, com o uso de calagem e calagem + gesso, influenciou positivamente a população de microrganismos nitrificadores e oxidantes do nitrito. Os autores concluíram que a manutenção de uma cobertura verde nas entrelinhas do pomar foi importante para a atividade dos microrganismos no solo; contudo, variou conforme a planta utilizada. Nesse caso, o feijão-de-porco condicionou a presença de bactérias nitrificadoras. A subsolagem do solo, associada ao uso de leguminosas, exerceu forte influência nos atributos microbiológicos no solo. As diferentes espécies de plantas utilizadas como adubo verde favoreceram a formação dos grupos que se distanciaram do manejo, em que o controle de plantas infestantes foi feito com enxada, em área total.

Para as condições dos Tabuleiros Costeiros do litoral norte da Bahia, um trabalho semelhante foi desenvolvido por Araújo et al. (2005). Os resultados obtidos permitiram concluir que, por um período de 2 anos, os diferentes manejos de coberturas vegetais não influenciaram o C da biomassa do solo, independentemente da época do ano e do local de amostragem.

As alterações dos atributos microbiológicos e bioquímicos do solo em plantio de citros, no estado de São Paulo, sob diferentes sistemas de manejo de adubos verdes nas linhas e entrelinhas da cultura, foram avaliadas. Os resultados mostraram que, após 4 anos, as maiores taxas de atividade microbiana, medidas pela respiração e pela redução do diacetato de fluoresceína, foram

obtidas com o uso de nabo/milheto e roçadeira. O uso de grade ou glifosato em área total reduziu a atividade microbiana, o que colaborou para a diminuição nos teores de matéria orgânica e para a capacidade de troca catiônica (CTC), contribuindo para perdas de qualidade do solo. O plantio de leguminosas promoveu melhorias em relação ao uso de grade ou herbicida, mas a intensidade foi menor no caso da roçadeira ou do nabo/milheto (Marques et al., 2006).

Em um trabalho desenvolvido por Balota e Auler (2011b), durante 5 anos num pomar de laranjeira 'Pera' no noroeste do Paraná, submetido a dois preparos primários do solo (convencional e em faixa) e ao cultivo de coberturas vegetais permanentes [calopogônio, amendoim-forrageiro, grama-batatais (*Paspalum notatum* Flügge. var. *saurae* Parodi), *Urochloa* (Syn. *Brachiaria*) *humidicola*], foram avaliadas as alterações na atividade microbiana. A pesquisa mostrou que: 1) o preparo do solo e as diferentes coberturas vegetais influenciaram a biomassa microbiana do solo, tanto na projeção da copa quanto na entrelinha; 2) o cultivo de braquiária aumentou o teor de C e N da biomassa microbiana, enquanto a grama-batatais aumentou o teor de P; 3) a biomassa microbiana foi enriquecida com N e P, em virtude das diferentes coberturas intercalares e dos teores de P no solo; 4) a diminuição do revolvimento do solo aumentou a biomassa microbiana na entrelinha; e 5) o cultivo de gramíneas aumentou os teores de C, N e P da biomassa microbiana na entrelinha, em comparação com o cultivo de leguminosas.

## Efeito dos adubos verdes sobre a qualidade dos solos cultivados com fruteiras

O manejo e a conservação do solo e da água estão intimamente relacionados com a qualidade do solo. O termo 'qualidade' aplicado à ciência do solo tem sido utilizado para descrever um conjunto de características químicas, físicas e biológicas que habilitam o solo a exercer sua capacidade, dentro dos limites do ecossistema, de sustentar a produtividade biológica, manter a qualidade ambiental e promover a saúde do homem, das plantas e dos animais (Doran; Parkin, 1994). Entre alguns dos fenômenos que prejudicam a qualidade do solo, incluem-se a erosão e a compactação. Segundo esses autores, o estabelecimento de um índice de qualidade do solo é necessário para identificar problemas de produção nas áreas agrícolas, fazer estimativas realísticas da produção de alimentos, monitorar mudanças na sustentabilidade e na qualidade ambiental, em relação ao manejo agrícola.

O manejo de plantas de coberturas, por afetar diretamente os atributos físicos, químicos e biológicos do solo, pode alterar o nível da qualidade do solo para o cultivo de uma determinada cultura de interesse. Ramos et al. (2010), estudando o efeito de coberturas vegetais associado a diferentes tipos de manejo do solo sobre propriedades físicas, químicas e biológicas do solo em uma região semiárida no sudeste da Espanha, concluíram que a adoção de coberturas vegetais

no cultivo da amendoeira melhorou a qualidade do solo graças ao aumento dos teores de matéria orgânica, à melhoria da fertilidade química e física do solo e ao estímulo à atividade microbiana.

Dois manejos de um pomar de laranjeira 'Pera' foram comparados por 6 anos, desde o preparo primário do solo, para avaliar os efeitos sobre o índice de qualidade de um Latossolo Amarelo coeso (Carvalho et al., 2006b). Os tipos de preparo primário do solo testados foram: preparo convencional com aração e gradagem; e preparo alternativo, com subsolagem cruzada. No manejo convencional, o controle de plantas infestantes foi efetuado mecanicamente; no manejo alternativo, efetuou-se o plantio de adubos verdes nas entrelinhas da cultura. As alterações nos indicadores de qualidade do solo induzidas pelo manejo alternativo (subsolagem + cobertura vegetal) refletiram-se na melhoria dos indicadores escolhidos para melhor expressar a qualidade do solo: crescimento radicular em profundidade, condução e armazenamento de água e suprimentos de nutrientes. Para as condições de manejo convencional (gradagem + capina), o índice de qualidade do solo obtido indicou grandes limitações para a produção agrícola. Resultados semelhantes foram observados por Souza et al. (2003) e Souza (2005), em estudos de avaliação da qualidade de Latossolos Amarelos coesos de Tabuleiros Costeiros cultivados, durante 6 a 7 anos, com citros e sob condições de mata nativa, respectivamente.

Quatro sistemas de manejo para a cultura dos citros foram estudados por 6 anos: a) convencional 1 (C1), em que o controle do mato é realizado com quatro capinas manuais, por ano, nas linhas das plantas cítricas; b) convencional 2 (C2), em que o controle mecânico do mato é realizado com quatro gradagens, por ano, nas entrelinhas dos citros; c) proposto 1 (P1), com subsolagem cruzada antes do plantio + controle do mato nas linhas da cultura com glifosato; e d) proposto 2 (P2) com subsolagem cruzada antes do plantio + feijão-de-porco nas entrelinhas dos citros. Os resultados apresentados na Tabela 8 permitiram concluir que, à exceção da saturação por bases, todos os indicadores químicos foram alterados pelos sistemas de manejo estudados. O pH, a matéria orgânica e a CTC do solo foram mais afetados na profundidade de 0 a 0,3 m, e a saturação por alumínio, na profundidade de 0,6 m a 0,9 m (Dias et al., 2006).

## Efeito do manejo do solo e dos adubos verdes sobre o desenvolvimento do sistema radicular de fruteiras

O desenvolvimento do sistema radicular dos citros tem relação estreita com o preparo inicial do solo para a implantação do pomar e com seu manejo para o controle de plantas infestantes. Um estudo foi feito em pomares adultos, comparando o manejo usado pelo produtor (três ou quatro capinas manuais na linha de plantio e o mesmo número de gradagens nas entrelinhas) com o manejo proposto (nas linhas, o controle do mato com glifosato; e nas entrelinhas, o manejo de coberturas vegetais leguminosas e subsolagem, quando necessário). A melhoria da estrutura do solo, ocasionada pelo manejo de coberturas vegetais nas linhas e nas entrelinhas da cultura, no controle integrado de plantas infestantes influenciou, positivamente, a distribuição em pro-

**Tabela 8.** Atributos químicos de um Latossolo Amarelo coeso sob diferentes sistemas de manejo para o cultivo dos citros, em Cruz das Almas, BA, 2006.

Sistema de manejo <sup>(1)</sup>	Atributos químicos de qualidade do solo <sup>(2)</sup>				
	pH (H <sub>2</sub> O)	CTC (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	Matéria orgânica (g kg <sup>-1</sup> )	m (%)	V (%)
<b>Profundidade 0–0,3 m</b>					
C1	6,4b	6,0a	12,2ab	0,6a	80,8a
C2	5,9ab	6,3ab	13,8b	2,4a	83,0a
P1	6,3ab	7,3bc	10,9a	1,3a	76,3a
P2	5,1a	8,1c	14,4b	1,7a	79,3a
<b>Profundidade 0,3 m–0,6 m</b>					
C1	5,5a	4,5a	4,2a	9,2a	59,3a
C2	5,5a	4,6a	5,4a	10,0a	62,3a
P1	6,1a	5,6a	4,4a	3,4a	66,0a
P2	5,9a	5,1a	4,3a	3,4a	70,5a
<b>Profundidade 0,6 m–0,9 m</b>					
C1	5,4a	4,4a	3,5a	20,1b	52,5a
C2	6,0a	4,3a	4,2a	15,6ab	52,3a
P1	6,1a	5,0a	4,0a	2,8a	69,5a
P2	5,5a	4,7a	4,2a	3,0ab	74,0a

<sup>(1)</sup>C1 = controle do mato realizado com quatro capinas manuais, por ano, nas linhas das plantas cítricas; C2 = controle mecânico do mato realizado com quatro gradagens, por ano, nas entrelinhas dos citros; P1 = subsolagem cruzada antes do plantio + controle do mato nas linhas da cultura com glifosato; P2 = subsolagem cruzada antes do plantio + feijão-de-porco nas entrelinhas dos citros. <sup>(2)</sup>CTC = capacidade de troca de cátions; m = saturação por alumínio; V = saturação por bases.

Médias seguidas pela mesma letra minúscula (na coluna) não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Fonte: Dias et al. (2006).

fundidade, no perfil do solo do sistema radicular da laranja ‘Pera’ (Tabelas 9 e 10). Dessa forma, a profundidade específica (Pe) de 0,60 m, para 0,80 m, em Conceição do Almeida, BA, e de 0,60 m para 1,0 m, em Lagarto, SE (Carvalho et al., 1999). Esses resultados confirmaram os comentários de Castro e Lombardi Neto (1992) de que, usando medidas corretivas e preventivas adotadas para evitar a compactação do solo e a redução dos macroporos, pode-se obter melhor desenvolvimento do sistema radicular. Sugerem, também, a adoção da subsolagem para minimizar o problema, evitando, porém, sua utilização generalizada. Contudo, Neves et al. (1998) não observaram diferenças para a quantidade total de raízes da tangerineira ‘Ponkan’, entre os manejos com leguminosas, vegetação espontânea e controle mecânico do mato, apesar de a leguminosa *A. prostrata* ter contribuído para aprofundar o sistema radicular das plantas.

Carvalho et al. (2003b) avaliaram o comportamento da laranjeira ‘Pera’ sobre o limoeiro ‘Volkameriano’ em formação, submetida aos preparos do solo no plantio: um convencional do

**Tabela 9.** Quantidade e distribuição, em profundidade, no perfil do solo do sistema radicular da combinação laranja 'Pera'/limoeiro "Cravo", presente na entrelinha de plantio, em Conceição do Almeida, BA, 1997.

Profundidade (cm)	Quantidade de raízes (cm <sup>2</sup> )		Distribuição percentual (%)	
	Proposto <sup>(1)</sup>	Produtor <sup>(2)</sup>	Proposto	Produtor
0–20	126,40	95,14	38,7	51,9
20–40	40,84	40,69	12,5	22,2
40–60	47,67	4,87	14,6	2,6
60–80	45,97	13,16	14,1	7,2
80–100	65,58	29,49	20,1	16,1
<b>Total</b>	<b>326,46</b>	<b>183,35</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>

<sup>(1)</sup>Proposto (subsolagem no preparo primário do solo + plantio a lanço do feijão-de-porco como cultura de espera para formação de palhada + controle integrado do mato com aplicação de herbicida nas linhas de plantio e nas entrelinhas o manejo do feijão-de-porco como cobertura do solo). <sup>(2)</sup>Convencional/produtor (aração + gradagem no preparo primário do solo + controle mecânico das plantas infestantes com capinas nas linhas e gradagens nas entrelinhas do pomar.

Fonte: Carvalho et al. (1999).

**Tabela 10.** Quantidade e distribuição, em profundidade, no perfil do solo do sistema radicular da combinação laranja 'Pera'/limoeiro "Cravo", presente na entrelinha de plantio, em Lagarto, SE, 1997.

Profundidade (cm)	Quantidade de raízes (cm <sup>2</sup> )		Distribuição percentual (%)	
	Proposto <sup>(1)</sup>	Produtor <sup>(2)</sup>	Proposto	Produtor
0–20	34,69	74,41	19,30	69,90
20–40	25,81	7,20	14,30	6,80
40–60	4,07	3,05	2,30	2,90
60–80	14,89	7,08	8,30	6,60
80–100	55,71	6,52	31,00	6,10
100–120	44,53	8,15	24,80	7,70
<b>Total</b>	<b>179,70</b>	<b>106,41</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>

<sup>(1)</sup>Proposto (subsolagem no preparo primário do solo + plantio a lanço do feijão-de-porco como cultura de espera para formação de palhada + controle integrado do mato com aplicação de herbicida nas linhas de plantio e nas entrelinhas o manejo do feijão-de-porco como cobertura do solo). <sup>(2)</sup>Convencional/produtor (aração + gradagem no preparo primário do solo + controle mecânico das plantas infestantes com capinas nas linhas e gradagens nas entrelinhas do pomar.

Fonte: Carvalho et al. (1999).

produtor (aração, gradação e sulcagem para plantio) e o outro melhorado (subsolagem antes do plantio a 55 cm de profundidade e plantio de feijão-de-porco, em plantio direto, como cultura de espera); além de dois sistemas de manejo: produtor, com capinas manuais nas linhas e gradagens nas entrelinhas; e melhorado, com herbicida nas linhas duas vezes ao ano e cobertura vegetal com feijão-de-porco nas entrelinhas do pomar. Decorridos 3 anos do plantio, foi realizada a primeira avaliação da distribuição do sistema radicular no perfil do solo. Os resultados mostraram que, no sistema melhorado, no qual o trânsito de máquina no controle do mato foi eliminado, houve aumento de 102% na área de raízes nas entrelinhas dos citros, e de 47% nas linhas. A profundidade

efetiva passou de 0,40 m no convencional para 0,80 m no manejo com coberturas e subsolagem. Observou-se, também, que, no sistema do produtor, 77% das raízes concentram-se na camada mais superficial do solo (de 0 a 20 cm), e que, no manejo melhorado, houve melhor distribuição das raízes no perfil do solo, sendo que apenas 30% ficaram na camada de 0 a 20 cm (Tabela 11).

Decorridos 6 anos do início do trabalho, foi feita uma nova avaliação do sistema radicular da laranja 'Pera' sobre limoeiro 'Volkameriano' (Carvalho, 2006c). A profundidade efetiva do sistema radicular foi, em média, de 0,80 m para o manejo convencional, tanto nas linhas quanto nas entrelinhas da cultura; enquanto, no manejo melhorado, foi de 0,90 m nas linhas e de 1,0 m nas entrelinhas. Em relação à distância efetiva, os valores médios observados nos sistemas de manejo estudados foram de 1,5 m para o convencional nas linhas e de 1,75 m nas entrelinhas, e de 2,0 m para o melhorado, tanto nas linhas quanto nas entrelinhas da cultura (Figura 9). Esses resultados permitiram que o sistema radicular explorasse um maior volume de solo, o que proporcionou maior desenvolvimento da planta cítrica e, conseqüentemente, maior produção.

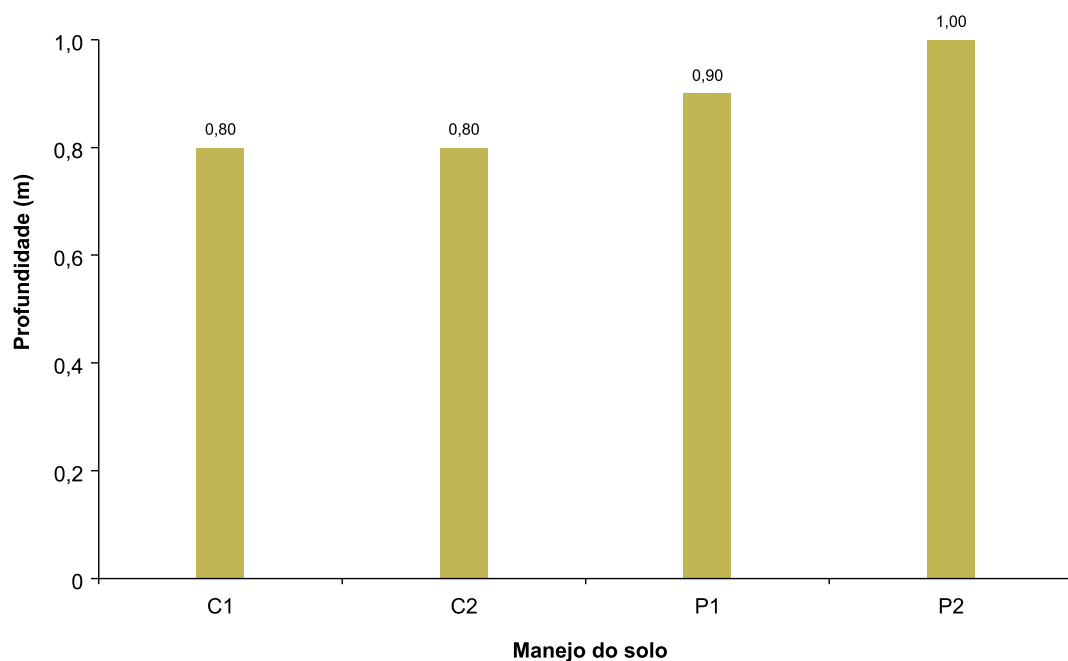
Comparando-se dois sistemas de manejo (produtor x melhorado) aplicados a quatro combinações de copa x porta-enxerto de citros – lima ácida 'Tahiti' x limoeiro 'Volkameriano'; lima ácida 'Tahiti' x citrumelo 'Swingle'; laranja 'Pera' x limoeiro 'Volkameriano'; e laranja 'Pera' x limoeiro 'Cravo' –, concluiu-se que a densidade de raízes foi bem maior sob a copa de lima ácida 'Tahiti', no manejo melhorado, com grande concentração na profundidade de 0 a 0,30 m, em comparação com a copa de laranja 'Pera', cuja distribuição foi mais uniforme no perfil (Souza et al., 2006).

Carvalho et al. (2007) apresentaram dados de densidade total e desenvolvimento em profundidade do sistema radicular do mamoeiro 'Tainung 1', submetido a dois preparos de solo na implantação do pomar e a diferentes manejos de coberturas vegetais no controle integrado de plantas infestantes. Em todas as profundidades e locais amostrados (linha, entre plantas e entre fileiras duplas), os tratamentos com subsolagem na linha de plantio e o manejo de feijão-de-porco e amendoim-forrageiro foram os que apresentaram maior desenvolvimento do sistema radicular. Esses resultados demonstraram que essas duas leguminosas contribuíram, significativamente, para a melhoria da estrutura do solo nas entrelinhas da cultura. Dessa forma, a associação da subsolagem no preparo primário do solo de Tabuleiros Costeiros e o manejo de coberturas vegetais nas entrelinhas proporcionaram melhor desenvolvimento do sistema radicular da variedade 'Tainung 1', em profundidade, nas diversas camadas do solo, e maior densidade de raízes para as condições em estudo.

## Efeito dos adubos verdes sobre o desenvolvimento e a produtividade de fruteiras

Para a cultura da banana, a cobertura do solo com resíduos culturais nas entrelinhas do plantio e resíduos da bananeira + feijão-de-porco proporcionou maior produtividade, sem, contudo, diferir do tratamento com resíduos da bananeira + guandu (Borges; Souza, 1998).





**Figura 9.** Profundidade efetiva e distância efetiva (A) e (B), do sistema radicular da laranja ‘Pera’ enxertada em limão ‘Volkameriano’ sob diferentes sistemas manejo: C1 (aração, gradagem no preparo inicial e capina no controle do mato – linhas); C2 (aração, gradagem inicial e gradagem no controle do mato – ruas); P1 (subsolagem no preparo inicial e controle do mato com glifosato – linhas) e P2 (subsolagem inicial e cobertura vegetal de feijão-de-porco – ruas), em Cruz das Almas, BA, 2006.

Fonte: Carvalho (2006a).

**Tabela 11.** Quantidade e distribuição, em profundidade, no perfil do solo do sistema radicular da combinação laranjeira ‘Pera’/limoeiro “Volkameriano”, presente na entrelinha de plantio, entre os sistemas de manejo proposto e manejo do produtor, em Cruz das Almas, BA, 2001.

Profundidade (cm)	Quantidade de raízes (cm <sup>2</sup> )		Distribuição percentual (%)	
	Manejo		Manejo	
	Proposto <sup>(1)</sup>	Produtor <sup>(2)</sup>	Proposto	Produtor
0–20	2.155,78	1.389,22	29,56	76,95
20–40	1.158,07	64,28	15,34	3,56
40–60	1.118,76	64,04	15,44	3,54
60–80	1.490,55	141,49	20,44	7,83
80–100	1.369,12	146,65	18,77	8,12
<b>Total</b>	<b>7.292,28</b>	<b>1.805,68</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>

<sup>(1)</sup>Proposto (subsolagem no preparo primário do solo + plantio a lanço do feijão-de-porco como cultura de espera para formação de palhada + controle integrado do mato com aplicação de herbicida nas linhas de plantio e nas entrelinhas o manejo do feijão-de-porco como cobertura do solo). <sup>(2)</sup>Convencional/produtor (aração + gradagem no preparo primário do solo + controle mecânico das plantas infestantes com capinas nas linhas e gradagens nas entrelinhas do pomar.

Fonte: Carvalho et al. (2003b).

Perin et al. (2009) avaliaram por 15 meses o efeito de coberturas vegetais formadas por leguminosas herbáceas perenes sobre a produção de bananeira cultivar Nanicão. Foram testados o amendoim-forrageiro, o cudzu-tropical (*P. phaseoloides* Benth.), o siratro e a vegetação espontânea (dominada por *P. maximum* Jacq.). As leguminosas siratro e cudzu-tropical influenciaram positivamente nos pesos do cacho e da penca das bananeiras, o que acarretou ganhos de produtividade e eliminação da adubação nitrogenada. Todas as leguminosas proporcionaram maior crescimento das bananeiras, maior número de folhas emitidas e maior proporção de cachos colhidos, em comparação com o tratamento com vegetação espontânea.

Na cultura do maracujá, Lima et al. (2002) observaram diferenças para a produtividade total e, com destaque, para a utilização do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) como cultura intercalar, com produtividade do maracujazeiro de 12,8 t ha<sup>-1</sup>. No segundo ciclo, o milho, o feijão (cultivar Pérola) e o feijão-de-porco foram avaliados como culturas intercalares; Lima et al. (2003) observaram que não houve diferença entre os tratamentos para produtividade (total, indústria e in natura), peso médio, comprimento e diâmetro dos frutos. Entretanto, houve tendência de maior produtividade para o manejo de cobertura do solo com feijão-de-porco de 26,6 t ha<sup>-1</sup>, apresentando valor da relação custo-benefício, com retorno médio de R\$ 1,74. O milho e o feijão podem ser recomendados como culturas intercalares no segundo ano de cultivo do maracujá-amarelo.

Para o mamão 'Sunrise Solo', Lopes et al. (2003) observaram que, apesar de não haver diferenças entre os tratamentos, houve tendência, tanto para peso quanto para número de frutos, de apresentarem produções mais elevadas nos tratamentos em que foram manejadas coberturas vegetais (leguminosas) e vegetação espontânea, associadas à subsolagem cruzada antes do plantio. É possível que esse resultado esteja associado ao efeito benéfico do manejo de cobertura morta na linha da cultura, causado pela dessecação química no controle de plantas infestantes.

Para a variedade 'Tainung 1', houve a mesma tendência, observada com 'Sunrise Solo', de apresentar produções mais elevadas nos tratamentos manejados com coberturas vegetais (leguminosas) e vegetação espontânea, associadas à subsolagem cruzada antes do plantio (Carvalho et al., 2004). Os menores volumes de copas das plantas cítricas apresentados na Tabela 12 foram evidenciados nos tratamentos A (convencional com N mineral), H (inicialmente com mucuna-preta e 50% do N mineral) e I (sem leguminosa na entrelinha e sem adubação com N), e estão entre os tratamentos de menor produtividade. Entretanto, não houve diferença entre os tratamentos. Em um trabalho nessa mesma linha, Silva et al. (1992) não observaram efeito no volume da copa de plantas cítricas em formação no estado de São Paulo, entre tratamentos com leguminosas e com doses de N mineral. A mucuna-preta foi a leguminosa que teve desempenho insatisfatório, apesar da alta fixação de N e da boa produção de matéria seca. Entretanto, Ragozo et al. (2006) não observaram diferenças entre os adubos verdes e a testemunha. Essa interessante observação permite indicar a utilização dos adubos verdes em substituição à braquiária, sem haver comprometimento no que se refere à produtividade das plantas, às características de qualidade dos frutos, à relação acidez total/sólidos solúveis e ao rendimento de suco.

**Tabela 12.** Produtividade média anual do pomar e produção por planta, em 6 anos de colheita (2001 a 2006), e volume da copa das plantas cítricas, em Umbaúba, SE.

Tratamento	Produtividade (t ha <sup>-1</sup> )	Produção por planta <sup>(1)</sup> (kg por planta)	Volume da copa (m <sup>3</sup> )
Vegetação espontânea + 0% de N ureia	24,53a <sub>1</sub>	58,96a <sub>1</sub>	11,25a <sub>1</sub>
Mucuna-preta + 50% N ureia	33,56a <sub>1</sub> a <sub>2</sub>	80,67a <sub>1</sub> a <sub>2</sub>	10,26a <sub>1</sub>
Crotalária-júncea + 0% N ureia	35,50a <sub>1</sub> a <sub>2</sub>	85,34a <sub>1</sub> a <sub>2</sub>	12,90a <sub>1</sub>
100% de N ureia	35,93a <sub>1</sub> a <sub>2</sub>	86,37a <sub>1</sub> a <sub>2</sub>	11,12a <sub>1</sub>
Feijão-de-porco + 0% N ureia	38,06a <sub>1</sub> a <sub>2</sub>	91,49a <sub>1</sub> a <sub>2</sub>	12,46a <sub>1</sub>
Feijão-de-porco + 25% N ureia	39,83a <sub>1</sub> a <sub>2</sub>	95,74a <sub>1</sub> a <sub>2</sub>	14,42a <sub>1</sub>
Crotalária-júncea + 25% N ureia	40,66a <sub>2</sub>	97,74a <sub>1</sub> a <sub>2</sub>	12,97a <sub>1</sub>
Feijão-de-porco + 50% N ureia	41,50a <sub>2</sub>	99,76a <sub>1</sub> a <sub>2</sub>	13,72a <sub>1</sub>
Crotalária-júncea + 50% N ureia	44,00a <sub>2</sub>	105,76a <sub>2</sub>	11,82a <sub>1</sub>
<b>DMS</b>	<b>16,04</b>	<b>38,69</b>	<b>6,27</b>
<b>CV (%)</b>	<b>14,90</b>	<b>14,95</b>	<b>17,51</b>

<sup>(1)</sup>416 plantas por hectare – espaçamento de 6 m x 4 m.

Médias seguidas de letras e números iguais na mesma coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Fonte: Anjos et al. (2007).

Na cultura dos citros, tem-se conseguido um incremento médio de 25% a 30% na produtividade para as condições do Nordeste brasileiro, com o manejo de coberturas vegetais no controle integrado de plantas infestantes, quando comparado ao manejo convencional do produtor. Para as condições do estado de São Paulo, o incremento médio foi de 12,5% (Carvalho et al., 1998a, 2001, 2002, 2005; Carvalho, 2000a). Os tratamentos com feijão-de-porco tiveram uma influência maior sobre a produtividade do pomar, do que os tratamentos com crotalária.

## Potencial de leguminosas e gramíneas como adubos verdes em solos de Tabuleiros Costeiros

O potencial das coberturas vegetais como melhoradoras do solo tem sido avaliado por vários autores nas condições dos solos de Tabuleiros Costeiros. É uma alternativa de manejo que minimiza os efeitos do adensamento e/ou da compactação desses solos logo abaixo do horizonte AP, entre o AB e o BA. Barreto (1997) avaliou a produtividade de sete leguminosas para adubação verde em diferentes densidades de plantio a lanço, em Tabuleiros Costeiros: calopogônio, mucuna-preta, mucuna-rajada (*Mucuna deeringiana*), feijão-de-porco, guandu, crotalária-vistosa (*Crotalaria spectabilis* L.) e crotalária-breviflora. Concluíram que a crotalária-vistosa e a crotalária-

-breviflora apresentaram os maiores rendimentos de matéria seca da parte aérea, com respostas lineares e positivas. Avaliaram ainda que, quanto à competição intraespecífica, o efeito inibitório da crotalária-vistosa sobre a vegetação nativa foi maior e menos dependente de adensamento do que o da crotalária-breviflora.

Avaliando a cobertura vegetal de algumas leguminosas, Medeiros e Carvalho (1997) concluíram que a crotalária-vistosa destacou-se pela velocidade inicial de cobertura, com 75%, aos 40 dias de semeadura, atingindo cobertura máxima aos 70 dias. A mucuna-preta, apesar de mais lenta, teve comportamento semelhante, e cobriu totalmente o solo aos 80 dias. O guandu, além de muito lento, atingiu uma cobertura máxima de apenas 40%, aos 110 dias.

A crotalária, o calopogônio, a braquiária-humidícola, a crotalária-vistosa e o caupi apresentaram o melhor desempenho em poder relativo de penetração de raízes (PRPR) e demonstraram grande habilidade na exploração de maior volume de solo em profundidade; portanto, são excelentes opções como “subsolador biológico” e na prática de adubação verde, no ambiente dos Tabuleiros Costeiros. Quando as raízes dessas plantas morrem, são criados os chamados “bioporos”, que podem aumentar o movimento de água e a difusão de gases, o que melhora as condições do solo para a cultura subsequente.

Os resultados obtidos por Silva et al. (1992), Carvalho (2000b) e Pereira (2001) mostraram que:

- O capim-braquiária [*Urochloa* (Syn. *Brachiaria*) *decumbens*] teve comportamento similar ao das leguminosas, e apresentou maior velocidade de crescimento da parte aérea, nos primeiros 30 dias após a emergência; não mostrou restrição ao crescimento do sistema radicular e atravessou o solo compactado, mesmo quando ele apresentou a maior densidade.
- O capim-tanzânia (*Panicum maximum* Jacq. vr. Tanzânia I.) apresentou comportamento semelhante ao do capim-braquiária.
- O guandu-anão e o caupi apresentaram as maiores velocidades no período analisado.
- O caupi revelou o menor ciclo entre a emergência e a floração (em torno de 70 dias).
- O calopogônio foi a espécie mais tardia, não florescendo durante o período experimental.
- Como adubo verde e cobertura de solo, o feijão-de-porco apresentou os melhores resultados, seguido do calopogônio.
- Para a recuperação de solos com problemas de compactação, destacou-se o calopogônio, seguido do feijão-de-porco.
- Entre as plantas estudadas, o caupi e a crotalária-ocroleuca foram os menos tolerantes à compactação e ao adensamento (Silva et al., 1992; Carvalho, 2000b; Pereira, 2001).

Santos (2003) avaliou em condições de campo o comportamento das espécies *Stylosanthes guianensis* Aubl. ‘Mineirão’ (alfafa-mineirão), amendoim-forrageiro, cudzu-tropical, clitória (*Clitoria*

*laurifolia* Poir.), lablab e *Desmodium ovalifolium* (Prain) Wall. ex Merr. (desmódio), quanto aos seguintes aspectos: cinética de crescimento, poder relativo de penetração das raízes e influência na resistência do solo ao penetrômetro. Com base nos resultados, concluiu que o amendoim-forrageiro apresentou maior potencial como planta melhoradora dos solos de Tabuleiros Costeiros, seguido pela clitória.

Recomenda-se a exploração do potencial das leguminosas e gramíneas para a forração e a melhoria da estrutura dos solos da ecorregião em estudo. Acredita-se que resultados semelhantes possam ser observados em outras regiões e tipos de solos, desde que testes de validação sejam realizados.

## Manejo de coberturas vegetais em fruteiras: sequências recomendadas para utilização dos adubos verdes em fruteiras

Nos pomares novos ou em áreas de renovação ou implantação, a semeadura dos adubos verdes pode ser feita em área total (a lanço), com o auxílio de uma gradagem superficial, pois o sistema radicular ainda é pouco desenvolvido e, dessa forma, não corre o risco de ser cortado pelos discos da grade. Em plantas adultas, sempre que possível, devem-se privilegiar técnicas como a escarificação, para quebrar camadas mais compactadas e remover plantas infestantes, ou fazer, preferencialmente, o plantio direto (Figura 10). Apontam-se algumas vantagens do plantio direto em comparação com o convencional: a) retirada por completo da grade do pomar para o controle de plantas infestantes; b) garantia de um estande ideal, de acordo com a melhor condição competitiva dada aos adubos verdes pelo dessecação da vegetação espontânea e



**Figura 10.** Plantio a lanço do feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*) em Rio Preto da Eva, AM (A); e plantio direto do nabo-forrageiro (*Raphanus sativus*), em Taiaçu, SP (B), como coberturas vegetais nas entrelinhas do pomar de laranja.



pela formação de cobertura morta para o aumento da disponibilidade de água; c) menor risco de erosão; d) menor gasto de sementes por hectare; e e) conseqüentemente, redução de custos. Outro aspecto a ser considerado é que só se devem adubar essas plantas de cobertura se for necessário, pois elas aproveitam a adubação residual realizada na cultura explorada. Da mesma forma, não se faz, normalmente, o controle de plantas infestantes nos plantios dos adubos verdes por questão de economia e pelo próprio efeito alelopático de algumas espécies.

## Recomendações

Para as condições das regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste, o plantio de adubos verdes anuais (Figura 11) deve ser realizado em novembro/dezembro; e manejado com roçadeira ou triturador em março/abril. Durante o inverno, o material deve ser deixado sobre a superfície do solo, para que dê início a um novo ciclo, com dessecação do mato em setembro/outubro e plantio novamente em novembro/dezembro. Para as condições dos estados da Bahia e de Sergipe, o plantio deve ser realizado em maio/junho; e o corte, em setembro/outubro. Assim como nas

Fotos: José Eduardo Borges de Carvalho



**Figura 11.** Exemplos de coberturas vegetais anuais de verão para as regiões Norte, Centro-Oeste, Sudeste e Sul, e de inverno para a Bahia e Sergipe: feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*) (A); milheto + feijão-de-porco (B); crotalária-júncea (*Crotalaria juncea*) (C); milheto (*Pennisetum glaucum*) (D).

outras regiões, deve-se deixar o material cortado sobre a superfície do solo para a formação de cobertura morta após o período das águas (Figura 12). Caso ocorra uma infestação da vegetação espontânea nesse período, deve-se manejar com roçadeira ou com herbicida pós-emergente nas épocas de alta deficiência de água no solo, a fim de evitar a competição com as espécies frutícolas.



Fotos: José Eduardo Borges de Carvalho

**Figura 12.** Deposição da biomassa do capim-braquiária (*Urochloa decumbens*) na superfície do solo para formação de cobertura morta nas linhas de plantio da cultura, visando ao controle de plantas infestantes e consequente redução do uso de herbicida, em Iranduba, AM, 2015, e Rio Real, BA, 2016.

Com relação ao manejo de coberturas vegetais perenes, como gramíneas (capins braquiária) ou leguminosas (calopogônio, amendoim-forrageiro), o plantio é feito apenas uma vez, caso sejam dadas as condições para a perenização dessas coberturas, o que vai permitir, em determinada época do ano, a produção de sementes, para enriquecer o banco de sementes da cobertura vegetal no solo (Figura 13).

O plantio de espécie de inverno (nabo-forrageiro, aveia-preta, ervilhaca, etc.) deve ser realizado em março/abril, a fim de aproveitar a cobertura deixada pelo adubo verde de verão, cuidando que o solo esteja suficientemente úmido (Figura 14). Em setembro/outubro, procede-se ao manejo com roçadeira ou ao dessecamento com herbicida, nas entrelinhas. Em novembro/dezembro, realiza-se o plantio direto de leguminosas. Em março/abril, o manejo deve ser efetuado com roçadeira ou triturador. Em seguida, faz-se novamente o plantio direto de espécies de inverno ou até que o azevém surja espontaneamente, deixando sempre a biomassa roçada sobre a superfície do solo para protegê-lo.

A depender da condição do produtor, a roçagem das coberturas pode ser mecanizada ou manual, e efetuada de 20 cm a 25 cm do nível do solo, para a formação de uma boa cobertura morta, de tal maneira que não atinja o meristema da planta, possibilitando, assim, a rebrota da cobertura vegetal perene, principalmente das gramíneas.



Fotos: José Eduardo Borges de Carvalho



**Figura 13.** Exemplos de coberturas vegetais perenes: braquiária-ruziziense (*Urochloa ruziziensis*) (A); calopogônio (*Calopogonium mucunoides*) (B); amendoim-forrageiro (*Arachis pinto*) (C).

Fotos: José Eduardo Borges de Carvalho



**Figura 14.** Exemplos de coberturas vegetais de inverno para as condições do Sudeste e Sul: nabo-forrageiro (*Raphanus sativus*) (A); azevém (*Lolium multiflorum*) (B); ervilhaca (*Vicia sativa*) (leguminosa) + aveia-preta (*Avena strigosa*) (gramínea), na proporção de 50% + 50%, no geral (C) e no detalhe (D), em Cruz das Almas, BA, e em Cacequi e Pareci Novo, RS, 2014.



Para manter a cobertura perene ao longo dos anos nas entrelinhas do pomar, é preciso atentar para o uso exagerado da roçadeira lateral (“ecológica”), pelos produtores, com três ou quatro operações durante o ano, no propósito exclusivo de reduzir o uso de herbicidas nas linhas de plantio. Esse procedimento pode deixar o solo desprotegido nas entrelinhas, contribuindo para o empobrecimento da produção de biomassa vegetal e até mesmo para a morte da cobertura. Dessa forma, recomenda-se que, pelo menos uma vez ao ano, o corte dessa cobertura seja atrasado para que se possam produzir sementes viáveis e aumentar o banco de sementes no solo, garantindo, com isso, a perenização da cobertura. Da mesma forma, recomenda-se que pelo menos uma roçagem das coberturas vegetais seja efetuada com a roçadeira convencional, para a deposição da biomassa nas entrelinhas do pomar, garantindo, assim, a proteção do solo e da umidade, na busca de condições mais favoráveis para a germinação das sementes dessas coberturas, e conseqüente estabelecimento ao longo dos anos, além da reciclagem de nutrientes nas entrelinhas, para manter a fertilidade do solo (Figura 15).



Fotos: José Eduardo Borges de Carvalho

**Figura 15.** Deposição para a proteção do solo e a reciclagem de nutrientes da biomassa da braquiária-ruziziense (*Urochloa ruziziensis*) na entrelinha da tangerineira ‘Ponkan’ (*Citrus reticulata*) com roçagem manual (A), em Cerro Azul, PR (2014), e do capim-braquiária (*Urochloa decumbens*) com roçagem mecânica (B e C), nas entrelinhas da laranja ‘Pera’ (*Citrus sinensis*), em Rio Real, BA, 2016.

A permanência da cobertura morta protegendo o solo depende muito da velocidade de decomposição dos resíduos, isto é, quanto mais rápido a palhada se decompõe, menos protegerá o solo. Essa é uma das vantagens do uso dos capins como adubos verdes.

## Rentabilidade do manejo de coberturas vegetais no controle integrado de plantas infestantes

A análise de rentabilidade bruta realizada durante 6 anos nas áreas experimentais de Lagarto e Boquim, SE, mostrou um incremento médio na receita líquida de 42,1%, a favor do manejo do solo e do uso de adubos verdes no controle de plantas infestantes em citros, em comparação com o sistema convencional utilizado pelos produtores da região. O incremento médio em Lagarto foi de 56,5%, enquanto em Boquim superou 100% em alguns anos. No estado de São Paulo, o incremento médio foi de 17,6% (Carvalho; Vargas, 2008).

O aumento de rentabilidade e produtividade da cultura permite concluir que os pontos mais importantes dessa tecnologia gerada/adaptada, já comentados em alguns tópicos deste capítulo, são a garantia da sustentabilidade do negócio agrícola e a melhoria socioeconômica dos produtores, conferindo-lhes mais competitividade num mercado globalizado.

A renda líquida nos manejos com coberturas vegetais e subsolagem no preparo do solo na cultura do mamoeiro foi, em média, 39,1% maior, em comparação aos manejos mecanizados no controle das plantas infestantes (Carvalho, 2006a).

Na cultura do maracujá, o controle integrado com feijão-de-porco e feijão nas entrelinhas e o controle de plantas infestantes nas linhas com enxada e químico com glifosato foram os tratamentos que proporcionaram maior retorno médio (72%) para cada real investido (Lima et al., 2002).

## Considerações finais

A busca de sistemas que integrem plantas de coberturas e que possam, além de proteger o solo, promover melhorias nas condições ambientais e efeitos favoráveis ao desenvolvimento de cultivos comerciais deve ser constante no manejo dos sistemas produtivos de fruteiras. Assim, recomenda-se que o manejo do solo com adubos verdes no controle de plantas infestantes seja adaptado à região, ou seja, que se leve em consideração o solo e o clima, as condições socioeconômicas, o interesse do produtor rural e, acima de tudo, o fato de ser tecnicamente factível, ecologicamente equilibrado e economicamente viável.

O manejo de adubos verdes propicia melhores redistribuição e aproveitamento dos nutrientes no solo e, conseqüentemente, diminui os custos de produção, ao reduzir o uso de

fertilizantes químicos, além de aumentar a capacidade produtiva do solo e dar estabilidade à produção. Em consequência disso, a renda líquida da propriedade tende a aumentar; por isso, trata-se de um recurso eficiente e eficaz para manter um sistema de produção sustentável. A recuperação de solos com estrutura comprometida pela compactação e pelo manejo inadequado e adensado pode ser feita por meio de práticas culturais e biológicas, que se baseiem na utilização de plantas com sistema radicular profundo, abundante e agressivo, capaz de romper a camada coesa e/ou compactada, com o cultivo de leguminosas e gramíneas.

Especificamente para a cultura dos citros, a subsolagem no preparo primário do solo para a implementação do pomar e o manejo de leguminosas nas entrelinhas, como o feijão-de-porco e crotalária para o controle integrado de plantas infestantes, contribuiu para o desenvolvimento do sistema radicular, passando a profundidade específica de 0,40 m no sistema convencional do produtor, para 0,80 m. Dessa forma, o sistema radicular passa a explorar um volume maior de solo, permitindo à planta a absorção de nutrientes e água disponíveis em horizontes mais profundos. Na cultura do mamão, em solo de Tabuleiros Costeiros, o preparo com subsolagem na linha de plantio e o manejo nas entrelinhas com feijão-de-porco e amendoim-forrageiro apresentou maior desenvolvimento do sistema radicular quando comparado ao sistema convencional do produtor no preparo do solo e controle de plantas infestantes nas entrelinhas.

Com relação ao ambiente, outros ganhos são conseguidos, como a melhoria da estrutura do solo em pomares cítricos no Brasil, preservando sua produtividade pelo aumento da macroporosidade, redução da microporosidade, redução da densidade e consequente aumento da velocidade de infiltração de água, garantindo maior armazenamento no seu perfil. Observou-se essa mesma tendência no cultivo do mamoeiro nos Tabuleiros Costeiros. Tem-se também como ganho a viabilização do manejo integrado de pragas, propiciando um ambiente adequado como abrigo e alimento para presença, no pomar, de inimigos naturais das principais pragas e consequente redução da aplicação de agrotóxicos pelo menor número de intervenção química devido ao controle biológico conservativo.

A adoção dessa tecnologia deve aumentar a longevidade da cultura, principalmente nos solos de Tabuleiros Costeiros dos estados da Bahia e de Sergipe, motivo pelo qual deve ser recomendada e adotada pelos fruticultores, principalmente pelos pequenos produtores que se encaixam na filosofia da agricultura familiar. Apesar desses resultados promissores, a subsolagem não deve ser usada indiscriminadamente. Se for necessário, deverá estar associada à incorporação de matéria orgânica ao solo e ao plantio de adubos verdes com sistema radicular profundo e vigoroso. Essa associação facilita o papel descompactador das raízes em profundidade e torna seu resultado mais duradouro, graças ao efeito sinérgico dessas práticas agrícolas.

## Referências

- AITA, C.; GIACOMINI, S. J. Plantas de cobertura de solo em sistemas agrícolas. In: ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; AITA, C.; BODDEY, R. M.; JANTALIA, C. P.; CAMARGO, F. A. O. **Manejo de sistemas agrícolas: impacto no sequestro de C e nas emissões de gases de efeito estufa**. Porto Alegre: Genesis, 2006. p. 59-79.
- AMBROSANO, E. J.; MURAOKA, T.; AMBROSANO, G. M. B.; TRIVELIN, P. C. O.; WUTKE, E. B.; TAMISO, L. G. O papel das leguminosas para a adubação verde em sistemas orgânicos. In: CURSO REGIONAL DE AGRICULTURA ORGÂNICA, 2000, Piracicaba. **Adubação verde para a agricultura orgânica: dia de campo**. Piracicaba: Degaspari, 2000. p. 17-76.
- ANJOS, J. L. dos; BARRETO, A. C.; SOBRAL, L. F.; SILVA, L. M. S. da; GOMES, J. B. V.; DANTAS JUNIOR, V. S. Efeito de leguminosas e N mineral na produtividade de citros em solo de Tabuleiro Costeiro de Sergipe. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., 2007, Gramado. **Conquistas e desafios da ciência do solo brasileira**. [Porto Alegre]: UFRGS Solos: SBCS/Núcleo Regional Sul, 2007. 1 CD ROM.
- ANJOS, J. L. dos; SILVA, I. de F.; CINTRA, F. L. D.; PORTELA, J. C.; LUZ, L. R. Q. P. Efeito de práticas de manejo na agregação de Argissolo de Tabuleiro cultivado com citros. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 16., 2006, Aracaju. **Novos desafios do carbono no manejo conservacionista: resumos e palestras**. Aracaju: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. 1 CD-ROM.
- ARAÚJO, A. M. de A.; CARVALHO, J. E. B. de; SOARES, A. C. F. **Carbono e respiração da biomassa microbiana do solo sob diferentes manejos em pomar de laranja 'Pêra' nos Tabuleiros Costeiros da Bahia**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, 2005. 23 p. (Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 38).
- AULER, P. A. M.; FIDALSKI, J.; NEVES, C. S. V. J. Produção de laranja 'Pera' em sistemas de preparo de solo e manejo nas entrelinhas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 1, p. 363-374, jan./fev. 2008.
- BALOTA, E. L.; AULER, P. A. M. Biomassa microbiana sob solo com diferentes sistemas de preparo e cultivo intercalar de coberturas permanentes em pomar de laranjeira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 1873-1883, 2011b.
- BALOTA, E. L.; AULER, P. A. M. Mineralização do carbono e nitrogênio sob diferentes preparos de solo e coberturas permanentes intercalares em pomar de laranjeira. **Revista Brasileira Fruticultura**, v. 33, n. 2, p. 637-648, jun. 2011a.
- BARRETO, A. C. Produtividade de leguminosas para adubação verde em diferentes densidades de plantio a lanço, em solo de Tabuleiros Costeiros de Sergipe. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., 1997, Rio de Janeiro. **Informação, globalização, uso do solo**. [Rio de Janeiro]: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo: Embrapa Solos; Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 1997. 1 CD ROM.
- BERALDO, J. M. G.; AULER, P. A. M.; PAVAN, M. A.; FIDALSKI, J. Reciclagem de nutrientes num pomar de laranjeira 'Pêra' com diferentes sistemas de preparo do solo e cobertura vegetal. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., 2007, Gramado. **Conquistas e desafios da ciência do solo brasileira**. [Porto Alegre]: UFRGS Solos: SBCS/Núcleo Regional Sul, 2007. 1 CD-ROM.
- BORDIN, I.; NEVES, C. S. V. J.; FRANCISCO FILHO, P.; PRETI, E. A.; CARDOSO, C. Crescimento de milho e anduado, desempenho de plantas cítricas e propriedades físicas do solo escarificado em um pomar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 4, p. 1409-1418, jul./ago. 2008.
- BORGES, A. L.; LIMA, A. de A. Propriedades químicas do solo e produtividade do maracujá amarelo sob diferentes sistemas de manejo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003, Ribeirão Preto. **Solo: alicerce dos sistemas de produção**. Botucatu: Ed. da Unesp: SBCS/Núcleo Regional Sul, 2003. 1 CD-ROM.
- BORGES, A. L.; SOUZA, L. da S. **Cobertura vegetal do solo para bananeira**. Cruz das Almas: Embrapa-CNPMP, 1998. 4 p. (Embrapa-CNPMP. Comunicado técnico, 52).
- BORGES, W. L. B.; FREITAS, R. S.; MATEUS, G. P.; SÁ, M. E.; ALVES, M. C. Supressão de plantas daninhas utilizando plantas de cobertura do solo. **Planta Daninha**, v. 32, n. 4, p. 755-763, 2014.
- BORMANN, F. H.; LIKENS, G. E. Small watersheds can provide invaluable information about terrestrial ecosystems. **Science**, v. 155, p. 424-429, 1967.
- BRANCALÍÃO, S. R.; DE MARIA, I. C.; IORI, P. Avaliação da supressão de plantas daninhas por culturas de cobertura. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 16., 2006, Aracaju. **Novos desafios do**

**carbono no manejo conservacionista:** resumos e palestras. Aracaju: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006 1 CD-ROM.

BRANDÃO, E. D.; SILVA, I. de F. da. Formação e estabilização de agregados pelo sistema radicular de braquiária em um Nitossolo Vermelho. **Ciência Rural**, v. 42, n. 7, p. 1193-1199, jul, 2012.

BRAZ, A. J. B. P.; KLIEMANN, H. J.; SILVEIRA, P. M. Produtividade de palhada de plantas de cobertura. In: SILVEIRA, P. M.; STONE, L. F. (ed). **Plantas de cobertura dos solos do cerrado**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2010. p. 12-33.

BREMER NETO, H.; VICTÓRIA FILHO, R.; MOURÃO FILHO, F. de A. A.; MENEZES, G. M. de.; CANALI, E. Estado nutricional e produção de laranja 'Pêra' em função da vegetação intercalar e cobertura morta. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 1, p. 29-35, jan. 2008.

CAMPIGLIA, E.; MANCINELLI, R.; RADICETTI, E.; CAPORAL, F. Effect of cover crops and mulches on weed control and nitrogen fertilization in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). **Crop Protection**, v. 29, n. 4, p. 354-363, 2010.

CARVALHO, A. M.; BURLE, M. L.; PEREIRA, J.; SILVA, M. A. **Manejo de adubos verdes no Cerrado**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 1999. 28 p. (Circular técnica, 4).

CARVALHO, J. E. B. de. **Manejo de superfície do solo com coberturas vegetais na cultura do mamão em Tabuleiros Costeiros**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, 2006a. 1 fôlder.

CARVALHO, J. E. B. de. Manejo do solo em pomares. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE CITROS – PRODUÇÃO INTEGRADA, 6., 2000, Bebedouro. **Anais...** Bebedouro: Fundação Cargill, 2000a. p. 107-146.

CARVALHO, J. E. B. de. Sistema convencional x produção integrada de citros: impacto sobre o desenvolvimento do sistema radicular. **Informativo Agropecuário Coopercitrus**, ano, 19, n. 239, p. 15-16, 2006c.

CARVALHO, J. E. B. de; AZEVEDO, C. L. L.; SOUZA, L. da S. **Coberturas vegetais na cultura do mamão em Tabuleiros Costeiros e o controle integrado de plantas infestantes**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, 2006a. 4 p. (Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical. Comunicado técnico, 115).

CARVALHO, J. E. B. de; BRITO, Z. U. de; COSTA NETO, A. de O.; CALDAS, R. C. Efeito de práticas culturais sobre o estabelecimento e permanência de fungos micorrízicos arbusculares (Mas) na laranja 'Pêra'. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 17, n. 3, p. 33-46, 1995.

CARVALHO, J. E. B. de; DIAS, R. C. dos S.; MELO FILHO, J. F. de. **Produção integrada x convencional – impacto sobre a qualidade do solo**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, 2006b. 4 p. (Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical. Comunicado técnico, 118).

CARVALHO, J. E. B. de; LOPES, L. C.; ARAÚJO, A. M. de A.; SOUZA, L. da S.; CALDAS, R. C.; DALTRO JÚNIOR, C. A.; CARVALHO, L. L. de; OLIVEIRA, A. A. R.; SANTOS, R. C. dos. Leguminosas e seus efeitos sobre propriedades físicas do solo e produtividade do mamoeiro 'Tainung 1'. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 26, n. 2, p. 335-338, ago. 2004.

CARVALHO, J. E. B. de; NEVES, C. S. V.; MENEGUCCI, J. L. P.; SILVA, J. A. A. da. Práticas culturais. In: MATTOS JUNIOR, D. de; DE NEGRI, J. D.; PIO, R. M.; POMPEU JUNIOR, J. (ed.). **Citros**. Campinas: Instituto Agronomico: Fundag, 2005. p. 448-482.

CARVALHO, J. E. B. de; SANTANA, A.; PITELLI, R. A.; SOUZA, L. da S.; GALLI, A. J. B. Manejo de coberturas vegetais no controle integrado de plantas daninhas e a produtividade dos citros. In: CONGRESO DE LA ASOCIACIÓN LATINOAMERICANA DE MALEZAS, 15., 2001, Maracaibo. **Resumos...** Maracaibo: Asociación Latinoamericana de Maleza, 2001. p. 271.

CARVALHO, J. E. B. de; SANTOS, R. C. dos; ARAÚJO, A. M. de. **Produção sustentável de citros**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2003a. 4 p. (Embrapa Mandioca e Fruticultura. Comunicado técnico, 84).

CARVALHO, J. E. B. de; SANTOS, R. C. dos; SOUZA, A. L. V. **Novo preparo e manejo do solo no controle do mato – contribuição ao desenvolvimento do sistema radicular dos citros**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, 2003b. 4 p. (Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical. Comunicado técnico, 85).

CARVALHO, J. E. B. de; SOUZA, L. da S.; AZEVEDO, C. L. L.; CRUZ, J. L.; SANTOS, L. A. dos; PEIXOTO, C. A. B. **Manejo do solo convencional e com coberturas vegetais – efeito sobre a distribuição do sistema radicular do mamoeiro 'Tainung 1'**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, 2007. 3 p. (Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical. Comunicado técnico, 124).



- CARVALHO, J. E. B. de; SOUZA, L. da S.; CALDAS, R. C.; ANTAS, P. E. U. T.; ARAÚJO, A. M. de; LOPES, L. C.; SANTOS, R. C. dos; LOPES, N. C. M.; SOUZA, A. L. V. Leguminosa no controle integrado de plantas daninhas para aumentar a produtividade da laranja-‘Pêra’. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 24, n. 1, p. 82-85, abr. 2002.
- CARVALHO, J. E. B. de; SOUZA, L. da S.; CALDAS, R. C.; COSTA NETO, A. de O; CARDOSO, S. da S.; RAMOS, W. F. Soil management and integrated control of weeds in citrus orchards. In: CONGRESS INTERNATIONAL SOCIETY OF CITRICULTURE, 8., 1996, Sun City, South Africa. **Proceedings...** Sun City: ISC, 1996a. p. 110.
- CARVALHO, J. E. B. de; SOUZA, L. da S.; CALDAS, R. C.; COSTA NETO, A. de O; CARDOSO, S. da S.; RAMOS, W. F.; ARAÚJO, A. M. de A.; LOPES, L. C. Manejo do solo no controle de plantas daninhas em citros. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13.; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 1.; SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 4.; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 6.; REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 11., 1996, Águas de Lindóia. **Solo suelo 96**. Águas de Lindóia: SBC Solo: SLCS, 1996b. 1 CD-ROM.
- CARVALHO, J. E. B. de; SOUZA, L. da S.; JORGE, L. A. de C.; RAMOS, W. F.; COSTA NETO, A. de O.; ARAÚJO, A. M. de A.; LOPES, L. C.; JESUS, M. S. de. Manejo de coberturas do solo e sua interferência no desenvolvimento do sistema radicular da laranja “Pera”. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 21, n. 2, p. 140-145, ago. 1999.
- CARVALHO, J. E. B. de; SOUZA, L. da S.; SOUZA, L. D. Manejo de cobertura vegetal con leguminosas en el control integrado de malezas em cítricos. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE COBERTURA DE LEGUMINOSAS EM CULTIVOS PERMANENTES, 1998, Santa Barbara del Zulia. **Compendio...** Santa Barbara del Zulia: Facultad de Agronomía de La Universidad del Zulia, 1998a. p. 108-130.
- CARVALHO, J. E. B. de; SOUZA, L. da S.; SOUZA, L. D.; CALDAS, R. C.; RAMOS, W. F.; COSTA NETO, A. de O.; ARAÚJO, A. M. de A.; LOPES, L. C.; SILVEIRA, J. R. da S. Manejo do solo no controle integrado de plantas daninhas em citros. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 20, n. 1, p. 21-27, 1998b.
- CARVALHO, J. E. B. de; VARGAS, L. Manejo e controle de plantas infestantes em frutíferas. In: VARGAS, L.; ROMAN, E. S. (ed.). **Manual de manejo e controle de plantas daninhas**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2008. p. 561-601.
- CARVALHO, S. R. L. de. **Identificação, caracterização, e cinética de crescimento de leguminosas e gramíneas com alto poder relativo de penetração de raízes em solo coeso dos Tabuleiros Costeiros do Recôncavo baiano (ETAPA I)**. 2000b. 115 f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Agronomia da Universidade Federal da Bahia, Cruz das Almas.
- CASTRO, O. M. de; LOMBARDI NETO, F. **Manejo e conservação do solo em citros**. **Laranja**, v. 13, n. 1, p. 275-304, 1992.
- CORREIA, N. M.; DURIGAN, J. C.; KLINK, U. P. Influência do tipo e da quantidade de resíduos vegetais na emergência de plantas daninhas. **Planta Daninha**, v. 24, n. 2, p. 245-253, abr./jun. 2006.
- CRUSCIOL, C. A. C.; COTTICA, R. L.; LIMA, E. do V.; ANDREOTTI, M.; MORO, E.; MARCON, E. Persistência de palhada e liberação de nutrientes do nabo forrageiro no plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 2, p. 161-168, fev. 2005.
- CRUSCIOL, C. A. C.; FERRARI NETO, J.; SORATTO, R. P.; COSTA, C. H. M. da. Ciclagem de nutrientes e silício pelo gandu-anão e milho cultivados solteiros e consorciados. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, n. 37, p. 1628-1640, 2013.
- DAMASCENO, L. A. **Crescimento e períodos de decomposição de plantas de cobertura e seus efeitos sobre a supressão de plantas infestantes no amazonas**. 2013. 43 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus.
- DIAS, R. C. dos S.; MELO FILHO, J. F. de; CARVALHO, J. E. B. de; NASCIMENTO, P. dos S.; DIAS, C. B. Efeito de sistemas de manejo nos indicadores químicos de qualidade do solo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 16., 2006, Aracaju. **Novos desafios do carbono no manejo conservacionista**: resumos e palestras. Aracaju: SBCS, 2006. 1 CD-ROM.
- DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (ed.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: SSSA, 1994. p. 3-21. (SSSA Special Publication, 35).
- ESPINDOLA, J. A. A.; GUERRA, J. G. M.; ALMEIDA, D. L. de; TEIXEIRA, M. G.; URQUIAGA, S. Decomposição e liberação de nutrientes acumulados em leguminosas herbáceas perenes consorciadas com bananeira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 2, p. 321-328, mar./abr. 2006.
- FABIAN, A. J.; CORÁ, J. E.; TORRES, J. L. R. Plantas de cobertura: produção de fitomassa, decomposição e porcentagem de cobertura do solo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 16., 2006, Aracaju.



**Novos desafios do carbono no manejo conservacionista:** resumos e palestras. Aracaju: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. 1 CD-ROM.

FERNANDES, M. F.; BARRETO, A. C.; EMÍDIO FILHO, J. **Densidade de sementeira a lanço de sete leguminosas utilizadas como adubo verde em solos de Tabuleiros Costeiros.** Aracaju: EMBRAPA-CPATC, 1998. 8 p. (EMBRAPA-CPATC. Comunicado técnico, 18).

FERRARI NETO, J.; CRUSCIOL, C.A.C.; SORATTO, R.P.; COSTA, C.H.M. da. Consórcio de guandu-anão com milho: persistência e liberação de macronutrientes e silício da fitomassa. **Bragantia**, v. 71, n. 2, p. 264-272, 2012.

FIDALSKI, J.; BARBOSA, G. M. de C.; AULER, P. A. M.; PAVAN, M. A.; BERARDO, J. M. G. Qualidade física do solo sob sistemas de preparo e cobertura morta em pomar de laranja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 1, p. 76-83, jan. 2009.

FIDALSKI, J.; MARUR, C. J.; AULER, P. A. M.; TORMENA, C. A. Produção de laranja com plantas de cobertura permanente na entrelinha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 6, p. 927-935, jun. 2006.

FIDALSKI, J.; MARUR, C. J.; TORMENA, C. A. Respostas fisiológicas da laranjeira 'Pera' aos sistemas de manejo de cobertura permanente do solo nas entrelinhas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 3, p. 1307-1317, maio/jun. 2008.

FIDALSKI, J.; TORMENA, C. A.; SILVA A. P. da. Qualidade física do solo em pomar de laranjeira no Noroeste do Paraná com manejo da cobertura permanente na entrelinha. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 3, p. 423-433, maio/jun. 2007.

GAMA-RODRIGUES, A. C.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; BRITO, E. C. Decomposição e liberação de nutrientes de resíduos culturais de plantas de cobertura em Argissolo Vermelho-Amarelo na região Noroeste fluminense-RJ. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 1421-1428, 2007.

GIACOMINI, S. J.; AITA, C.; HUBNER, A. P.; LUNKES, A.; GUIDINI, E.; AMARAL, E. B. do. Liberação de fósforo e potássio durante a decomposição de resíduos culturais em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, p. 1097-1104, 2003.

JARILLO, M. A. **Leguminosas de cobertura para el control de malezas en naranjo (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) en la región de Martínez de la Torre, Veracruz.** 1994. 40 f. Tese (Graduación) – Universidad Autónoma Chapingo, México, DF.

LIMA, A. de A.; CALDAS, R. C.; BORGES, A. L.; RITZINGER, C. H. S. P.; TRINDADE, A. V.; PIRES, M. de M.; MIDLEJ, M. M. B. C.; MATA, H. T. da C.; SOUZA, J. da S. Cultivos intercalares e controle de plantas daninhas em plantios de maracujá-amarelo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 24, n. 3, p. 711-713, dez. 2002.

LIMA, A. de A.; CALDAS, R. C.; BORGES, A. L.; RITZINGER, C. H. S. P.; TRINDADE, A. V.; PIRES, M. de M.; MIDLEJ, M. M. B. C.; MATA, H. T. da C.; SOUZA, J. da S. Cultivos intercalares e controle de plantas daninhas em plantios de maracujá-amarelo – II ciclo. **Magistra**, v. 15, n. 2, p. 235-239, jul./dez. 2003.

LOPES, L. C. L.; CARVALHO, J. E. B. de; ARAÚJO, A. M. de A.; SOUZA, L. da S.; CALDAS, R. C.; DALTRO JÚNIOR, C. A.; CARVALHO, L. L. de; SANTOS, R. C. dos. Manejo de coberturas vegetais e seus efeitos sobre as propriedades físicas de um Latossolo Amarelo álico coeso e produtividade do mamoeiro 'Sunrise Solo'. **Magistra**, v. 15, n. 2, p. 257-264, jul./dez. 2003.

MAFONGOYA, P. L.; GILLER, K. E.; PALM, C. A. Decomposition and nitrogen release patterns of tree prunings and litter. **Agroforestry Systems**, v. 38, p. 77-97, 1998.

MAIA, I. C. S.; TRINDADE, A. V.; ALMEIDA, M. da C.; CARVALHO, J. E. B. de. Características microbiológicas de solo de Tabuleiro Costeiro cultivado com mamão, sob diferentes manejos de cobertura vegetal. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003, Ribeirão Preto. **Solo: alicerce dos sistemas de produção.** Botucatu: Ed. da Unesp: SBSCS, 2003. 1 CD-ROM.

MARQUES, M. C.; TRINDADE, A. V.; ALMEIDA, M. C.; CARVALHO, J. E. B. de; GRAZZIOTTI, P. H. Efeito do manejo de coberturas do solo em citros. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 16., 2006, Aracaju. **Novos desafios do carbono no manejo conservacionista:** resumos e palestras. Aracaju: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. 1 CD-ROM.

MARTINS, D.; GONÇALVES, C. G.; SILVA JÚNIOR, A. C. da. Coberturas mortas de inverno e controle químico sobre plantas daninhas na cultura do milho. **Revista de Ciências Agrônômica**, n. 47, n. 4, p. 649-657, out.-dez. 2016.

MATEUS, G. P.; CRUSCIOL, C. A. C.; NEGRISOLI, E. Palhada do sorgo de guiné gigante no estabelecimento de plantas daninhas em área de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 6, p. 539-542, jun. 2004.

MEDEIROS, J. C.; CARVALHO, O. S. Produtividade de leguminosas para adubação verde em diferentes densidades de plantio a lanço, em solo de Tabuleiros Costeiros de Sergipe. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., 1997, Rio de Janeiro. **Informação, globalização, uso do solo**. [Rio de Janeiro]: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo: Embrapa Solos; Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 1997. 1 CD-ROM.

MERLIN, A.; HE, Z. L.; ROSELEM, C. A. *Brachiaria ruziziensis* cultivada em rotação com soja interfere no fósforo ligado ao carbono do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 888-895, 2014.

MINATEL, A. L. G.; ANDRIOLI, I.; CENTURION J. F. Efeitos da subsolagem e da adubação verde nas propriedades físicas do solo em pomar de citros. **Engenharia Agrícola**, v. 26, n. 1, p. 86-95, 2006.

MORAES, R. N. S. **Decomposição das palhadas de sorgo e milho, mineralização de nutrientes e seus efeitos no solo e na cultura do milho em plantio direto**. 2001. 90 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

NETO FILHO, H. F.; CARVALHO, J. E. B. Uso da alelopatia como alternativa de controle de plantas infestantes em pomar de Laranja Pera. In: JORNADA CIENTÍFICA – EMBRAPA MANDIOCA E FRUTICULTURA, 7., 2013, Cruz das Almas. **Anais...** Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2013. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/89419/1/Use-da-alelopatia-como-alternativa-112-13-Henrique-JEduardo.pdf>. Acesso em: 25 jun. 2018.

NEVES, C. S. V. J.; DECHEN, A. R. Sistemas de manejo de solo em pomar de tangerina 'Ponkan' sobre limão 'Cravo' em latossolo roxo. **Laranja**, v. 22, n. 1, p. 167-184, 2001.

NEVES, C. S. V. J.; DECHEN, A. R.; FELLER, C.; NILO GONZALEZ, M. G. Influência de sistemas de manejo de solo em pomar de tangerina 'Ponkan' sobre limão 'Cravo' em um latossolo roxo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 20, n. 3, p. 367-374, 1998.

OLIVEIRA, C. A. P. de; SOUZA, C. M. de. Influência da cobertura morta na umidade, incidência de plantas daninhas e de broca-do-rizoma (*Cosmopolites sordidus*) em um pomar de bananeira (*Musa spp.*). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 25, n. 2, p. 345-347, ago. 2003.

OLIVEIRA, J. M.; NETO FILHO, H. F. S.; OLIVEIRA, F. E. R.; XAVIER, F. A. S. Aporte de carbono e macronutrientes de coberturas vegetais em pomar de laranja 'Pera' no litoral norte do Estado da Bahia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 34., 2013, Florianópolis. Ciência do solo: para quê e para quem. **Anais...** Florianópolis: SBCS, 2013. p. 1-4.

OLIVEIRA, J. de M; XAVIER, F. A. da S. Dinâmica da decomposição da biomassa de coberturas vegetais em pomar de laranja 'Pera'. In: JORNADA CIENTÍFICA, 7., 2013, Cruz das Almas. **Resumos...**Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2013. 1 CD ROM.

PACHECO, L. P.; LEANDRO, W. M.; MACHADO, P. L. O. de A.; ASSIS, R. L. de; COBUCCI, T.; MADARI, B. E.; PETTER, F. A. Produção de fitomassa e acúmulo e liberação de nutrientes por plantas de cobertura na safrinha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, p. 17-25, 2011b.

PACHECO, L. P.; MONTEIRO, M. M. de S.; PETTER, F. A.; ALCÂNTARA NETO, F. de; ALMEIDA, F. A. de. Plantas de cobertura no desenvolvimento de picão-preto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 43, n. 2, p. 170-177, abr./jun. 2013.

PEREIRA, A. P. **Identificação, caracterização, e cinética de crescimento de leguminosas e gramíneas com alto poder relativo de penetração de raízes em solo coeso dos Tabuleiros Costeiros (ETAPA II)**. 2001. 14 f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Agronomia da Universidade Federal da Bahia, Cruz das Almas.

PEREIRA, N. S.; SOARES, I.; MIRANDA, F. R. de. Decomposição e liberação de nutrientes por espécies de leguminosas utilizadas como adubo verde no agropólo Jaguaribe-Apodi, CE. **Ciência Rural**, v. 46, n. 6, jun, 2016.

PERIN, A.; GUERRA, J. G. M.; ESPINDOLA, J. A. A.; TEIXEIRA, M. G.; BUSQUET, R. N. B. Desempenho de bananeiras consorciadas com leguminosas herbáceas perenes. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 33, n. 6, p. 1511-1517, nov./dez. 2009.

PERIN, A.; SANTOS, R. H. S.; URQUIAGA, S.; GUERRA, J. G. M.; CECON, P. R. Produção de fitomassa, acúmulo de nutrientes e fixação biológica de nitrogênio por adubos verdes em cultivo isolado e consorciado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 1, p. 35-40, jan. 2004.

PINTO, K. G. D.; LEITE, B. N.; GOMES, S. S.; CASTRO, F. M. de; CARVALHO, J. E. B. de; SILVA, J. F. da. Prolina em folha de laranja em função da época e tipo de cobertura no Município de Lagarto, SE. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE INTERAMERICANA DE HORTICULTURA TROPICAL, 61., 2015, Manaus. **Anais...** Brasília, DF: Embrapa, 2015. 148 p.

RADICETTI, E.; MANCINELLI, R.; CAMPIGLIA, E. Impacto of managing cover crop residues on the floristic composition and species diversity of the weed community of pepper crop (*Capsicum annuum* L.). **Crop Protection**, v. 44, p. 109-119, 2013.

RAGOZO, C. R. A.; LEONEL, S.; CROCCI, A. J. Adubação verde em pomar cítrico. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 28, n. 1, p. 69-72, abr. 2006.

RAMOS, M. E.; BENÍTEZ, E.; GARCÍA, P. A.; ROBLES, A. B. Cover crops under different managements vs. frequent tillage in almond orchards in semiarid conditions: Effects on soil quality. **Applied Soil Ecology**, v. 44, p. 6-14, 2010.

RUPPER, G. Cultivation of marejea (*Crotalaria ochroleuca*): the experience of Peramiho. In: WRITERS' WORKSHOP ON THE ROLE OF MAREJEA (*CROTALATARIA OCHROLEUCA*), 1986/1987, Peramiho. **Agricultural production in Tanzania: proceedings**. Peramiho: Benedictine, 1987. p. 9-12.

SAN MARTIN, H. A. M. **Efeitos de diferentes coberturas mortas obtidas a partir do manejo mecânico com roçadeira lateral na dinâmica populacional de plantas daninhas em citros**. 2004. 68 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

SAN MARTIN, H. A. M.; AZEVEDO, F. A. de; VICTÓRIA FILHO, R. Adubação verde no manejo de plantas daninhas na cultura de citros. **Laranja**, v. 27, n. 1, p. 101-110, 2006.

SANTANA, I. S.; PEIXOTO, M. F. S. P.; CARVALHO, J. E. B. de; SAMPAIO, L. S. V.; LEDO, C. A. S.; PEIXOTO, C. P. Emergência e matéria seca de plantas daninhas na cultura do mamoeiro (*Carica papaya*). **Planta Daninha**, v. 23, n. 4, p. 583-588, out./dez. 2005.

SANTOS, A. P. S.; OLIVEIRA, M. W.; TRINDADE, R. C. P.; CALHEIROS, A. S.; SILVA, E. T. Adubação verde nos Tabuleiros Costeiros do Estado de Alagoas. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 16., 2006, Aracaju. **Novos desafios do carbono no manejo conservacionista: resumos e palestras**. Aracaju: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. 1 CD-ROM.

SANTOS, A. P. S.; OLIVEIRA, M. W.; TRINDADE, R. C. P.; CALHEIROS, A. S.; SILVA, E. T. Adubação verde nos Tabuleiros Costeiros do Estado de Alagoas. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 16., 2006, Aracaju. **Novos desafios do carbono no manejo conservacionista: resumos e palestras**. Aracaju: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. 1 CD-ROM

SANTOS, R. C. dos. **Caracterização, identificação e cinética do crescimento de leguminosas em solo coeso dos Tabuleiros Costeiros do Recôncavo baiano (ETAPA IV)**. 2003. 67 f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Agronomia da Universidade Federal da Bahia, Cruz das Almas, BA.

SILVA, G. P.; NOVAIS, R. F. de; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F. Respostas de espécies de gramíneas forrageiras a camadas compactadas do solo. **Revista Ceres**, v. 39, n. 221, p. 31-43, jan./fev. 1992.

SILVA, J. A. A. da; DONADIO, L. C.; CARLOS, J. A. D. **Adubacao verde em citros**. Jaboticabal: Funep, 1999. 37 p. (Boletim citricola, 9).

SILVA, J. A. A. da; STUCHI, E. S.; SEMPIONATO, O. R. Adubacao organica na cultura de citros. In: SEMINARIO INTERNACIONAL DE CITROS – NUTRICAO E ADUBACAO, 4., 1996, Bebedouro. **Anais...** Campinas: Fundacao Cargill, 1996. p. 211-236.

SILVA, J. A. A. da; VITTI, G. C.; STUCHI, E. S.; SEMPIONATO, O. R. Reciclagem e incorporação de nutrientes ao solo pelo cultivo intercalar de adubos verdes em pomar de laranja 'Pêra'. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 24, n. 1, p. 225-230, abr. 2002.

SILVA, R. F. da; PACHECO, L. P.; SOARES, L. dos S.; FONSECA, W. L.; OLIVEIRA, J. B. da S.; SANTOS, A. S. dos. Supressão ao desenvolvimento de capim timbête com plantas de cobertura. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 45, n. 3, p. 319-325, jul./set. 2015.

SOARES, T. G.; FERNANDES, A. R.; TEIXEIRA, P. E. G.; TOFOLI, R. C. Z.; GALVÃO, J. R. Reciclagem de macronutrientes em plantas usadas para cobertura do solo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 16., 2006, Aracaju. **Novos desafios do carbono no manejo conservacionista: resumos e palestras**. Aracaju: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. 1 CD-ROM.

SOUZA FILHO, A. P. S.; ALVES, S. M.; FIGUEIREDO, F. J. C. Efeitos alelopáticos do calopogônio em função de sua idade e da densidade de sementes da planta receptora. **Planta Daninha**, v. 21, n. 2, p. 211-218, maio/ago. 2003.

- SOUZA, A. L. V. **Avaliação de um Latossolo Amarelo Coeso argissólico dos Tabuleiros Costeiros, sob floresta natural**. 2005. 97 f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Agronomia da Universidade Federal da Bahia, Cruz das Almas.
- SOUZA, L. da S.; CARVALHO, J. E. B. de; SANTANA, A.; PITELLI, R. A.; GALLI, A. J. B. Manejo de coberturas vegetais no controle integrado de plantas daninhas e a produtividade dos citros. In: CONGRESO DE LA ASOCIACIÓN LATINOAMERICANA DE MALEZAS, 15., 2001, Maracaibo. **Resumos...** Maracaibo: Asociación Latinoamericana de Maleza, 2001. p. 272.
- SOUZA, L. da S.; PEIXOTO, C. A. B.; CARVALHO, J. E. B. de; SOUZA, L. D.; RIBEIRO, L. da S. Relação solo-água-plantas em diferentes manejos do solo e combinações copa-porta-enxertos de citros em Latossolo Amarelo Coeso de Tabuleiros Costeiros do Estado da Bahia. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 16. 2006, Aracaju. **Novos desafios do carbono no manejo conservacionista**: resumos e palestras. Aracaju: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. 1 CD-ROM.
- SOUZA, L. da S.; SOUZA, L. D.; SOUZA, L. F. da. Indicadores físicos e químicos da qualidade do solo sobre enfoque de produção vegetal: estudo de caso para citros em solo coeso de Tabuleiros Costeiros. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003, Ribeirão Preto. **Solo**: alicerce dos sistemas de produção. Botucatu: Ed. da Unesp: SBSC, 2003. 1 CD-ROM.
- TIMOSSI, P. C.; DURIGAN, J. C.; LEITE, G. J. Formação de palhada por braquiárias para adoção do sistema plantio direto. **Bragantia**, v. 66, n. 4, p. 617-622, 2007
- TOLEDO, A. C.; ROSADO, N.; GONÇALVES, C. F.; FONTANETTI, A. Adubação verde no manejo de plantas espontâneas e produção do maracujazeiro. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 4, n. 2, p. 153-156, nov. 2009.
- TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G. P.; ASSIS, R. L. de; SOUZA, Z. M. de. Atributos físicos de um latossolo vermelho cultivado com plantas de cobertura, em semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 428-437, 2015.
- TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G.; ANDRIOLI, J. C. P.; FABIAN, A. J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura em um solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 4, p. 608-618, jul./ago. 2005.
- TREZZI, M. M.; VIDAL, R. A. Potencial de utilização de cobertura vegetal de sorgo e milho na supressão de plantas daninhas em condição de campo: II – Efeitos da cobertura morta. **Planta Daninha**, v. 22, n. 1, p. 1-10, jan./mar. 2004.
- YAACOB, O.; BLAIR, G. J. Effect of legume cropping and organic matter accumulation on the infiltration rate and structural stability of a granite soil under a simulated tropical environment. **Plant and Soil**, v. 60, p. 11-20, 1981.
- ZIECH, A. R. D.; CONCEIÇÃO, P. C.; LUCHESE, A. V.; BALIN, N. M.; CANDIOTTO, G.; GARMUS, T. G. Proteção do solo por plantas de cobertura de ciclo hibernal na região Sul do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 5, p. 374-382, maio 2015.

Capítulo 19

# Adubação verde em cafezais

---

Ricardo Henrique Silva Santos  
Tatiana Pires Barrella  
Júlio Cesar Dias Chaves  
Paulo César de Lima  
Waldênia de Melo Moura



## Introdução

Tanto o potencial dos adubos verdes quanto seus efeitos, em termos de melhorar as características físicas, químicas e biológicas do solo, controlar plantas daninhas e nematoides, fixar nitrogênio (N) atmosférico, aumentar as micorrizas e servir como alimento para animais, já estão bem determinados na literatura acadêmica e ratificados pela experiência dos agricultores. Este capítulo está concentrado nos resultados obtidos pelo uso de adubos verdes em cafezais, com destaque para seus efeitos sobre diversos aspectos dos agroecossistemas de cultivo de café. Na Figura 1, ilustra-se o consórcio de diferentes espécies de adubos verdes com cafeeiros.

O objetivo deste capítulo é revisar algumas experiências sobre a relação entre os cafeeiros e os adubos verdes, além de analisar diversos aspectos concernentes aos agroecossistemas. Este capítulo pretende, então, concentrar-se na exploração de alguns trabalhos representativos, com descrições detalhadas dos métodos e dos resultados obtidos sobre os efeitos de adubos verdes sobre os cafezais.

Para facilitar a descrição e a comparação entre as pesquisas apresentadas, os valores originais de produtividade foram convertidos para sacas de 60 kg de café beneficiado por hectare ( $sc\ ha^{-1}$ ); no entanto, os poucos trabalhos disponíveis não permitiram fazer qualquer conversão dos dados apresentados. Os resultados de massa e nutrientes são apresentados em matéria seca por hectare ( $t\ ha^{-1}$  ou  $kg\ ha^{-1}$ ), adotando-se um teor de 20% de massa seca quando tal informação não está incluída no trabalho. Nesse sentido, um aspecto merece atenção especial. As associações constituem-se, felizmente e na maioria dos casos, em consórcios aditivos, ou seja, a população cafeeira é mantida com a adição de populações de adubos verdes. Assim, a densidade populacional de adubos verdes é sempre menor do que em cultivo solteiro, e sua produtividade deve ser modificada para essa densidade real. Isso se reflete diretamente nos aportes de massa e nutrientes, que são, conseqüentemente, menores. A quase totalidade dos trabalhos consultados não especifica se essa correção foi feita. Os dados de acúmulo de massa e de nutrientes dos adubos verdes também são apresentados de modo que se considere essa possibilidade.



Fotos: Ricardo Henrique Silva Santos



**Figura 1.** Consórcios de leguminosas para adubação verde com cafeeiros: amendoim-forrageiro (A); *Crotalaria juncea* (B); feijão-de-porco em cafezal recém-implantado (C); e em cafezal adulto (D); lablab em cafezal recém-implantado (E); e em cafezal adulto (F).

O plantio na parte central da entrelinha permite que as áreas próximas aos cafeeiros fiquem livres.

# Efeito dos adubos verdes sobre os fatores produtividade, crescimento e estado nutricional

## Produtividade e crescimento

Não são muitos os trabalhos que apresentam os efeitos das leguminosas arbustivas ou rasteiras sobre o crescimento e a produtividade dos cafeeiros; alguns dados estão resumidos na Tabela 1.

Uma clara correlação negativa entre a massa dos adubos verdes e a produtividade dos cafeeiros foi estabelecida por Paulo et al. (2001, 2006) (Figura 2). Em consórcio com cafeeiros 'Apoatã', o guandu (*Cajanus cajan*) e a *Crotalaria juncea* apresentaram as maiores produções de massa e resultaram nas menores produtividades dos cafeeiros, ao passo que a consorciação com *Crotalaria spectabilis*, mucuna-anã (*Mucuna deeringiana*) e soja (*Glycine max* L.) resultaram em produtividades numericamente inferiores, mas estatisticamente similares à testemunha sem adubo verde (Paulo et al., 2001). A consorciação com guandu reduziu o diâmetro de caule e a altura das plantas. Nesse experimento, os adubos verdes foram consorciados com os cafeeiros por diferentes períodos, uma vez que foram cortados durante o florescimento. Mesmo descontada a área ocupada pelos cafeeiros, a produção de massa dos adubos verdes foi alta, provavelmente levando a efeitos competitivos (Tabela 1). Os autores chamam a atenção para o possível efeito de danos às raízes dos cafeeiros pela incorporação dos adubos verdes com enxada rotativa. Constatou-se também alta produção de massa de *C. spectabilis*, mucuna-anã e soja em 90 dias de consorciação, sem que tenha reduzido a produtividade e o crescimento dos cafeeiros. Esse fator mostra o potencial dessas espécies em estudos futuros. O corte aos 90 dias (plantio outubro/novembro) permite que os nutrientes dos adubos verdes sejam liberados em períodos em que ainda haja demanda nutricional pelos cafeeiros.

Em trabalho conduzido com cafeeiro 'Mundo Novo' enxertado sobre 'Apoatã', Paulo et al. (2006) relataram resultados semelhantes. Novamente existe uma correlação negativa entre a produção de massa pela leguminosa e a produtividade do cafeeiro. Contudo, esse efeito é mais nítido com guandu, uma vez que *C. juncea* produziu massa quatro vezes superior à da mucuna-anã, *C. spectabilis* ou soja, mas resultou em cafeeiros com produtividades similares a essas. Nesse trabalho, somente o guandu influenciou o crescimento dos cafeeiros e reduziu o diâmetro do caule. Nas duas primeiras safras, não houve efeito das leguminosas sobre a produtividade, mas, depois da recepa, somente *C. spectabilis* não reduziu a produtividade dos cafeeiros. Na média de quatro safras, somente o guandu influenciou negativamente a produtividade (Tabela 1), a qual apresentou nível baixo (8,4 sc ha<sup>-1</sup>) em todo o experimento, o que também pode ter contribuído para a similaridade dos efeitos entre *C. spectabilis*, *C. juncea*, mucuna-anã e soja. O período de

**Tabela 1.** Resumo sistematizado de dados de espaçamento, manejo, tempo de consórcio, produção de massa de adubos verdes, produtividade, altura e diâmetro crescimento do caule ou da copa de cafeeiros em diferentes trabalhos publicados<sup>(1)</sup>.

Adubo verde	Arranjo espacial	Manejo	Tempo de consórcio	Matéria seca (t ha <sup>-1</sup> )		Produtividade (kg ha <sup>-1</sup> )	Altura (cm)	Diâmetro (cm) Caule ou copa
				Dados	Modificada <sup>(2)</sup>			
<b>Manejo com incorporação com rotativa no florescimento, dados de 3 anos e avaliações 1 ano após o plantio dos cafeeiros</b>								
Paulo et al. (2001)								
Mucuna-anã				6,30	4,73	2.688,0	273	36
<i>Crotalaria juncea</i>				23,30	17,48	1.914,0	281	38
<i>Crotalaria spectabilis</i>	4 linhas		ne	3,00	2,25	2.370,0	279	41
Guandu	Sulcos 0,5 m x 0,5 m			42,33	31,75	202,8	236	25
Soja				5,00	3,75	2.259,0	291	39
Testemunha				-	-	3.081,6	287	37
<b>Manejo com incorporação com rotativa no florescimento, dados de 4 anos e avaliações a partir do 2º ano de plantio dos cafeeiros</b>								
Paulo et al. (2006)								
Mucuna-anã			ne	3,60	1,80	511,8	202	3,0
<i>C. juncea</i>				17,50	8,75	532,2	208	3,2
<i>C. spectabilis</i>	5 linhas			2,40	1,20	569,4	204	3,1
Guandu	Sulcos 0,5 m x 0,5 m		150 dias	27,80	13,90	238,8	175	2,2
Soja				3,80	1,90	504,0	206	3,1
Testemunha				-	-	667,8	198	3,3
<b>Manejo com corte de <i>F. congesta</i> com duas podas, dados de 1 ano e avaliações em cafeeiros com 2,5 anos após o plantio</b>								
Bergo et al. (2006)								
Guandu			Novembro/ abril			126,0	115	96
Feijão-de-porco	5 linhas			ne	-	60,0	83	71
<i>Flemingia congesta</i>	Sulcos 0,5 m x 0,5 m		5-6 meses			576,0	136	116
Mucuna-preta						414,0	105	97
Testemunha						276,0	142	131

Continua...

Tabela 1. Continuação.

<b>Adubo verde</b>	<b>Arranjo espacial</b>	<b>Manejo</b>	<b>Tempo de consórcio</b>	<b>Matéria seca (t ha<sup>-1</sup>) Dados Modificada<sup>(2)</sup></b>	<b>Produtividade (kg ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Altura (cm)</b>	<b>Diâmetro (cm) Caulo ou copa</b>
<b>Ricci et al. (2005)</b>							
<b>Dados de 1 ano e avaliações em cafeeiros com 15 meses após o plantio</b>							
<i>C. juncea</i>	3 linhas	Poda de 76 dias	76 dias	6,10 + 9,90	ne	70,10	57,80
Testemunha	0,5 m x 0,5 m	Corte de 103 dias	103 dias			67,50	56,40
<b>Ricci e Aguiar (2003)</b>							
<b>Dados de 1 ano e avaliações em cafeeiros com 1 ano após o plantio</b>							
Guandu	1 linha + 5.000 cafés				636,0	157a	101,00a
Guandu	2 linhas + 3.571 cafés		26 meses	ne	264,0	161a	92,00b
Guandu	3 linhas + 2.778 cafés				231,6	163a	89,00bc
Testemunha	3.571 cafés				720,6	134b	80,00c
<b>Chaves (2000)</b>							
<b>Dados de 8 anos</b>							
Leucena	1 linha + adubos minerais		Perene	15,70	7,85	1.350,0	
Leucena	2 linhas			22,14	11,07	930,0	ne
Testemunha adubação mineral		3 podas				1.191,0	
Testemunha sem adubação						210,0	

Continua...

**Tabela 1.** Continuação.

Adubo verde	Arranjo espacial	Manejo	Tempo de consórcio	Matéria seca (t ha <sup>-1</sup> )		Produtividade (kg ha <sup>-1</sup> )	Altura (cm)	Diâmetro (cm) Caule ou copa
				Dados	Modificada <sup>(2)</sup>			
<b>Gunaratne e Heenkenda (2002a)</b>								
<b>Dados de 2 anos, avaliação a partir de 2 anos após plantio dos cafeeiros e medidas de café pergaminho</b>								
<i>Gliricidia sepium</i>				12,01	12,01	2.160,0	109,22	2,09
<i>Calliandra calothyrsus</i>		4 podas ao ano	Perene	14,16	14,16	528,0	77,72	1,28
<i>Senna siamea</i>	Todas com 2,0 m x 1,5 m			12,60	12,60	1.212,0	106,90	1,90
<i>Senna spectabilis</i>				26,30	26,30	1.920,0	154,90	2,33
Testemunha		Testemunha sem poda		-	-	260,4	62,97	1,25
<i>C. pentrandia</i>								
<b>Lima et al. (2009)</b>								
<b>Dados de 4 anos e avaliações a partir de 1,5 ano após os plantio dos cafeeiros</b>								
Amendoim-forrageiro				5,00	1,80	1.995,0		
Calopogônio				8,05	2,89	1.830,0		
<i>C. juncea</i>			ne	14,38	5,18	1.875,0		
Guandu-anão	ne	Corte no florescimento		11,04	3,97	2.055,0	ne	ne
Lablab				11,21	4,03	2.085,0		
Estilosantes				7,41	2,67	1.950,0		
Mucuna-preta				11,17	4,02	2.100,0		

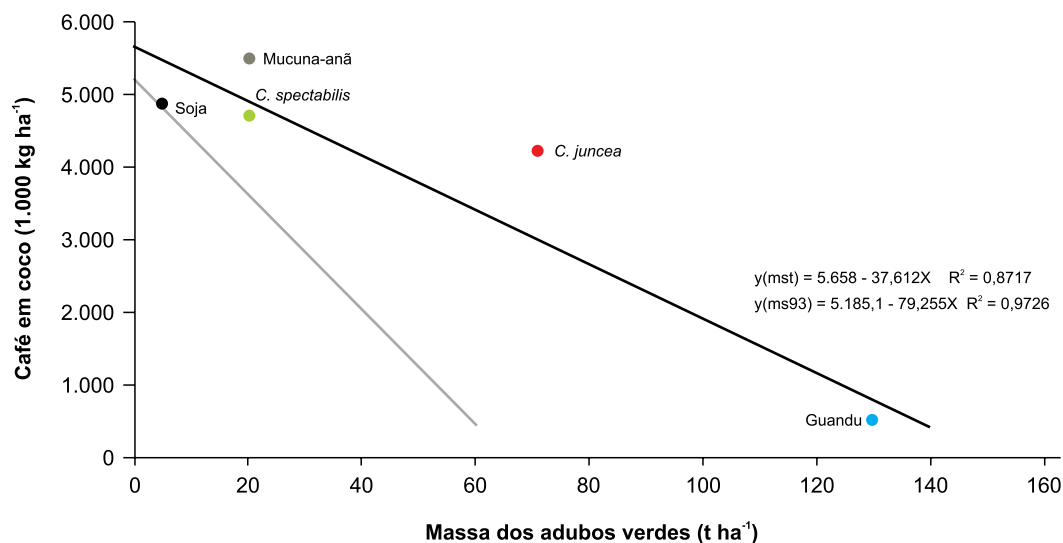
Continua...



Tabela 1. Continuação.

Adubo verde	Arranjo espacial	Manejo	Tempo de consórcio	Matéria seca (t ha <sup>-1</sup> )		Produtividade (kg ha <sup>-1</sup> )	Altura (cm)	Diâmetro (cm) Caule ou copa
				Dados	Modificada <sup>(2)</sup>			
<b>Gunaratne e Heenkenda (2002b)</b>								
<b>Dados de 1 ano, avaliação aos 2 anos após plantio dos cafeeiros e medidas de café pergaminho</b>								
<i>Gliricídia sepium</i>								
10 kg matéria fresca/cafeeiro			Perene	17,25	17,25	3.370,2	94,4a	95,5a
15 kg matéria fresca/cafeeiro	2,4 m x 2,4 m	Quatro podas		26,00	26,00	4.098,0	92,3a	92,8a
20 kg matéria fresca/cafeeiro				34,50	34,50	3.840,0	90,0a	90,3a
Testemunha sem adubação						1.209,6	75,4b	66,8b
<b>Ngoran et al. (2002)</b>								
<b>Dados de 2 anos</b>								
<i>G. sepium</i>			Perene	ne	ne	2.750	ne	ne
<i>Albizia guachepele</i>						2.500		
Testemunha (50 kg N ha <sup>-1</sup> )	3,0 m x 2,5 m	Poda a cada 3-4 meses				3.750		
Testemunha sem adubação						1.800		
<b>Siqueira et al. (2009)</b>								
<b>Dados de 1 ano, a partir do plantio dos cafeeiros</b>								
Lablab	2,8 m x 0,75 m	Corte	30 dias	0,25	0,25	ne	46,16a	41,82a
ou	3 linhas de 0,5 m		60 dias	4,35	4,35	ne	43,78a	36,65a
Feijão-de-porco			90 dias	3,50	3,50	ne	42,19b	32,94b
Testemunha			120 dias	4,46	4,46	ne	35,72b	26,93b
			-	-	-	ne	45,77a	39,07a

<sup>(1)</sup>ne = não especificado; - = sem dados. <sup>(2)</sup>Modificada = redução dos valores considerando a área ocupada pelos cafeeiros.



**Figura 2.** Produção de café 'Apoatã', considerando-se a massa seca de adubos verdes total (mst) e do ano de 1993 (ms93), incorporada durante o florescimento entre as linhas da cultura. Pontos observados para cada espécie de adubo verde.

Fonte: Adaptado de Paulo et al. (2001).

consorciação foi maior com guandu (150 dias) do que com outras espécies (90 dias), fator que também pode ter influenciado os resultados. Nesse manejo, o guandu foi cortado em junho e acumulou massa (e absorveu nutrientes) no mesmo período de acúmulo do cafeeiro (outubro/março no Sudeste do Brasil). Nos meses de maio e junho, o período seco já havia iniciado, e a presença do guandu pode ter acarretado competição por água. Além disso, a liberação de nutrientes ocorreu em período de baixíssima demanda nutricional dos cafeeiros.

A produtividade do primeiro ano de cafeeiros consorciados de 5 a 6 meses com leguminosas no estado do Acre foi relatada por Bergo et al. (2006). Embora se trate de uma única e primeira colheita, verificou-se redução da produtividade com a consorciação com feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*) e guandu (Tabela 1). O feijão-de-porco e a mucuna-preta (*Mucuna aterrima*) reduziram a altura dos cafeeiros; enquanto o guandu, o feijão-de-porco e a mucuna-preta reduziram o diâmetro da copa (Tabela 1).

Um resultado raro e muito interessante foi obtido com a consorciação com *Flemingia congesta*. Essa espécie perene, que recebeu duas podas no período estudado, elevou a produtividade em relação à testemunha, o que resultou em cafeeiros com altura e diâmetro de copas similares a ela. Esse efeito sugere que essa leguminosa, nas condições ambientais e de manejo avaliadas, trouxe benefícios à cultura do café, entre os quais a supressão de plantas daninhas, como será discutido posteriormente. Outro componente do resultado é a disponibilização sincronizada de nutrientes, decorrente das podas, durante o período de demanda dos cafeeiros. As demais leguminosas foram cortadas em abril, o mesmo mês da colheita, o que indica que elas



crecem no mesmo período dos cafeeiros; por isso, pouco se espera de seus efeitos nutricionais. É importante ainda ressaltar que os níveis de produtividade foram baixos (testemunha com produção de 4,6 sc ha<sup>-1</sup>) e que a região apresentou entre 1.800 mm e 1.900 mm de precipitação anual.

O efeito da consorciação com *C. juncea* sobre o crescimento de cultivares de café foi relatado por Ricci e Aguiar (2003) e Ricci et al. (2005). A leguminosa foi plantada em meados de novembro, podada após 76 dias (final de janeiro) e cortada no final de abril. Na Tabela 1, observa-se que a produção de massa foi elevada, mesmo se for considerado o desconto da área plantada com café. Além disso, embora não existam relatos da produtividade, 15 meses após o plantio as cultivares consorciadas apresentaram-se mais altas e com o mesmo diâmetro do que as não consorciadas. Os resultados sugerem que a poda de *C. juncea* é um importante manejo, tanto para a liberação de nutrientes para o cafeeiro em períodos de maior demanda, quanto para a redução da competição por recursos, com essa leguminosa de crescimento rápido e alto potencial produtivo.

Na Zona da Mata de Minas Gerais, foram avaliados os efeitos de sete leguminosas sobre a produtividade de cultivares de café nos primeiros 2 anos (Moura et al., 2005) e no conjunto de 4 anos (Lima et al., 2009a). Os resultados do experimento, conduzido em quatro locais, estão resumidos na Tabela 1. Os adubos verdes foram cortados durante o florescimento, e isso indicou que o período de consorciação foi variável. Não houve diferença de produção de massa das leguminosas na média dos 4 anos (Tabela 1). As principais diferenças relatadas estão entre as localidades. Embora não exista uma testemunha sem adubação verde para se comparar, os cafeeiros consorciados com leguminosas em sistema orgânico apresentaram alta produtividade (33 sc ha<sup>-1</sup>) para os padrões da região. As leguminosas perenes apresentaram produções de massa mais elevadas a partir do segundo ano de crescimento, e as produtividades mais elevadas não estão sempre associadas às produções mais elevadas de massa das leguminosas.

Em Rio Pomba, MG, Moreira et al. (2008a) avaliaram o efeito da consorciação de feijão-de-porco ou lablab (*Dolichos lablab*) (por 1, 2, 3 ou 4 meses) sobre o crescimento e a primeira safra de cafeeiros 'Oeiras' (3,0 m x 0,75 m).

Os autores relataram que a altura dos cafeeiros não foi alterada pela consorciação, mas o aumento do período de consorciação com lablab [Alt(cm) = 125,84 – 6,20 x meses] ou feijão-de-porco [Alt(cm) = 166,87 – 48,63 x meses] reduziu o diâmetro da copa. A produtividade foi reduzida com a presença das leguminosas, mas não houve relação com o aumento da massa dos adubos verdes relatado por Souza et al. (2008). Tais resultados podem ser atribuídos ao preparo do solo na entrelinha com enxada rotativa, ao plantio tardio (janeiro) das leguminosas e ao fato de a avaliação ter abrangido apenas 1 ano.

Em outro experimento na mesma região, Siqueira et al. (2009) avaliaram o efeito de duas espécies de adubos verdes (lablab e feijão-de-porco) consorciadas por 30, 60, 90 ou 120 dias com cafeeiros. Os dados do crescimento inicial dos cafeeiros, resumidos na Tabela 1, indicaram que a consorciação de ambas as espécies por mais de 90 dias prejudicou o crescimento em diâ-

metro e em altura dos cafeeiros. Existem ainda relatos de que o guandu elevou a produtividade de cafeeiros adubados organicamente, de 33 sc ha<sup>-1</sup> para 40,8 sc ha<sup>-1</sup>, quando não foi aplicada palha de café (Malta et al., 2007). Contudo, a mesma espécie não influenciou a produtividade em experimento similar (Theodoro et al., 2009). Em ambos os experimentos, conduzidos em Lavras, MG, a consorciação foi limitada a 3 meses, findos os quais o guandu foi cortado e colocado sob os cafeeiros.

Em pesquisa conduzida no Brasil em sistema orgânico, não foi observada diferença de produção entre os cafeeiros sob *Erythrina verna* e bananeira e os cafeeiros a pleno sol, que apresentaram em média 22 sc ha<sup>-1</sup> e 23 sc ha<sup>-1</sup>, respectivamente, embora tenha sido verificado aumento da área foliar e diminuição do número de ramos dos cafeeiros por efeito do sombreamento (Ricci et al., 2006).

No sul de Minas Gerais, cafeeiros 'Oeiras' foram consorciados com renques de *Acacia mangium*, leucena e guandu (Barbosa et al., 2005). As faixas de leguminosas eram de diferentes larguras, e os cafeeiros foram avaliados na primeira linha a leste e na primeira e terceira linhas a oeste dos renques. Os autores relataram que o crescimento anual foi maior em cafeeiros mais próximos aos renques de leucena e acácia, embora, depois do período seco, a taxa de crescimento tenha sido maior em cafeeiros localizados nas linhas mais distantes dos renques dessas mesmas espécies, fato atribuído à proteção contra o déficit hídrico e ao aporte de massa das leguminosas.

Experiências em outros países descrevem o incremento na produção dos cafeeiros como consequência da deposição de massa fresca proveniente das árvores leguminosas. O aporte maciço de podas de *Gliricidia sepium* (1.736 plantas por hectare) consorciadas com cafeeiros 'Catimor' (6.944 plantas por hectare) resultou em incremento do crescimento e da produção das plantas de café (de 20 sc ha<sup>-1</sup> para 63 sc ha<sup>-1</sup>), em comparação com a testemunha não adubada (Tabela 1) (Gunaratne; Heenkenda, 2002b). No entanto, não foi observada diferença entre as doses de adubo verde: 10 kg, 15 kg e 20 kg por planta ao ano de matéria seca (MS). As altas produtividades provavelmente devem-se à alta densidade populacional dos cafeeiros, à frequência de podas na gliricídia e ao grande aporte de massa, que variou de 17,25 t ha<sup>-1</sup> a 34,5 t ha<sup>-1</sup> ao ano de MS. Em outro trabalho (Gunaratne; Heenkenda, 2002a), os mesmos autores avaliaram a produção de massa, a fixação biológica de nitrogênio (FBN) e o efeito sobre cafeeiro 'Catimor' das fixadoras *G. sepium*, *Calliandra calothyrsus* e das não fixadoras *Senna siamea* e *Senna spectabilis*. Os resultados estão resumidos na Tabela 1. Na *G. sepium*, entre 52,8% e 58,3% do N foram provenientes da FBN, enquanto, em *C. calothyrsus*, a FBN forneceu entre 38,4% e 45,6% do N. Esses valores corresponderam de 83 kg ha<sup>-1</sup> a 93 kg ha<sup>-1</sup> de N-FBN e de 100 kg ha<sup>-1</sup> a 119 kg ha<sup>-1</sup> de N-FBN para *G. sepium* e *C. calothyrsus*, respectivamente. No entanto, as maiores produtividades e crescimento dos cafeeiros foram obtidos na consorciação com *G. sepium* ou *S. spectabilis*; esta última espécie não é fixadora, o que evidenciou a importância da poda para reduzir a competição e fornecer nutrientes aos cafeeiros. Os autores citam, ainda, que o efeito prejudicial ao cafeeiro da fixadora

*C. calothyrsus* ocorreu provavelmente por causa da sua composição, rica em lignina e polifenóis, grupos de compostos que retardam e dificultam a liberação de N.

No México, foi observado comportamento similar de cafeeiros sob diversas espécies do gênero *Inga* Mill. e sob sistemas tradicionais altamente diversificados. Também nesse caso, a produtividade média foi baixa, com 9,5 sc ha<sup>-1</sup> no sistema tradicional e 12 sc ha<sup>-1</sup> no sistema com *Inga* (Peeters et al., 2003). Os autores discutem a possibilidade de que as espécies de *Inga* não estejam fixando N sob as condições do experimento ou que simplesmente o N fixado não esteja sendo transferido para a cultura.

Comparado com outras fontes de adubo como o bokashi e o adubo mineral, o adubo verde de *Erythrina poeppigiana* (200, 400, 600 kg ha<sup>-1</sup> de N) resultou em menor tamanho e acúmulo de massa em cafeeiros na Costa Rica (Romero et al., 2000). É provável que o uso de fertilizantes mais completos que o adubo de *E. poeppigiana*, composto principalmente por N, tenha influenciado essa resposta. A ausência de efeito sobre a produtividade e sobre o crescimento dos cafeeiros também pode ser causada pelo curto período de avaliação, em se tratando de cultura perene.

## Estado nutricional

A avaliação dos dados de teores de nutrientes precisa ser acompanhada de dados de crescimento e produção. É bem conhecido o efeito de diluição dos nutrientes, segundo o qual plantas que crescem mais apresentam teores de nutrientes mais baixos do que plantas com menor crescimento. Raciocínio análogo pode ser feito quando se considera a produção da planta.

Não foi verificado efeito da consorciação com guandu sobre os teores de N, P e K nas folhas, nem sobre a produtividade de 'Catuaí Amarelo' em Lavras, MG (Theodoro et al., 2009). Os adubos verdes foram cortados no florescimento (provavelmente em datas diferentes), e os cafeeiros foram avaliados em agosto, após a colheita, e no período crítico de déficit hídrico na região. Os teores de fósforo (P), potássio (K), zinco (Zn), ferro (Fe), manganês (Mn), cobre (Cu) e boro (B) foram similares em todos os tratamentos. A consorciação com *Setaria sphacelata* resultou em teores mais baixos de N, cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S), enquanto os cafeeiros que receberam cobertura morta apresentaram os teores mais elevados, embora poucas diferenças tenham sido observadas.

A consorciação com guandu elevou o teor de N (de 2,74% para 3,31%) em cafeeiros 'Catuaí' orgânicos, em Paty do Alferes, RJ (Ricci; Aguiar, 2003). No entanto, essa consorciação reduziu a produtividade (média de 10 sc ha<sup>-1</sup> a 12 sc ha<sup>-1</sup>). Assim, os maiores teores de N observados com a consorciação podem advir também do menor esgotamento dos cafeeiros, que produziram menos, e não somente da contribuição da leguminosa.

A poda frequente e o grande aporte de massa de leucena (*Leucaena leucocephala*) (2,96% N; C:N = 16,6) foram responsáveis pela elevação do teor de N nas folhas de cafeeiros 'Mundo Novo'

em Ibiporã, PR (Chaves, 2001). O autor relatou que essa elevação do teor de N foliar está associada tanto à menor mortalidade de ramos quanto à menor incidência de cercosporiose (*Cercospora coffeicola*).

A consorciação com *C. juncea* reduziu o teor de N nos cafeeiros 26 dias após o corte, mas elevou esses teores aos 162 dias após o corte (Ricci; Aguiar, 2003; Ricci et al., 2005). É possível que a redução inicial do teor de N reflita uma competição com os cafeeiros, assim como é possível que a elevação dos teores em setembro/outubro resulte em maiores crescimento e produção no ano seguinte. Nesse mesmo estudo, os teores de P, K, Ca e Mg não foram alterados pela consorciação.

Em cafeeiros 'Conilon' consorciados com bananeiras (741 plantas por hectare), a presença adicional da gliricídia (123 plantas por hectare) resultou em teores mais elevados de N nas folhas dos cafeeiros, independentemente da poda (Coelho et al., 2006). Esse resultado ressalta possíveis efeitos em longo prazo, uma vez que a gliricídia foi plantada cerca de 4 anos antes da poda e perde folhas naturalmente, durante o período mais seco e frio do ano. Em cafeeiros consorciados com *E. verna* e bananeira, foi observado o aumento do teor de N e Mg nas folhas, quando comparado com os cafeeiros a pleno sol, embora esse fato não tenha se refletido em maior produtividade (Ricci et al., 2006).

A grande contribuição (17,25 t ha<sup>-1</sup> a 34,5 t ha<sup>-1</sup> de MS) da massa de gliricídia às plantas de 'Catimor' adensado (6.944 plantas por hectare) não resultou em aumento dos teores de N nas folhas (Gunaratne; Heekenda, 2002b). No entanto, de 48% a 64% do N presente nos cafeeiros (folhas, troncos, ramos e frutos) foi proveniente da leguminosa, que também elevou o crescimento das plantas e a produtividade em aproximadamente 500%.

## Nutrientes na massa das leguminosas

A quantidade de nutrientes na massa dos adubos verdes depende diretamente da produção de massa. Se a produção estiver superestimada (por não descontar a área ocupada pelos cafeeiros), também a quantidade de nutrientes estará superestimada. Os dados de acúmulo de nutrientes são resumidos na Tabela 2, considerando os valores citados e os valores após uma possível modificação, decorrente do cálculo do acúmulo de nutrientes, descontando-se a área ocupada pelos cafeeiros.

É importante ressaltar que os dados da Tabela 2 se referem à parte aérea das plantas. O conteúdo das raízes não está todo computado, mostrando uma grande lacuna de conhecimento. Por esse lado, a contribuição dos adubos verdes está subestimada. Tais aspectos são importantes para que não se façam inferências superestimadas ou subestimadas no que se refere à contribuição dos adubos verdes ao sistema. É preciso lembrar que os nutrientes na massa dos adubos verdes não são necessariamente "aportes" dessas espécies. Os nutrientes podem ser

**Tabela 2.** Resumo sistematizado de espécies, espaçamento, manejo, acúmulo de massa e de nutrientes de adubos verdes consorciados com cafeeiros em diferentes trabalhos<sup>(1)</sup>.

Espécie	Espaçamento (m)	Manejo	Matéria seca		N		P		K		Ca		Mg	
			Dados	Mod. <sup>(2)</sup>	Dados	Mod.	Dados	Mod.	Dados	Mod.	Dados	Mod.	Dados	Mod.
			(t ha <sup>-1</sup> )	(kg ha <sup>-1</sup> )	(kg ha <sup>-1</sup> )	(kg ha <sup>-1</sup> )	(kg ha <sup>-1</sup> )	(kg ha <sup>-1</sup> )	(kg ha <sup>-1</sup> )	(kg ha <sup>-1</sup> )	(kg ha <sup>-1</sup> )	(kg ha <sup>-1</sup> )	(kg ha <sup>-1</sup> )	
<b>Chaves (2001)</b>														
Leucena	1 linha		15,17	3,8	450	112,5	21	5,25	264	66	220	55	50	12,5
	2 linhas	3 podas	22,14	11,07	655	327,5	31	15,5	385	192,5	321	160	73	36,5
Cafeeiro	(4 x 2)													
<b>Ricci e Aguiar (2003) e Ricci et al. (2005)</b>														
<i>Crotalaria juncea</i>	3 linhas	Poda aos 76 dias e aos 179 dias	6,1	3,7	265	159	11	6,6	74	44,4	117	70,2	30	18
	0,5 m x 0,5 m		9,9	5,9	179	107	10	6,0	167	100,2	74	44,4	14	8,4
Cafeeiro	(2,5 m x 0,7 m)													
<b>Lima et al. (2009b)</b>														
Amendoim-forrageiro			1,00	0,36	93	33,5	9	3,2	74	26,6	ne	-	ne	-
Calopogônio			1,61	0,58	165	59,4	13	4,8	130	46,8	ne	-	ne	-
<i>C. juncea</i>	ne	Corte no florescimento	2,88	1,04	382	137,5	29	10,4	162	58,3	ne	-	ne	-
Guandu-anão			2,21	0,79	294	105,8	23	8,3	145	52,2	ne	-	ne	-
Lablab			2,24	0,81	255	91,8	24	8,6	182	65,5	ne	-	ne	-
Estilosantes			1,48	0,53	129	46,4	11	3,9	109	39,2	ne	-	ne	-
Mucuna-preta			2,23	0,80	266	95,8	19	6,8	138	49,7	ne	-	ne	-
Cafeeiro	(2,8 m-3,0 m x 0,5 m-0,8 m)													

Continua...

**Tabela 2.** Continuação.

Espécie	Espaçamento (m)	Manejo	Matéria seca		N		P		K		Ca		Mg	
			Dados	Mod. <sup>(2)</sup>	Dados	Mod.	Dados	Mod.	Dados	Mod.	Dados	Mod.	Dados	Mod.
			(t ha <sup>-1</sup> )	(kg ha <sup>-1</sup> )	(kg ha <sup>-1</sup> )	(kg ha <sup>-1</sup> )	(kg ha <sup>-1</sup> )	(kg ha <sup>-1</sup> )	(kg ha <sup>-1</sup> )	(kg ha <sup>-1</sup> )	(kg ha <sup>-1</sup> )	(kg ha <sup>-1</sup> )	(kg ha <sup>-1</sup> )	
<b>Pontes et al. (2006)</b>														
<i>C. juncea</i>	2 linhas de 0,5 m	Corte aos 85 dias	2,85	85,5	5,7	51,3	5,7	51,3	ne	ne	ne	ne	ne	-
Gliricídia	4,2 m x 2,0 m	Podas em	2,54	89,0	6,9	61,0	6,9	61,0	ne	ne	ne	ne	ne	-
<i>G. sepium</i>	4,2 m x 4,0 m	dezembro e em março	1,82	64,2	4,9	43,6	4,9	43,6	ne	ne	ne	ne	ne	-
Cafeeiro	(2 m x 1 m)													
<b>Ricci e Menezes (2009)</b>														
Gliricídia	Feijão-de-porco	Corte	3,30a	134,4a	88,70	13,1a	8,65	83,9a	55,37	63,2a	41,71	16,0a	10,56	
Pleno sol	2 linhas	aos	1,49b	56,6b	37,36	6,0a	3,96	37,5a	24,75	24,0a	15,84	5,2b	3,43	
Eritrina	144 dias		1,27b	47,3b	31,22	5,0a	3,30	25,1a	16,57	21,0a	13,86	4,6b	3,04	
Cafeeiro	(3,0 m x 1,5 m)													
<b>Cunha et al. (2009)</b>														
Guandu			16,3a	314b	82,61	9,78c	2,57	92,91b	24,44	ne	ne	ne	ne	-
Leucena	1 faixa a cada 4 linhas	Podas	19,0a	405a	106,56	17,93b	4,72	131,1a	34,49	ne	ne	ne	ne	-
Bracatinga			11,6b	208c	54,72	14,67c	3,86	30,16c	7,94	ne	ne	ne	ne	-
Acácia			18,4a	408a	107,34	30,97a	8,15	110,4b	29,05	ne	ne	ne	ne	-
Cafeeiro	(3,5 m x 0,7 m)													

<sup>(1)</sup>ne = não especificado; - = sem dados. <sup>(2)</sup>Modificada: modificação descontando-se a área ocupada pelos cafeeiros.

extraídos do mesmo volume de solo e no mesmo período disponível aos cafeeiros. Esse aspecto é fundamental para explicar os resultados e pode ser modificado pelo arranjo espacial dos adubos verdes, pela escolha das espécies e pelas datas de plantio e poda ou corte.

Os nutrientes realmente aportados provêm da FBN ou de volume de solo não explorado pelos cafeeiros, seja em profundidade ou distância das linhas, seja por absorção em tempo diferente daquele de maior absorção dos cafeeiros. Para o aproveitamento desse aporte, os nutrientes precisam estar disponíveis no período de maior demanda nutricional dos cafeeiros. Cabe ressaltar ainda que nem todas as leguminosas estabelecem relações simbióticas ou realizam a FBN. Em estudo conduzido em cafezal orgânico em Chiapas, México, Grossman et al. (2006) relataram que não houve evidência de nodulação em *Inga oerstediana*, pelo menos até 150 dias após o plantio e, em áreas com sistema com 3 anos de idade, apenas 20% do N dessa leguminosa era proveniente da FBN, o que levou os autores a recomendar a suplementação de N aos cafeeiros durante esse período.

A massa de *C. juncea* cultivada em três linhas em meio a cultivares de *Coffea arabica*, em Valença, RJ (Ricci; Aguiar, 2003; Ricci et al., 2005), apresentou quantidades importantes de N, K e Ca, mesmo ao se descontar a área ocupada pelo cafeeiro (Tabela 2). A análise dos dados indica que a massa da poda (76 dias) era mais rica em nutrientes do que a obtida no corte final, o que é importante para o cafeeiro, especialmente porque foi realizada em janeiro. Os autores relataram ainda que a FBN em *C. juncea* atingiu até 54% do N presente na sua massa, o que equivale ao aporte de até 200 kg ha<sup>-1</sup> de N, ou cerca de 120 kg ha<sup>-1</sup> de N se for preciso descontar a área ocupada pelos cafeeiros. Embora os teores foliares de N e Mg tenham sido mais elevados nos cafeeiros consorciados com o adubo verde, não se verificou efeito sobre o crescimento das plantas, o que poderá ser verificado nos anos subsequentes. A produção de massa e o acúmulo de nutrientes em feijão-de-porco em cafezais (*C. canephora*) consorciados com gliricídia ou *E. poeppigiana*, em Seropédica, RJ, foram avaliados por Ricci e Menezes (2009) (Tabela 2). O sombreamento pela gliricídia foi mais intenso e resultou em menores números de vagens, peso de vagens e relação sementes por vagem. Isso indicou que houve menor estímulo ao desenvolvimento reprodutivo nessas condições, o que levou a maior produção de massa e acúmulo de nutrientes, fato a princípio desejável na adubação verde.

Em trabalho conduzido em cafezal 'Conilon' orgânico no Espírito Santo, Partelli et al. (2009) não verificaram efeito da inoculação de sementes de feijão-de-porco, mucuna-anã ou guandu sobre a porcentagem de N-FBN, que esteve em torno de 80%. No mesmo trabalho, o aporte de N-FBN atingiu aproximadamente 31 kg ha<sup>-1</sup>, aos 76 dias após o plantio.

O acúmulo médio de N, P e K em diversas leguminosas nas entrelinhas de diferentes cafeeiros (2,8 m a 3,0 m entre linhas) na Zona da Mata de Minas Gerais (Lima et al., 2009b) encontra-se na Tabela 2. Os dados representam a média de quatro localidades. As leguminosas apresentaram grande variabilidade de produção, conforme o local de cultivo. Por exemplo, *C. juncea* apresentou



produtividade de 4,11 t ha<sup>-1</sup> a 26,6 t ha<sup>-1</sup> de matéria fresca, conforme o local de cultivo. Os dados indicam a importância da avaliação local das leguminosas, uma vez que a produção de massa é essencial para a obtenção dos benefícios ou prejuízos com a adubação verde. Nesse estudo, as leguminosas foram cortadas durante o florescimento, ou seja, em diferentes períodos de crescimento, o que influencia o acúmulo de nutrientes. A produtividade média foi elevada para a região (33 sc ha<sup>-1</sup>) e não parece estar completamente associada com o acúmulo de nutrientes pelas leguminosas, cujos benefícios podem estar relacionados ao controle de plantas daninhas e à proteção do solo.

A produção de massa e o acúmulo de nutrientes em leguminosas arbóreas *Cassia mangium*, bracinga (*Mimosa scabrella*), guandu e leucena, em São Sebastião do Paraíso, MG, foram avaliados por Cunha et al. (2009). As leguminosas estavam dispostas em faixas de 5 m de largura, a cada quatro linhas de cafeeiros, e os resultados encontram-se resumidos na Tabela 2, na qual se destacam os maiores aportes proporcionais de N e P pela massa de cássia e leucena e maior aporte de K pela leucena. É importante ressaltar que, se forem realizadas mais podas ao longo do ano, as quantidades de P e K aportados, pequenas no presente estudo, serão substancialmente maiores.

A leucena em consórcio com cafeeiros (4 m x 2 m), em Ibiporã, PR (Chaves, 2001), acumulou, anualmente, grande quantidades de N, K, Ca e Mg (Tabela 2). Mesmo quando se considera um possível desconto da produção de massa por hectare, as quantidades ainda são elevadas. As podas frequentes (três ao ano) e o espaçamento mais largo das linhas dos cafeeiros certamente contribuíram tanto para o resultado quanto para a disponibilização sincronizada com a demanda dos cafeeiros. Isso resultou em incremento da nutrição e da produtividade, que se situou entre 20 sc ha<sup>-1</sup> e 22 sc ha<sup>-1</sup> (Chaves, 2000).

Hergoualc'h et al. (2008), ao avaliarem a massa de *Inga densiflora*, concluíram que, apesar de a serrapilheira proveniente das árvores leguminosas ser menos rica em nutrientes do que os adubos verdes herbáceos, essa pode representar um aporte importante, que pode resultar em maiores emissões de N<sub>2</sub>O. Contudo, os autores verificaram que essa maior emissão de N<sub>2</sub>O (5,3 kg ha<sup>-1</sup> ao ano de N) correspondeu, no máximo, a somente 2% do N aportado pela serrapilheira (246 kg ha<sup>-1</sup> ao ano de N).

A massa de poda de gliricídia (123 plantas por hectare) em consórcio com cafeeiros 'Conilon' foi de 33,5 kg de matéria seca por planta, representando 4,12 t ha<sup>-1</sup> (Coelho et al., 2006). Essa massa, podada em março, continha 58,8 kg ha<sup>-1</sup> de N. Contudo, 19,2 kg ha<sup>-1</sup> de N estavam presentes nos ramos podados, os quais apresentaram decomposição muito lenta. Portanto, 39,6 kg ha<sup>-1</sup> de N foram liberados mais rapidamente nos meses de abril e maio. Os resultados mostram a importância da poda mais frequente, não somente para se obter material mais rico e decomponível, mas também para disponibilizar nutrientes nos períodos de maior demanda dos cafeeiros (de outubro a março na região Sudeste do Brasil). Maiores e mais frequentes aportes de

massa e nutrientes foram relatados em leucena (Chaves, 2000, 2001), guandu (Araújo; Balbino, 2007), gliricídia (Gunaratne; Heenkenda, 2002b) e gliricídia e *S. spectabilis* (Gunaratne; Heenkenda, 2002a). Esses aportes são decorrentes tanto da maior densidade populacional das leguminosas quanto da maior frequência de poda.

É importante ressaltar a necessidade, em todos os sistemas, de monitorar e avaliar os efeitos das espécies sobre o crescimento e a produtividade dos cafeeiros. A capacidade de aporte de N-FBN e a concentração de outros nutrientes na camada superficial do solo dependem da produção de massa do adubo verde. Se essa produção for pequena, o aporte de N-FBN e de outros nutrientes será pequeno. Por sua vez, se a produção de massa for muito alta (e provavelmente o período de consorciação também), mesmo com grande aporte de N-FBN, provavelmente ocorrerá competição com os cafeeiros por outros recursos. As fotos na Figura 3 ilustram tais situações. A pequena produção de massa dos adubos verdes, seja pela competição inicial com plantas daninhas (3A), seja por desuniformidade de semeadura ou deficiências nutricionais do solo (3B), ou, então, pelo curto período de crescimento (3C), reduz os benefícios potenciais e também os



Fotos: Ricardo Henrique Silva Santos

**Figura 3.** Produção reduzida de massa de adubos verdes em cafezal em competição inicial com plantas daninhas (A), com desuniformidade de semeadura ou deficiências nutricionais do solo (B) ou com curto período de crescimento (C) e produção elevada com benefícios e também risco de competição com a cultura perene (D).



riscos de competição com os cafeeiros. A produção elevada de massa aumenta os benefícios dos adubos verdes e também o risco de competição com os cafeeiros (3D).

O acúmulo de nutrientes e o aporte de N-FBN dos adubos verdes devem ser acompanhados da escolha certa da época de plantio e corte, uma vez que a disponibilização dos nutrientes da massa dos adubos verdes deve ocorrer em sincronia com o período de demanda pelos cafeeiros (outubro/março no Sudeste), e não no período de crescimento reduzido ou paralisado (Figura 4). Sempre que possível, a massa dos adubos verdes deve ser colocada na projeção da copa dos cafeeiros (4A e 4B). A decomposição da massa (4C) e a mineralização dos nutrientes ocorrerão na área de maior concentração de raízes absorventes (4D). Isso pode explicar a maioria dos resultados de pesquisa, que mostram a melhoria de algumas características do solo pelos adubos verdes, sem que isso resulte ou esteja associado a maiores produtividades ou crescimento dos cafeeiros. Além do mais, o incremento da matéria orgânica e dos teores de alguns nutrientes do solo, decorrentes dos adubos verdes em cafezais, pode ocorrer em razão da pequena retirada de nutrientes do solo, causada pelo reduzido crescimento e pela baixa produção dos cafeeiros.

Fotos: Ricardo Henrique Silva Santos



**Figura 4.** Massa de adubos verdes colocada na projeção da copa dos cafeeiros (A e B), em processo de decomposição (C), e área de maior concentração de raízes absorventes (D).

A disponibilização dos nutrientes contidos na massa dos adubos verdes depende principalmente das condições de temperatura e umidade, dos teores de N, C, polifenóis e lignina, bem como do grau de fracionamento dos materiais. Embora esse processo seja bastante estudado, são raros os trabalhos conduzidos em cafezais. Kimemia et al. (2001) relataram padrão exponencial de decomposição de diversas leguminosas em cafezais e, com exceção da massa de *C. cajan* e *Desmodium intortum*, as leguminosas apresentaram alta taxa de mineralização de N, com mais de 50% da quantidade inicial, sendo liberada de 3 a 4 semanas após o corte.

Na Zona da Mata de Minas Gerais, foram avaliadas a decomposição da massa e a liberação de nutrientes das leguminosas *C. juncea*, guandu-anão, lablab, mucuna-preta, calopogônio (*Calopogonium mucunoides*), amendoim-forrageiro (*Arachis pintoii*) e estilosantes (*Stylosanthes* spp.) em quatro localidades (Moura et al., 2005; Lima et al., 2009b). Todas as espécies apresentaram uma fase inicial de rápida decomposição (aproximadamente 15 dias), e *C. juncea* e estilosantes apresentaram as taxas mais elevadas. A decomposição também foi mais rápida em localidades de menor altitude. A liberação de nutrientes até 30 dias seguiu a seguinte ordem: P (-/+70%) > N (+/-50%) > K (+/-35%) > Ca = Mg (+/-20%). Os autores relataram que 60% do K foi liberado durante o período de maior demanda nutricional dos cafeeiros, enquanto somente 40% do N e 20% do P foram liberados nesse período. No material proveniente de duas dessas localidades, foram determinados os teores de nutrientes, polifenóis, lignina, celulose e hemicelulose, bem como a mineralização de C e de N da massa de algumas das leguminosas sob condições controladas (Matos et al., 2008). Nas leguminosas estudadas, o teor de compostos decresceu na ordem celulose > hemicelulose > lignina e polifenóis. Os autores relataram que as características dos resíduos não explicam as diferenças de mineralização de C, a qual apresentou correlação positiva com a relação C:N a partir de 192 horas de incubação. Já a mineralização de N diminuiu com o aumento dos teores de polifenóis e com a relação polifenóis:N. Com o material proveniente de ambas as localidades, houve imobilização de N a partir da segunda semana até a terceira ou quinta semanas, dependendo da origem da leguminosa, seguida de nova mineralização nas semanas finais da avaliação. Tais resultados sugerem que a disponibilização de N dos adubos verdes para os cafeeiros segue dinâmica complexa e pode até mesmo haver redução de sua disponibilidade durante algumas semanas, por causa do grande crescimento da massa microbiana após o aporte do material.

Em Viçosa, MG, Pontes et al. (2006) verificaram que o teor de massa seca de *G. sepium* (29,7%) foi maior que *C. juncea* (19,4%). Os resíduos provenientes da gliricídia (folhas e galhos finos) apresentaram maior taxa de decomposição que de *C. juncea*, com tempos de meia-vida ( $T_{1/2}$ ) de 23 e 28 dias, respectivamente. O teor de N inicial nos resíduos de gliricídia foi maior (3,1%) do que em *C. juncea* (2,5%), assim como o teor de K (gliricídia – 2,4%; crotalária – 1,8%) e de P (gliricídia – 0,27%; crotalária – 0,19%). O  $T_{1/2}$  de liberação de N, K e P de ambas as leguminosas foi similar. A gliricídia apresentou  $T_{1/2}$  (N) de 13 dias, enquanto a crotalária, de 13,7 dias. O  $T_{1/2}$  de liberação de K foi similar para gliricídia (7 dias) e crotalária (7,2 dias). O  $T_{1/2}$  de liberação

de P foi mais elevado no material proveniente da crotalária (14,5 dias) do que no da gliricídia (16 dias). Ao final dos 42 dias após o corte, 0,7% de N, 0,081% de P e 0,14% de K ainda estavam nos resíduos de crotalária; enquanto 1,5% de N, 0,16% de P e 0,19% de K ainda estavam nos resíduos de gliricídia.

Ainda em Viçosa, MG, Siqueira et al. (2009) avaliaram a decomposição de dois adubos verdes cortados depois de 60, 90 e 120 dias após o plantio (DAP), no período de dezembro a abril de 2009. A massa da matéria seca da lablab diminuiu drasticamente ao longo do tempo no manejo aos 60 DAP e de forma menos acentuada nos manejos aos 90 e 120 DAP. Os  $T_{1/2}$  da massa seca da lablab manejada aos 60, 90 e 120 DAP foram de aproximadamente 13, 27 e 26 dias, respectivamente. A massa da matéria seca do feijão-de-porco diminuiu drasticamente ao longo do tempo no manejo aos 60 DAP do que a da lablab. Os  $T_{1/2}$  da massa seca do feijão-de-porco manejado aos 60, 90 e 120 DAP foram de aproximadamente 10, 27 e 26 dias, respectivamente. As temperaturas médias encontradas para os meses de dezembro de 2008, janeiro e fevereiro de 2009 foram 20,6 °C, 21,3 °C e 19,8 °C, respectivamente. A precipitação total no mês de dezembro de 2008 foi de 705 mm, superior aos 292 mm em janeiro de 2009 e 243 mm em fevereiro de 2009, o que contribuiu para uma decomposição mais rápida das leguminosas manejadas aos 60 DAP.

Em Rio Pomba, MG, a decomposição da massa e a liberação de N de feijão-de-porco e lablab cortados em abril foram avaliadas por Souza et al. (2008). Decorridos 3 meses de consorciação, houve acúmulo de 3,43 t ha<sup>-1</sup> de massa e 93 kg ha<sup>-1</sup> de N pelo feijão-de-porco (FP), e de 2,62 kg ha<sup>-1</sup> de massa e 66,37 kg ha<sup>-1</sup> de N pela lablab (LL). Apesar de a liberação de N ter sido similar para ambas as leguminosas (FP  $T_{1/2}$  = 23,39 dias e LL  $T_{1/2}$  = 22,21 dias), a decomposição da massa de feijão-de-porco ( $T_{1/2}$  = 25,22 dias) foi mais rápida do que a da lablab ( $T_{1/2}$  = 31,08 dias).

Leguminosas arbóreas, por apresentarem tecidos com maiores teores de C e lignina, tendem a apresentar decomposição mais lenta do que espécies herbáceas. Folhas e ramos (> 4 cm de diâmetro) de *G. sepium* apresentaram distintos teores de N e taxa de decomposição (Coelho et al., 2006). Os dados foram coletados de abril a junho em Seropédica, RJ. Metade das massas das folhas foi decomposta em 19 dias, e 13 dias foram suficientes para que 50% do N fosse liberado das folhas. Contudo, após 176 dias, somente 25% da massa dos ramos tinha sido decomposta. Portanto, a decomposição da massa e a liberação dos nutrientes de folhas das leguminosas tendem a ser extremamente rápidas nas principais regiões cafeeiras. Condições de maior altitude e período seco deverão atrasar os processos que, contudo, continuarão a apresentar padrões de rapidez. Isso tem grandes implicações para o emprego dessas leguminosas, com o objetivo de nutrir os cafeeiros, controlar as plantas daninhas ou proteger o solo.

A liberação dos nutrientes deve estar sincronizada com a demanda nutricional dos cafeeiros. Nutrientes muito móveis, N especialmente, tendem a ser perdidos ou imobilizados se libera-

dos fora do período de maior absorção dos cafeeiros. Chaves (2001) estimou que, dos 400 kg ha<sup>-1</sup> a 600 kg ha<sup>-1</sup> de N aportados pela leucena, somente 130 kg foram aproveitados pelos cafeeiros. Por sua vez, o controle de plantas daninhas e a proteção do solo são obtidos com a presença da cobertura vegetal, e sua decomposição reduzirá tais efeitos.

## Efeito dos adubos verdes sobre o solo e ambiente

### Características químicas

Em relato de experimento conduzido em Venda Nova do Imigrante, ES, Prezotti e Rocha (2005) relataram que a presença de calopogônio reduziu os teores de K no solo, independentemente da adubação mineral ou orgânica. Como o calopogônio também reduziu a produtividade, o resultado sugere uma interferência competitiva com o cafeeiro. Os espaçamentos, as épocas e as formas de manejo das leguminosas e sua produção de massa precisam ser conhecidos e identificados para reduzir esse efeito.

Existem diversos relatos de comprovação de ausência ou de poucos efeitos dos adubos verdes sobre características dos solos utilizados para cafezais. Em amostras coletadas 60 dias após a incorporação de *C. juncea*, *C. spectabilis*, guandu, mucuna-anã e soja, somente o teor de matéria orgânica foi mais elevado do que a testemunha, permanecendo similares o pH e os teores de K, Ca e Mg, H<sup>+</sup>, alumínio (Al) e a capacidade de troca de cátions (CTC) (Paulo et al., 2001). Algumas dessas leguminosas reduziram, enquanto outras não influenciaram a produtividade. Em outro experimento, com duração de 4 anos, os mesmos autores relataram que o guandu elevou os teores de matéria orgânica e de K nos solos, e reduziu concomitantemente a produtividade do cafeeiro (Tabela 3) (Paulo et al., 2006). Os resultados sugerem que a elevada produção de massa de leguminosas é responsável por ambos os efeitos. É importante ressaltar que a melhoria das características do solo não está associada ao melhor desempenho dos cafeeiros, e pode até mesmo ser decorrente das baixas produtividades e crescimento – e, conseqüentemente, da reduzida extração e exportação de recursos. Nesse último estudo, é importante observar o efeito de *C. juncea* que, mesmo sem impactar significativamente a produtividade, apresentou alta produção de massa e não influenciou as características químicas do solo.

Em experimento conduzido no Acre, depois de 3 anos as leguminosas mucuna-preta, feijão-de-porco, guandu e *F. congesta* não alteraram as características químicas do solo em cafezais (Bergo et al., 2006). A exceção foi o efeito positivo de *F. congesta* em elevar o teor de Ca no solo. *Flemingia congesta* também foi responsável pela elevação da produtividade dos cafeeiros, enquanto o guandu e o feijão-de-porco reduziram a produtividade.

**Tabela 3.** Massa verde (ou fresca) de leguminosas, produtividade acumulada de cafeeiros em seis anos e teores de matéria orgânica (MO) e de potássio (K) em solo (0 a 20 cm) cultivado com adubos verdes.

Leguminosa	Massa (t ha <sup>-1</sup> )	Produtividade (sc ha <sup>-1</sup> )	MO (g dm <sup>-3</sup> )	K (mmol dm <sup>-3</sup> )
<i>Crotalaria spectabilis</i>	14,3c	37,95a	1,5b	3,6b
<i>C. juncea</i>	105,1b	35,48a	1,5b	3,5b
Guandu	167,1a	15,92b	2,0a	5,0a
Mucuna-anã	21,7c	34,08a	1,5b	3,5b
Sorgo	22,7c	33,77a	1,7ab	3,3b
Testemunha	-	44,54a	1,3a	3,6b

Fonte: Adaptado de Paulo et al. (2006).

Em experimento com 1 ano de duração, em solo de cafezal na cidade de Valença, RJ, *C. juncea* apresentou um único efeito após o corte: a elevação do teor de matéria orgânica. As demais características da análise de rotina mantiveram-se inalteradas (Ricci et al., 2002). Os autores também relataram que o aumento do número de linhas de guandu (acompanhado da redução do número de cafeeiros) reduziu o pH e os teores de Mg e P no solo, além de elevar a concentração de Al e não influenciar o teor de K e de carbono orgânico. A redução do pH e a elevação do teor de Al, associadas à presença de adubos verdes, são resultados pouco esperados, ainda mais quando acompanhados de redução da produtividade dos cafeeiros, como foi o caso relatado.

A presença de leucena nas entrelinhas dos cafeeiros, podada três vezes, elevou o pH do solo, mesmo a 60 cm profundidade (Chaves, 2000). O mesmo autor relatou efeito de bombeamento de nutrientes pela leucena, o que resultou em elevação dos teores de Ca, Mg e K, além de carbono orgânico, na camada superficial.

Tais efeitos foram verificados concomitantemente com o incremento da produtividade com uma linha de leucena mais adubação orgânica (22,5 sc ha<sup>-1</sup>), em comparação com a adubação mineral (20 sc ha<sup>-1</sup>). Quando se associou somente a leucena (duas linhas), sem outra adubação, obteve-se o índice de 78% da produtividade obtida com adubação mineral. Os resultados obtidos por Chaves (2000) reforçam a importância da adaptação da espécie e das podas para se alcançar sucesso com a consorciação.

Efeitos marcantes de *G. sepium* sobre diversas características químicas do solo são relatados por Gunaratne e Heenkenda (2002b). O plantio consorciado (1.736 plantas por hectare) e os aportes em doses crescentes de até 20 kg de matéria fresca (MF) por cafeeiro, divididos em quatro aplicações, elevaram o pH e os teores de N, P, K, Mg, Cu, Zn e carbono orgânico, principalmente até 20 cm de profundidade. Interessante ressaltar que esse efeito foi acompanhado de aumento de produtividade e de crescimento ao longo de 5 anos, e que doses de 10 kg de MF por cafeeiro proporcionaram os mesmos resultados que a dose de 20 kg de MF por cafeeiro. Nesse trabalho, certamente as quatro podas e o grande aporte de massa (10 kg de MF = 69 t ha<sup>-1</sup> de MF) foram



importantes para a obtenção dos efeitos, além de tratar-se de solo originariamente com pH 4,0, 20 mg dm<sup>-3</sup> de P, 40 mg dm<sup>-3</sup> de K e 0,18 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de Mg.

Em São Sebastião do Paraíso, MG, o efeito da distância de renques de *A. mangium*, leucena ou guandu sobre o solo de cafezal foi avaliado por Barbosa et al. (2005). Os autores relataram que o renque de acácia resultou em solo 30% mais úmido no período chuvoso e 48% mais úmido no período seco, do que solo sob influência de leucena ou da testemunha, com efeitos similares, mas menos intensos, verificados em relação ao renque de guandu. Quanto às características químicas, solos associados ao renque de guandu foram mais similares aos solos de cafeeiros a pleno sol, enquanto solos associados ao renque de acácia apresentaram-se distintos desses e com maiores teores de B, Cu, Mn, Mg e matéria orgânica.

## Características físicas

A adição de resíduos vegetais também contribui para a melhoria das propriedades físicas do solo. Em Cuba, os solos de cafeeiros sob *Albizia lebeck* e *Inga vera* apresentaram incremento na permeabilidade, na estabilidade dos agregados e na estrutura. Os solos sob *A. lebeck* apresentaram menor acidez que os solos de plantas em monocultura (Reyes-Hernandez et al., 2002).

O aumento do teor de matéria orgânica sempre é apontado como um dos benefícios da adubação verde. Contudo, as leguminosas arbustivas ou herbáceas geralmente apresentam relação C:N baixa, assim como reduzidas concentrações de polifenóis e lignina (Moura et al., 2005), o que torna sua massa facilmente decomponível e com pouco efeito sobre a matéria orgânica estável no solo. Estudos mais pormenorizados e com amostragens mais frequentes devem mostrar alterações na fração leve, importante para a ciclagem de nutrientes.

O efeito dos adubos verdes sobre as concentrações de nutrientes no solo parece depender de muitos fatores, dos quais os principais são:

- Nível de fertilidade do solo. Quanto menor for a fertilidade, maior será o efeito positivo esperado.
- Produção de massa do adubo verde, já que os teores de nutrientes não são muito variáveis. É preciso corrigir a produção, descontando-se a área ocupada pelos cafeeiros.
- Patamares de produtividade dos cafeeiros. Como os cafeeiros apresentam alto potencial de extração de nutrientes, os solos podem apresentar menor fertilidade, como consequência de produção e crescimento reduzidos, e não como resultado exclusivo da adubação verde.
- Clima e velocidade de liberação de nutrientes da massa vegetal dos adubos verdes. Nutrientes como N, K e P tendem a ser liberados mais rapidamente, enquanto Ca, mais lentamente. Contudo, N e K são mais móveis no solo, P é menos móvel e Ca depende

muito da disponibilidade de água para ser absorvido. O N interage fortemente com a matéria orgânica do solo. Assim, conforme as condições de temperatura e precipitação, e de acordo com o tempo decorrido depois do corte da massa, os teores de nutrientes no solo podem variar muito. No entanto, é fundamental a sincronia entre a disponibilização dos nutrientes e a demanda do cafeeiro, que ocorre geralmente entre outubro e março na região Sudeste do Brasil.

## Características biológicas

Quando comparada ao cultivo sob pleno sol, a presença de árvores leguminosas em cafezais arábica na Etiópia manteve maior número de micorrizas vesículo-arbusculares no solo (Muleta et al., 2008). O cultivo de *C. breviflora* nas entrelinhas de 'Catuaí Amarelo', em Miraselva, PR, aumentou a concentração de esporos de fungos micorrízicos arbusculares na rizosfera dos cafeeiros (Colozzi Filho; Cardoso, 2000).

## Características edafoclimáticas

A temperatura e a umidade do solo podem ser afetadas pelos adubos verdes. Em experimento conduzido no Paraná, o guandu (uma planta por metro linear) cresceu livremente até 4 m de altura, cobriu os cafeeiros e reduziu a temperatura do solo (Morais et al., 2007). A umidade do solo na camada superficial também aumentou com a leguminosa, mas o solo tornou-se mais seco de 10 cm a 20 cm, o que sugere competição por água com os cafeeiros. O guandu não foi podado e, embora sua presença tenha contribuído para proteger os cafeeiros de geadas e para reduzir a transpiração e a temperatura das folhas, tal fato não se traduziu em maior fotossíntese líquida do cafeeiro (Morais et al., 2003). A competição por água e luz deve ajudar a explicar os efeitos prejudiciais do guandu sobre o crescimento e a produção dos cafeeiros, relatados em outros trabalhos.

A competição por água, que ocasiona sintomas de déficit hídrico nos cafeeiros, causado por diversos adubos verdes, é relatada por Alvarenga et al. (2003). Cafeeiros 'Oeiras' (2,80 m x 0,5 m) foram consorciados com amendoim-forrageiro, *Urochloa* (Syn. *Brachiaria*) *brizantha*, guandu, estilosantes, *S. sphacelata*, caupi e *Commelina benghalensis*, que foram roçados durante o florescimento. Os autores relataram que, com exceção das parcelas capinadas ou com cobertura morta, os cafeeiros apresentaram sintomas de déficit hídrico, maior ataque de bicho-mineiro (*Leucoptera coffeella*), além de cercosporiose e seca de ponteiros (*Phoma costaricensis*). Esses relatos indicam que os possíveis benefícios dos adubos verdes foram suplantados pelos prejuízos, embora convenha conhecer os dados de produção e crescimento dos cafeeiros e a produção de massa das espécies.

## Efeito dos adubos verdes sobre plantas daninhas, insetos e patógenos

A redução do número de capinas como consequência do uso de adubos verdes é a resposta mais rapidamente percebida pelos agricultores. No entanto, dependendo da espécie, do arranjo espacial no campo, da produção de massa e/ou do período de consorciação e manejo, os adubos verdes podem tornar-se prejudiciais aos cafeeiros, como discutido em outras seções deste capítulo. Apesar de os adubos verdes reduzirem a presença de plantas daninhas (Figura 5), esse efeito positivo, em caso de abundante crescimento, poderá ser eliminado pela competição gerada pelo próprio adubo verde. Em muitos casos, tais fatores não são monitorados concomitantemente nas pesquisas, o que dificulta a formulação de conclusões e recomendações.



Fotos: Ricardo Henrique Silva Santos

**Figura 5.** Redução da infestação de plantas daninhas em cafezais pela consorciação com lablab (A); no primeiro plano, observa-se a infestação de área sem o adubo verde (lablab). Detalhe da redução das plantas daninhas pelo feijão-de-porco (B).

Em experimento conduzido no Acre, a leguminosa perene *F. congesta* suprimiu as plantas daninhas das entrelinhas dos cafezais na primeira safra (Bergo et al., 2006). As espécies feijão-de-porco, guandu e mucuna-preta resultaram em massa de plantas daninhas similar à testemunha, embora tenham sido estabelecidas em cinco linhas e tenham permanecido por 5 a 6 meses nas entrelinhas, até o corte. Possivelmente as condições climáticas locais permitiram a reinfestação das plantas daninhas, o que não foi possível com a presença da leguminosa perene. É importante ressaltar que *F. congesta* ainda elevou a produtividade ( $9,5 \text{ sc ha}^{-1}$ ) em comparação com a testemunha ( $4,6 \text{ sc ha}^{-1}$ ), enquanto o guandu e o feijão-de-porco a reduziram.

A rápida cobertura do solo é uma das características desejáveis das leguminosas na consorciação com cafeeiros. No Paraná, a leucena, plantada em duas linhas em cafezal 'Mundo Novo' ( $4 \text{ m} \times 2 \text{ m}$ ), reduziu o número e a massa de plantas daninhas, bem como o tempo de capina, o que representou uma economia de 57% da mão de obra para esse trato cultural (Tabela 4) (Chaves,

**Tabela 4.** Número e matéria seca de plantas daninhas e tempo de capina em cafezal<sup>(1)</sup>.

Tratamento	Número de plantas (m <sup>2</sup> )	Matéria seca (kg m <sup>-2</sup> )	Tempo de capina	Relativo (%)	Economia (%)
Testemunha	571	0,46	9'30"	100	0
Adubação mineral	870	1,09	9'24"	100	0
Leucena (duas linhas)	73	0,05	4'04"	43	57

<sup>(1)</sup>Capina de parcela de 32 m<sup>2</sup>. Material orgânico utilizado (esterco de gado + leucena) apresentou a seguinte composição média: N (17,2); P (5,8); K (8,2); Ca (13,6); Mg (5,2); C (235,0) e U (500,0) g kg<sup>-1</sup>. Os tratamentos de campo consistiram na aplicação de diferentes fontes de adubos: 1) sem adubação (testemunha); 2) adubação mineral (180-50-130 kg ha<sup>-1</sup> de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O); 3) adubação orgânica + leucena; 4) 1/2 adubação orgânica + 1/2 adubação mineral; 5) leucena; e 6) 1/3 adubação mineral + 2/3 adubação orgânica + leucena.

Fonte: Adaptado de Chaves (2000).

2000). É importante ressaltar que a leucena foi podada três vezes, e os cafeeiros apresentaram produtividade apenas 22% menor do que a testemunha com adubação mineral (20 sc ha<sup>-1</sup>) e mais de quatro vezes maior do que a testemunha sem adubação (3,5 sc ha<sup>-1</sup>).

Nos mesmos estudos, a leucena elevou o teor de N nas folhas dos cafeeiros, e isso os tornaram menos sujeitos ao ataque de cercosporiose e à morte dos ramos produtivos (Chaves, 2001).

Em experimento conduzido em Rio Pomba, MG, feijão-de-porco ou lablab permaneceram consorciados em cafezal 'Oeiras' orgânico de 1 a 4 meses, a partir de janeiro de 2007 (Moreira et al., 2008b). Houve maior supressão da massa de plantas daninhas com o aumento do período de consorciação, e a supressão pelo feijão-de-porco [Y= 192,08 – 48,39X] foi maior do que pelo lablab [Y = 163,17 – 37,49X], enquanto a massa de plantas daninhas aumentou com o tempo nas parcelas testemunha [Y = 47,93 + 69,77X], em que Y = massa de matéria seca de plantas daninhas (g por amostra); X = meses. Nesse experimento, não houve relação entre o aumento da massa do adubo verde (Souza et al., 2008) e a produtividade ou o crescimento dos cafeeiros, conforme dados de Moreira et al. (2008a).

Em experimentos conduzidos em cafezais ('Catuaí', 3,3 m entre linhas) na Nicarágua, Bradshaw e Lanini (1995) avaliaram o estabelecimento das espécies e sua capacidade para suprimir plantas daninhas de *Arachis pintoii*, *D. ovalifolium* e *C. diffusa*. Os autores combinaram as referidas espécies com diferentes densidades de plantio e de intensidade de controle das plantas daninhas, e ainda avaliaram o possível efeito sobre a composição de espécies de plantas daninhas. Na avaliação do estabelecimento das espécies, os autores relataram que a velocidade de cobertura do solo seguiu a ordem *C. difusa* > *A. pintoii* > *D. ovalifolium*. Além disso, tanto o controle mais intensivo das plantas daninhas quanto o adensamento de plantio resultaram em maior crescimento dos adubos verdes. Em curto prazo, a supressão das plantas daninhas foi maior com *C. diffusa* do que com as leguminosas, embora esse efeito só tenha sido verificado após 90% de cobertura do solo.

Em experimento de longo prazo, os mesmos autores relataram que *A. pintoi* e *D. ovalifolium* controlaram as plantas daninhas melhor do que o manejo típico dos agricultores, e que nenhuma espécie ou grupo de plantas daninhas estava associado com alguma forma de manejo ou cultura de cobertura. Os autores informaram que os adubos verdes controlaram as plantas daninhas também no período seco, o que não foi possível com a aplicação dos herbicidas somente no período chuvoso. A redução da massa das plantas daninhas não estava relacionada com a porcentagem de cobertura do solo por *A. pintoi*, mas, sim, com a massa dessa leguminosa, o que sugere que o efeito de supressão se deu pela competição por água e nutrientes. Efeito diferente é relatado com *C. diffusa*, que apresentou relação entre sua cobertura do solo e a redução da massa das plantas daninhas, mas sem efeito de sua produção de massa, sugerindo que a supressão deveu-se mais à competição por luz. É importante ressaltar, contudo, que, assim como no Brasil, os agricultores avaliam *C. diffusa* como planta daninha, e que, no experimento, não foi avaliado o efeito das plantas daninhas ou dos adubos verdes sobre o crescimento e a produção dos cafeeiros. Assim, embora tenha sido detectado o efeito dos adubos verdes sobre a supressão de plantas daninhas, pode ocorrer efeito prejudicial sobre os cafeeiros pela própria presença e manejo dos mesmos adubos verdes, como já discutido anteriormente.

## Adubação verde em lavouras cafeeiras no estado de Minas Gerais

Na cultura do café, o cultivo de leguminosas intercaladas, no entorno, em faixas nos cordões de contorno (em virtude de abaixar o custo de transporte) pode contribuir como a principal fonte de N para a lavoura. Essa forma de cultivo também protege o solo contra a erosão, reduz o crescimento de plantas invasoras e possibilita a incorporação de matéria orgânica ao sistema. A prática da roçada e a cobertura morta sob o pé de café contribuem para aumentar a fertilidade do solo e a retenção de água.

A implantação dos adubos verdes deve ser feita antes do plantio do cafeeiro. Nas primeiras chuvas, em meados de setembro, após a incorporação do calcário, planta-se uma leguminosa produtora de maior massa verde ou espécies de outras famílias, como gramíneas; no caso de áreas cultivadas anteriormente com lavouras de café, planta-se uma leguminosa que evite a multiplicação ou reduza a população de nematoides, como *C. spectabilis*, que é roçada durante o florescimento. Com as mudas já prontas para serem levadas ao campo, o cafeeiro deve ser instalado no final de dezembro e início de janeiro, em pleno período chuvoso. Nas fases de formação e produção do cafeeiro, a adubação verde também pode ser feita. Em cada propriedade, pelo menos uma leguminosa é capaz de fornecer mais da metade da quantidade de N recomendada para o cafeeiro, para produtividade (em torno de 35 sc ha<sup>-1</sup>) (Lima et al., 2009b).

Entre as restrições à utilização dos adubos verdes, está a definição de doses, que depende das diferentes composições dos materiais e da velocidade com que os nutrientes serão disponibilizados no solo na forma mineral.

Para manter a fertilidade do solo e, conseqüentemente, a produção agrícola, devem-se reduzir ao máximo as perdas de nutrientes do sistema, que podem ocorrer via erosão, lixiviação e volatilização. Plantas com sistemas radiculares profundos, como árvores e leguminosas, são responsáveis também por reabsorver os nutrientes lixiviados que se encontram em camadas mais profundas do perfil do solo. A volatilização de N na forma de amônia será reduzida se a aplicação de adubos for feita sobre a superfície do solo, sob a saia do cafeeiro. Para isso, deve-se adicionar primeiramente o material com maior teor de N e, posteriormente, o material mais fibroso, a fim de diminuir a exposição do material rico em N. Não é recomendado incorporar o adubo, já que, como o maior volume das raízes se encontra em uma faixa superficial no solo, a incorporação vai danificá-las. Esse procedimento de adubação também contribui com a reabsorção de amônia pelo dossel foliar do café, o que reduz perdas por volatilização. Segundo Fenilli et al. (2007), em trabalho realizado com N<sup>15</sup> em cafeeiros, 43% do N volatilizado foi reabsorvido pelo dossel foliar.

Parte dos agricultores familiares da Zona da Mata mineira desenvolve sistemas agroecológicos de produção de café. Eles adotam práticas de conservação do solo e de preservação dos mananciais, e o controle fitossanitário de pragas e doenças é feito por meio de métodos alternativos de manejo ecológico. Um dos principais problemas encontrados está na baixa fertilidade dos solos da região, causada pelas características naturais do solo e pelo grau de degradação de algumas áreas. Com isso, houve uma grande demanda por parte dos agricultores de avaliação de materiais orgânicos disponíveis e de plantas espontâneas, como fontes de nutrientes na adubação e de sustentabilidade dos cafeeiros orgânicos. Nesse sentido, foi realizado um trabalho que abrangeu as seguintes etapas: reuniões com agricultores, discussão e estabelecimento de plano de trabalho; seleção dos locais para a execução dos trabalhos de campo; adaptação e desenvolvimento de metodologia de avaliação rápida e participativa de indicadores da qualidade do solo e de cafeeiros; seleção e caracterização de resíduos e materiais orgânicos de fácil acesso aos agricultores familiares; avaliação desses materiais para a adubação dos cafeeiros; avaliação da decomposição da matéria orgânica e da liberação de nutrientes em condições de campo; e determinações dos teores de nutrientes, polifenóis e lignina.

O uso de materiais orgânicos, de fácil obtenção nas propriedades ou de fácil aquisição no mercado – como esterco de curral, cama de galinha, composto orgânico comercial, composto orgânico caseiro, torta de mamona, mamoneira picada, bananeira picada, casca de café, plantas espontâneas, lablab e folhas de árvores encontradas em sistemas agroflorestais – é uma alternativa perfeitamente viável para a adubação orgânica dos cafeeiros. Esses materiais promovem o aumento da manta orgânica do solo, melhorando a retenção de umidade, a redução da densidade e a atividade microbiológica. Devem ser aplicados nos cafeeiros no início do período chuvoso (período de adubação) (Lima et al., 2009a). Possuem composição variada; portanto, devem seguir

processos padronizados de produção, que diminuem essa variação. O preparo desses materiais para a adubação dos cafeeiros deve ser feito de acordo com as recomendações para cada material, segundo as doses recomendadas.

Grande parte da demanda nutricional dos cafeeiros é suprida por meio desses materiais. Além dos macronutrientes, são capazes de disponibilizar micronutrientes ao cafeeiro. É importante observar se a recomendação é indicada para a matéria fresca ou para a matéria seca (Tabela 5). A cama de frango em especial, bem como o lablab e a mamoneira picada, são boas fontes de Ca e Mg para os sistemas. Essa informação é de grande valia para o manejo de sistemas orgânicos nos quais, muitas vezes, o pH está elevado e, mesmo assim, são necessárias aplicações desses elementos, sem adição de calcário, para atender às exigências das plantas. O produtor poderá usar qualquer material e, para isso, deve dar preferência àqueles de fácil obtenção e de menor custo, seja de transporte seja de aquisição. Os esterco devem ser curtidos, pois, se usados na forma crua, causam prejuízos às plantas.

**Tabela 5.** Estimativas das quantidades de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O e de calcário adicionados aos solos com a aplicação de diferentes materiais orgânicos na dose 5 t ha<sup>-1</sup> de matéria seca.

Material	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Calcário <sup>(1)</sup>
				(kg ha <sup>-1</sup> )
Bananeira picada	63	17	135	264
Cama de frango	143	167	187	805
Composto caseiro	65	25	80	329
Composto comercial	32	48	3	257
Plantas espontâneas	86	34	148	247
Esterco de gado	68	40	39	335
Lablab	101	57	144	504
Mamoneira picada	124	32	123	458
Palha de café	84	13	116	164
Sistemas agroflorestais	106	27	70	384
Torta de mamona	244	88	66	369

<sup>(1)</sup>Estimado pelos teores de Ca + Mg dos materiais.

Fonte: Adaptado de Lima et al. (2009a).

Algumas certificadoras proíbem o uso do esterco curado, e sua utilização é necessária em pilhas de compostagem, para a formação de compostos caseiros, que são permitidos pelas certificadoras.

Os adubos verdes representam também uma opção de suprimento, substituição ou complementação da adubação mineral nitrogenada. Assim, quantificar a fixação biológica de nitrogênio (FBN) no aporte de N ao solo e avaliar a contribuição do N derivado da FBN (N-FBN) nos



teores foliares do cafeeiro consorciado com leguminosas é de fundamental importância. Nesse sentido, avaliaram-se sete espécies de leguminosas: amendoim-forrageiro (*Arachis pintoi*), calopôgnio (*Calopogonium mucunoides*), crotalária (*Crotalaria spectabilis*), estilosantes (*Stylozanthus guyanensis*), feijão-guandu (*Cajanus cajan*), lablab (*Dolichus lablab*) e mucuna-anã (*Stizolobium deeringianum*), além de plantas espontâneas na entrelinha do cafeeiro, em quatro propriedades de agricultores familiares, localizadas na Zona da Mata de Minas Gerais (Mendonça et al., 2017). Na produção de massa seca, as leguminosas *Cajanus cajan* (3,01 Mg ha<sup>-1</sup>) e *C. spectabilis* (3,04 Mg ha<sup>-1</sup>) foram as mais promissoras. As leguminosas *C. mucunoides*, *S. guyanensis*, *C. cajan* e *D. lablab* apresentaram maior capacidade de FBN – de 46,1%, 45,9%, 44,4% e 42,9%, respectivamente. Entretanto, a leguminosa *C. cajan* aportou a maior quantidade de N ao solo (44,42 kg ha<sup>-1</sup>), enquanto *C. cajan*, *C. spectabilis* e *C. mucunoides* transferiram para o cafeeiro 55,8%, 48,8% e 48,1% do N da fixação biológica, respectivamente.

Essas mesmas espécies de leguminosas também foram avaliadas sob duas condições de cultivo, considerando duas faces de exposição solar: noroeste (maiores altitude, temperatura e incidência de luz) e sul (menores altitude, temperatura e incidência de luz), visto que a cultura do café é cultivada por longos períodos em diferentes faces de exposição solar, em decorrência da topografia montanhosa (Guimarães et al., 2016). Na comparação entre as duas faces de exposição solar, *C. mucunoides* e *D. lablab* apresentaram maior massa verde e seca e acúmulos nutricionais quando cultivados na face de exposição solar noroeste, enquanto, na face sul, esse fato foi observado para *S. guyanensis*. Constataram também que, na face de exposição solar noroeste, as leguminosas de ciclo perene *A. pintoi*, *C. mucunoides* e *S. guyanensis* apresentaram menor produção de massa verde e seca e menor acúmulo nutricional em comparação com as leguminosas anuais *C. spectabilis*, *D. lablab* e *S. deeringianum*. Com relação à produtividade dos cafeeiros, na face de exposição solar noroeste, os cafeeiros apresentaram maior produtividade quando adubados com as leguminosas *D. lablab* (41 sc ha<sup>-1</sup>), *S. deeringianum* (39 sc ha<sup>-1</sup>) e *A. pintoi* (38 sc ha<sup>-1</sup>); enquanto, na face de exposição solar sul, maior produtividade do café ocorreu com a utilização das leguminosas *S. deeringianum* (45 sc ha<sup>-1</sup>) e *C. cajan* (48 sc ha<sup>-1</sup>). Dessa forma, um correto manejo do cafeeiro e dos adubos verdes, observando-se as condições das espécies, do solo e do clima/face de exposição, pode contribuir para o aumento da produtividade do cafeeiro.

## Adubação verde em lavouras cafeeiras no estado do Paraná

Toda a cafeicultura do estado do Paraná está localizada na região norte do estado (acima do paralelo 24°S e entre 49° 40'W e 54°W). Nessa região, a cafeicultura encontrou boas condições climáticas e solos de média a alta fertilidade.

Na década de 1980, o Instituto Agrônomo do Paraná (Iapar) iniciou os primeiros trabalhos sobre a cobertura do solo com adubos verdes em lavouras cafeeiras. Os resultados desse trabalho têm sido promissores e vêm sendo publicados em congressos e simpósios sobre a cultura cafeeira no Brasil. Além disso, têm gerado publicações em boletins técnicos e circulares do próprio Iapar, bem como outras publicações, como artigos científicos.

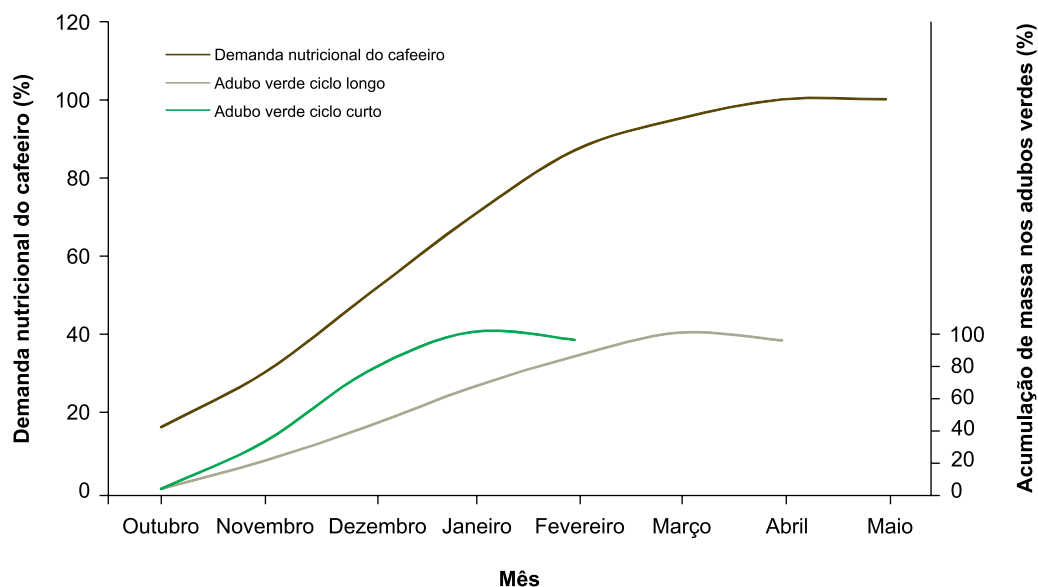
## Necessidades nutricionais

A lavoura cafeeira, por ser muito produtiva, é uma das mais exigentes em termos nutricionais. Pode extrair anualmente, dependendo da produção, quantidades muito elevadas de macronutrientes, particularmente N e K. Os demais, como Ca, Mg, P, S e micronutrientes, são absorvidos em quantidades menores. Para se ter uma ideia disso, 1 t de café em coco extrai do solo aproximadamente 22 kg de N e 30 kg de K (Chaves; Sarruge, 1984). Essa quantidade de nutrientes, que atende apenas à demanda dos frutos, deve ser somada às necessidades do resto da vegetação (para o crescimento de folhas, ramos, etc.). A adubação verde ganha importância nesse contexto, uma vez que é capaz de suprir parte da demanda do fertilizante nitrogenado, que é o mais caro. O N, por sua vez, pode ser fornecido à lavoura por meio de fontes mais baratas em relação aos fertilizantes nitrogenados minerais (ureia, sulfato de amônio, nitrato de amônio, etc.), como a adubação orgânica de origem vegetal com plantas de cobertura (adubos verdes).

## Estratégia para utilização da adubação verde

A Figura 6 mostra que não existe uma espécie de adubo verde que, sozinha, proteja o solo durante todo o período crítico de chuvas e libere os nutrientes na época que o cafeeiro mais necessita, indicando, pela curva de demanda de nutrientes, o período de maior necessidade nutricional do cafeeiro. As outras duas curvas mostram o ritmo de crescimento dos adubos verdes e as épocas de corte de uma leguminosa de ciclo curto e outra de ciclo longo, e estabelece uma ligação em relação à demanda nutricional, justamente para tentar equacionar, com alguma eficiência, essas duas questões fundamentais relacionadas às lavouras cafeeiras. O cafeeiro tem uma demanda nutricional maior no período que coincide com o máximo desenvolvimento vegetativo e com o crescimento vigoroso dos frutos, e essa demanda aumenta significativamente nos anos de grande produção.

As leguminosas de ciclo curto alcançam a máxima acumulação de biomassa e nutrientes na época que coincide com o crescimento dos frutos, e esse fato atende parte da demanda nutricional do cafeeiro (Figura 6). Depois do corte, toda massa vegetal deixada na superfície do solo rapidamente se decompõe em virtude da grande atividade biológica nessa época (umidade e temperatura elevadas) e da baixa relação C:N. Já as leguminosas de ciclo longo atingem o máximo acúmulo de biomassa e nutrientes no período que coincide com o menor desenvolvimento



**Figura 6.** Acúmulo de matéria seca em adubos verdes em relação à demanda nutricional do café.

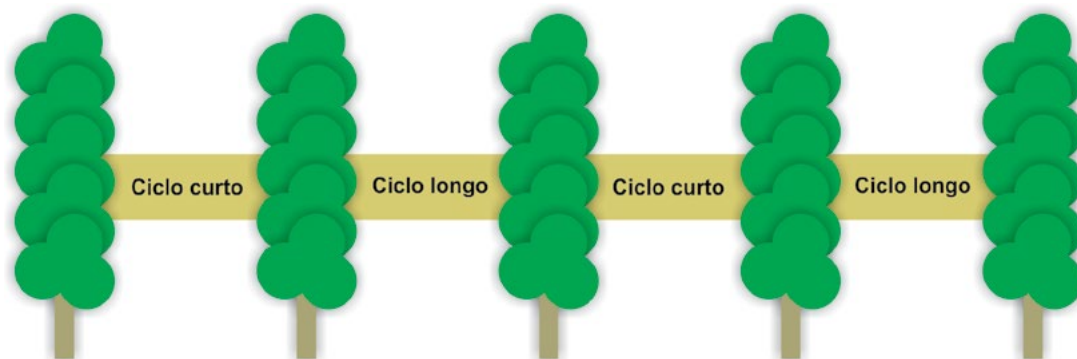
Fonte: Adaptado de Chaves (2005).

vegetativo e a menor exigência nutricional do cafeeiro; portanto, ao ser manejado nesse período, a biomassa, ao se decompor, exercerá pequena influência sobre a nutrição da planta e dos frutos. Dessa forma, fica entendido que as leguminosas de ciclo curto podem atender a parte da demanda nutricional do cafeeiro, porém descobre o solo em um período importante de chuvas, o que coloca em risco o sistema. As leguminosas de ciclo longo mantêm o solo coberto por um período mais longo, embora exerçam pouca influência sobre a nutrição do cafeeiro (Figura 6).

Para solucionar o problema, propõe-se o cultivo simultâneo de espécies de adubo verde de ciclo longo e ciclo curto em ruas alternadas da lavoura cafeeira (Figura 7). No ano seguinte, inverte-se a posição dos adubos verdes. A mucuna-cinza [*Mucuna pruriens* (L.) DC.] e a mucuna-anã são exemplos de adubos verdes de ciclos longo e curto, adequados para o atual modelo; outras espécies também o são. É indicado, a cada 2 anos, trocar as espécies. Por exemplo, utilizam-se por 2 anos as espécies mucuna-cinza e mucuna-anã conforme o critério de alternância proposto; nos 2 anos seguintes, poderão ser utilizadas as espécies amendoim-cavalo (*A. hipogaea*) de ciclo longo e *C. spectabilis* de ciclo curto, ou, ainda, *C. mucronata* de ciclo longo e caupi (*Vigna unguiculata*) de ciclo curto. Essa prática é importante porque evita o aparecimento de doenças nos adubos verdes pela repetição, ao longo dos anos, da mesma espécie, no mesmo local.

## Espécies indicadas para adubação verde no estado do Paraná

A adubação verde deve ser feita preferencialmente com leguminosas de verão, por causa do período de intensa precipitação pluviométrica e também pelo fato de manter, durante o inver-



**Figura 7.** Alternância de utilização de adubos verdes na entrelinha do cafeeiro.

Fonte: Adaptado de Chaves (2005).

no, o solo bem limpo de forma a absorver o máximo de energia do sol (visando ao aquecimento do solo e à redução de danos na eventualidade de ocorrência de geadas). De modo geral, essas plantas crescem bem em condições de baixa a média fertilidade do solo. Na escolha de plantas a serem utilizadas, deve-se dar preferência àquelas com crescimento rápido e boa cobertura de solo, que produzirão grande quantidade de biomassa. Além disso, dependendo dos objetivos, deve ser dada preferência às espécies de ciclo longo, que protegem o solo por maior período. Essa preferência, no Paraná, ocorre pelo fato de a cafeicultura no estado estar localizada nas áreas com relevos mais movimentados, predispondo o solo à erosão hídrica. As espécies utilizadas para adubação verde no Paraná são: amendoim-cavalo, mucuna-cinza, mucuna-anã, *C. mucronata*, *C. spectabilis*, leucena, lablab, caupi e guandu.

## Modo e épocas de semeadura de adubos verdes

Os adubos verdes são semeados no período de setembro a dezembro, época de maior incidência de chuvas. O número de linhas do adubo verde depende fundamentalmente do espaço livre na entrelinha do cafeeiro e do hábito de crescimento do adubo verde. Em geral, utilizam-se de 50% a 60% do espaço livre, ou seja, no caso de 1,6 m de espaço livre, é possível semear, por exemplo, duas linhas de *C. spectabilis* espaçadas em 0,4 m. As espécies de crescimento rasteiro são semeadas com uma ou, no máximo, duas linhas por rua de cafeeiro. A Tabela 6 detalha melhor a questão e mostra a distância entre as linhas do adubo verde, o espaço a ser observado na linha, o número de sementes por metro (densidade); e, na última coluna, à esquerda, o número de linhas, de adubo verde, indicadas por rua de cafeeiro, com base no espaço livre existente.

A forma de utilização dos adubos verdes nos diferentes sistemas de cultivo do cafeeiro obedece a uma regra simples e eficiente: lavouras tradicionais (espaçamentos largos) de café recebem preferentemente adubos verdes de crescimento rasteiro; e lavouras adensadas, adubos verdes de crescimento ereto ou semiereto, em razão do menor espaço para crescerem.

**Tabela 6.** Recomendações para semeadura de adubos verdes na lavoura cafeeira.

Adubo verde	Espaço entre linhas (m)	Espaço na linha (m)	Número de sementes (m <sup>-1</sup> )	Número de linhas <sup>(1)</sup>
Amendoim-cavalo	1,0	0,20	10	1 a 2
Mucuna-cinza	2,0	0,20	10	1
Mucuna-anã	0,5	0,20	10	2 a 4
<i>Crotalaria mucronata</i>	0,7	0,05	40	1 a 3
<i>C. spectabilis</i>	0,4 a 0,5	0,05	40	2 a 4
Leucena	1,0	0,20	10	1 a 2
Lablab	2,0	0,20	10	1
Guandu	1,0	0,10	20	1 a 2

<sup>(1)</sup>O número de linhas pode ser alterado de acordo com o espaço livre entre as linhas do cafeeiro.

Fonte: Adaptado de Chaves (2002).

A Tabela 7 mostra várias alternativas de utilização das espécies de adubos verdes conforme o sistema de cultivo do cafeeiro.

**Tabela 7.** Hábitos de crescimento e época de utilização de adubos verdes em diferentes sistemas de cultivo do cafeeiro.

Sistema de plantio do cafeeiro	Hábito de crescimento do adubo verde	Quando utilizar adubos verdes
Tradicional →	Rasteiro e semiereto →	Todos os anos
Medianamente adensado →	Rasteiro, semiereto/ereto →	2 ou 3 primeiros anos
Adensado →	Semiereto e ereto →	2 primeiros anos
Superadensado →	Ereto →	Só no primeiro ano

Fonte: Adaptado de Chaves (2005).

## Manejo dos adubos verdes

A semeadura dos adubos verdes deve ser feita em solo limpo, a fim de que a planta domine o meio e não seja afetada pelas plantas invasoras. Se houver infestação, será preciso capinar. As leguminosas de crescimento ereto não demandam certas práticas como poda, desbastes, etc. Os adubos verdes com hábito de crescimento indeterminado, como a mucuna-cinza, a mucuna-preta e o lablab, devem ter seus ramos laterais podados, quando atingirem o cafeeiro.

O manejo (corte) dos adubos verdes de ciclo anual deve ser realizado durante o florescimento pleno. Pode ser feito manualmente, com enxada, quando a área for pequena, ou por meio de roçadeira ou rolo-faca. A massa produzida geralmente permanece na superfície do solo, como uma camada (*mulching*) protetora, até decompor-se totalmente. Em relação à leucena, que é uma leguminosa

perene e apresenta crescimento semiereto, seu cultivo deve ser feito somente nas entrelinhas de cafeeiros cultivados no sistema tradicional. A leucena aceita muito bem a poda e recupera-se prontamente depois dessa prática. São feitos três ou quatro cortes por ano, sempre mantendo a leucena mais baixa do que o cafeeiro. Toda a biomassa, a exemplo dos demais adubos verdes, deve ser distribuída superficialmente, na entrelinha. Para facilitar a colheita do café, é necessário fazer, antes da colheita, a poda bem baixa da leucena e juntar toda a biomassa no centro da entrelinha.

## Considerações finais

Os adubos verdes em cafezais podem melhorar as características físicas, químicas e biológicas do solo, elevar o teor de nutrientes nas folhas do cafeeiro, controlar plantas daninhas e nematoides, incorporar N-atmosférico, aumentar as micorrizações, assim como concentrar nutrientes nas camadas mais superficiais do solo. Contudo, tais processos podem ou não resultar em efeitos sobre a produção e o crescimento dos cafeeiros.

A capacidade de fornecimento de N-FBN e de outros nutrientes e o controle de ervas dependem da produção de massa dos adubos verdes. Contudo, se a massa acumulada pelos adubos verdes for muito elevada, haverá maior risco de competição com os cafeeiros.

O florescimento provavelmente não é um bom indicador de data de corte ou poda dos adubos verdes. As espécies florescem em épocas diferentes e depois de distintos acúmulos de massa. Esses processos ocorrerão ainda em diferentes estádios fenológicos e de demanda por recursos dos cafeeiros, sob diferentes condições climáticas. Portanto, não é de se admirar a gama de resultados alcançados em termos de efeitos dos adubos verdes sobre os cafezais. Deve haver o máximo de sincronia entre a mineralização de nutrientes dos adubos verdes e a demanda nutricional dos cafeeiros. Atente-se que a avaliação, isoladamente, dos adubos verdes ou de alguns aspectos do ambiente (por exemplo, dos solos) pode levar a conclusões equivocadas sobre o sistema.

A massa proveniente da poda de algumas espécies leguminosas arbóreas também é usada como adubo verde. Nesses sistemas, o efeito da deposição do material vegetal fresco nos cafezais se dá de forma simultânea ao de outros fatores influenciados pela presença das árvores, tais como o sombreamento, o aumento da umidade relativa e as alterações no solo resultantes do sistema radicular. Tais fatores também influenciam os resultados finais do consórcio, motivo por que devem ser, tanto quanto possível, monitorados nas pesquisas.

A implantação e o manejo da adubação verde em cafezais devem ser desenvolvidos sob a perspectiva de interação entre culturas em consórcio, em que a assincronia de crescimento e de acúmulo de massa, os requerimentos diferenciais de recursos, a tolerância às limitações ambientais, bem como as modificações que causam no agroecossistema, constituam os aspectos básicos que determinarão os benefícios (ou prejuízos) decorrentes do emprego de adubos verdes. Assim, é necessário procurar entender os resultados tomando por base certos fatores, como a produção de massa das leguminosas, o período de consorciação, a época e o tipo de manejo, o arranjo

espacial no campo, a qualidade da massa da leguminosa, a dinâmica de liberação de nutrientes, o regime pluviométrico e os patamares de produtividade dos cafezais em estudo.

Finalmente, cabe ressaltar a importância da concepção e da condução de pesquisas junto com os agricultores. As situações reais vivenciadas por eles moldam o que pode e deve ser avaliado, e isso ajuda a eliminar uma gama de possibilidades teóricas. Paralelamente, a pesquisa beneficia-se da grande capacidade de observação e síntese dos agricultores, o que frequentemente mostra novos aspectos, rumos e limitações previamente não concebidos, os quais, por sua vez, ajudam bastante a disseminar as práticas e os processos.

## Referências

- ALVARENGA, A. P.; SANTOS, I. C.; RIBEIRO, M. F.; MELO, A. V. de; SOUZA, L. V.; SANTOS, L. D. T. Ocorrência de pragas e doenças em café cultivado sob sistema orgânico, em função do tipo de cobertura do solo. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 3., 2003, Porto Seguro. **Anais...** Brasília, DF: Embrapa Café, 2003. p. 429.
- ARAÚJO, J. B. S.; BALBINO, J. W. de S. Manejo de guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.) sob dois tipos de poda em lavoura cafeeira. **Coffee Science**, v. 2, n. 1, p. 61-68, jan./jun. 2007.
- BARBOSA, J. P. R. A. D.; SOARES, A. M.; ALVARENGA, M. I. N.; ALVES, J. D.; GARDIN, J. P. P. Crescimento de cafeeiros (*Coffea arabica* L.) associado à deposição no solo da fitomassa de leguminosas arbóreas no Sul de Minas Gerais. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 4., 2005, Londrina. **Anais...** Brasília, DF: Embrapa Café, 2005. 6 p. 1 CD-ROM.
- BERGO, L. C.; PACHECO, E. P.; MENDONÇA, H. A.; MARINHO, J. T. S. Avaliação de espécies leguminosas na formação de cafezais no segmento da agricultura familiar no Acre. **Acta Amazônica**, v. 36, n. 1, p. 19-24, 2006.
- BRADSHAW, L.; LANINI, W. T. Use of perennial cover crops to suppress weeds in Nicaraguan coffee orchards. **International Journal of Pest Management**, v. 41, n. 4, p. 185-194, 1995.
- CHAVES, J. C. D. Contribuições adicionais da adubação verde para a lavoura cafeeira. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 2., 2001, Vitória. **Resumos...** Brasília, DF: Embrapa Café, 2001. v. 1, p. 164-165.
- CHAVES, J. C. D. Efeito de adubações mineral, orgânica e verde sobre a fertilidade do solo, nutrição e produção do cafeeiro. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 1., 2000, Poços de Caldas. **Resumos expandidos...** Brasília, DF: Embrapa Café: Minasplan, 2000. v. 2, p. 1389-1392.
- CHAVES, J. C. D. **Manejo do solo:** adubação e calagem, antes e após a implantação da lavoura cafeeira. Londrina: Iapar, 2002. 36 p. (IAPAR. Circular, 120).
- CHAVES, J. C. D. Uso racional de plantas de cobertura em lavouras cafeeiras. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 4., 2005, Londrina. **Anais...** Brasília, DF: Embrapa Café, 2005. 1 CD-ROM.
- CHAVES, J. C. D.; SARRUGE, R. J. Alterações nas concentrações de macronutrientes nos frutos e folhas do cafeeiro durante um ciclo produtivo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 19, n. 4, p. 427-432, abr. 1984.
- COELHO, R. A.; SILVA, G. T. A.; RICCI, M. S. F.; RESENDE, A. S. Efeito de leguminosas arbóreas na nutrição nitrogenada do cafeeiro (*Coffea canephora* Pierre ex Froehn) consorciado com bananeira em sistema orgânico de produção. **Coffee Science**, v. 1, n. 1, p. 21-27, abr./jun. 2006.
- COLOZZI FILHO, A.; CARDOSO, E. J. B. N. Detecção de fungos micorrízicos arbusculares em raízes de cafeeiro e de crotalaria cultivada na entrelinha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 10, p. 2033-2042, out. 2000.
- CUNHA, R. L. da; REIS, T. H. P.; CARVALHO, V. L. de; ALVARENGA, M. I. N.; ALCÂNTARA, E. N. de. Viabilidade técnica da consorciação de aléias de leguminosas arbóreas com cafeeiros no Sul de Minas Gerais. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 6., 2009, Vitória. **Inovação científica, competitividade e mudanças climáticas:** anais. Vitória: Consórcio Pesquisa Café, 2009. 1 CD-ROM.
- FENILLI, T. A. B.; REICHARDT, K.; TRIVELIN, P. C. O. Volatilization of ammonia derived from fertilizer and its re-absorption by coffee (*Coffea arabica* L.) plants. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 38, n. 13, p. 1741-1751, 2007.
- GROSSMAN, J. M.; SHEAFFER, C.; WYSE, D.; BUCCIARELLI, B.; VANCE, C.; GRAHAM, P. H. An assessment of nodulation and nitrogen fixation in inoculated *Inga oerstediana*, a nitrogen-fixing tree shading organically grown coffee in Chiapas, Mexico. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 38, n. 4, p. 769-784, 2006.



GUIMARÃES, G. P.; LIMA, P. C.; MOURA, W. M.; VALENTE, R. F.; GUARÇONI, A. M.; MENDONÇA, E. S. Productivity of coffee and legumes intercropped under different sun exposure face. **Australian Journal of Crop Science**, v. 10, n. 4, p. 513-519, 2016.

GUNARATNE, W. D. L.; HEENKENDA, A. P. Biological N<sub>2</sub> fixing capacity of *Gliricidia sepium* and *Calliandra calothyrsus* and impact of alleys of them and reference species on performance of coffee. In: WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 17., 2002, Bangkok. **Proceedings...** Bangkok: Soil Conservation Society of Thailand, 2002a. p. 731.

GUNARATNE, W. D. L.; HEENKENDA, A. P. Green manure (*Gliricidia sepium*) effects on growth and yield of coffee and quantification of nitrogen recovery using 15N dilution. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM NUCLEAR TECHNIQUES IN INTEGRATED PLANT NUTRIENT, WATER AND SOIL MANAGEMENT, 2000, Vienna. **Conference paper...** Vienna: IAEA, 2002b. p. 26-31.

HERGOUALC'H, K.; SKIBA, U.; HARMAND, J. M.; HENAU, C. Fluxes of greenhouse gases from Andosols under coffee in monoculture or shaded by *Inga densiflora* in Costa Rica. **Biogeochemistry**, v. 89, n. 3, p. 329-345, 2008.

KIMEMIA, J. K.; CHWEYA, J. A.; NYABUNDI, J. O. Green manure application to coffee plants after establishment. I: Green manure decomposition and nitrogen mineralization. **Kenya Coffee**, v. 66, n. 772, p. 3046-3051, 2001.

LIMA, P. C.; MOURA, W. de M.; MENDONÇA, E. de S.; MANABE, P. M. S.; SANTOS, J. dos; REIGADO, F. R.; REIS, I. L. Produção de biomassa, conteúdo e mineralização de nutrientes de leguminosas e plantas espontâneas para adubação verde de cafezais sob cultivo orgânico. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 6., 2009, Vitória. **Inovação científica, competitividade e mudanças climática: anais**. Vitória: Consórcio Pesquisa Café, 2009b. 1 CD-ROM.

LIMA, P. C.; MOURA, W. M.; GARCIA JÚNIOR, E.; MENDONÇA, E. S.; MANABE, P. M. S.; SANTOS, J.; REIS, I. L.; REIGADO, F. R. Avaliação de materiais orgânicos e plantas espontâneas na adubação e na sustentabilidade de agroecossistemas cafeeiros orgânicos e agroecológicos em comunidades de agricultores familiares. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 6., 2009, Vitória. **Inovação científica, competitividade e mudanças climáticas: anais**. Vitória: Consórcio Pesquisa Café, 2009a. 1 CD-ROM.

MALTA, M. R.; CHAGAS, S. J. R.; PEREIRA, G. F. A.; ROSA, S. D. V. F. Produtividade de lavouras cafeeiras em conversão para o sistema de produção orgânico. In: SIMPÓSIO DE PESQUISAS DE CAFÉS DO BRASIL, 5., 2007, Águas de Lindóia. **Anais...** Brasília, DF: Embrapa Café, 2007. 1 CD-ROM.

MATOS, E. da S.; MENDONÇA, E. de S.; LIMA, P. C. de; COELHO, M. S.; MATEUS, R. F.; CARDOSO, I. M. Green manure in coffee systems in the Region of Zona da Mata, Minas Gerais: characteristics and kinetics of carbon and nitrogen mineralization. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 5, p. 2027-2035, set./out. 2008. DOI: [10.1590/S0100-06832008000500024](https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000500024).

MENDONÇA, E. S.; LIMA, P. C.; GUIMARÃES, G. P.; MOURA, W. M.; ANDRADE, F. V. Biological Nitrogen Fixation by Legumes and N Uptake by Coffee Plants. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 41, n. 16, jan. 2017. DOI: [10.1590/18069657rbcS20160178](https://doi.org/10.1590/18069657rbcS20160178).

MORAIS, H.; CARAMORI, P. H.; KOGUISHI, M. S.; ANDRADE, G. A.; SOUZA, F. S. Microclima de café cultivar IAPAR 59 consorciado com gandu (*Cajanus cajan*) no Norte do Paraná. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 5., 2007, Águas de Lindóia. **Resumos...** Brasília, DF: Embrapa Café, 2007. 1 CD-ROM.

MORAIS, H.; MARUR, C. J.; CARAMORI, P. H.; RIBEIRO, A. M. A.; GOMES, J. C. Características fisiológicas e de crescimento de cafeeiro sombreado com gandu e cultivado a pleno sol. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 10, p. 1131-1137, out. 2003.

MOREIRA, G. M.; BARRELLA, T. P.; SOUZA, F. L. A.; SANTOS, R. H. S.; PEREIRA, L. C.; GOULART, P. L.; FONTANÉTTI, A. Impacto de adubos verdes sobre o desenvolvimento vegetativo e produção de café (*Coffea arabica*) cultivado no sistema orgânico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 34., 2008, Caxambu. **Trabalhos apresentados...** Rio de Janeiro: Mapa: Procafé, 2008a. p. 162-163.

MOREIRA, G. M.; SOUZA, F. L. A.; BARRELLA, T. P.; SANTOS, R. H. S.; PEREIRA, L. C.; GOULART, L.; FONTANÉTTI, A. Efeito da espécie e época de manejo de leguminosas sobre ervas em cafezais (*Coffea arabica*) cultivado no sistema orgânico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 34., 2008, Caxambu. **Trabalhos apresentados...** Rio de Janeiro: Mapa: Procafé, 2008b. p. 165-166.

MOURA, W. de M.; LIMA, P. C. de; SOUZA, H. N. de; CARDOSO, I. M.; MENDONÇA, E. de S.; PERTEL, J. Pesquisas em sistemas agroecológicos e orgânicos da cafeicultura familiar da Zona da Mata Mineira. **Informe Agropecuário**, v. 26, p. 46-75, 2005. Edição especial.

MULETA, D.; ASSEFA, F.; NEMOMISSA, S.; GRANHALL, U. Distribution of arbuscular mycorrhizal fungi spores in soils of smallholder agroforestry and monocultural coffee systems in southwestern Ethiopia. **Biology and Fertility of Soils**, v. 44, n. 4, p. 653-659, Mar. 2008.

NGORAN, K.; NGUESSAN, N. J.; KONAN, A.; YORO, G. A new approach to nitrogen nutrition of robusta coffee in Cote d'Ivoire. In: NUCLEAR TECHNIQUES IN INTEGRATED PLANT NUTRIENT, WATER AND SOIL MANAGEMENT INTERNATIONAL SYMPOSIUM, 2000, Vienna. **Proceedings...** Vienna: IAEA, 2002. p. 408-409. (C&S papers series, n. 11/P).

PARTELLI, F. L.; VIEIRA, H. D.; ESPINDOLA, J. A. A.; URQUIAGA, S.; FERNANDES, E. P.; PACHECO, L. P. Fixação biológica de nitrogênio por plantas de cobertura cultivadas na entre-linha de cafeeiro Conilon orgânico. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA

- DOS CAFÉS DO BRASIL, 6., 2009, Vitória. **Inovação científica, competitividade e mudanças climáticas**: anais. Vitória: Consórcio Pesquisa Café, 2009. 1 CD-ROM.
- PAULO, E. M.; BERTON, R. S.; CAVICHIOLI, J. C.; BULISANI, E. A.; KASAI, F. S. Produtividade do café Apotã em consórcio com leguminosas na região da Alta Paulista. **Bragantia**, v. 60, n. 3, p. 195-199, 2001.
- PAULO, E. M.; BERTON, R. S.; CAVICHIOLI, J. C.; BULISANI, E. A.; KASAI, F. S. Produtividade do cafeeiro Mundo Novo enxertado e submetido à adubação verde antes e após recepa da lavoura. **Bragantia**, v. 65, n. 1, p. 115-120, jan./mar. 2006.
- PEETERS, L. Y. K.; SOTO-PINTO, L.; PERALES, H.; MONTOYA, G.; ISHIKI, M. Coffee production, timber, and firewood in traditional and *Inga*-shaded plantations in Southern Mexico. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 95, n. 2/3, p. 481-493, May 2003. DOI: [10.1016/S0167-8809\(02\)00204-9](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(02)00204-9).
- PONTES, T. M.; SANTOS, R. H. S.; JARAMILLO, C.; FARDIN, M. P.; SARMENTO, F.; GUSMÃO, L. A. Decomposição e liberação de nutrientes por resíduos de leguminosas para adubação verde de cafeeiro na Zona da Mata – MG. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROECOLOGIA, 4., 2006, Belo Horizonte. **Construindo horizontes sustentáveis**: anais. Belo Horizonte: Emater-MG, 2006. 1 CD-ROM.
- PREZOTTI, L. C.; ROCHA, A. C. da. Produtividade de café arábica em função da adubação mineral e orgânica em consórcio com calopogônio. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 4., 2005, Londrina. **Anais...** Brasília, DF: Embrapa Café, 2005. 1 CD-ROM.
- REYES-HERNANDEZ, A.; MANES-SUAREZ, A. B.; AGUILA-PADRON, Y.; CAIRO-CAIRO, P.; MACHADO DE ARMAS, J.; QUINONES- RAMOS, R. Efectos de los distintos sistemas de producción cafetaleros sobre las propiedades de un suelo ferralítico rojo de la localidad de Topes de Collantes. **Centro Agrícola**, v. 29, n. 2, p. 94-96, 2002.
- RICCI, M. dos S. F.; ALVES, B. J. R.; AQUIAR, L. A.; MANOEL, R. M.; SEGRES, J. H.; OLIVEIRA, F. F. de; MIRANDA, S. C. de. **Influência da adubação verde sobre o crescimento, estado nutricional e produtividade do café (*Coffea arabica*) cultivado no sistema orgânico**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2002. 29 p. (Embrapa Agrobiologia. Documentos, 153).
- RICCI, M. dos S. F.; COSTA, J. R.; PINTO, A. N.; SANTOS, V. L da S. Cultivo orgânico de cultivares de café a pleno sol e sombreado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 4, p. 569-575, abr. 2006.
- RICCI, M. F.; MENEZES, M. B. Desenvolvimento do feijão-de-porco plantado para adubação verde do cafeeiro cultivado sob manejo orgânico e arborizado. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 6., 2009, Vitória. **Inovação científica, competitividade e mudanças climáticas**: anais. Vitória: Consórcio Pesquisa Café, 2009. 1 CD-ROM.
- RICCI, M. S. F.; AGUIAR, L. A. Influência da adubação verde sobre o crescimento, produtividade e teor de nitrogênio no tecido foliar do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) sob manejo orgânico. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 3., 2003, Porto Seguro. **Anais...** Brasília, DF: Embrapa Café, 2003. 1 CD-ROM.
- RICCI, M. S. F.; ALVES, B. J. R.; MIRANDA, S. C.; OLIVEIRA, F. F. Growth rate and nutritional status of an organic coffee cropping system. **Scientia Agrícola**, v. 62, n. 2, p. 138-144, 2005.
- ROMERO, A. C.; JIMENEZ, F.; MUSCHLER, R. Crescimento de almácido de café con abono tipo bocashi y abono verde de *E. poeppigiana*. In: SIMPOSIO LATINOAMERICANO DE CAFICULTURA, 19., 2000, San José. **Anais...** San José: Icafe: Promecafe, 2000. p. 173-179.
- SIQUEIRA, R. G.; LIMA, C. T. de A.; VARGAS, T. de O.; PEDROSA, A. W.; OLIVEIRA, C. S. de. Influência e efeito de espécies e manejo de adubos verdes no crescimento inicial do café. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 6., 2009, Vitória. **Inovação científica, competitividade e mudanças climáticas**: anais. Vitória: Consórcio Pesquisa Café, 2009. 1 CD-ROM.
- SOUZA, F. L. A.; BARRELLA, T. P.; MOREIRA, G. M.; SANTOS, R. H. S.; PEREIRA, L. C.; GOULART, P. L.; FONTANÉTTI, A. Acúmulo de massa e decomposição de adubos verdes nas entrelinhas de café (*Coffea arabica*) cultivado no sistema orgânico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 34., 2008, Caxambu. **Trabalhos apresentados...** Rio de Janeiro: Mapa: Procafé, 2008. p. 164-165.
- THEODORO, V. C. A.; MENDES, A. N. G.; GUIMARÃES, R. J. Resposta de lavouras cafeeiras em transição agroecológica a diferentes manejos do solo. **Coffee Science**, v. 4, n. 1, p. 56-66, 2009.

## Capítulo 20

# Adubação verde no cultivo de hortaliças

---

José Guilherme Marinho Guerra  
José Antonio Azevedo Espindola  
Ednaldo da Silva Araújo  
Marco Antônio de Almeida Leal  
Antônio Carlos de Souza Abboud  
Dejair Lopes de Almeida  
Hélcio De-Polli  
Maria Cristina Prata Neves  
Raul de Lucena Duarte Ribeiro



## Introdução

A introdução da técnica de adubação verde no cultivo de hortaliças pode proporcionar expressivos benefícios relacionados tanto à melhoria das características do solo quanto à nutrição e ao desempenho agrônomo dos cultivos comerciais. Infelizmente, essa técnica é pouco utilizada pelas propriedades agrícolas dedicadas ao cultivo de hortaliças.

Essa restrição decorre de vários motivos. Uma delas é a dificuldade que o agricultor encontra em compatibilizar, no tempo e no espaço, o emprego de adubos verdes com cultivos comerciais. Isso é particularmente evidente em unidades agrícolas de gestão familiar, sobretudo nas dedicadas ao cultivo de hortaliças. Essas unidades, que normalmente apresentam dimensões territoriais reduzidas, praticam a exploração intensiva durante todo o ano, com graus variáveis de diversificação, o que realmente dificulta a introdução da adubação verde.

Em trabalhos conduzidos junto com agricultores, foi possível constatar a satisfação pela superação das dificuldades supracitadas no que diz respeito à capacidade de cobertura e proteção do solo, proporcionada pelos adubos verdes, e de promoção da produtividade das hortaliças (Guerra et al., 2007). Essa constatação deve ser entendida como elemento motivador para a ampliação dos estudos e para a disseminação da adubação verde por agentes de desenvolvimento rural. Nesse sentido, o emprego de métodos de experimentação participativa, por parte de agricultores, extensionistas e pesquisadores, apresenta maior probabilidade de sucesso na apropriação dessa técnica.

A adubação verde, mesmo quando não proporciona ganhos imediatos de produtividade às hortaliças, acarreta benefícios importantes ligados ao manejo das lavouras, tais como: proteção do solo contra a erosão hídrica; adição de matéria orgânica, por meio do carbono (C) da biomassa vegetal produzida in situ e da ciclagem de nutrientes; atenuação de efeitos relacionados a variáveis climáticas; redução da infestação de populações de ervas de ocorrência espontânea; fonte de recursos alimentares e abrigo para inimigos naturais de pragas; controle de fitomoléstias de solo; e manutenção da diversidade funcional nas unidades de produção.

As espécies para adubação verde comumente sugeridas para áreas de cultivo de hortaliças, também chamadas de “plantas de cobertura de solo”, são predominantemente de ciclo anual; todavia, espécies perenes também podem ser utilizadas para esse fim. Dessa forma, o solo é mantido coberto ao longo de alguns meses ou durante todo o ano. Geralmente se utilizam espécies de alto potencial de produção de biomassa, que apresentem rusticidade e sejam manejadas em sistema de rotação ou em consórcio com as hortaliças. Depois da roçada dos adubos verdes, a palhada é incorporada ou mantida na superfície do solo (Espindola et al., 2005).

Entre as várias espécies que podem servir como adubos verdes, merecem destaque aquelas da família das leguminosas (Neves et al., 2008). Além de proporcionarem benefícios similares aos obtidos com espécies de outras famílias botânicas, as leguminosas são capazes de formar associação simbiótica com bactérias fixadoras de nitrogênio (N) atmosférico, conhecidas genericamente como “rizóbios”. Como resultado da simbiose, quantidades expressivas de N, nutriente essencial às plantas cultivadas, tornam-se disponíveis após a roçada dos adubos verdes (Guerra et al., 2004). As leguminosas mais comumente disseminadas com essa finalidade, nas condições de clima tropical, são espécies anuais de crotalárias (*Crotalaria* spp.), mucunas (*Mucuna* spp.), feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*), além da espécie semiperene guandu (*Cajanus cajan*) e da perene amendoim-forrageiro (*Arachis pintoi*).

Os resultados discutidos neste capítulo referem-se a trabalhos de pesquisa de caráter tecnológico, que buscam oferecer opções técnicas para subsidiar agentes de desenvolvimento e agricultores na tomada de decisão sobre quando e como fazer uso da adubação verde. Para tanto, são abordadas distintas modalidades e estratégias de manejo de plantas de cobertura do solo, enfatizando-se arranjos populacionais, rotações e consórcios, faixas intercalares, coberturas mortas e compostagem.

## Arranjos e densidades populacionais de adubos verdes

O desempenho de leguminosas empregadas como adubos verdes pode ser afetado pela densidade e pelo espaçamento de plantio adotado para cada espécie. Isso tem implicações tanto nos aspectos quantitativos quanto qualitativos da produção da biomassa aérea e da acumulação de nutrientes, o que acarreta reflexos na velocidade da decomposição da palhada das plantas de cobertura de solo.

Moreira et al. (2003) demonstraram que o aumento da densidade de plantas de guandu nas linhas de semeadura e/ou a diminuição do espaçamento entre essas linhas acarretam a redução do diâmetro do caule e da produção de biomassa por planta. Isso resulta da competição por

água, luz e nutrientes entre as plantas. Contudo, a produção total de biomassa seca por hectare não sofre influência do adensamento populacional, o que evidencia um efeito compensatório por parte da leguminosa. Além disso, o teor de N na parte aérea das plantas, derivado do processo de fixação biológica, pouco varia em relação ao número de plantas por unidade de área, havendo, até mesmo, certa tendência a maior acumulação do nutriente (Tabela 1).

**Tabela 1.** Produtividade de biomassa aérea, teores de nitrogênio (N) total e derivado da fixação biológica de nitrogênio (FBN) em planta de guandu (*Cajanus cajan*), cultivadas em diferentes densidades populacionais, em Seropédica, RJ.

Densidade (plantas por m)	Matéria fresca (t ha <sup>-1</sup> )	Matéria seca	N-total (kg ha <sup>-1</sup> )	N-FBN
2	20,46a	7,93a	220,56a	113,71a
4	18,67a	7,45a	198,36a	117,84a
8	19,00a	7,65a	202,08a	125,97a
16	21,38a	8,10a	217,83a	134,86a

Médias seguidas de letras iguais não diferem, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Fonte: Adaptado de Moreira et al. (2003).

Resultado oposto se dá com *Crotalaria juncea*, em que a produção de biomassa aérea foi maximizada com o aumento da densidade de plantas e a redução do espaçamento entre sulcos de plantio, tanto no período de outono/inverno quanto de primavera/verão (Pereira et al., 2005). Segundo os autores, o maior acúmulo de biomassa seca no período de outono/inverno (6,8 t ha<sup>-1</sup>) é alcançado com 30 cm entre os sulcos de semeadura e estande final de 40 plantas por metro linear; no período de primavera/verão, a máxima produção de biomassa aérea seca (10,7 t ha<sup>-1</sup>) corresponde a linhas também espaçadas de 30 cm, porém, com 30 plantas por metro linear, nas condições da Baixada Fluminense, onde a ocorrência de chuvas se estende até maio e a temperatura é amena no inverno. Em relação à produtividade de sementes, Pereira et al. (2005) relatam que o desempenho de *C. juncea* é superior no período de outono/inverno, quando comparado ao período de primavera/verão.

Interessante destacar que guandu e *C. juncea* apresentam padrões de comportamento distintos, provavelmente em razão das alterações morfológicas da parte aérea. Enquanto guandu tem caule ramificado, *C. juncea* tem caule ereto, sem ramificações importantes. Assim, quando a competição interespecífica é alta em decorrência do aumento da densidade de plantas, o guandu apresenta redução no número e na biomassa de ramos laterais, e assume comportamento ereto.

O aumento da densidade populacional de guandu, embora não resulte em ganho de rendimento de biomassa, tem profundas implicações na morfologia da parte aérea, notadamente na diminuição do diâmetro do caule. Isso implica a presença de caules tenros, o que facilitaria o manejo da biomassa e a disponibilidade de nutrientes após a roçada e posterior decomposição das



plantas (Moreira, 2003). Por sua vez, *C. juncea* sofre pequena alteração da arquitetura por causa de modificações do espaçamento entre sulcos de plantio e da densidade de plantas (Pereira, 2004).

Dessa forma, os resultados apresentados endossam a importância do desenvolvimento de estudos agronômicos que envolvam aspectos simples, como os arranjos populacionais relacionados ao manejo dessas plantas de cobertura, o que beneficiaria as hortaliças. Além disso, é necessário conhecer o aporte de matéria orgânica e a ciclagem de nutrientes, bem como os efeitos sobre o solo, na forma de proteção contra a erosão hídrica e a infestação de plantas espontâneas.

## Modalidades de manejo da adubação verde no cultivo de hortaliças

Considerando-se as particularidades de cada sistema agrícola, a adubação verde em hortaliças pode ser feita de diferentes formas, entre as quais se destacam: as rotações de culturas, os consórcios, os cultivos em faixas intercalares, as leguminosas perenes para cobertura do solo, as coberturas mortas (palhadas) e a aplicação de compostos orgânicos com resíduos de leguminosas.

### Rotações de culturas

Nesse caso, o adubo verde é roçado e incorporado ou mantido em cobertura na superfície do solo, antecedendo o plantio da hortaliça em meio à palhada (Figura 1). O cultivo do adubo verde no período “das águas”, que coincide com temperaturas elevadas, favorece a obtenção de abundante biomassa vegetal. Pode-se programar o plantio do adubo verde de modo que ocupe apenas uma parte da área destinada ao cultivo de hortaliças a cada ano, a fim de não prejudicar a renda do agricultor, particularmente em unidades produtivas de pequena extensão territorial (Costa, 1993).

Outra opção consiste no cultivo de adubos verdes antes das hortaliças adaptadas às estações mais quentes do ano, tais como milho-verde, mandioca-de-mesa, batata-doce e quiabeiro. Estudo conduzido por Espindola et al. (1998) registrou o efeito benéfico dessa modalidade de adubação verde para a batata-doce (Tabela 2) cultivada em sucessão às leguminosas crotalária (*C. juncea*), feijão-de-porco (*C. ensiformis*), guandu (*C. cajan*) e mucuna-preta (*M. aterrima*). De modo geral, todas influenciaram positivamente na produtividade da hortaliça, em comparação com prévio pousio em área coberta pela vegetação espontânea, predominantemente constituída de grama-batatais (*Paspalum notatum* Flügge).



Foto: José Guilherme Marninho Guerra

**Figura 1.** Plantio direto de brócolis (*Brassica oleracea* var. *italica* 'Legacy') na palhada de crotalária (*Crotalaria juncea*).

**Tabela 2.** Produtividade de batata-doce (*Ipomoea batatas* 'Rosinha do Verdan') e teores de macronutrientes primários – nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) – acumulados na raiz tuberosa após o cultivo de leguminosas, pousio (vegetação espontânea) e ausência de vegetação, em Seropédica, RJ.

Tratamento	Produtividade <sup>(1)</sup> (t ha <sup>-1</sup> )	Teor de macronutrientes		
		N	P (kg ha <sup>-1</sup> )	K
<i>Crotalaria juncea</i>	15,62ab	26,63bc	5,48bc	42,08bc
Feijão-de-porco	18,71ab	42,45a	8,36a	55,45ab
Guandu	16,33ab	31,00ab	7,16ab	51,67ab
Mucuna-preta	20,09a	43,27a	8,00ab	64,87a
Vegetação espontânea	9,29c	16,05c	4,33c	29,00c
Ausência de vegetação	14,01bc	24,55bc	5,67abc	40,99bc

<sup>(1)</sup>Valores referentes a biomassa seca de tubérculos.

Médias seguidas de letras iguais não diferem, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Fonte: Adaptado de Espindola et al. (1998).

Esse resultado se justifica pela elevada relação C:N apresentada pela vegetação espontânea (Tabela 3), o que provavelmente acarretou imobilização de N no solo durante o cultivo da batata-doce. Cabe salientar que, entre as leguminosas avaliadas, a mucuna-preta destacou-se das demais espécies, quando comparada à adubação verde com a área mantida em pousio. Isso ocorre, provavelmente, pelo fato de os adubos verdes terem sido cultivados no período de abril a outubro, quando, então, os dias são mais curtos, o que afeta marcadamente o crescimento, principalmente das espécies mais sensíveis ao fotoperíodo, como *C. juncea* e guandu, e implica menor produção de biomassa e acumulação de N (Tabela 3).

**Tabela 3.** Produtividade de biomassa seca e quantidade de nitrogênio (N) acumulado na parte aérea e nas raízes e relação C:N dos adubos verdes, em Seropédica, RJ.

Tratamento	Biomassa seca (t ha <sup>-1</sup> )		N total (kg ha <sup>-1</sup> )		Relação C:N	
	Raiz	Parte aérea	Raiz	Parte aérea	Raiz	Parte aérea
<i>Crotalaria juncea</i>	0,57b	1,13b	4,42b	17,85b	51,80b	27,49b
Feijão-de-porco	0,54b	4,34a	5,08b	105,16a	42,21b	16,53c
Guandu	0,59b	1,66ab	5,24b	39,70b	45,86b	17,05c
Mucuna-preta	0,21b	4,07a	2,02b	93,46a	42,89b	17,47c
Vegetação espontânea	18,36a	2,74ab	99,17a	27,52b	74,59a	38,80a

Médias seguidas de letras iguais não diferem, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Fonte: Adaptado de Espindola et al. (1998).

Ressalte-se que a adubação verde com *C. juncea*, guandu e feijão-de-porco, ao contrário do efeito observado com mucuna-preta, não conferiu ganho significativo de produtividade em relação à área capinada (ausência de vegetação). Todavia, é importante enfatizar que a ausência de cobertura vegetal ocasionará, em médio prazo, redução da fertilidade e conseqüente declínio do potencial produtivo do solo. Isso porque há uma conjunção de fatores que desencadeará processos que levarão à degradação da estrutura física, biológica e química do solo, em grande parte acelerados pela exposição aos processos erosivos.

As principais leguminosas utilizadas em rotação com hortaliças apresentam crescimento rápido, expressivo potencial de formação de biomassa e alta taxa de FBN. Além das espécies já mencionadas, a soja (*Glycine max*) pode ser uma alternativa. De acordo com Padovan et al. (2002), as cultivares de soja Celeste e Taquari produzem expressiva quantidade de biomassa da parte aérea, além de revelarem outras características agrônômicas vantajosas, como: precocidade, quantidades de nutrientes – N, P, K, cálcio (Ca) e magnésio (Mg) – acumulados na parte aérea e bom rendimento em sementes (Tabela 4).

A associação da rotação de culturas que abrange o emprego de adubos verdes com o sistema plantio direto mostra-se particularmente vantajosa para sistemas de produção de hortaliças.

**Tabela 4.** Ciclo, produtividade de biomassa aérea seca e de grãos e quantidade acumulada de nutrientes na parte aérea das cultivares de soja Taquari e Celeste, em Seropédica, RJ.

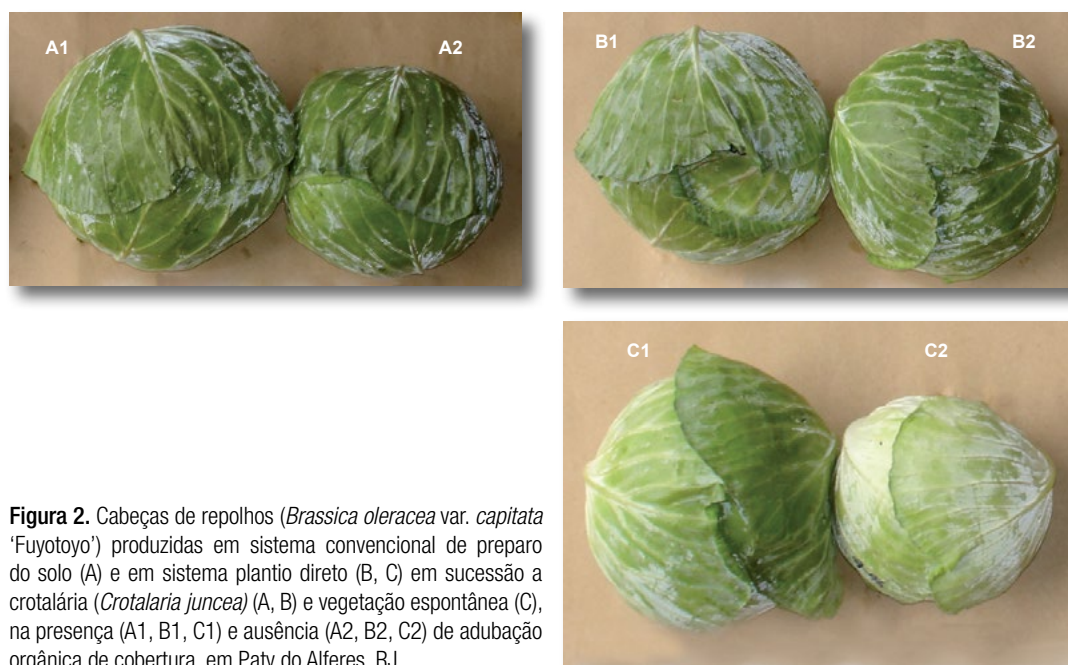
Cultivar	Ciclo (dias)	Biomassa seca (t ha <sup>-1</sup> )	Produção de grãos (t ha <sup>-1</sup> )	Macronutriente <sup>(1)</sup> (kg ha <sup>-1</sup> )				
				N	P	K	Ca	Mg
Taquari	131	7,12	4,07	168	20	86	85	48
Celeste	135	8,33	2,94	223	28	112	103	51

<sup>(1)</sup>Os valores representam coletas realizadas aos 81 dias após a emergência (formação das vagens).

Fonte: Adaptado de Padovan et al. (2002).

O transplântio direto de mudas na palhada de *C. juncea* tem se revelado uma prática adequada para berinjela (*Solanum melongena*) (Castro et al., 2005), brócolis (*Brassica oleracea* var. *italica*) (Silva, 2002), couve-flor (*B. oleracea* var. *botrytis*) e repolho (*B. oleracea* var. *capitata*) (Pereira, 2007). Pereira (2007) demonstrou que 39% do N presente na palhada de *C. juncea* foi transferido para couve-flor cultivada em sistema plantio direto.

Em algumas situações, o cultivo de hortaliças após o adubo verde reduz ou dispensa a necessidade de fertilização orgânica complementar. Por exemplo, conforme se observa na Figura 2, Pereira (2007) constatou que o repolho plantado na palhada de *C. juncea* pode não responder à adubação orgânica de cobertura, principalmente em sistema plantio direto (Figura 2B). No entanto, esse manejo não deve ser generalizado. Por exemplo, Oliveira et al. (2003) observaram



**Figura 2.** Cabeças de repolhos (*Brassica oleracea* var. *capitata* 'Fuyotoyo') produzidas em sistema convencional de preparo do solo (A) e em sistema plantio direto (B, C) em sucessão a crotalária (*Crotalaria juncea*) (A, B) e vegetação espontânea (C), na presença (A1, B1, C1) e ausência (A2, B2, C2) de adubação orgânica de cobertura, em Paty do Alferes, RJ.

em solo com textura arenosa, para essa mesma hortaliça, efeito complementar entre adubação verde e adubação orgânica de cobertura. Castro et al. (2005) verificaram que a suplementação com a cama de aviário também favoreceu a produtividade da berinjela em sistema plantio direto na palhada de *C. juncea*. Em solos com baixa fertilidade natural ou em culturas que exportam expressivas quantidades de nutrientes, como berinjela, provavelmente será preciso complementar técnicas de adubação verde (antes da cultura comercial) com adubação orgânica de cobertura.

Apesar das vantagens relativas à rotação entre leguminosas e hortaliças, sabe-se que a palha desses adubos verdes sofre rápida decomposição, especialmente sob condições tropicais (Ranells; Wagger, 1996). Isso pode resultar em reduzida sincronia entre a liberação de N desses resíduos e a demanda da cultura subsequente (Aita; Giacomini, 2003; Almeida et al., 2007). Para compensar tal limitação, pode-se empregar o pré-cultivo consorciado de leguminosas com espécies de famílias botânicas, como gramíneas e compostas, que constituem um coquetel de adubos verdes.

Conforme Almeida et al. (2007), a combinação de duas ou mais espécies de adubos verdes em sistema de rotação com hortaliças apresenta diversos benefícios: exploração de camadas diferenciadas do solo pelas raízes; melhoria da estrutura do solo; velocidade distinta de decomposição dos resíduos vegetais, aumentando a proteção ao solo; controle de ervas espontâneas; e intensificação da diversidade biológica nas unidades de produção.

Santos (2009) avaliou combinações de *C. juncea* com girassol (*Helianthus annuus*) e de sorgo [*Sorghum bicolor* (L.)] com mamoneira [*Ricinus communis* (L.)]. A semeadura das plantas de cobertura foi feita em sulcos espaçados de 0,25 m, obedecendo à alternância entre si, nas densidades de 30, 20, 20 e 16 sementes por metro linear de *C. juncea*, girassol, sorgo e mamoneira, respectivamente. As associações estudadas proporcionaram aumento da produtividade do repolho cultivado em sucessão, no sistema plantio direto. Além disso, os consórcios *C. juncea*-girassol e *C. juncea*-sorgo favoreceram teores mais altos de N nas "cabeças" dessa hortaliça; porém, não diferiu do tratamento com a leguminosa em monocultivo (Tabela 5).

Resultados semelhantes também são relatados por Silva (2002), com o cultivo consorciado de leguminosas e gramíneas que formam palhada no plantio direto de brócolis, e por Pereira (2007), no plantio direto de couve-flor.

## Consórcios

O adubo verde é semeado nas entrelinhas da hortaliça, em arranjos ou desenhos preestabelecidos (Figura 3). Esse manejo é particularmente interessante em pequenos estabelecimentos rurais, pois favorece o aproveitamento dos recursos naturais e do espaço físico para o cultivo das hortaliças.



**Tabela 5.** Produtividade da parte aérea e teor de nitrogênio (N) em repolho cultivado em sucessão a plantas de cobertura do solo, consorciadas ou em monocultivo, em sistema plantio direto e de manejo orgânico, em Paty do Alferes, RJ.

Pré-cultivo	Produtividade da parte aérea (t ha <sup>-1</sup> )	Teor de N (g kg <sup>-1</sup> )
Pousio <sup>(1)</sup>	4,10c	16,21b
<i>Crotalaria juncea</i>	6,30a	17,47a
Girassol	4,44b	15,84b
Sorgo	4,95b	15,41b
Mamoneira	5,15b	15,03b
<i>Crotalaria juncea</i> + girassol	6,44a	18,40a
<i>Crotalaria juncea</i> + sorgo	5,68a	17,45a
<i>Crotalaria juncea</i> + mamoneira	6,55a	16,60b
<i>Crotalaria juncea</i> + girassol + sorgo	5,91a	15,29b
<i>Crotalaria juncea</i> + girassol + mamoneira	5,33a	16,38b
<i>Crotalaria juncea</i> + mamoneira + sorgo	5,79a	17,46a
<i>Crotalaria juncea</i> + girassol + mamoneira + sorgo	4,75a	15,34b
<b>Coefficiente de variação (%)</b>	<b>5,12</b>	<b>6,60</b>

<sup>(1)</sup>Vegetação espontânea roçada.

Médias seguidas de letras iguais não diferem, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

Fonte: Adaptado de Santos (2009).

Evitar qualquer tipo de competição entre hortaliças e adubos verdes consorciados é essencial. Em relação à água disponível, a competição não representa fator limitante quando o cultivo é irrigado. Caso contrário, é aconselhável roçar o adubo verde na prevalência de estiagens prolongadas. Quanto à competição por nutrientes, especialmente N, o uso de consórcios com leguminosas, eficazes no que se refere à fixação biológica, é capaz de amenizar o problema. No que diz respeito à luz, a competição pode ser contornada pela escolha de espécies de adubos verdes com porte e hábito de crescimento compatíveis com a hortaliça a ser cultivada, assim como pela seleção de épocas de plantio e espaçamentos mais adequados (Almeida et al., 2007).

Hortaliças de fruto, como a berinjela (Castro et al., 2004), e rizomatosas, como o taro (Oliveira et al., 2007), podem ser consorciadas com adubos verdes de hábito de crescimento ereto, como as crotalárias, o feijão-de-porco e o guandu. Resultados promissores quanto ao desempenho agrônomo são relatados para os consórcios de *C. juncea* com quiabeiro (*Abelmoschus esculentus*) (Ribas et al., 2002), berinjela (Castro et al., 2004), pimentão (*Capsicum annuum*) (César et al., 2006) e taro (Oliveira et al., 2007).

Ajustes no manejo dos adubos verdes consorciados permitem eliminar os efeitos negativos da competição e maximizar benefícios. Como exemplo, Ribas et al. (2003) constataram ganhos na produtividade do quiabeiro de cerca de 20%, quando consorciado a *C. juncea*, leguminosa que foi



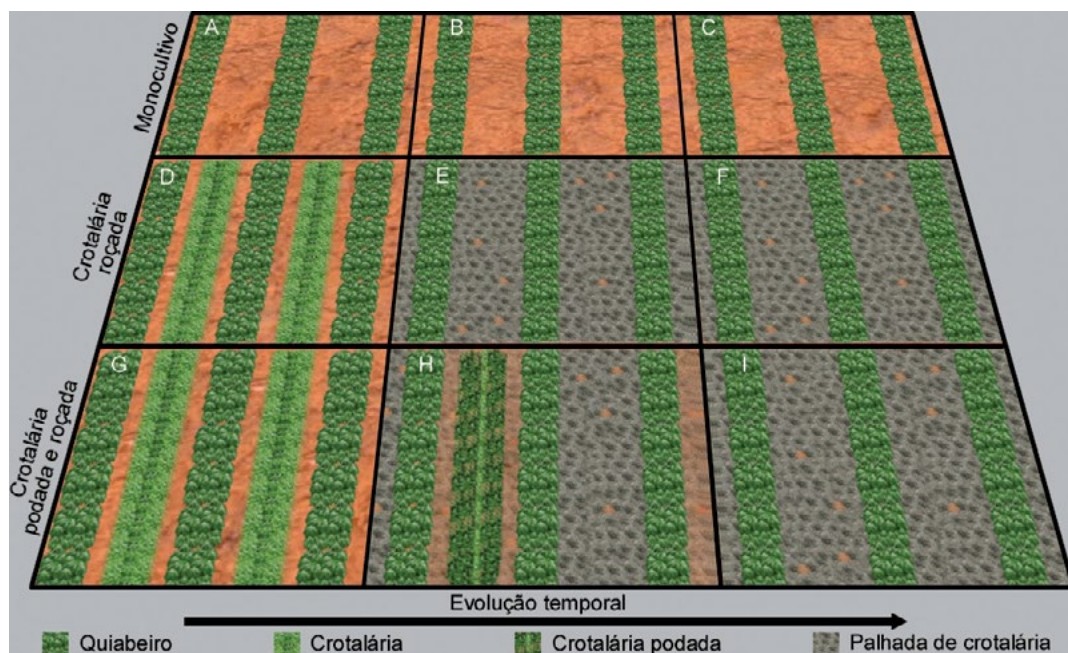
**Figura 3.** Hortaliças em consórcio com leguminosas: couve (*Brassica oleracea* var. *acephala*) e mucuna-anã (*Mucuna deeringiana*) (A); taro (*Colocasia esculenta*) e crotalária (*Crotalaria juncea*) (B); milho-verde (*Zea mays*) e crotalária (C).

submetida a poda e a roçada subsequente, durante o ciclo da hortaliça. O manejo realizado nesse estudo apresenta duas estratégias de utilização da adubação verde em consórcio com hortaliças.

No diagrama esquemático (Figura 4), observa-se a evolução temporal do manejo da crotalária no consórcio com o quiabeiro, em contraposição ao monocultivo dessa hortaliça. A crotalária foi semeada um mês depois do transplântio do quiabeiro, em duas linhas intercalares às fileiras da hortaliça, e a palha foi mantida em cobertura sobre o terreno depois do corte. Aos 50 dias após a semeadura, procedeu-se à roçada da crotalária nos tratamentos correspondentes. Nos tratamentos com poda e roçada, essas operações foram feitas em linhas alternadas, ou seja, em uma rua procedeu-se à roçada, enquanto na outra foi realizada a poda na metade da altura da planta (0,80 m da superfície do terreno). Aos 80 dias após a semeadura da crotalária, procedeu-se à roçada das linhas onde haviam sido realizadas as podas, após a rebrota dessa leguminosa. Essas duas estratégias de manejo da leguminosa resultaram em incremento de produtividade de cerca de 10% e 20%, respectivamente, com uma roçada apenas e com a roçada e poda seguida de roçada depois da rebrota da crotalária (Tabela 6).

No caso das brassicáceas (brócolis, couve e repolho), é viável o consórcio com adubos verdes de hábito ereto e porte baixo, como a *C. spectabilis*, ou mesmo de porte volúvel, desde que





**Figura 4.** Diagrama ilustrativo da evolução temporal dos tratamentos. Monocultivo do quiabeiro (A, B, C); consórcio do quiabeiro com crotalária roçada (D, E, F); consórcio do quiabeiro com crotalária podada e roçada (G, H, I).

Fonte: Adaptada de Ribas et al. (2003).

**Tabela 6.** Produtividade e aumento de produtividade de quiabeiro em diferentes modos de consórcio com *Crotalaria juncea* em comparação com o monocultivo, em Seropédica, RJ.

Tratamento	Produtividade <sup>(1)</sup> (t ha <sup>-1</sup> )	Ganho de produtividade (%)
Quiabeiro em monocultivo	30,62c	-
Quiabeiro em consórcio com crotalária – roçada	33,75b	10
Quiabeiro em consórcio com crotalária – podada e roçada	36,58a	19

<sup>(1)</sup>Valores relativos a 33 colheitas de frutos.

Médias seguidas de letras iguais não diferem, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Fonte: Adaptado de Ribas et al. (2003).

a espécie tenha baixa agressividade, como a mucuna-anã (*M. deeringiana*). Silva (2006) estudou o consórcio de couve com essas duas leguminosas, e registrou aportes de biomassa aérea seca da ordem de 1,5 t ha<sup>-1</sup>. A presença dessas leguminosas não resultou em ganhos quantitativos dos componentes de produtividade da hortaliça, mas propiciou ganhos de matéria orgânica, além de ter mantido o solo coberto, concorrido para reduzir a infestação de espécies espontâneas e aumentar o grau de diversificação vegetal na área, que culminou com o aumento da diversidade de insetos predadores de pulgões da couve (Resende et al., 2007). Além de aspectos espaciais

(consórcio), esse estudo incluiu aspectos temporais (rotação) da adubação verde. Na sucessão à couve, foi cultivado milho consorciado com *C. juncea* ou mucuna-cinza (*M. pruriens*): a crotalária foi semeada no mesmo dia, enquanto a mucuna, aproximadamente 50 dias após o milho. A introdução da mucuna, diferentemente da crotalária, visou beneficiar o cultivo subsequente, formado novamente por couve. Nessa situação, o crescimento inicial da mucuna é lento; por isso, não acarreta competição com o milho, e a leguminosa é posteriormente roçada, juntamente com o milho, aproximadamente aos 120 dias após a colheita de espigas verdes. Com essa estratégia, detectou-se aumento de produtividade da couve cultivada em sucessão, em torno de 110% em comparação com o monocultivo da hortaliça.

Uma estratégia semelhante pode ser aplicada à cultura do milho, por representar um papel facilitador na inserção da adubação verde (Risso, 2007), já que o milho é um cultivo amplamente utilizado nas unidades de gestão familiar, incluindo aquelas dedicadas ao cultivo de hortaliças, visando à produção de espigas verdes. Considerando-se esse fato e levando-se em conta que o manejo da lavoura de milho favorece a introdução de espécies companheiras consorciadas, nessa ocasião será possível semear o adubo verde. Além disso, as plantas de milho podem gerar quantidades expressivas de palha, e, conseqüentemente, matéria orgânica de qualidade para o sistema de produção.

Além de melhorar o desempenho produtivo de hortaliças, o consórcio com adubos verdes proporciona benefícios indiretos. Assim, Oliveira et al. (2004), em cultivo experimental de taro consorciado com *C. juncea*, demonstraram que o sombreamento foi capaz de reduzir a intensidade de queimaduras foliares causadas pelos raios solares. Até o quinto mês do ciclo da cultura, a redução foi de 100%. No oitavo mês, o sombreamento continuava protegendo as plantas, porém, com menor grau de eficiência (Tabela 7). Outro benefício apontado nesse mesmo estudo consistiu no controle da vegetação espontânea, especialmente quando o sistema plantio direto do taro foi empregado na palhada de aveia-preta (*Avena strigosa*).

**Tabela 7.** Incidência de queimaduras foliares em plantas de taro (*Colocasia esculenta*) aos quinto e oitavo meses após o plantio, em consórcio com crotalária-júncea (*Crotalaria juncea*), em Nova Friburgo, RJ.

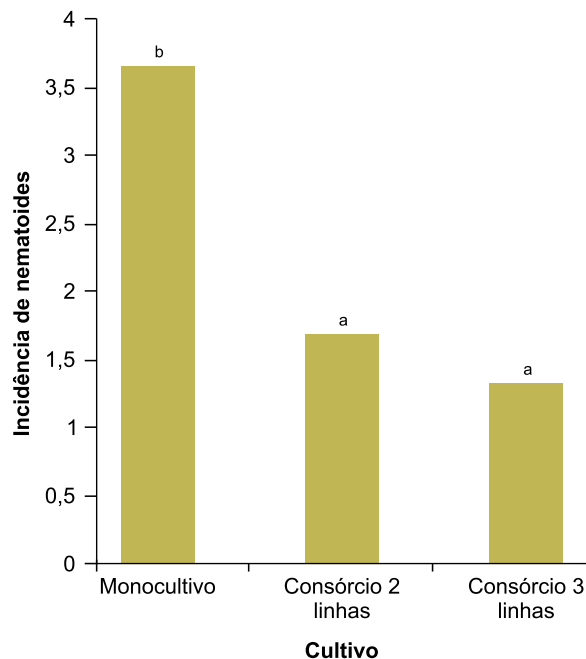
Sistema de cultivo	5° mês	8° mês
Consórcio	0,00a	80,0a
Monocultivo	21,25b	100,0b
<b>Coefficiente de variação (%)</b>	<b>38</b>	<b>39</b>

Médias seguidas de letras iguais, nas colunas, não diferem, pelo teste F, a 5% de probabilidade.

Fonte: Adaptado de Oliveira et al. (2004).

O consórcio com certos adubos verdes pode favorecer populações de inimigos naturais de insetos-pragas e o controle de fitopatógenos habitantes do solo. Resende et al. (2007) comprovaram que consórcios de couve com *C. spectabilis* e mucuna-anã contribuem para o aumento da

diversidade de predadores de pulgões. De modo geral, as leguminosas desempenham importante papel ecológico no agroecossistema, já que hospedam diversos artrópodes benéficos, o que contribui para a regulação de populações de fitoparasitas. De acordo com Ribas et al. (2002), a presença de *C. juncea* nas entrelinhas do quiabeiro acarretou significativa redução no nível de incidência de nematoides formadores de galhas radiculares, em comparação com o monocultivo (Figura 5).



**Figura 5.** Incidência de galhas radiculares, formadas por fitonematoídes, em quiabeiro (*Abelmoschus esculentus*) plantado em monocultivo (monocultivo) ou consorciado com duas ou três linhas de crotalária (*Crotalaria juncea*) (consórcio de duas linhas e consórcio de três linhas).

Notas atribuídas na escala de 0 (ausência) a 5 (alta infestação). Colunas com letras iguais representam valores médios que não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Adaptado de Ribas et al. (2002).

Hortaliças de fruto e folhosas também podem ser consorciadas com adubos verdes perenes de hábito rastejante (Figura 6). Estudos relativos ao sistema plantio direto de feijão-de-vagem (*Phaseolus vulgaris*) (Oliveira et al., 2006a), alface (*Lactuca sativa* L.) (Oliveira et al., 2006b) e berinjela (Santos et al., 2006) em coberturas vivas de amendoim-forrageiro e grama-batatais, ambas com hábito rastejante, demonstraram que tal técnica pode, eventualmente, substituir o cultivo com preparo de solo convencional, e promover expressiva proteção ao solo, sem causar prejuízos à produtividade das hortaliças. Para o sucesso desses sistemas, torna-se necessário implementar ajustes relativamente simples, relacionados ao manejo da irrigação e da adubação, além dos cuidados necessários com as roçadas, de forma a reduzir, ou até mesmo eliminar, a competição exercida pelas coberturas vivas permanentes sobre as hortaliças.

Com esses estudos, evidenciou-se que as hortaliças apresentam desempenho agrônomico distinto, a depender da espécie utilizada para a formação da cobertura viva. Oliveira et al. (2006a) determinaram a produtividade de feijão-de-vagem, semeado diretamente em sulcos abertos nas coberturas vivas estabelecidas com amendoim-forrageiro e grama-batatais,



**Figura 6.** Berinjela cultivada em solo com cobertura viva formada por amendoim-forrageiro (*Arachis pintoi*), em Seropédica, RJ.

e compararam com a adubação orgânica de cobertura. O desempenho de feijão-de-vagem não diferiu do desempenho das duas coberturas vivas. Também não houve diferença entre as coberturas vivas e o cultivo em solo, que recebeu preparo motomecanizado com o auxílio de enxada rotativa. A produtividade de vagens verdes alcançou cerca de  $20 \text{ t ha}^{-1}$ , com a aplicação de  $25 \text{ t ha}^{-1}$  de cama de aviário parcelada em quatro épocas, aos 15, 22, 30 e 37 dias após a semeadura, equivalentes à aplicação, em cada época, de cerca de  $310 \text{ g m}^{-1}$  de sulco de cama de aviário.

Esses mesmos autores, conduzindo trabalho semelhante com alface-crespa (Oliveira et al., 2006b), mostraram que essa alface apresentou desempenho estatisticamente igual, quando se comparou a produção nessas coberturas vivas e a obtida em sistema tradicional de preparo de solo, com o transplântio das mudas para canteiros suspensos. Em relação à adubação de cobertura para obter a produção máxima, foram aplicados  $48 \text{ g}$  de cama de aviário por planta, cujas doses foram parceladas em três épocas, antes do transplântio das mudas e aos 15 e 30 dias, o que resultou em “cabeças” com cerca de  $350 \text{ g}$  por planta.



Em contrapartida, o comportamento da berinjela diferiu das duas espécies citadas. Santos et al. (2006) mostraram que a cobertura viva formada de grama-batatais competiu com a hortaliça, provavelmente por nutrientes, pelo fato de os sistemas de produção serem irrigados. Isso exigiu um nível de adubação orgânica de cobertura maior do que o empregado para o cultivo na presença de amendoim-forrageiro, bem como em relação à área cujo solo foi preparado. As produtividades máximas da berinjela alcançaram 56 t ha<sup>-1</sup> nas áreas com preparo de solo convencional e 61 t ha<sup>-1</sup> em sistema plantio direto na cobertura viva de amendoim-forrageiro. As doses de adubação orgânica de cobertura foram parceladas em seis épocas de aplicação (de 620 g e 480 g por planta de cama de aviário, respectivamente).

Por sua vez, na presença da cobertura viva com a grama-batatais, não se alcançou um nível de produtividade máximo, nem mesmo com a aplicação da maior dose de cama de aviário utilizada nesse estudo, equivalente a 720 g por planta. Além disso, enquanto na área com cobertura de amendoim-forrageiro foram realizadas colheitas de frutos comercializáveis, as quais se estenderam por 5 meses, na presença da cobertura de grama-batatais o período de colheita foi de apenas 4 meses, o que acarretou menor produtividade total na cobertura viva formada por essa gramínea.

Depreende-se desses resultados que há um amplo potencial a ser explorado em relação ao sistema plantio direto de hortaliças (transplântio, no caso de mudas) em coberturas vivas permanentes. O caráter inovador desse estudo remete à necessidade de serem feitas adaptações locais, a fim de garantir o sucesso da implantação e da condução dessa técnica. Tais cuidados decorrem do fato de as hortaliças apresentarem comportamentos distintos em resposta à espécie formadora da cobertura viva. De qualquer forma, independentemente da espécie de hortaliça cultivada, são necessários ajustes nas doses de adubação, principalmente nas de cobertura.

Contudo, o fato de uma espécie como a alface, tradicionalmente cultivada em canteiros após intenso preparo mecânico do solo, adaptar-se plenamente ao sistema plantio direto em coberturas vivas permanentes representa uma ruptura com um paradigma comum à olericultura relacionado às condições de manejo de solo.

A cobertura viva permanente formada por uma leguminosa, que no presente estudo foi o amendoim-forrageiro, se periodicamente roçada durante o ciclo de cultivo da hortaliça, pode reduzir a dependência do agricultor em relação a insumos externos, como esterco; mais especificamente, a dependência de fertilizantes nitrogenados, graças à elevada capacidade de fixação de N atmosférico dessa espécie (Espindola et al., 2006).

## Cultivo entre faixas intercalares

Consiste no cultivo de hortaliças em aleias formadas entre as linhas de plantio de adubos verdes arbustivos ou arbóreos (Figura 7). Os adubos verdes são plantados em linhas simples ou



**Figura 7.** Hortaliças cultivadas entre faixas de guandu (A) e gliricídia (B), em Seropédica, RJ.

duplas, que constituem faixas com espaçamento variável. Periodicamente, realiza-se a poda dessas plantas; a biomassa resultante é, então, incorporada ao solo ou simplesmente distribuída na superfície do solo. Algumas espécies de leguminosas são adequadas à formação de faixas intercalares sob condições tropicais, com destaque para: leucena (*Leucaena leucocephala*), gliricídia (*Gliricidia sepium*), caliandra (*Calliandra* spp.), eritrina (*Erythrina* spp.) e guandu (*C. cajan*) (Espindola et al., 2004).

Um estudo de caso com gliricídia, com faixas espaçadas de 5 m, com 3 m entre as plantas em cada linha, revelou bom potencial de aporte de biomassa ao sistema. Segundo Espindola (informação verbal)<sup>1</sup>, a poda das árvores resultou em 5 t ha<sup>-1</sup> de folhas e ramos finos (até 15 mm de diâmetro) e 17 t ha<sup>-1</sup> de ramos grossos (acima de 15 mm), valores esses referentes à matéria seca (Tabela 8). A quantidade de N acumulado nas folhas e nos ramos finos ultrapassou 200 kg ha<sup>-1</sup>. O tempo de meia-vida desse material podado é de 21 dias (Silva et al., 2007), ou seja, a decomposição é acelerada, e isso o torna adequado para adubação verde de culturas de ciclo curto, como as hortaliças.

**Tabela 8.** Produtividade de biomassa aérea e acúmulo de nitrogênio em plantas podadas de gliricídia (*Gliricidia sepium*), cultivadas no espaçamento de 5 m x 3 m.

Parte aérea	Biomassa seca		Nitrogênio acumulado	
	(kg planta <sup>-1</sup> )	(t ha <sup>-1</sup> )	(g kg <sup>-1</sup> )	(t ha <sup>-1</sup> )
Folhas + ramos finos (até 15 mm)	8,0	5,0	38,0	202,0
Ramos grossos (15 mm a 50 mm)	26,0	17,0	9,0	255,0

<sup>1</sup> Informação fornecida por José Antonio de Azevedo Espindola, Embrapa Agrobiologia, Seropédica, RJ, em 2009.

Outra espécie promissora para essa modalidade de adubação verde, embora pouco difundida no Brasil, é a flemíngia (*Flemingia macrophylla*) (Figura 8). Estudos conduzidos por Salmi (2008) constataram, ao final do primeiro ano de cultivo, produção de biomassa superior a 4 t ha<sup>-1</sup> na Baixada Fluminense e a 2 t ha<sup>-1</sup> na Região Serrana Fluminense. Nesse mesmo período, o acúmulo de N, P e K alcançou, respectivamente, 72,6 kg ha<sup>-1</sup>, 4,4 kg ha<sup>-1</sup> e 33 kg ha<sup>-1</sup>.



Foto: José Guilherme Marinho Guerra

Figura 8. Taro (*Colocasia esculenta*) cultivado entre faixas de flemíngia (*Flemingia macrophylla*).

Oliveira et al. (2004) compararam sistemas de cultivo de taro entre faixas de guandu, com os seguintes tratamentos: a) cultivo entre faixas sem realização de poda; b) cultivo entre faixas com poda, com a biomassa mantida em cobertura do solo; e c) cultivo entre faixas com poda, com a biomassa removida da área. O guandu não podado revelou-se promissor, por promover maior proteção das plantas de taro contra queimaduras foliares provocadas pela radiação solar, com produtividade equivalente à do sistema de faixas podadas da leguminosa. Por sua vez, Moreira (2003) constatou que o cultivo de brócolis entre faixas de guandu acarreta queda no rendimento em inflorescências, quando comparado aos tratamentos com faixas podadas ou na ausência de faixas intercalares.

Em geral, o sistema de cultivo entre faixas pode ser especialmente importante para cultivos em áreas declivosas, que exigem maior controle dos processos erosivos. Nesse sentido, também podem ser utilizados em forma de cordões vegetais e na divisão de glebas para plantio (Figura 9).



Foto: José Guilherme Marinho Guerra



**Figura 9.** Cordões de guandu (*Cajanus cajan*) utilizados na divisão de glebas de uma unidade familiar de produção de hortaliças na localidade do Brejal, em Petrópolis, RJ.

## Cobertura morta

Consiste na utilização da palhada de gramíneas e/ou leguminosas, que formam uma camada protetora sobre o solo cultivado com hortaliças. As coberturas mortas, em geral, são obtidas de plantas produzidas em área distinta daquela do cultivo.

Oliveira (2005) avaliou diferentes espessuras de cobertura morta com palhadas de guandu e de capim 'Cameroon' (*Pennisetum purpureum*), no controle do nível populacional de plantas espontâneas e no desempenho agrônomico da alface, em dois ciclos consecutivos. Os melhores resultados foram obtidos com uma cobertura de 2,5 kg m<sup>-2</sup> de palhada. O material mais adequado, entre os estudados, correspondeu à palhada do guandu, pois, além de controlar eficientemente a vegetação espontânea, valendo para os dois ciclos de alface, disponibilizou expressiva quantidade de nutrientes durante sua rápida mineralização.

Oliveira et al. (2008), ainda com a cultura da alface, avaliaram o efeito de diferentes coberturas mortas sobre a reinfestação de ervas espontâneas, em sistema de cultivo orgânico. A redução da população de ervas espontâneas chegou a 83% nas parcelas com coberturas mortas, em comparação com aquelas sem qualquer tipo de cobertura. Novamente, em ciclos consecutivos de cultivo da alface nas mesmas parcelas experimentais, o diâmetro, a biomassa fresca e o teor de N foram, de maneira geral, superiores quando se empregaram palhas de leguminosas (Tabela 9).

Resultados similares foram encontrados por Santos et al. (2008) com relação ao uso de coberturas mortas formadas por meio de resíduos de palha de gliricídia e de guandu, na cultura da cenoura. Esses autores observaram que a cobertura morta formada por gliricídia e guandu proporcionou aumento da produtividade da cenoura de 20% e 24%, respectivamente, em comparação com o tratamento mantido sem cobertura morta sobre o solo. De acordo com os autores, o emprego das coberturas mortas formadas com palhas dessas leguminosas, além de proporcionar melhoria no desempenho produtivo e no padrão comercial da hortaliça, promoveu o controle eficaz da população de plantas espontâneas.

**Tabela 9.** Diâmetro, biomassa fresca e teor de nitrogênio (N) em alface colhida de sistema orgânico de cultivo em relação a diferentes coberturas mortas, em Seropédica, RJ<sup>(1)</sup>.

Material (palhada)	Diâmetro (cm)	Biomassa fresca (g planta <sup>-1</sup> )	N (g kg <sup>-1</sup> )
Cana-de-açúcar ( <i>Saccharum officinarum</i> )	28,7b	246,3b	29,8b
Bambu ( <i>Bambusa</i> sp.)	28,0b	263,2b	32,4b
Capim-elefante ( <i>Pennisetum purpureum</i> )	28,7b	279,4b	28,2c
Crotalária ( <i>Crotalaria juncea</i> )	31,7a	366,0a	35,3a
Eritrina ( <i>Erythrina poeppigiana</i> )	31,6a	340,6a	35,8a
Gliricídia ( <i>Gliricidia sepium</i> )	31,6a	347,9a	38,8a
Guandu ( <i>Cajanus cajan</i> )	29,5b	328,3a	32,3b
Mucuna-cinza ( <i>Mucuna pruriens</i> )	30,8a	315,8a	36,5a
Controle (sem cobertura do solo)	26,3b	210,5b	27,8c
2º ciclo da cultura			
Cana-de-açúcar ( <i>S. officinarum</i> )	20,8b	100,8c	26,0b
Bambu ( <i>Bambusa</i> sp.)	25,2a	152,3b	25,8b
Capim-cameroon ( <i>P. purpureum</i> )	21,4b	80,0c	25,2b
Crotalária ( <i>C. juncea</i> )	26,8a	225,0a	30,3a
Eritrina ( <i>E. poeppigiana</i> )	28,1a	214,5a	29,0a
Gliricídia ( <i>G. sepium</i> )	28,5a	205,7a	29,3a
Guandu ( <i>C. cajan</i> )	27,5a	212,8a	29,2a
Mucuna-cinza ( <i>M. pruriens</i> )	25,5a	202,9a	28,0a
Controle (sem cobertura do solo)	18,8b	103,6b	23,7b

Valores seguidos de letras iguais, nas colunas relativas a cada ciclo de cultivo, não diferem pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade. Fonte: Adaptado de Oliveira et al. (2008).

## Compostagem com resíduos de leguminosa

A estabilização e a formação de substâncias húmicas obtidas por materiais de origem vegetal ou animal são processos que ocorrem espontaneamente na natureza. A compostagem permite acelerar e direcionar esse processo visando à obtenção de fertilizantes e substratos orgânicos ricos em nutrientes e em húmus.

O cultivo de hortaliças, tradicionalmente, não prescinde da adubação orgânica, que é geralmente conduzida por meio do emprego de esterco, comumente oriundos de criações avícolas. No passado, ambas as explorações, denominadas hortigranjeiras, situavam-se em áreas definidas

como cinturões verdes, localizadas nas proximidades dos centros urbanos. Entretanto, as granjas migraram desses cinturões, acompanhando as lavouras extensivas de milho, no contexto da expansão da fronteira agrícola no País. Esse fato teve reflexo direto na disponibilidade de esterco de aves para a fertilização das hortaliças. Além disso, limitações relacionadas ao espaço físico e o caráter intensivo da olericultura nas unidades familiares muitas vezes inviabilizam produções integradas, que contemplassem a pecuária. Como consequência, há forte dependência externa em relação ao emprego de adubos orgânicos, o que onera os custos monetários da produção (Leal, 2006).

Nesse contexto, a compostagem conduzida com palhas vegetais representa uma alternativa promissora. Ela é baseada na conversão de energia solar em biomassa produzida in situ, posteriormente transformada em adubo orgânico. Souza (2006), trabalhando em um módulo experimental destinado ao cultivo orgânico de hortaliças, localizado em região com baixa disponibilidade de adubos orgânicos, desenvolveu um sistema pioneiro de obtenção de composto, que é baseado no emprego de palha de *P. purpureum* misturada ao esterco de cama de aviário. De acordo com os resultados apresentados por esse autor, a adubação com composto proporcionou bom desempenho produtivo das diversas hortaliças avaliadas.

Havendo disponibilidade local de palhas e de outros resíduos gerados na área agrícola, compostos com alta eficiência agronômica podem ser obtidos por meio de misturas que combinem materiais com alta e baixa relação C:N. Nesse sentido, palhas de gramíneas e leguminosas são combinadas para obter compostos orgânicos de boa qualidade biológica, física e química. Leal (2006) mostrou que a confecção de compostos com mistura de palha picada de *P. purpureum* 'Napier' e *C. juncea*, nas proporções de 33% e 66% da leguminosa, resultaram em valores da relação C:N de, respectivamente, 14 e 13, aos 120 dias após o início do processo.

Os compostos com 33% e 66% de palha de *C. juncea* utilizados como substratos proporcionaram a obtenção de mudas de alface e beterraba com padrão comercial (Leal et al., 2007). Em relação ao tomate, esses autores observaram que as mudas foram mais vigorosas em substrato obtido com o uso de composto confeccionado com 66% de *C. juncea* (Tabela 10). Os compostos orgânicos obtidos das misturas de gramínea e leguminosa relatadas anteriormente, ou confeccionado exclusivamente com palha de *C. juncea*, substituíram integralmente a adubação orgânica de plantio, realizada com esterco bovino, para o cultivo de alface, beterraba e tomateiro (Leal, 2006).

A utilização de substratos e fertilizantes obtidos por meio do processo de compostagem de palhas de gramíneas e leguminosas misturadas reduz o risco de eventuais contaminações químicas e biológicas que podem estar presentes ao se utilizarem insumos trazidos de fora da unidade de produção, como esterco e outros subprodutos agropecuários. Essa estratégia assume maior relevância no cultivo de hortaliças, em regiões nas quais prevaleça reduzida disponibilidade de esterco.

**Tabela 10.** Altura, número de folhas, rendimento de biomassa fresca e seca na parte aérea de mudas de tomateiro aos 33 dias após a semeadura, em Seropédica, RJ.

Tratamento	Altura (cm)	Folhas (nº por planta)	Biomassa fresca de parte aérea	Biomassa seca de parte aérea
			(mg por planta da parte aérea)	
100% crotalária (C)	5,0d	4,9b	363,3d	33,7e
66% C + 33% Napier (N)	10,2a	5,7a	1.020,0a	119,2a
33% C + 66% N	7,3c	5,0b	553,3c	62,3b
100% N	2,3e	2,1c	20,0e	2,3d
33% C + 66% N + esterco bovino <sup>(1)</sup>	7,0c	5,0b	540,0c	62,5b
33% C + 66% N + biofertilizante <sup>(2)</sup>	6,8c	5,0b	476,7c	53,8b
100N + biofertilizante <sup>(2)</sup>	2,8e	2,0b	30,0e	2,9d
Controle (substrato comercial)	8,4b	4,8b	740,0b	104,5a
<b>Coefficiente de variação (%)</b>	<b>4,5</b>	<b>4,9</b>	<b>8,6</b>	<b>11,0</b>

<sup>(1)</sup>Compostagem com inoculação com esterco bovino na dose de 5% da massa total. <sup>(2)</sup>Compostagem com adição de 100 L de biofertilizante líquido diluído a 5%.

Médias seguidas de letras iguais, na mesma coluna, não diferem, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Fonte: Adaptado de Leal et al. (2007).

## Recomendações práticas

Independentemente da espécie de hortaliça, a adubação verde é uma técnica que quase sempre proporciona algum tipo de benefício para a cultura econômica, tanto direta quanto indiretamente, por meio da melhoria das condições do solo. A definição da época de plantio do adubo verde em relação à hortaliça dependerá do hábito de crescimento do adubo verde e da velocidade de crescimento de ambas as espécies, ou seja, do adubo verde e da hortaliça.

O manejo da adubação verde em rotação é favorável para qualquer tipo de cultura, ao passo que, no consorciado, são favorecidas principalmente as hortaliças de frutos e as brassicáceas. No caso do cultivo em rotação, uma espécie de adubo verde, ou um coquetel de espécies, pode ser incorporado no solo após a roçada, visando ao plantio posterior, ou mantido em cobertura sobre a superfície do terreno, realizando-se o plantio direto da hortaliça na palhada. A manutenção da palhada na superfície retarda, de maneira geral, a germinação das sementes de plantas espontâneas, ao passo que a incorporação no solo tende a fornecer nutrientes mais rapidamente para a cultura em sucessão.

Os adubos verdes cultivados em rotação com hortaliças podem ser roçados no momento em que se observa o máximo desenvolvimento dessas plantas, quando normalmente ocorre alta acumulação de nutrientes na massa vegetal, e a roçada é feita por ocasião do florescimento, no

caso de leguminosas. Se a espécie de adubo verde for uma gramínea, a roçada deve ser feita na fase de grão leitoso.

Em princípio, a maioria das hortaliças pode ser cultivada com adubos verdes. Para tanto, diversas estratégias de consórcios podem ser adotadas. Algumas já são conhecidas, enquanto outras têm sido testadas experimentalmente. Nesse sentido, o adubo verde pode ser semeado nas ruas ou nas próprias linhas de cultivo da hortaliça; pode-se também formar aleias ou faixas intercalares às hortaliças, quando as espécies de adubos verdes apresentarem porte arbustivo ou arbóreo. No entanto, o ajuste fino é feito na própria unidade de produção.

A escolha do melhor espaçamento entre as espécies consorciadas deverá atenuar a competição originada pela presença do adubo verde em consórcio com a hortaliça e otimizar o benefício da adubação verde. De maneira geral, o adubo verde é semeado nas ruas da cultura principal, utilizando-se uma, duas ou três linhas, de acordo com o espaçamento da hortaliça. No caso de hortaliças para as quais são feitas diversas colheitas, a semeadura do adubo verde pode ser realizada em ruas intercalares ou em todas as ruas, desde que o adubo verde seja roçado em uma delas quando se inicia o processo de colheita.

Em termos gerais, recomendam-se os seguintes cultivos consorciados: a) hortaliças de frutos, como tomate, quiabe, jiló, berinjela e pimentão, consorciadas com espécies de hábito ereto, como crotalárias, feijão-de-porco e guandu; b) brássicas, como repolho, couve-de-folha, brócolis e couve-flor, consorciadas com espécies de hábito ereto e porte baixo, como *C. spectabilis*, ou prostradas menos agressivas, como mucuna-anã, ou rastejantes perenes, como amendoim-forrageiro; c) hortaliças rizomatosas, como o taro, consorciadas com espécies de hábito ereto, como crotalárias. Além desses exemplos, sugere-se o plantio do adubo verde quando o ciclo da cultura principal está se completando; por exemplo, de hortaliças folhosas, como alface e chicória, consorciadas com *C. juncea*, semeada no terço final do ciclo dessas culturas.

## Considerações finais

O grande desafio relacionado ao emprego de adubação verde no cultivo de hortaliças consiste, sem dúvida, em estimular sua apropriação, rotineiramente, por parte dos agricultores. Os resultados apresentados neste capítulo evidenciam os benefícios que essa técnica pode proporcionar nas unidades de produção, notadamente quando conduzida por meio da utilização de espécies de leguminosas, que tanto podem anteceder o cultivo das hortaliças quanto podem estar consorciadas a elas.

Embora a adubação verde, por vezes, não se traduza em ganhos imediatos de produtividade das hortaliças, como mostrado em algumas situações experimentais, ela acarreta, em geral, benefícios importantes ligados ao manejo das lavouras, tais como: proteção do solo quanto à

erosão hídrica; adição de matéria orgânica por meio do C da biomassa vegetal produzida in situ e da ciclagem de nutrientes do solo e do N atmosférico; atenuação de efeitos relacionados a variáveis climáticas; redução da infestação de populações de ervas de ocorrência espontânea; fonte de recursos alimentares e abrigo para inimigos naturais de pragas; controle de fitomoléstias de solo; e manutenção da diversidade funcional nas unidades de produção.

## Referências

- AITA, C.; GIACOMINI, S. J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura de solo solteiras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 4, p. 601-612, jul./ago. 2003.
- ALMEIDA, D. L.; GUERRA, J. G. M.; ESPINDOLA, J. A. A. Adubação verde. In: HENZ, G. P.; ALCÂNTARA, F. A. de; RESENDE, F. V. (ed.). **Produção orgânica de hortaliças: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica: Embrapa Hortaliças, 2007. p. 99-112. (Coleção 500 perguntas, 500 respostas).
- CASTRO, C. M.; ALMEIDA, D. L. de; RIBEIRO, R. de L. D.; CARVALHO, J. F. Plantio direto, adubação verde e suplementação com esterco de aves na produção orgânica de berinjela. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 5, p. 495-502, maio 2005.
- CASTRO, C. M.; ALVES, B. J. R.; ALMEIDA, D. L. de; RIBEIRO, R. de L. D. Adubação verde como fonte de nitrogênio para a cultura da berinjela em sistema orgânico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 8, p. 779-785, ago. 2004.
- CÉSAR, M. N. Z.; RIBEIRO, R. de L. D.; MANERA, T. C.; PAULA, P. D.; POLIDORO, J. C.; GUERRA, J. G. M. **Desempenho de duas cultivares de pimentão sob manejo orgânico em consórcio com crotalária**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2006. 4 p. (Embrapa Agrobiologia. Comunicado técnico, 85).
- COSTA, M. B. B. da. (coord.). **Adubação verde no Sul do Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro: AS-PTA, 1993. 346 p.
- ESPINDOLA, J. A. A.; ALMEIDA, D. L. de; GUERRA, J. G. M. **Estratégias para utilização de leguminosas para adubação verde em unidades de produção agroecológica**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2004. 24 p. (Embrapa Agrobiologia. Documentos, 174).
- ESPINDOLA, J. A. A.; ALMEIDA, D. L. de; GUERRA, J. G. M.; SILVA, E. M. R. da; SOUZA, F. A. de. Influência da adubação verde na colonização micorrízica e na produção da batata-doce. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, n. 3, p. 339-347, mar. 1998.
- ESPINDOLA, J. A. A.; GUERRA, J. G. M.; ALMEIDA, D. L. de. Uso de leguminosas herbáceas para adubação verde. In: AQUINO, A. M. de; ASSIS, R. L. de (ed.). **Agroecologia: princípios e técnicas para uma agricultura orgânica sustentável**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2005. p. 435-451.
- ESPINDOLA, J. A. A.; GUERRA, J. G. M.; PERIN, A.; TEIXEIRA, M. G.; ALMEIDA, D. L. de; URQUIAGA, S.; BUSQUET, R. N. B. Bananeiras consorciadas com leguminosas herbáceas perenes utilizadas como coberturas vivas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 3, p. 415-420, mar. 2006.
- GUERRA, J. G. M.; DEPOLLI, H.; ALMEIDA, D. L. Managing carbon and nitrogen in tropical organic farming through green manuring. In: BADEJO, M. A.; TOGUN, A. O. (org.). **Strategies and tactics of sustainable agriculture in the tropics**. Lagos: College Press, 2004. v. 2, p. 125-140.
- GUERRA, J. G. M.; NDIAYE, A.; ASSIS, R. L. de; ESPINDOLA, J. A. A. Uso de plantas de cobertura na valorização de processos ecológicos em sistemas orgânicos de produção na região serrana fluminense. **Revista Agrícolas: experiências em agroecologia**, v. 4, n. 1, p. 24-28, mar. 2007.
- LEAL, M. A. de A. **Produção e eficiência agrônômica de compostos obtidos com palhada de gramínea e leguminosa para o cultivo de hortaliças orgânicas**. 2006. 133 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.



LEAL, M. A. de A.; GUERRA, J. G. M.; PEIXOTO, R. T. G.; ALMEIDA, D. L. de. Utilização de compostos orgânicos como substratos na produção de mudas de hortaliças. **Horticultura Brasileira**, v. 25, n. 3, p. 392-395, jul./set. 2007.

MOREIRA, V. F. **Produção de biomassa de gandu a partir de diferentes densidades de plantio e cultivo de brócolos em faixas intercalares sob manejo orgânico**. 2003. 61 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

MOREIRA, V. F.; PEREIRA, A. J.; GUERRA, J. G. M.; GUEDES, R. E.; COSTA, J. R. **Produção de biomassa de gandu em função de diferentes densidades e espaçamentos entre sulcos de plantio**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2003. 5 p. (Embrapa Agrobiologia. Comunicado técnico, 57).

NEVES, M. C. P.; ESPINDOLA, J. A. A.; GUERRA, J. G. M.; DE-POLLI, H. Optimizing the use of BNF in organic agriculture: advantages of the tropics. In: KÖPKE, U. (org.). **Organic agriculture in the tropics and subtropics**. Berlin: Isobar, 2008. v. 1, p. 1-16.

OLIVEIRA, F. F. de. **Utilização de cobertura morta com palha de leguminosas e gramíneas para o controle de ervas invasoras e no desempenho de alface (*Lactuca sativa* L.) sob manejo orgânico**. 2005. 49 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

OLIVEIRA, F. F. de; GUERRA, J. G. M.; ALMEIDA, D. L. de; RIBEIRO, R. de L. D.; ESPINDOLA, J. A. A.; RICCI, M. dos S. F.; CEDDIA, M. B. Avaliação de coberturas mortas em cultura de alface sob manejo orgânico. **Horticultura Brasileira**, v. 26, n. 2, p. 216-220, abr./jun. 2008.

OLIVEIRA, F. L. de; GUERRA, J. G. M.; RIBEIRO, R. de L. D.; ALMEIDA, D. L. de; SILVA, E. E. da; URQUIAGA, S.; ESPINDOLA, J. A. A. The use of sunn hemp as green manure intercropped with taro. **Horticultura Brasileira**, v. 25, n. 4, p. 562-566, out./dez. 2007.

OLIVEIRA, F. L. de; RIBAS, R. G. T.; JUNQUEIRA, R. M.; PADOVAN, M. P.; GUERRA, J. G. M.; ALMEIDA, D. L. de; RIBEIRO, R. de L. D. Uso do pré-cultivo de *Crotalaria juncea* e de doses crescentes de cama de aviário na produção do repolho sob manejo orgânico. **Agronomia**, v. 37, n. 2, p. 60-63, 2003.

OLIVEIRA, F. L. de; RIBEIRO, R. de L. D.; SILVA, V. V.; GUERRA, J. G. M.; ALMEIDA, D. L. de. Desempenho do inhame (taro) em plantio direto e no consórcio com crotalária, sob manejo orgânico. **Horticultura Brasileira**, v. 22, n. 3, p. 638-641, jul./set. 2004.

OLIVEIRA, N. G. de; DE-POLLI, H.; ALMEIDA, D. L. de; GUERRA, J. G. M. Plantio direto de alface adubada com cama de aviário sobre coberturas vivas de grama e amendoim forrageiro. **Horticultura Brasileira**, v. 24, n. 1, p. 112-117, jan./mar. 2006b.

OLIVEIRA, N. G.; DE-POLLI, H.; ALMEIDA, D. L. de; GUERRA, J. G. M. Feijão-vagem semeado sobre cobertura viva perene de gramínea e leguminosa e em solo mobilizado, com adubação orgânica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 9, p. 1361-1367, set. 2006a.

PADOVAN, M. P.; ALMEIDA, D. L. de; GUERRA, J. G. M.; RIBEIRO, R. de L. D.; NDIAYE, A. Avaliação de cultivares de soja, sob manejo orgânico, para fins de adubação verde e produção de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 12, p. 1705-1710, dez. 2002.

PEREIRA, A. J. **Caracterização agrônoma de espécies de *Crotalaria* L. em diferentes condições edafoclimáticas e contribuição da adubação verde com *C. juncea* no cultivo orgânico de brássicas em sistema plantio direto**. 2007. 72 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

PEREIRA, A. J. **Produção de biomassa aérea e sementes de *Crotalaria juncea* a partir de diferentes densidades populacionais e épocas do ano**. 2004. 68 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

PEREIRA, A. J.; GUERRA, J. G. M.; MOREIRA, V. F.; TEIXEIRA, M. G.; URQUIAGA, S.; POLIDORO, J. C.; ESPINDOLA, J. A. A. **Desempenho agrônomo de *Crotalaria juncea* em diferentes arranjos populacionais e épocas do ano**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2005. 4 p. (Embrapa Agrobiologia. Comunicado técnico, 82).

RANELLS, N. N.; WAGGER, M. G. Nitrogen release grass and legume cover crop monocultures and bicultures. **Agronomy Journal**, v. 88, n. 5, p. 777-782, Sept./Oct. 1996.

RESENDE, A. L. S.; SILVA, E. E.; GUERRA, J. G. M.; AGUIAR-MENEZES, E. L. **Ocorrência de insetos predadores de pulgões em cultivo orgânico de couve em sistema solteiro e consorciado com adubos verdes**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2007. 6 p. (Embrapa Agrobiologia. Comunicado técnico, 101).

- RIBAS, R. G. T.; JUNQUEIRA, R. M.; OLIVEIRA, F. L.; GUERRA, J. G. M.; ALMEIDA, D. L. de; RIBEIRO, R. de L. D. **Adubação verde na forma de consórcio no cultivo do quiabeiro sob manejo orgânico**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2002. 4 p. (Embrapa Agrobiologia. Comunicado técnico, 54).
- RIBAS, R. G. T.; JUNQUEIRA, R. M.; OLIVEIRA, F. L.; GUERRA, J. G. M.; ALMEIDA, D. L. de; RIBEIRO, R. de L. D. **Manejo da adubação verde com crotalária no consórcio com o quiabeiro sob manejo orgânico**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2003. 4 p. (Embrapa Agrobiologia. Comunicado técnico, 59).
- RISSE, I. A. M. **Cultivo de batata-doce (*Ipomoea batatas* L.) em sucessão ao milho (*Zea mays* L.) consorciado com leguminosas para adubação verde, sob manejo orgânico**. 2007. 44. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.
- SALMI, A. P. **Crescimento, acúmulo de nutrientes e fixação biológica de nitrogênio em *Flemingia macrophylla* (Willd.) Merril**. 2008. 71 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.
- SANTOS, C. A. B. **Cultivo consorciado de plantas de cobertura de solo antecedendo milho e repolho**. 2009. 81 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.
- SANTOS, C. A. B.; ESPINDOLA, J. A. A.; GUERRA, J. G. M.; FEITOSA, H. O.; MOURA, A. F. G.; RIBEIRO, R. de L. D.; ALMEIDA, D. L. de; COSTA, J. R. **Efeito de coberturas mortas vegetais sobre o desempenho da cenoura em cultivo orgânico**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2008. 4 p. (Embrapa Agrobiologia. Comunicado técnico, 112).
- SANTOS, C. A. B.; ESPINDOLA, J. A. A.; ROCHA, M. V. C.; ALMEIDA, D. L. de; GUERRA, J. G. M.; RIBEIRO, R. de L. D. **Plantio direto de berinjela (*Solanum melongena*), sob manejo orgânico, em solo com cobertura viva permanente de gramínea e leguminosa**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2006. 4 p. (Embrapa Agrobiologia. Comunicado técnico, 91).
- SILVA, E. E. **Manejo orgânico da cultura da couve em rotação com o milho, consorciados com leguminosas para adubação verde intercalar em plantio direto**. 2006. 57 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.
- SILVA, G. T. A.; OLIVEIRA, W. R. D.; MATOS, L. V.; NÓBREGA, P. O.; KRAINOVIC, P. M.; CAMPELLO, E. F. C.; FRANCO, A. A.; RESENDE, A. S. **Correlação entre a composição química e a velocidade de decomposição de plantas para adubação verde visando à elaboração de uma base de dados**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2007. 51 p. (Embrapa Agrobiologia. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 21).
- SILVA, V. V. **Efeito do pré-cultivo de adubos verdes na produção orgânica de brócolos (*Brassica oleracea* var. *italica*) em sistema de plantio direto**. 2002. 81 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.
- SOUZA, J. L. de. **Manual de horticultura orgânica**. 2. ed. Viçosa, MG: Aprenda Fácil, 2006. 843 p.



Capítulo 21

# Adubação verde na restauração florestal

---

Eduardo Malta Campos Filho  
Ingo Isernhagen  
Pedro Henrique Santin Brancalion  
Ricardo Ribeiro Rodrigues



## Introdução

Exigências legais e de mercado, além de compromissos que o próprio governo brasileiro assumiu no Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa (Brasil, 2015), têm gerado um aumento na demanda por ações de recuperação de áreas degradadas (Wuethrich, 2007) para proteção do solo, água e biodiversidade. Nesse contexto, além da própria escolha das técnicas mais adequadas de recuperação, o uso de adubação verde tem se firmado como um método importante para aumento da eficácia de plantios de espécies nativas em áreas muito degradadas. Além de poder agregar benefícios ecológicos à atividade, os adubos verdes podem reduzir custos de manutenção devido ao controle que exercem durante o início do processo sobre as plantas competidoras.

As características dos adubos verdes, como rápido recobrimento, controle de competidores, descompactação do solo, fixação de nitrogênio, alta produção de biomassa, formação de serrapilheira, ciclagem de nutrientes e ciclo de vida curto – que dificulta o comportamento invasor –, os tornam ótimos colonizadores e criadores de *safe sites* em áreas degradadas, possibilitando o plantio simultâneo das espécies de diferentes grupos ecológicos. *Safe site* é a denominação internacionalmente reconhecida para o conjunto de condições ambientais que favorecem o crescimento das espécies florestais pelo fato de simular condições naturais propícias ao seu desenvolvimento (Urbanska, 2004). A utilização da adubação verde com esse objetivo é permitida pela lei brasileira em condições específicas e apenas durante os primeiros anos após a implantação.

Algumas publicações sobre o uso da adubação verde na restauração florestal surgiram a partir de experiências em sistemas agroflorestais (Vieira et al., 2009), reflorestamentos comerciais (Schreiner, 1988; Centurion et al., 2005) e pomares (Espindola et al., 2006; Fidalski et al., 2006; Rufato et al., 2006) e em projetos de restauração florestal (Campos-Filho et al., 2013; César et al., 2013; Junqueira et al., 2015).

Para entender melhor como a adubação verde pode ser utilizada na restauração florestal, cabem aqui algumas considerações gerais sobre essa atividade. À contextualização, segue-se a apresentação do uso potencial da adubação verde na restauração florestal.



## Fundamentos da restauração florestal

A prática de recuperação de áreas degradadas é muito antiga. Podem-se encontrar exemplos de sua existência na história de diferentes povos, épocas e regiões. No entanto, cientificamente, a atividade caracterizava-se pela ausência de vínculos estreitos com concepções teóricas da Ecologia Vegetal e era executada apenas com base em práticas silviculturais, geralmente se restringindo aos plantios de mudas (Rodrigues et al., 2009). Contudo, recentemente, houve um incremento considerável na qualidade e diversidade das ações de recuperação de áreas degradadas.

A maior parte das considerações do presente capítulo será focada na restauração ecológica, com ênfase na restauração florestal. Definida como o “processo de assistir a recuperação de um ecossistema que foi degradado, perturbado ou destruído” pela Society for Ecological Restoration International (2010), a restauração ecológica tem como meta:

[...] reconstituir um novo ecossistema o mais semelhante possível ao original, de modo a criar condições de biodiversidade renovável, em que as espécies regeneradas artificialmente tenham condições de ser autossustentáveis, ou que a reprodução esteja garantida e a diversidade genética em suas populações possibilite a continuidade de evolução das espécies (Kageyama; Gandara, 2003, p. 383).

Para definir se uma área está ambientalmente degradada, se precisa ser restaurada e como, analisam-se diferentes fatores, como a legislação vigente, a aptidão agrícola, a intensidade, a forma e a longevidade dos impactos ambientais sofridos no local e na paisagem e os parâmetros físicos, químicos e biológicos da área em si. Para restaurar uma área, é importante também definir a infraestrutura logística necessária, além de onde se quer chegar e que destino se pretende dar à área restaurada.

Quando se trata de recuperação de Áreas de Preservação Permanente (APPs) em médias e grandes propriedades, definidas como margens de corpos d’água, nascentes, áreas de encosta (acima de 100% de declividade), entre outras, devem ser utilizadas espécies perenes (árvores) nativas regionais. Em APPs de agricultores familiares e populações tradicionais e em todas as Reservas Legais (RLs), conforme legislação vigente, podem-se utilizar também árvores exóticas (até o limite estabelecido por lei). Com relação a espécies exóticas não perenes, as Leis Federais nº 12.651/2012 e nº 12.727/2012 e a Resolução Conama nº 429/2011 (Brasil, 2009, 2012) regulamentam o uso de plantas anuais ou bianuais, variedades agrícolas e de adubação verde intercaladas às nativas perenes como forma de auxiliar no processo de restauração ecológica nos casos em que isso se evidenciar necessário.

## A prática da restauração florestal

No paradigma técnico-científico anterior à restauração florestal, o método mais utilizado era o plantio de mudas, que se fundamentava na implantação de uma cópia jovem de uma floresta adulta na expectativa de prever a floresta que se formaria. O paradigma contemporâneo não se fundamenta mais na cópia de um modelo de floresta, mas sim no entendimento de que é preciso restaurar os processos ecológicos que levam à formação de uma floresta natural, com grupos de espécies que se substituem ao longo do tempo da restauração e que devem permitir a entrada de novas espécies advindas do entorno. Mesmo as comunidades maduras não têm uma composição estática, mas estão em constante fluxo, em um equilíbrio dinâmico (Pickett et al., 1992; Palmer et al., 1997; Parker; Pickett, 1999; Choi, 2004; Aronson; Andel, 2006).

A restauração ecológica pode ocorrer seguindo diferentes trajetórias, o que, na prática, tem levado à diversificação dos métodos de restauração. Dessa forma, busca-se iniciar um processo de restauração que deve gerar incremento da diversidade de espécies, de formas de vida e de grupos funcionais de espécies nativas (Gandolfi; Rodrigues, 2007; Rodrigues; Gandolfi, 2007), que podem ser observadas regenerando sob a vegetação que se implantou inicialmente.

Para restaurar áreas degradadas, mas com alto potencial de regeneração natural (alta resiliência), algumas estratégias têm sido atualmente utilizadas e recomendadas, como a regeneração natural dos ecossistemas (ou restauração passiva) (Engel; Parrotta, 2003; Alves; Metzger, 2006; Rodrigues; Gandolfi, 2007; Brancalion et al., 2016), a condução da regeneração natural, a transposição de topsoil (Jacovak, 2007), o uso de poleiros para atração de dispersores de espécies nativas, o plantio de mudas em diferentes sistemas e o plantio de sementes e plântulas nativas (Carneiro; Rodrigues, 2007; Viani; Rodrigues, 2007).

O plantio de sementes e/ou mudas de árvores é geralmente necessário para restaurar florestas em ambientes fortemente degradados (baixa resiliência), sem potencial de regeneração natural e sem vegetação natural próxima que possa funcionar como fonte de propágulos. Nessa situação, plantam-se espécies de rápido crescimento, bom sombreamento e ciclo de vida curto consorciadas com espécies de sombreamento mais ralo, mais lentas e longevas (Figuras 1 e 2). A Figura 1A mostra o aspecto de um reflorestamento em declínio, resultante da morte das espécies pioneiras, as quais constituíam a maioria dos indivíduos plantados. A utilização de proporção adequada de espécies de preenchimento e de diversidade (1B) permite que o reflorestamento se renove, com os indivíduos regenerantes no interior da área restaurada, e isso resulta em uma floresta que se autoperpetua. Esses consórcios devem incluir espécies de diferentes grupos funcionais e mesmo formas biológicas, como herbáceas, arbustos, trepadeiras e árvores de ciclo de vida curto, médio e longo, além de espécies fixadoras de nitrogênio, espécies decíduas que favorecem a ciclagem de nutrientes, plantas produtoras de recursos para a fauna (pólen, frutos ou outros), etc.

Como não há, para a maioria das espécies herbáceas e arbustivas nativas, tecnologia de produção de sementes e cultivo desenvolvida, a utilização de adubos verdes disponíveis no mercado para substituir esse grupo funcional inicialmente na área em restauração tem se provado eficiente. Com o uso de adubação verde, torna-se possível promover mais rápida e eficiente cobertura vegetal, reduzindo os custos de manutenção, principalmente referentes à irrigação, adubação de cobertura, controle de formigas-cortadeiras e controle de matocompetição.



**Figura 1.** Aspecto de um reflorestamento em declínio após morte das espécies pioneiras (A) e de um reflorestamento em renovação, com proporção adequada de espécies de preenchimento e de diversidade (B), em Orlândia, SP.



**Figura 2.** Reflorestamento de espécies nativas com 1 ano, implantado a partir de linhas alternadas de preenchimento e de diversidade, em Mucuri, BA.

## Vantagens do uso da adubação verde na restauração florestal

O plantio de adubos verdes como estratégia de recobrimento inicial de solos degradados vem sendo utilizado em diversas iniciativas, como em recuperação de áreas degradadas por mineração (Moreira, 2004) e por atividades agropecuárias (Campos-Filho, 2013; César et al., 2013) e em agroflorestas. Além do recobrimento do solo e dos benefícios relatados nos outros capítulos deste livro, as vantagens advindas da utilização de adubos verdes na restauração florestal são apresentadas a seguir.

### Recuperação física, química e biológica do solo

Em áreas com processos erosivos ativos ou muito degradadas por esses processos, nem mesmo as espécies arbóreas mais resistentes conseguem se desenvolver. Nessa situação, é necessária a ocupação prévia do solo por plantas que auxiliem no restabelecimento de condições mínimas à sobrevivência da vegetação nativa e atuem na proteção, descompactação, aeração e incorporação de nutrientes e de matéria orgânica ao solo. Em áreas abandonadas, muitas vezes são capins que realizam esse papel inicial de recuperação do solo; mas eles podem se perenizar na área e dificultar o estabelecimento das árvores nativas. Além disso, pelos métodos tradicionais de manutenção dos reflorestamentos com espécies nativas, o capim é frequentemente controlado com enxada, grade ou herbicida nas entrelinhas do plantio, deixando o solo exposto aos agentes erosivos.

Com a ocupação física da área por espécies de adubo verde, os processos erosivos são atenuados, e isso contribui, de forma decisiva, para a redução da degradação do solo e do assoreamento dos cursos d'água. Adubos verdes podem atuar na proteção contra os efeitos da erosão causada por variáveis edafoclimáticas e servir como agentes reestruturadores de propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (Souza et al., 2008 citado por Castro et al., 2011). Ao promoverem a dissipação da energia cinética das gotas de chuva e diminuírem a desagregação das partículas de solo e o selamento superficial, os adubos verdes têm ação direta e efetiva na redução da erosão hídrica, aumentando a infiltração e retenção de água, reduzindo a velocidade do escoamento superficial e, conseqüentemente, o potencial erosivo da enxurrada (Sloneker; Moldanauer, 1977; Cogo et al., 1984; Zhou et al., 2002 citados por Castro et al., 2011). Portanto, espécies de adubos verdes podem ser utilizadas na criação de microclimas favoráveis ao crescimento das espécies nativas.

Os benefícios químicos da adubação verde, tais como melhoria do pH, da capacidade de troca catiônica (CTC) e do índice de saturação por bases em solos degradados, foram relatados por Medeiros et al. (1987), Favaretto et al. (2000) e Nascimento et al. (2003), entre outros. As raízes de



algumas espécies liberam ácidos orgânicos que ajudam a solubilizar os minerais do solo (como o fósforo), deixando-os disponíveis para as culturas subsequentes, complexam o alumínio trocável, tornando-o não disponível e atóxico no solo, e mobilizam nutrientes lixiviados em profundidade e pouco solúveis, devido ao crescimento vigoroso e em profundidade do sistema radicular, principalmente o das leguminosas.

A vida do solo também pode se recuperar mais rápido com o policultivo de adubos verdes, gerando acréscimo significativo e quimicamente diverso de matéria orgânica no solo, que favorece o desenvolvimento de comunidades de minhocas, colêmbolos, besouros e bactérias edáficas, atores responsáveis pela decomposição e ciclagem de nutrientes e fundamentais no processo de restauração ecológica. As espécies de adubo verde também diminuem a variação da temperatura entre o dia e a noite e seus efeitos na superfície do solo e em profundidade, favorecendo a vida microbiana; favorecem as micorrizas (fungos benéficos que têm a função principal de aumentar o tamanho do sistema radicular e, com isso, melhorar a captura de água e nutrientes) no solo; e podem ser inoculadas com rizóbios específicos para intensificar a nodulação nas raízes e aumentar a fixação de nitrogênio atmosférico no solo (Campos-Filho, 2013).

## Equilíbrio entre plantas competidoras e regeneração natural

Uma das causas mais comuns de insucesso da prática de restauração florestal é a falta de manutenção ou controle de competidores (também chamados de plantas daninhas, agressivas ou invasoras), que são as espécies indesejadas no local e que podem comprometer o desenvolvimento da diversidade de espécies nativas que se pretende restaurar. Os problemas mais comuns ocorrem com as gramíneas, principalmente nos períodos chuvosos, quando normalmente são

Foto: Pedro Henrique Santin Brancalion



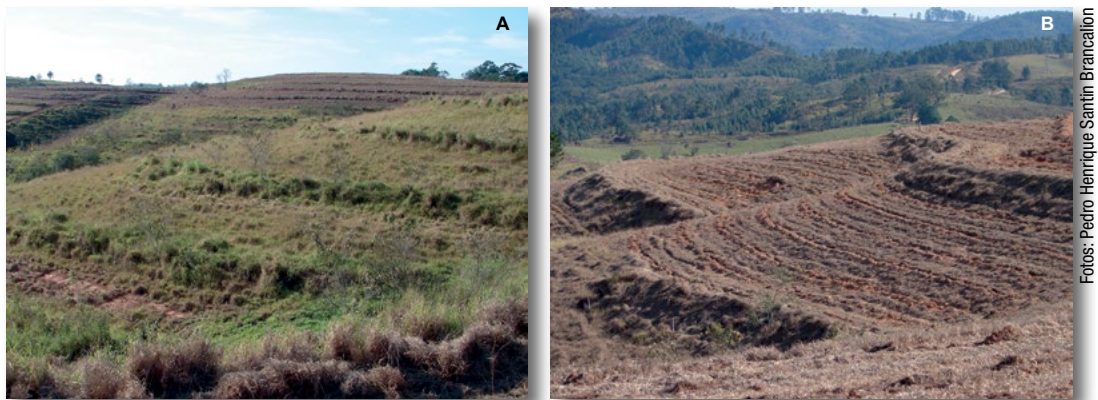
Foto: Ingo Isenmagen



**Figura 3.** Sub-bosque em área de restauração infestada por gramíneas (A); plântula de paineira (*Ceiba speciosa*) em área de semeadura direta de espécies nativas, encoberta por corda-de-viola (*Ipomoea grandifolia*) (B).

feitos os plantios. Entretanto, algumas dicotiledôneas, especialmente as trepadoras, podem também ser prejudiciais, como as cordas-de-viola [*Ipomoea grandifolia* (Dammer) O'Don] (Figura 3).

As competidoras podem prejudicar muito o desenvolvimento das mudas e levá-las à morte em virtude de fatores como alelopatia, sombreamento, maior velocidade de ocupação do solo, uso de nutrientes e água, entre outros. Além disso, é comum que essas espécies produzam muitas sementes longevas e facilmente dispersas no ambiente (Lorenzi, 2000). Embora se faça o controle dessas espécies durante o preparo do local para o plantio (Figura 4), elas podem recobrir a área a partir da germinação do banco de sementes, o que ocorre especialmente quando se revolve o solo pela capina, com conseqüente exposição das sementes. A interferência gerada pelas competidoras é especialmente prejudicial no período que antecede o fechamento das copas das árvores. Após esse período, a diminuição da luminosidade no sub-bosque em formação, aliada à ampliação do volume e da profundidade de solo explorado pelas raízes das árvores, faz que a competição com as invasoras seja minimizada (Gonçalves et al., 2003).



Fotos: Pedro Henrique Santini Brancalion

**Figura 4.** Área a ser reflorestada com infestação de capim-braquiária, antes (A) e após o controle químico da gramínea (B).

Ao longo do processo de restauração por via de plantio apenas de mudas, são normalmente necessárias várias intervenções para controle de plantas competidoras. Entre os controles químico e mecânico (manuais, semimecanizados ou mecanizados), que são os mais usuais, a capina manual é a mais amplamente adotada hoje, apesar do seu baixo rendimento. Em alguns casos, podem ocorrer até cinco capinas anuais (Gonçalves et al., 2003). Essas operações encarecem o processo e nem sempre são eficazes, dadas as reincidências já citadas, especialmente da invasão por gramíneas. Assim, o controle de invasoras torna-se um componente importante da restauração florestal (Melo, 2005) e, devido aos seus altos custos, particularmente em meio a plantios de mudas nativas sem adubação verde, muitos projetos de restauração florestal acabam frustrados. O uso de herbicidas na restauração florestal, embora eficiente em muitos casos (Brancalion et al.,

2009), é visto com ressalvas e pode ser impedido em processos de certificação ou por órgãos de fiscalização, principalmente em APPs (Ferreira; Carvalho, 2002) e unidades de conservação. Há de se estudar novas perspectivas e novos produtos, como herbicidas menos tóxicos, generalistas e seletivos, e graminicidas pré e pós-emergentes, que poderiam ser utilizados com os adubos verdes.

Dentro desse contexto, o uso da adubação verde pode ser uma alternativa viável para a restauração florestal. O sombreamento acelerado da área, com o fechamento do dossel de adubos verdes, representa uma estratégia para a redução da infestação da área por plantas daninhas (Erasmus et al., 2004). Além disso, muitas das espécies de adubo verde possuem a capacidade de restringir o desenvolvimento de plantas daninhas, tal como a braquiária (Bechara, 2006), ou mesmo restringir o recrutamento a partir do banco de sementes (Caetano et al., 2001; Severino; Christoffoleti, 2001). Assim, essas espécies podem contribuir, de forma decisiva, para a redução do nível de infestação da área pelas plantas indesejadas (Favero et al., 2001), seja pela sua presença na área, seja pela cobertura do solo pela palhada gerada após a roçada (Matheis, 2004). Os restos vegetais oriundos do corte das espécies de adubo verde podem ainda ser acumulados com roçadoras e enleiradores, direcionando os restos vegetais roçados nas entrelinhas para as linhas de plantio, de modo a formar uma camada espessa de restos vegetais próxima às mudas (Figura 5). Além do fornecimento de nutrientes, da retenção de umidade, do controle da erosão e da incorporação de matéria orgânica ao solo, essa camada de restos vegetais pode inibir o desenvolvimento das plantas daninhas e impedir que os comprimentos de onda na faixa do vermelho estimulem a germinação das espécies presentes no banco de sementes.

O controle convencional de plantas competidoras (capina mecânica ou química) ainda traz o prejuízo ecológico de eliminar, juntamente com o capim invasor, muitas plantas da regeneração natural, especialmente herbáceas e arbustivas nativas, que são a base do processo sucessional de áreas degradadas. Plantios de árvores com adubação verde, ao evitar formas de controle conven-

Foto: José Aparecido Donizetti Carlos



**Figura 5.** Roçadora “ecológica” em pomar de citros, em Mogi-Mirim, SP.



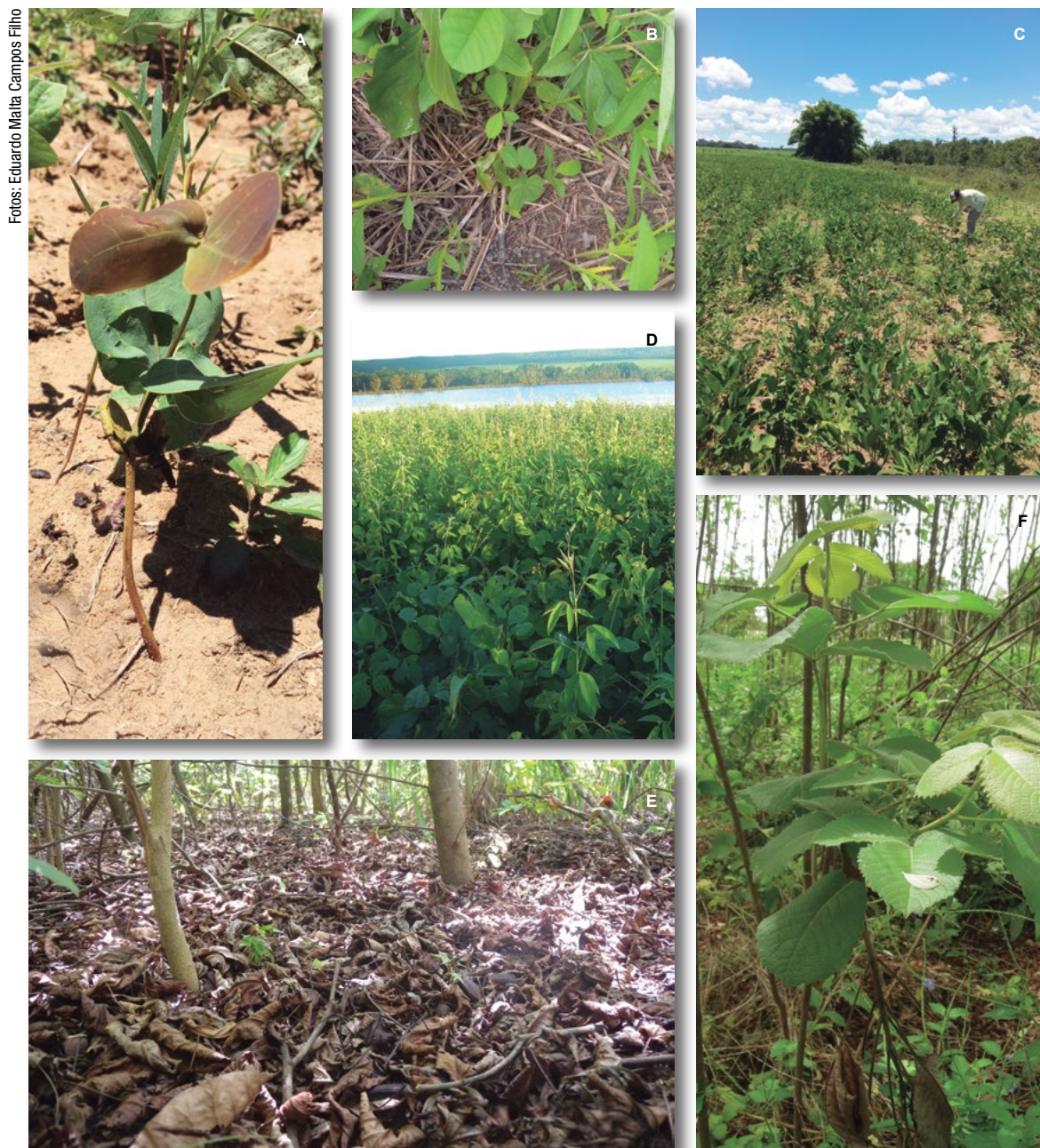
cional de competidoras, ao formar serrapilheira, sombreamento inicial e ao evitar a compactação da superfície do solo, permitem e facilitam o estabelecimento dessas plantas da regeneração natural (Figura 6) que contribuem para a dinâmica ecológica inicial, diversificando a cobertura vegetal, a serrapilheira e a disponibilização de nutrientes no solo e para a fauna.

## Melhoria do desenvolvimento das mudas de espécies nativas

Entre os conhecidos benefícios da adubação verde, está o de melhorar o desenvolvimento das espécies nativas plantadas (Padilla; Pugnaire, 2006). Em pesquisa realizada por Beltrame e Rodrigues (2007) no Pontal do Paranapanema, SP, observou-se que a utilização de feijão-guandu (*Cajanus cajan*) entre as mudas de espécies nativas na linha de plantio reduziu a mortalidade das espécies pioneiras e aumentou a área basal e a altura de todas as espécies testadas. Destefani e Araki (2008) também encontraram resultados semelhantes em restauração ecológica consorciada com plantio de abóbora (*Cucurbita* spp.) em Orlandia, SP, a qual gerou maior crescimento das mudas de algumas espécies arbóreas. Da mesma forma, Silva (2002) recomenda a utilização da adubação verde dentro dos sistemas agroflorestais como alternativa econômica de recuperação de matas ciliares, o que representa outra evidência de sucesso do uso desse grupo de espécies na restauração florestal. Ressalta-se a importância de observar a proporção entre carbono e nitrogênio (C:N) do consórcio implantado para que a matéria orgânica dos adubos verdes leguminosos – rica em N – não consuma a matéria orgânica seca do solo – rica em C – durante a sua decomposição. Em áreas previamente ocupadas por pastagens, isso pode ser naturalmente equilibrado devido à maior quantidade de C nos capins que compõem a serrapilheira ou são incorporados no solo. Em outros casos, recomenda-se consorciar também adubos verdes não leguminosos, como milho (*Pennisetum glaucum*) e milho (*Zea mays*), que têm teor maior de C e podem equilibrar essa relação, contribuindo para o aumento efetivo e perene da serrapilheira e da fertilidade do solo.

O desenvolvimento de fustes retilíneos tem sido observado em plantios de adubos verdes e espécies nativas em alta densidade, como os que têm sido realizados por semeadura direta desde 2006 na região do Xingu, MT (Campos-Filho, 2013; Freitas et al., 2019; Rodrigues et al., 2019<sup>1</sup>). A Figura 7 mostra a diferença na altura de ramificação dos troncos das árvores. Vê-se que a formação de fustes foi melhor no plantio em alta densidade com adubação verde (Figura 7A), característica que interessa à produção madeireira. Escolher espécies com valor madeireiro que tenham essa característica pode ser interessante em sistemas plantados para aproveitamento econômico, já que, em plantios de espécies tradicionais, o fuste não se desenvolve retilíneo naturalmente; para isso, são necessárias sucessivas podas de condução de fuste, o que encarece o processo e nem sempre resulta na forma de fuste desejada.

<sup>1</sup> RODRIGUES, S. B.; FREITAS, M. G.; CAMPOS-FILHO, E. M.; CARMO, G. H. P. do; VEIGA, J. M. da; JUNQUEIRA, R. G. P.; VIEIRA, D. L. M. Direct seeded and colonizing species guarantee successful early restoration of south amazon forests. *Biological Conservation*, 2019. No prelo.



**Figura 6.** Adubos verdes e árvores nativas aos 2 meses de desenvolvimento após semeadura direta simultânea em áreas de pastagens na bacia do Xingu, em Mato Grosso: (A) jatobá (*Hymenaea courbaril*) e adubos verdes (*Crotalaria ochroleuca* e feijão-de-porco – *Canavalia ensiformis*) juntos a herbáceas da regeneração natural; (B) espécies nativas (urucum – *Bixa orellana* e pata-de-vaca – *Bauhinia* sp.) e adubos verdes (feijão-de-porco, *Crotalaria spectabilis* e feijão-guandu – *Cajanus cajan*); (C) cobertura de adubos verdes feijão-de-porco de *C. ochroleuca* em baixa densidade de semeadura; (D) cobertura de adubos verdes feijão-de-porco, guandu e milho, em alta densidade de semeadura, aos 4 meses de idade; (E) serrapilheira após a senescência dos adubos verdes com regeneração natural de plântulas; (F) mesma área mostrada em (D), aos 2,5 anos de idade, com plantas de guandu em senescência, plantas de pequi semeadas diretamente e regeneração natural de ervas e arbustos.





Fotos: Eduardo Malta Campos Filho

**Figura 7.** Áreas em restauração florestal de mesma idade ao redor da mesma nascente: plantio de árvores com adubos verdes em alta densidade (semeadura direta mecanizada com plantadeira de soja, em linhas) (A); plantio de mudas convencional (3 m x 2 m) (B).

Se, por um lado, a presença dos adubos verdes pode favorecer o crescimento das árvores nativas, por outro, seu sombreamento excessivo pode também inibir ou impedir a germinação de algumas espécies, retardar o crescimento ou até matá-las precocemente (Holmgren et al., 1997; Felfili et al., 1999). O recobrimento inicial do solo deve ser considerado uma fase do programa de recuperação, de modo que não comprometa a dinâmica sucessional futura da área (Griffith et al., 1996). Beltrame e Rodrigues (2007) perceberam que, plantado a 1 m de distância das árvores, o feijão-guandu auxiliou, de maneira geral, no desenvolvimento das espécies florestais, reduzindo a mortalidade e aumentando a área basal e altura média das árvores nativas. No mesmo trabalho, os autores detectaram que, quando plantado mais perto das árvores, o feijão-guandu pode reduzir esse crescimento.

Essas experiências mostram que se deve buscar um balanço entre competição e cooperação no consorciamento de adubos verdes, árvores e capins (plantas competidoras indesejáveis), que deve ser considerado e planejado conforme os objetivos e condições de cada projeto. Como essas interações são influenciadas por múltiplos fatores (solo, clima, quantidade de sementes, formigas-cortadeiras, secas, etc.), o sombreamento gerado pode resultar maior do que planejado (por exemplo, em casos em que a fertilidade do solo é maior do que se esperava). Nesses casos, deve-se manejar a área com podas e/ou raleamento, que podem ser realizados com roçada mecanizada ou manualmente, com foice ou facão. Ressalta-se que essas ações de manejo da cobertura dos adubos verdes são menos custosas e mais efetivas do que o controle convencional de plantas competidoras, como os capins exóticos. Portanto, em regiões sem experiência prévia com esses consórcios, é indicado semear adubos verdes em alta densidade e realizar o raleamento ou poda se, quando e onde for necessário na área em restauração.

## Interação com a fauna e redução do ataque de herbívoros

A utilização de espécies de adubo verde com intensa e precoce produção de flores e de sementes pode antecipar a interação com a fauna, fazendo que ela retorne progressivamente à área em restauração (Bechara, 2006) desde o primeiro ano pós-plantio. Como a maioria das árvores nativas plantadas só atingirão a maturidade após alguns anos, atender a demanda dos insetos polinizadores por recursos (disponíveis apenas a partir do florescimento das árvores) torna-se um desafio. Antes dessa fase, o recurso pode estar disponível por meio de diversas espécies de adubo verde que apresentam intenso florescimento, o que constituirá uma importante fonte de alimentação para várias espécies de insetos. Além disso, diversas aves granívoras, assim como roedores, podem se alimentar das sementes produzidas por algumas espécies de adubo verde; portanto, é importante utilizar espécies que não tenham potencial invasor. Além de insetos, aves e roedores, a cobertura de adubos verdes atrai também outros animais, como mamíferos terrestres e morcegos, importantes dispersores naturais de sementes e alguns inimigos naturais de formigas-cortadeiras.

Nos plantios de mudas sem adubos verdes, por costumes arraigados, tende-se a manter a área o mais livre possível de capins e outras plantas daninhas (Figura 2), de forma que o local seja apenas ocupado pelas espécies nativas plantadas, sem competição. Nessa condição, as mudas constituem a principal opção de alimentação para as formigas-cortadeiras ou capivaras, por exemplo. Já nos casos em que são usadas espécies de adubação verde, sua alta densidade e produção de biomassa dissipam o ataque de herbívoros (formigas, grilos, capivaras, tatus, entre outros) que poderão também consumir essas ervas e arbustos, deixando, assim, de concentrar o ataque nas árvores nativas, efeito conhecido como saciação do herbívoro (Connell, 1971; Janzen, 1971). Além disso, o microclima criado pela cobertura de adubos verdes pode facilitar o estabelecimento de plântulas de sementes plantadas ou advindas do entorno, fornecendo sombra parcial e protegendo-as do vento, o que contribui para a manutenção da umidade relativa do solo e do ar sob essa cobertura e reduz a perda de turgor e a mortalidade das plântulas ou mudas plantadas devido ao dessecamento causado por intensa insolação ou períodos de seca (Gómez-Aparicio et al., 2004; Balandier et al., 2009).

## Sugestões para o uso da adubação verde no plantio de espécies florestais nativas

Mais de 20 espécies são de reconhecido uso na adubação verde no Brasil, como está ampla e ricamente descrito no presente livro. No entanto, para seu uso potencial na restauração florestal, é preciso atentar para algumas questões:

- Devem-se considerar fatores como clima, topografia e condições do solo, como fertilidade e pH, ao selecionar as espécies de adubos verdes mais adequadas para uma área. Uma questão importante no caso de restauração ecológica é escolher espécies de adubação verde que saiam naturalmente da área durante o processo de restauração; por isso, não devem ser espécies invasoras nem espécies perenes e devem ser espécies muito sensíveis ao sombreamento, o que fará com que saiam do sistema quando a área for recoberta com as nativas sombreadoras.
- Devem-se planejar a densidade de sementeira e a distribuição espacial das espécies para obter o melhor balanço entre competição e cooperação entre adubos verdes e árvores, conforme os objetivos e condições de manutenção de cada projeto.
- Podem-se introduzir simultaneamente árvores e adubos verdes misturados [semear adubos verdes juntos nas mesmas linhas e covas (em espaçamento 1 m x 1 m, por exemplo) ou aleatoriamente (a lanço em área total)], ou ainda podem-se plantar adubos verdes entre linhas de plantio de espécies nativas, no espaçamento que seja mais fácil manejá-las mecanicamente ou manualmente no futuro (Figuras 8 a 10).

Foto: Ingo Isemitagen



**Figura 8.** Feijão-guandu anão com 4 meses de idade, em entrelinha, em restauração florestal via sementeira direta de espécies nativas, em Araras, SP, em 2008. Área previamente dominada por braquiária e com maciço de leucena (*Leucaena leucocephala*) próximo.



Foto: Eduardo Malta



**Figura 9.** Floresta multiestratificada, estabelecida por semeadura direta de espécies nativas consorciadas em linhas com adubos verdes e regenerada no estrato baixo (mesma área da Figura 8, fotografada em 2020).

Foto: Eduardo Malta



**Figura 10.** Dossel multiestratificado e regenerado, estabelecido por semeadura de várias espécies consorciadas em linhas com adubos verdes (mesma área da Figura 8, fotografada em 2020).



- Recomenda-se, para plantio simultâneo de adubos verdes e espécies nativas, densidade de sementeira dos adubos verdes entre 30% e 80% da recomendação para monocultura de cada espécie. Deve-se semear em menor densidade quanto melhor forem o pH e a fertilidade do solo para que se obtenha entre 50% e 90% de sombreamento do solo. Se for utilizada inoculação das sementes, pode-se reduzir a densidade de sementeira em cerca de 30%.
- Pode-se usar, na adubação verde (Figura 11), apenas uma espécie (monocultura) ou uma variedade de espécies diferentes de adubo verde (policultura - Figura 12). Nesse último caso, devem ser selecionadas tanto espécies de crescimento rápido e ciclo curto quanto espécies de crescimento mais lento e ciclo mais longo. Escolhas equivocadas de espécies,

Foto: Osvaldo Luis de Sousa



**Figura 11.** Monocultivo de adubo verde (crotalária-júncea – *C. juncea*) com reinfestação de capins após sua senescência.

Foto: Osvaldo Luis de Sousa



**Figura 12.** Policultivo de adubos verdes (guandu (*Cajanus cajan*), *Crotalaria juncea* e feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*), com estratificação diferenciada da cobertura vegetal.

de momento de implantação ou de manejo podem comprometer o desenvolvimento da área. Deve-se buscar também consorciar adubos verdes de alturas e formas de sombra diferentes para que a sombra resultante sobre o solo seja heterogênea e permita a entrada de raios de luz do sol em diferentes momentos do dia. Definindo-se as espécies e quantidades, as sementes de adubos verdes podem ser misturadas para plantio em uma única operação.

- Pode-se fazer o plantio prévio de adubos verdes em área total entre 3 meses e 1 ano antes da introdução das nativas no mesmo local, como forma de preparo do terreno e abafamento antecipado de capins competidores para facilitar a restauração florestal. Neste caso, podem-se semear diversos adubos verdes juntos com a densidade total recomendada para monoculturas (Figura 10). Os adubos verdes podem ser roçados ou dessecados, em área total ou em faixas, para o plantio posterior das nativas.
- Pode ser necessário, antes do uso da adubação verde, preparar o solo nas áreas de restauração florestal. As próprias espécies de adubo verde podem necessitar de descompactação e correção do solo, que devem ser realizadas previamente, conforme análise do solo do local.
- Pode-se realizar a semeadura de adubo verde e espécies nativas em área total a lanço (com revolvimento do solo prévio e posterior à incorporação das sementes ao solo), ou em linhas (plantio direto sobre palhada ou não) ou ainda em covetas (em áreas declivosas ou de difícil acesso a máquinas). Uma das possibilidades é o uso de linhas alternadas, sendo uma linha de espécies nativas de adubação verde de ciclo curto e outra linha de espécies de adubação verde de ciclos curtos e longos (Figura 13). Pode-se plantar à mão, utilizar matracas ou implementos puxados por trator, como distribuidoras de adubo ou plantadeiras de grãos.
- Pode-se realizar, em áreas declivosas e não mecanizáveis, a semeadura das espécies de adubo verde e árvores em covetas, as quais podem ser abertas com pequenas enxadas. Deve-se revolver o solo até uma profundidade mínima de 10 cm. O espaçamento entre covetas deve ser definido de acordo com a necessidade de recobrimento da área (Figura 8). Nesses casos, a semeadura pode ser feita manualmente ou com matracas. A roçagem do adubo verde em áreas declivosas, se necessária, deve ser realizada apenas na linha de plantio com o objetivo de conter a erosão do solo.
- Devem-se realizar manejos de poda ou raleamento dos adubos verdes quando se fizerem necessários, sob pena de não gerarem os efeitos positivos ou, até mesmo, de gerarem efeitos negativos para as espécies nativas. O manejo pode ser feito utilizando roçadeiras costais, roçadeiras puxadas por trator, colheitadeiras ou foice e facão.
- Pode não ser necessária nenhuma forma de manejo dos adubos verdes, mas é importante monitorar de perto durante os primeiros meses após a semeadura. Em algumas

Foto: Ingo Iserrnhagen



**Figura 13.** Linha de semeadura direta de espécies nativas sobre palhada junto com plantas de adubação verde de ciclo curto (feijão-de-porco – *Canavalia ensiformis*) e médio (feijão-guandu – *Cajanus cajan*), com 2 meses, em São Carlos, SP, em janeiro/2019.

experiências do Instituto Socioambiental (ISA) nos biomas Cerrado e Amazônia, em áreas de pastagem de braquiárias *Urochloa humidicola* e *Urochloa decumbens* que foram gradeadas três vezes durante a seca e, no início das chuvas, semeadas com alta densidade de espécies arbóreas e adubos verdes, não foi realizada nenhuma forma de controle de plantas competidoras após o plantio: nem químico, nem mecânico e nem manual (Rodrigues et al., 2019). Os adubos verdes foram utilizados em 100% da sua recomendação agrônômica em monocultura (densidades: 120 kg ha<sup>-1</sup> de feijão-de-porco, 50 kg ha<sup>-1</sup> de feijão-guandu e 15 kg ha<sup>-1</sup> de milho), misturados com as sementes nativas. Essa mistura (chamada “muvuca de sementes”) foi lançada sobre o solo e incorporada com grade niveladora ou plantada diretamente com plantadeira de soja. Após 10 anos sem manutenção, algumas áreas fracassaram sob a sombra excessiva do capim ou dos próprios adubos verdes e depois voltaram a ser dominados pelo capim. Em outras, formaram-se Cerradões, Matas Ciliares e Florestas Amazônicas bem estruturadas (Figura 7). Entretanto, esse sucesso na restauração de áreas sem manejo e, portanto, mais barata vem à custa de uma imprevisibilidade maior e um crescimento mais lento das árvores, principalmente em área basal, devido ao sombreamento intenso, porém não excessivo, criado pelos adubos verdes.

- Pode-se realizar a roçagem dos adubos verdes em faixas apenas onde serão introduzidas as futuras linhas de árvores. A manutenção das entrelinhas com roçadas deve ser feita preferencialmente utilizando roçadeiras que joguem os restos vegetais do adubo verde nas linhas de plantio (Figuras 5 e 10), pois a presença de palhada nessa região aumentará a retenção de umidade e inibirá a reinfestação de plantas daninhas.
- Pode-se optar, em casos específicos, por plantar adubos verdes em densidades mais baixas e realizar a manutenção complementar com capina, roçada ou aplicação de herbicidas seletivos (graminídeos). Entretanto, além das restrições ambientais, a eficácia dos graminídeos é alta somente se forem aplicados em até 2 a 3 meses da germinação dos capins, de modo a permitir aos adubos verdes se fecharem, inibindo a germinação de novos capins. Se os graminídeos forem aplicados após esse período, quando as touceiras de capim já estão mais bem estabelecidas, sua eficiência se reduz consideravelmente. Portanto, é essencial sua aplicação no momento certo da vida do capim.
- Deve-se observar que, à medida que avança o processo de recuperação, as espécies de adubo verde devem dar lugar às espécies herbáceo-arbustivas nativas, de modo que seja possível a continuidade do processo natural de sucessão. Pelas características descritas, não se recomendaria, em hipótese alguma, por exemplo, o uso da leucena (*Leucaena leucocephala*) ou de acácia (*Acacia mangium*) em consórcio com espécies nativas, pois essas espécies têm elevado potencial de infestação e são de difícil controle, podendo inviabilizar a restauração florestal. Em vez de serem plantadas, essas espécies devem ser manejadas ou erradicadas das áreas antes do reflorestamento com nativas. Os adubos verdes não devem causar danos mecânicos às espécies florestais, como a quebra de ponteiros. Por isso, devem-se evitar, por exemplo, trepadeiras agressivas, como as mucunas (*Mucuna* spp., exceto *Mucuna deeringiana*) ou a puerária (*Pueraria phaseoloides*). As primeiras devem ser evitadas, pois têm alta capacidade invasora, alastram-se localmente e inibem o desenvolvimento das espécies nativas (Bechara, 2006). Em casos muito específicos, a mucuna é utilizada, mas sob intenso e repetido manejo manual com podas após o plantio, o que pode encarecer o processo. Além disso, há o risco de a mucuna escapar ao controle e colonizar indesejavelmente áreas fora do projeto, se tornando uma espécie invasora.
- Pode-se constituir em fator limitante para a restauração ecológica em larga escala a disponibilidade de sementes para adubação verde. Dessa forma, é importante que projetos de grande porte busquem arranjos produtivos e comerciais que garantam seu abastecimento.
- Sugere-se pesquisar espécies herbáceo-arbustivas nativas da flora brasileira para uso como adubação verde em restauração florestal, as quais podem também ter potencial para uso em agricultura e silvicultura convencional.

Diante dessas considerações, a Tabela 1 apresenta características de espécies recomendadas para uso em restauração florestal. Espécies como braquiária [*Brachiaria* spp. (syn.



*Urochloa* spp.]), calopogônio (*Calopogonium mucunoides*), *Centrosema* spp., leucena (*Leucaena leucocephala*), mucuna-preta (*Mucuna atterima*), puerária (*Pueraria phaseoloides*), siratro (*Macroptilium atropurpureum*) e soja-perene (*Glycine wightii*), apesar de poderem ser usadas como adubo verde, não são recomendadas para consórcio na restauração florestal por terem hábito trepador ou potencial invasor.

**Tabela 1.** Características de espécies de adubo verde recomendadas para projetos de restauração florestal.

Nome popular	Nome científico	Ciclo de vida	Porte	Velocidade de crescimento
<b>Leguminosas</b>				
Feijão-caupi, feijão-de-corda	<i>Vigna unguiculata</i>	5 meses	Até 1 m	Média
Feijão-de-porco	<i>Canavalia ensiformis</i>	6 meses	Até 1 m	Rápida
Feijão-bravo-do-ceará	<i>Canavalia brasiliensis</i>	1 a 2 anos	Até 1 m	Média
Feijão-guandu-anão (Iapar-43 Aratã)	<i>Cajanus cajan</i>	4 meses	1 m	Rápida
Feijão-guandu (BRS Mandarin)	<i>Cajanus cajan</i>	3 a 4 anos	Maior que 2 m	Média
Crotalaria-breviflora	<i>Crotalaria breviflora</i>	3 meses	Até 1 m	Média
Crotalaria-espectabilis	<i>Crotalaria spectabilis</i>	3 meses	1 m	Média
Crotalaria-júncea	<i>Crotalaria juncea</i>	4 meses	Maior que 2 m	Rápida
Crotalaria-ocroleuca	<i>Crotalaria ochroleuca</i>	5 meses	2 m	Lenta
<b>Não leguminosas</b>				
Milho	<i>Zea mays</i>	4 meses	2 m	Lenta
Milheto	<i>Pennisetum glaucum</i>	3 meses	Até 1 m	Rápida
Sorgo	<i>Sorghum bicolor</i>	4 meses	1,5 m	Média
Aveia-preta	<i>Avena strigosa</i>	3 meses	Até 1 m	Rápida
Girassol	<i>Helianthus annuus</i>	3 a 4 meses	Até 2 m	Lenta
Nabo-forrageiro	<i>Raphanus sativus</i> var. <i>oleiferus</i>	4 meses	Até 2 m	Rápida

## Considerações finais

No Brasil, a degradação dos ecossistemas naturais tem aumentado a demanda por restauração florestal, principalmente em áreas de preservação permanente (APPs) e reservas legais (RLs). O uso da adubação verde consorciada com o plantio de espécies arbóreas nativas é uma boa alternativa para reduzir a necessidade de controle de competidores e, com isso, reduzir as aplicações de herbicidas, promover a descompactação, a formação de serrapilheira e a recuperação mais rápida das características químicas e biológicas do solo, proteger o solo contra sol, vento

e efeito erosivo das chuvas, permitir a saciação de herbívoros e criar microssítios com microclimas mais adequados para o desenvolvimento das espécies nativas.

Neste capítulo, foram abordados os principais aspectos relacionados a essa técnica para que, com sucesso, sejam atingidos os objetivos da restauração ecológica. No entanto, é muito importante que as recomendações aqui apresentadas continuem sendo testadas cientificamente e empiricamente pelos atores da restauração, o que possibilitará o aprimoramento e a consolidação do uso da adubação verde na restauração florestal no Brasil.

## Referências

ALVES, L. F.; METZGER, J. P. A regeneração florestal em áreas de floresta secundária na Reserva Florestal do Morro Grande, Cotia, SP. **Biota Neotropica**, v. 6, n. 2, 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/bn/v6n2/v6n2a04.pdf>. Acesso em: 21 jun. 2010.

ARONSON, J.; ANDEL, J. van. Challenges for ecological theory. In: ANDEL, J. van; ARONSON, J. (ed.). **Restoration ecology: the new frontier**. Oxford: Blackwell, 2006. p. 223-233.

BALANDIER, P.; FROCHOT, H.; SOURISSEAU, A. Improvement of direct tree seeding with cover crops in afforestation: microclimate and resource availability induced by vegetation composition. **Forest Ecology and Management**, v. 257, p. 1716-1724, 2009. DOI: [10.1016/j.foreco.2009.01.032](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.01.032).

BECHARA, F. C. **Unidades demonstrativas de restauração ecológica através de técnicas nucleadoras**: Floresta Estacional Semidecidual, Cerrado e Restinga. 2006. 249 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

BELTRAME, T. P.; RODRIGUES, E. Feijão guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.) na restauração de florestas tropicais. **Semina: ciências agrárias**, v. 28, n. 1, p. 19-28, jan./mar. 2007.

BRANCALION, P. H. S.; ISERNHAGEN, I.; MACHADO, R. P.; CHRISTOFFOLETI, P. J.; RODRIGUES, R. R. Seletividade dos herbicidas setoxidim, isoxaflutol e bentazon a espécies arbóreas nativas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 3, p. 251-257, mar. 2009.

BRANCALION, P. H. S.; SCHWEIZER, D.; GAUDARE, U.; MANGUEIRA, J. R.; LAMONATO, F.; FARAH, F. T.; NAVE, A. G.; RODRIGUES, R. R. Balancing economic costs and ecological outcomes of passive and active restoration in agricultural landscapes: the case of Brazil. **Biotropica**, v. 8, n. 6, p. 856-867, 2016.

BRASIL. Lei n.º 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 28 maio 2012.

Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm). Acesso em: 15 maio 2017.

BRASIL. Lei n.º 12.727, de 17 de outubro de 2012. Altera a Lei no 12.651, de 25 de maio de 2012, que dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; e revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001, o item 22 do inciso II do art. 167 da Lei no 6.015, de 31 de dezembro de 1973, e o § 2o do art. 4o da Lei no 12.651, de 25 de maio de 2012. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2012. Acesso em: 15 maio 2017.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa (Planaveg)**.

Brasília, DF: MMA, 2015. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/florestas/pol%C3%ADtica-nacional-de-recupera%C3%A7%C3%A3o-da-vegeta%C3%A7%C3%A3o-nativa>. Acesso em: 20 nov. 2015.

BRASIL. Resolução Conama n.º 429, de 28 de fevereiro de 2011. Dispõe sobre a metodologia de recuperação das Áreas de Preservação Permanente – APPs. **Diário Oficial da União**, 29 fev. 2011. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=644>. Acesso em: 15 maio 2017.



- CAETANO, R. S. X.; CHRISTOFFOLETI, P. J.; VICTORIA FILHO, R. "Banco" de sementes de plantas daninhas em pomar de laranjeira 'Pera'. **Scientia Agricola**, v. 58, n. 3, p. 509-517, jul./set. 2001.
- CAMPOS-FILHO, E. M.; COSTA, J. M. N. M. da; SOUZA, O. L. de; JUNQUEIRA, R. G. P. Mechanized direct-seeding of native forests in Xingu, Central Brazil. **Journal of Sustainable Forestry**, v. 32, n. 7, p. 702-727, 2013.
- CARNEIRO, P. H. M.; RODRIGUES, R. R. Management of monospecific commercial reforestations for the forest restoration of native species with high diversity. In: RODRIGUES, R. R.; MARTINS, S. V.; GANDOLFI, S. (ed.). **High diversity forest restoration in degraded areas**. New York: Nova Science, 2007. p. 129-144.
- CASTRO, N. E. A. de; SILVA, M. L. N.; FREITAS, D. A. F. de; CARVALHO, G. J. de; MARQUES, R. M.; GONTIJO NETO, G. F. Plantas de cobertura no controle da erosão hídrica sob chuvas naturais. **Bioscience Journal**, v. 27, n. 5, p. 775-785, set.-out. 2011.
- CENTURION, M. A. P. C.; CENTURION, J. F.; ROQUE, C. G.; PRADO, R. M.; NATALE, W. Efeito do manejo da entrelinha da seringueira sobre as propriedades químicas do solo, estado nutricional e o crescimento. **Revista Árvore**, v. 29, n. 2, p. 185-193, 2005.
- CESAR, R. G.; BRANCALION, P. H. S.; RODRIGUES, R. R.; MEDINA, A. M. dos S.; ALVES, M. C. Does crotalaria (*Crotalaria breviflora*) or pumpkin (*Cucurbita moschata*) inter-row cultivation in restoration plantings control invasive grasses? **Scientia Agricola**, v. 70, n. 4, p. 268-273, Jul.-Aug. 2013. DOI: [10.1590/S0103-90162013000400008](https://doi.org/10.1590/S0103-90162013000400008).
- CHOI, Y. D. Theories for ecological restoration in changing environment: toward "futuristic" restoration. **Ecological Research**, v. 19, n. 1, p. 75-81, Jan. 2004. DOI: [10.1111/j.1440-1703.2003.00594\\_19\\_1.x](https://doi.org/10.1111/j.1440-1703.2003.00594_19_1.x).
- CONNELL, J. H. On the role of natural enemies in preventing competitive exclusion in some marine animals and in tropical rainforest trees. In: BOER, P. J. den; GRADWELL, G. R. (ed.). **Dynamics of populations**. Wageningen: Centre for Agricultural Publishing and Documentation, 1971. p. 298-310.
- DESTEFANI, A. C. C.; ARAKI, D. Plantio de Abóboras (*Cucurbita* spp.) nas entrelinhas de uma restauração ecológica com espécies arbóreas nativas em área de preservação permanente ribeirinha no Sudeste do Brasil. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 7., 2008, Curitiba. **Anais [...]** Curitiba: Sinrad, 2008.
- ENGEL, V. L.; PARROTA, J. A. Definindo a restauração ecológica: tendências e perspectivas mundiais. In: KAGEYAMA, P. Y.; OLIVEIRA, R. E.; MORAES, L. F. D.; ENGEL, V. L.; GANDARA, F. B. (ed.). **Restauração ecológica de ecossistemas naturais**. Botucatu: Fepaf, 2003. p. 3-26.
- ERASMO, E. A. L.; AZEVEDO, W. R.; SARMENTO, R. A.; CUNHA, A. M.; GARCIA, S. L. R. Potencial de espécies utilizadas como adubo verde no manejo integrado de plantas daninhas. **Planta Daninha**, v. 22, n. 3, p. 337-342, jul./set. 2004.
- ESPINDOLA, J. A. A.; GUERRA, J. G. M.; PERIN, A.; TEIXEIRA, M. G.; ALMEIDA, D. L.; URQUIAGA, S.; BUSQUET, R. N. B. Bananeiras consorciadas com leguminosas herbáceas perenes utilizadas como coberturas vivas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 3, p. 415-420, mar. 2006.
- FAVARETTO, N.; MORAES, A. de; MOTTA, A. C. V.; PREVEDELLO, B. M. S. Efeitos da revegetação e da adubação de área degradada na produção de matéria seca e na absorção de nutrientes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 2, p. 299-306, fev. 2000.
- FAVERO, C.; JUCKSCH, I.; ALVARENGA, R. C.; COSTA, L. M. Modificações na população de plantas espontâneas na presença de adubos verdes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 11, p. 1355-1362, nov. 2001.
- FELFILI, J. M.; HILGBERT, L. F.; FRANCO, A. C.; SILVA, J. C. S.; RESENDE, A. B.; NOGUEIRA, M. V. P. Comportamento de plântulas de *Sclerobium paniculatum* Vog. var. *rubiginosum* (Tul.) Benth. sob diferentes níveis de sombreamento, em viveiro. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 22, p. 297-301, 1999.
- FERREIRA, C. A.; CARVALHO, P. E. R. Manejo de plantios e da vegetação restaurada. In: GALVÃO, A. P. M.; MEDEIROS, A. C. de S. (ed.). **Restauração da Mata Atlântica em áreas de sua primitiva ocorrência natural**. Colombo: Embrapa Florestas, 2002. p. 63-68.
- FIDALSKI, J.; MARUR, C. J.; AULER, P. A. M.; TORMENA, C. A. Produção de laranjas com plantas de cobertura permanente na entrelinha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 6, p. 927-935, jun. 2006.
- FREITAS, M. G.; RODRIGUES, S. B.; CAMPOS-FILHO, E. M.; CARMO, G. H. P. do; VEIGA, J. M. da; JUNQUEIRA, R. G. P.; VIEIRA, D. L. M. Evaluating the success of direct seeding for tropical forest restoration over ten years. **Forest Ecology and Management**, n. 438, p. 224-232, 2019.

- GANDOLFI, S.; RODRIGUES, R. R. Metodologias de restauração florestal. In: MANEJO ambiental e restauração de áreas degradadas. São Paulo: Fundação Cargill, 2007. p. 109-143.
- GÓMEZ-APARICIO, L.; ZAMORA, R.; GOMEZ, J. M.; HODAR, J. A.; CASTRO, J.; BARAZA, E. Applying plant facilitation to forest restoration: a meta-analysis of the use of shrubs as nurse plants. **Ecological Applications**, v. 14, p. 1128-1138, 2004.
- GONÇALVES, J. L. de M.; NOGUEIRA JÚNIOR, L. R.; DUCATTI, F. Recuperação de solos degradados. In: KAGEYAMA, P. Y.; OLIVEIRA, R. E. de; MORAES, L. F. D. de; ENGEL, V. L.; GANDARA, F. B. (org.). **Restauração ecológica de ecossistemas naturais**. Botucatu: Fepaf, 2003. p. 113-163.
- GRIFFITH, J. J.; DIAS, L. E.; JUCKSCH, I. Recuperação de áreas degradadas usando vegetação nativa. **Saneamento Ambiental**, n. 37, p. 28-37, 1996.
- HOLMGREN, M.; SCHEFFER, M.; HUSTON, M.A. The interplay of facilitation and competition in plant communities. **Ecology**, v. 78, p. 1966-1975, 1997.
- JAKOVAC, A. C. C. **O uso do banco de sementes florestal contido no topsoil como estratégia de recuperação de áreas degradadas**. 2007. 142 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Campinas, Campinas.
- JANZEN, D. H. Seed predation by animals. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 2, p. 465-492, 1971.
- JUNQUEIRA, R. G. P.; RIBEIRO, R.; CAMPOS-FILHO, E. M. Y Ikatu Xingu campaign: a shared socio-environmental responsibility for large-scale restoration of Xingu river watershed in Brazil. **SER news**, Apr. 2015.
- KAGEYAMA, P.; GANDARA, F. Restauração e conservação de ecossistemas tropicais. In: CULLEN JUNIOR, L.; VALLADARES-PÁDUA, C.; RUDRAN, R. (org.). **Métodos de estudos em biologia da conservação e manejo da vida silvestre**. Curitiba: Ed. da UFPR: Fundação O Boticário de Proteção à Natureza, 2003. p. 383-394.
- LORENZI, H. **Plantas daninhas do Brasil**: terrestres, aquáticas, parasitas e tóxicas. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2000. 608 p.
- MATHEIS, H. A. S. M. **Efeitos de diferentes coberturas mortas obtidas a partir do manejo mecânico com roçadeira lateral na dinâmica populacional de plantas daninhas em citros**. 2004. 68 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- MEDEIROS, J. C.; MIELNICZUK, J.; PEDO, F. Sistemas de culturas adaptadas à produtividade, recuperação e conservação do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 11, n. 2, p. 199-204, maio/ago. 1987.
- MELO, A. C. G. de. A legislação como suporte a programas de recuperação florestal no Estado de São Paulo. **Florestar Estatístico**, v. 8, n. 17, p. 9-15, jul. 2005.
- MOREIRA, P. R. **Manejo do solo e recomposição da vegetação com vistas a recuperação de áreas degradadas pela extração de bauxita, Poços de Caldas, MG**. 2004. 139 f. Tese (Doutor em Ciências Biológicas) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro.
- NASCIMENTO, J. T.; SILVA, I. de F. da; SANTIAGO, R. D.; SILVA NETO, L. de F. da. Efeito de leguminosas nas características químicas e matéria orgânica de um solo degradado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, n. 3, p. 457-462, 2003.
- PADILLA, F. M.; PUGNAIRE, F. I. The role of nurse plants in the restoration of degraded environments. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 4, p. 196-202, 2006. DOI: [10.1890/1540-9295\(2006\)004\[0196:TRONPI\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1540-9295(2006)004[0196:TRONPI]2.0.CO;2).
- PALMER, M. A.; AMBROSE, R. F.; POFF, N. L. Ecological theory and community restoration. **Restoration Ecology**, v. 5, n. 4, p. 291-300, 1997.
- PARKER, V. T.; PICKETT, S. T. A. Restoration as an ecosystem process: implications of the modern ecological paradigm. In: URBANSKA, K. M.; WEBB, N. R.; EDWARDS, P. J. (ed.). **Restoration ecology and sustainable development**. Cambridge: Cambridge University Press, 1999. p. 17-32.
- PICKETT, S. T. A.; PARKER, V. T.; FIEDLER, P. L. The new paradigm in ecology: implications for conservation biology above the species level. In: FIEDLER, P. L.; JAINS, S. K. (ed.). **Conservation biology**. New York: Chapman and Hall, 1992. p. 65-88.
- RODRIGUES, R. R.; BRANCALION, P. H. S.; ISERNHAGEN, I. (org.). **Pacto para a restauração ecológica da Mata Atlântica**: referencial dos conceitos e ações de restauração florestal. São Paulo: Instituto BioAtlântica, 2009. 256 p.
- RODRIGUES, R. R.; GANDOLFI, S. Restoration actions. In: RODRIGUES, R. R.; MARTINS, S. V.; GANDOLFI, S. (ed.). **High diversity forest restoration in degraded areas**. New York: Nova Science, 2007. p. 77-102.

- RODRIGUES, S. B.; FREITAS, M. G.; CAMPOS-FILHO, E. M.; CARMO, G. H. P.; VEIGA JUNIOR, M.; JUNQUEIRA, R. G. P.; VIEIRA, D. L. M. Direct seeded and colonizing species guarantee successful early restoration of South Amazon forests. **Forest Ecology and Management**, v. 451, Nov. 2019. DOI: [10.1016/j.foreco.2019.117559](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117559).
- RUFATO, L.; ROSSI, A. de; PICOLOTTO, L.; FACHINELLO, J. C. Plantas de cobertura de solo em pomar de pessegueiro (*Prunus persica* L. Batsch) conduzido no sistema de produção integrada. **Ciência Rural**, v. 36, n. 3, p. 814-821, maio/jun. 2006.
- SCHREINER, H. G. Associação de leguminosas com plantios florestais para cobertura e melhoramento do solo. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 17, p. 1-12, dez.1988.
- SEVERINO, F. J.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Banco de sementes de plantas daninhas em solo cultivado com adubos verdes. **Bragantia**, v. 60, n. 3, p. 201-204, 2001.
- SILVA, P. P. V. **Sistemas agroflorestais para a recuperação de matas ciliares em Piracicaba-SP**. 2002. 98 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- SOCIETY FOR ECOLOGICAL RESTORATION INTERNATIONAL. Definition of ecological restoration. In: SOCIETY FOR ECOLOGICAL RESTORATION INTERNATIONAL. **The SER International Primer on ecological restoration**: version 2: October 2004. Tucson: Society for Ecological Restoration International Science: Policy Working Group, 2004. Disponível em: <http://www.ser.org/docs/default-document-library/english.pdf>. Acesso em: 25 jun. 2010.
- URBANSKA, K. M. Safe sites: interface of plant population ecology and restoration ecology. In: URBANSKA, K.M.; WEBB, N. R.; EDWARDS, P. J. **Restoration ecology and sustainable development**. Cambridge: Cambridge University Press, 2004. p. 81-110.
- VIANI, R. A. G.; RODRIGUES, R. R. Sobrevivência em viveiro de mudas de espécies nativas retiradas da regeneração natural de remanescente florestal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 8, p. 1067-1075, ago. 2007.
- VIEIRA, D. L. M.; HOLL, K. D.; PENEIREIRO, F. M. Agro-successional restoration as a strategy to facilitate tropical forest recovery. **Restoration Ecology**, v. 17, n. 4, p. 451-459, 2009.
- WUETHRICH, B. Biodiversity: reconstructing Brazil's Atlantic Rainforest. **Science**, v. 315, n. 5815, p. 1070-1072, Feb. 2007. DOI: [10.1126/science.315.5815.1070](https://doi.org/10.1126/science.315.5815.1070).



Capítulo 22

# Adubação verde e manejo sustentável do solo na Amazônia

---

Emanoel Gomes de Moura  
Alana das Chagas Ferreira Aguiar





## Introdução

A agricultura itinerante na fronteira amazônica é uma das maiores ameaças à floresta tropical porque a vegetação da floresta tem historicamente sido vista pelos agricultores como fonte de nutrientes capaz de sustentar o crescimento das culturas e das pastagens. O termo “itinerante” indica o movimento de uma área para outra, mas essa agricultura também pode ser conhecida como agricultura de corte e queima, que se refere à forma de preparo da área vegetada para o plantio, a fim de aproveitar a cinza para adubar o solo. As fases envolvidas na agricultura itinerante são: corte da cobertura vegetal, secagem, queima da biomassa, cultivo, abandono da área (pousio), novo desmatamento, e assim sucessivamente. Isso significa que, no trópico úmido brasileiro, ainda não foram superados os desafios tecnológicos no que se refere ao estabelecimento e à manutenção de sistemas agrícolas mantidos numa mesma área e capazes de ser produtivos e sustentáveis.

Entre outras causas, a baixa fertilidade natural dos solos e a ausência de alternativas tecnológicas são os principais fatores que induzem as comunidades a fazer uso predatório da vegetação natural como forma de garantir a subsistência das famílias, o que constitui uma das fontes de pressão sobre os recursos naturais. Nas regiões de transição para a Amazônia, como a do noroeste do estado do Maranhão, as áreas cuja vegetação original já foi devastada têm hoje um enorme passivo social, representado por um grande contingente de agricultores que sobrevivem abaixo da linha de pobreza em municípios com os menores Índices de Desenvolvimento Humano (IDHs) do Brasil (Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento, 2000).

Assim como em muitas outras partes do trópico, a prática do sistema de corte e queima na periferia amazônica desencadeia uma série de efeitos negativos, tanto em âmbito local quanto em global. No contexto local, o crescimento da população aumenta a demanda por terras cultiváveis, o que resulta na diminuição do tempo de pousio. Assim, queimadas sucessivas em intervalos cada vez mais curtos conduzem à extinção de espécies mais sensíveis à queima e ao predomínio das mais resistentes, diminuindo, então, a biodiversidade da região e empobrecendo os seus ecossistemas. Estabelece-se, assim, um círculo vicioso, em que as carências aumentam a pressão sobre os recursos

e a degradação crescente dos recursos aumenta as carências (Moura et al., 2009). Tudo isso sem a esperada contrapartida no que se refere aos retornos econômicos ou sociais.

No contexto global, estima-se que 36% de todas as emissões de CO<sub>2</sub> ocorridas no Brasil decorrem de incêndios descontrolados, geralmente conduzidos para a implantação de lavouras ou pastagens. Aproximadamente 195 t de CO<sub>2</sub> são emitidas por hectare de floresta queimada.

Do ponto de vista agrônômico, as vantagens do sistema de corte e queima, que eram óbvias no passado, quando se dispunha de vegetação abundante e baixa densidade demográfica, não são mais evidentes. O sistema não consegue alimentar razoavelmente as famílias, retirando-lhes a dignidade que merecem. Por tudo isso, um dos maiores desafios daqueles que lidam com a pesquisa em agricultura no trópico úmido é o de oferecer alternativas tecnológicas que permitam o manejo sustentável do solo nas condições do trópico úmido. Isso significa que é necessário o estabelecimento de um conjunto de práticas que permitam o cultivo intensivo e constante da mesma área sem perda da fertilidade do solo e sem queda da produtividade das culturas. Como complicador adicional, ressalta-se que o paradigma da agricultura extensiva e monocultural estabelecido e adotado nas regiões Sul e Sudeste do Brasil, baseado na saturação do solo com nutrientes derivados de adubos solúveis, não é adequado para as condições ambientais do trópico úmido. Além disso, não satisfaz as peculiaridades das comunidades da região composta, em sua grande maioria, de agricultores familiares.

## O contexto social e ambiental da agricultura na Amazônia brasileira

Na Amazônia, a agricultura itinerante é ainda o sistema agrícola mais importante, não só do ponto de vista econômico, por ser responsável por pelo menos 80% da produção de alimento total da região, mas também pela quantidade de pessoas que dela depende direta ou indiretamente. Praticada em quase toda a região por pelo menos 600 mil pequenos agricultores, a agricultura itinerante produz, entre outros produtos, feijão, mandioca, arroz, milho, malva, juta, frutas e algodão (Brasil, 1999).

Esse modelo tradicional de agricultura, tão adequado em outros contextos históricos, confronta-se atualmente com sérios problemas de sustentabilidade, principalmente por causa do aumento da demanda por área de cultivo e da conseqüente diminuição do período de pousio. As populações que se dedicam à agricultura itinerante no Norte do Brasil, na ausência de alternativas adequadas, ainda utilizam as queimadas como forma de preparo e fertilização do solo, com efeitos negativos para o ambiente local e global, sem a contrapartida de benefícios sociais para as comunidades rurais. No ambiente local, queimadas sucessivas entre pousios cada vez mais curtos acabam eliminando as espécies mais sensíveis ao fogo, e abrem espaço para a predominância da-

queelas mais resistentes, o que diminui a biodiversidade e empobrece os ecossistemas. Estabelece-se assim um círculo vicioso em que a pobreza aumenta a pressão sobre os recursos naturais e a degradação dos recursos aumenta a pobreza. Nas regiões de transição para a Amazônia, como a do noroeste do Maranhão, as áreas de fronteira agrícola com a vegetação original já devastada, têm um enorme passivo social, representado por um grande contingente de agricultores que sobrevivem abaixo da linha de pobreza. Não por acaso, muitos dos mais pobres municípios do Brasil situam-se nessa região, com Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) muito baixo, que varia de 0,498 a 0,467, em comparação com o IDH do Brasil (0,69) e até com o do Maranhão (0,683), segundo relatório do Pnud (Atlas..., 2004). No âmbito global, estima-se que 36% do total de CO<sub>2</sub> emitido pelo Brasil (um dos dez maiores países em emissão) derivam de queimadas descontroladas, que emitem aproximadamente 69 t de CO<sub>2</sub> para cada hectare queimado. Dessa forma, a substituição do sistema de corte e queima na Região Amazônica, no que se refere à agricultura, justifica-se pela necessidade imperiosa de aumentar a produtividade e a dignidade dos agricultores; no que diz respeito à questão ambiental, essa substituição é necessária para diminuir a pressão sobre a floresta e evitar o impacto ambiental do uso do fogo (Moura et al., 2009).

## O desafio da sustentabilidade na Região Amazônica

Em contrapartida ao confronto da agricultura com o meio ambiente, a aprovação do Capítulo 14 da *Agenda 21*, na *Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (UnCED)*, em 1992, cunhou o termo “agricultura sustentável”, imediatamente difundido pela comunidade internacional, como resposta aos desafios apresentados, tanto pela agricultura intensiva da região Centro-Sul quanto pelo sistema de corte e queima praticado na região Norte do Brasil. Como a definição consagrada pela Comissão Brundtland, em 1987, era extremamente genérica, outras tantas tentativas foram feitas para dar precisão ao conceito de “sustentabilidade”. Todas as definições têm em comum, de qualquer forma, a ideia de uma dinâmica sinérgica entre eficiência ecológica, eficiência econômica e eficiência social, que transmitem a visão de um sistema produtivo de alimentos e fibras que, como se refere Veiga (1994), garanta ao mesmo tempo:

- Manutenção em longo prazo dos recursos naturais e da produtividade agrícola com o mínimo de impactos adversos ao ambiente.
- Retorno adequado aos produtores.
- Otimização da produção com o uso mínimo de insumos externos.
- Satisfação das necessidades humanas de alimento e renda.
- Atendimento das necessidades sociais das famílias e das comunidades rurais.

A agricultura sustentável tem, então, de considerar aspectos socioeconômicos e culturais dos grupos sociais implicados. Não basta proteger e melhorar o solo ou a produtividade agrícola se isso não resultar em melhorias nas condições de vida das pessoas envolvidas. Portanto, agricultura sustentável é um conceito que implica aspectos políticos e ideológicos que têm a ver com o conceito de cidadania e libertação dos esquemas de dominação impostos por setores de nossa própria sociedade e por interesses econômicos de grandes grupos, de modo que não se pode abordar o tema reduzindo-o outra vez às questões técnicas (Rede..., 2006).

Na Amazônia, do ponto de vista pragmático, a condução de sistemas agrícolas sustentáveis terá de enfrentar o fato de que 78% dos solos da região são ácidos e de baixa fertilidade natural, o que limita o seu uso contínuo na agricultura (Sanchez, 1976). Algumas exceções são os Gleissolos da planície aluvial do Rio Amazonas, os solos de terraços e baixos planaltos das bacias do Acre e do Alto Amazonas, todos influenciados por sedimentos andinos ou calcários, além de poucas áreas dispersas de afloramentos de rochas máficas (Schaefer et al., 2000). Tais áreas são pouco expressivas e, em muitos casos, apresentam outras limitações ao uso agrícola, que não a baixa fertilidade dos solos.

Em sua maioria, os sistemas de produção que se baseiam na remoção da floresta, com a introdução da pecuária bovina, da exploração madeireira e da mineração, são exemplos de exploração não sustentáveis nos moldes vigentes (Fearnside, 1993). Essas práticas têm levado ao decréscimo acelerado da fertilidade dos solos, já naturalmente reduzida, causando degradação das terras (Barbosa, 1991). O pouco uso de corretivos e adubos também compromete a sustentabilidade dos sistemas agrícolas praticados na região (Schaefer et al., 2000).

Os projetos de colonização agrícola na Amazônia, como o Programa de Polos de Desenvolvimento Agropecuário e Agromineral no Noroeste (Polonoroeste), nos anos 1980, que receberam um grande impulso com a construção de estradas, como a Transamazônica, foram muito criticados. Embora a floresta exuberante levasse a acreditar que a Amazônia fosse dotada de solos ricos, isso não correspondeu à verdade. A questão é que a maioria dos solos de terra firme da Amazônia é quimicamente muito pobre e tem baixa capacidade de retenção de nutrientes, o que os torna pouco aptos para culturas anuais ou pasto. A riqueza química do ecossistema encontra-se armazenada na biomassa da floresta, e não no solo mineral. A floresta sustenta-se numa rede densa, profunda e permanente de raízes, o que permite a ciclagem dos nutrientes, e nas copas das árvores e na liteira (camada de folhas mortas que cobre a superfície), que protegem o solo contra a erosão e as altas temperaturas.

Com o advento da reforma agrária na região, aumentou exponencialmente o número de agricultores que demandam tecnologias adequadas às pequenas áreas destinadas à produção de alimentos. Com a área nos assentamentos limitada pelo tamanho do lote, e com a obrigação legal de manter 80% dela como reserva natural, esses agricultores precisam aumentar a produtividade

e assegurar a sustentabilidade do uso da área destinada ao plantio de culturas agroalimentares e criação animal.

A interação entre os fatores climáticos e os indicadores de qualidade dos solos interfere na sustentabilidade dos agroecossistemas do trópico úmido, de forma não prevista pelo paradigma estabelecido nas outras regiões do País, geralmente baseado na melhoria dos indicadores químicos da qualidade do solo. A degradação de muitos solos agrícolas no trópico úmido é decorrente do manejo inadequado e do pouco conhecimento acerca dos fatores que governam a diminuição da qualidade do solo, em condições de altas temperaturas e precipitações intensas. Além disso, é preciso ampliar o leque de indicadores para avaliar práticas e sistemas de uso do solo, levando-se em conta as respostas das plantas, não apenas em curto prazo.

A sustentabilidade do solo pode ser estimada por avaliações periódicas de indicadores relacionados a processos e propriedades. Um indicador apropriado é aquele que provê uma medida quantitativa da magnitude e intensidade do estresse ambiental experimentado por plantas e animais (Lal, 1999). A capacidade produtiva do solo não depende unicamente da fertilidade, mas, e principalmente, da interação de uma série de fatores, incluindo o clima e, sem dúvida, a própria planta. A necessidade de avaliar as propriedades do solo tem aumentado em razão do crescente interesse dos pesquisadores e agricultores em determinar as consequências das práticas de manejo sobre a sua qualidade. Esse fator está relacionado à sustentabilidade das funções dos ecossistemas florestais e agropecuários, em adição à produtividade da planta. Um sistema agrícola é sustentável somente quando a terra é usada de acordo com sua capacidade, ou seja, a capacidade de funcionar efetivamente como um componente de um ecossistema saudável (Schoenholtz et al., 2000).

Para entender os fenômenos que interferem no manejo dos agrossistemas nos trópicos é preciso conhecer o importante papel que a água exerce no solo, em termos de produtividade das culturas. A água controla todos os fatores que determinam a nutrição e o crescimento das raízes, caracterizados principalmente pela aeração, pelo volume de água disponível e pela resistência à penetração (Betz et al., 1998). Conforme demonstraram Martinez e Zinck (2004), o impacto de chuvas intensas, somado a anos sucessivos de uso inadequado, diminui a qualidade do solo. Ao compararem uma pastagem degradada de 9 anos com uma floresta primária na Amazônia, Martinez e Zinck (2004) constataram que um aumento de 30% na densidade do solo da área de pastagem ocasionou uma resistência à penetração dez vezes superior e uma diminuição da taxa de infiltração de água de  $15 \text{ cm h}^{-1}$  para menos de  $1 \text{ cm h}^{-1}$ . Ambas as diferenças foram correlacionadas com a qualidade e a produtividade da espécie forrageira. Segundo Busscher et al. (2002), quando uma grande massa de água flui através do perfil de estrutura frágil, ela aumenta a compactação do solo na zona radicular, o que pode agravar a aeração no período chuvoso e a resistência mecânica no período seco. As condições locais do trópico úmido oferecem disponibilidade abundante de água na primeira metade do ano e energia radiante o ano todo. Juntos, esses fatores garantem alta produtividade biológica, mas os solos, em sua maioria derivados de rochas

sedimentares e submetidos a alto grau de intemperização, não suportam o uso intensivo exigido para a produção de alimentos, da forma como é praticada em outras partes do País (Moura, 2004). Por essas razões, o maior desafio que se apresenta aos pesquisadores dessa região é oferecer alternativas tecnológicas que compatibilizem a grande possibilidade de produção de biomassa, resultante de condições climáticas favoráveis, com a baixa capacidade do solo de disponibilizar suficientes quantidades de nutrientes e oxigênio para as raízes das culturas. Nesse contexto, a adubação verde surge como forma de atender às condicionantes locais exigidas pelas várias dimensões da sustentabilidade, principalmente pelo fato de ter por base a oferta de nutrientes por meio de processos microbiologicamente mediados, forma mais adequada para a sustentabilidade dos agroecossistemas do trópico úmido do que a saturação da solução do solo por nutrientes solúveis (Drinkwater; Snapp, 2007).

## Adubação verde no manejo sustentável dos solos na Região Amazônica – um novo paradigma

No trópico úmido, as melhorias das condições da camada arável não poderão ser mantidas se não for evitada a deterioração da estrutura porosa e diminuída a remoção dos nutrientes da zona radicular (Moura, 1995). A adubação verde, associada ao plantio direto na palha, pode atender a essas duas condições, imprescindíveis para alcançar a sustentabilidade no uso dos solos tropicais, porque protegem o solo contra o impacto das chuvas, da insolação e da lixiviação rápida dos nutrientes no perfil.

Experiências realizadas na região confirmaram que práticas como o preparo mecanizado e a fertilização, como recomendado para os cerrados da região Centro-Sul, não aumentam a produtividade nem garantem a sustentabilidade dos agroecossistemas da Amazônia (Moura, 2004). Em experimento conduzido num Argissolo franco-arenoso na região maranhense de transição para a Amazônia, a cobertura do solo com 10 t de matéria seca surtiu efeito sobre a cultura do milho duas vezes superior ao aumento provocado pela calagem, que elevou a saturação por base de 28% para 73% (Moura, 1995) (Tabela 1). Segundo Moura et al. (2009), o efeito da cobertura manifesta-se na modificação do ambiente radicular, pois aumenta o volume de solo enraizável, principalmente em razão da maior retenção de água nas camadas superficiais das parcelas cobertas. Nas parcelas descobertas, processos rápidos de umedecimento e secagem induzem ao aumento da coesão do solo com a diminuição da umidade, o que aumenta a resistência à penetração para limites críticos ao enraizamento, mesmo nas camadas superficiais.

Isso significa que conhecer os fenômenos resultantes da interação entre o clima e o uso dos solos na região equatorial é condição para escolher as tecnologias adequadas ao manejo sustentável dos agroecossistemas. Os indicadores da qualidade dos solos devem contemplar os fatores



**Tabela 1.** Dados comparados da saturação por bases em solo com cobertura de 10 Mg ha<sup>-1</sup> de *Crotalaria juncea* L., sobre os parâmetros de produção do milho na região de transição para a Amazônia.

Parâmetro de produção	Saturação por bases				
	73%		28%		CV %
	Solo com cobertura de <i>Crotalaria juncea</i> L.				
	Coberta	Descoberta	Coberta	Descoberta	
Peso médio de espigas (g)	134,0a	89,9c	112,3b	79,5c	11,6
Peso de 100 grãos (g)	26,2a	21,6b	24,9ab	20,7b	14,3
Biomassa da parte aérea (kg ha <sup>-1</sup> )	8.854a	6.121b	7.070b	4.674c	13,7
Peso dos grãos (kg ha <sup>-1</sup> )	4.281a	2.837c	3.501b	2.238c	13,6

Médias seguidas por letras distintas nas linhas diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Adaptado de Moura (1995).

que interferem na porosidade do solo, como resistência à penetração, capacidade de aeração e capacidade de retenção de água, além das relações do complexo sortivo do solo.

O desafio de melhorar e manter a qualidade física do solo em áreas com precipitação superior a 2 mil milímetros, concentrada num período de 6 meses, incidindo sobre solos de baixa fertilidade natural e grande suscetibilidade à compactação, pode ser superado com o plantio direto e a cobertura morta, porque essas práticas permitem a formação de uma camada superficial do solo com condições mais favoráveis ao crescimento das raízes. A proteção da superfície com o uso da cobertura morta pode retardar o processo de redução da porosidade pelo colapso ou adensamento da matriz do solo, em razão do impacto das gotas de chuvas, como recomendam os trabalhos de Adekalu et al. (2006). Esses autores, avaliando o efeito dos níveis de 0%, 25%, 50% e 75% de cobertura sobre a infiltração e sobre as perdas de solos, concluíram que 50% de cobertura do solo pode ser benéfica, mesmo naqueles já compactados. A importância da manutenção de uma serrapilheira na superfície do solo na Região Amazônica tem sido exaustivamente comprovada, embora as relações entre a cobertura do solo, os indicadores de qualidade e a produtividade das culturas ainda não estejam completamente esclarecidas. Em trabalho de 2 anos conduzido por Astier et al. (2006), o efeito do plantio direto mostrou ser importante para melhorar os indicadores físicos, como a menor resistência à penetração e a taxa de infiltração de água, mas a adubação verde foi mais relacionada à produção do milho, mesmo no preparo convencional. Nesse caso, como em muitos outros, um regime pluviométrico equilibrado não resultou em melhorias das condições físicas, mas permitiu a manifestação da melhoria dos indicadores químicos.

A atuação do plantio direto e da cobertura sobre o tamponamento da temperatura e sobre a umidade do solo, nas condições equatoriais, propicia também a criação de um habitat favorável ao aumento da densidade e da atividade da macrofauna escavadora, o que pode ter efeito positivo sobre a porosidade e permeabilidade dos solos, como relatam Mele e Carter (1999). Em trabalho conduzido, durante 2 anos, por Guterres Júnior et al. (2007), num Argissolo da região de transição da Amazônia, o plantio direto e a quantidade de resteva de guandu (*Cajanus cajan*),

adicionada à superfície, aumentaram sensivelmente o número de anelídeos e miriápodes, estes últimos mais afetados pelos níveis de cobertura (Tabela 2).

**Tabela 2.** Densidade de anelídeos e miriápodes num Argissolo na região de transição para a Amazônia, após 2 anos de cultivo com cobertura de guandu, em São Luís, MA.

Cobertura morta (t ha <sup>-1</sup> )	Densidade de indivíduos (indivíduos m <sup>-2</sup> )					
	Manejo do solo				Média	
	Não arado		Arado			
	Anelídeo	Miriápodes	Anelídeo	Miriápodes	Anelídeo	Miriápodes
4,6	5,75	1,75	5,00	1,50	5,38c	1,62ab
3,6	10,00	1,50	7,25	0,75	8,62b	1,12bc
3,0	15,50	2,25	8,25	2,75	11,88a	2,50a
Solo descoberto	4,33	0,00	2,33	0,25	3,33d	0,12c
<b>Média</b>	<b>8,90 A</b>	<b>1,38 A</b>	<b>5,71 B</b>	<b>1,31 B</b>	<b>7,30</b>	<b>1,34</b>

Médias seguidas de letras iguais minúsculas, para níveis de cobertura morta (leguminosa), e maiúsculas, para manejo do solo, não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Coefficiente de variação (CV) = 32,82%; diferença mínima significativa (DMS) = 0,04 (manejo do solo); DMS = 1,16 (cobertura morta).

Fonte: Adaptado de Guterres Júnior et al. (2007).

Para manter e melhorar as propriedades químicas, atenção especial deve ser dada ao processo de lixiviação que se processa com grande intensidade nos solos do trópico úmido. A remoção de nutrientes do perfil num agroecossistema é governada pela interação de vários fatores, entre eles a porosidade e a capacidade de troca catiônica (CTC) do solo, o excesso de precipitação em relação à evapotranspiração e a capacidade de reciclagem do sistema (Hartemink, 2006). Como proposto por Drinkwater e Snapp (2007), a adoção de processos que enfatizem a construção de reservatórios de nutrientes orgânicos e minerais acessados via microrganismos pode ser uma garantia de sustentabilidade aos agroecossistemas. Para o trópico úmido, isso pode ser muito mais importante se for considerado o efeito potencial do clima sobre as taxas de remoção de nutrientes da solução do solo, pela água excedente, somado ao impacto das chuvas sobre a superfície.

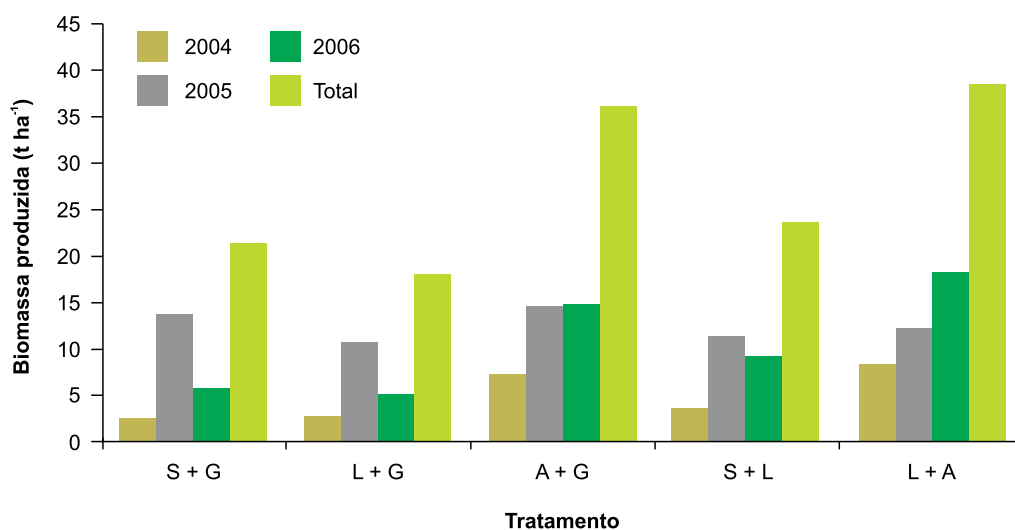
As perdas de nutrientes são mais dependentes dessas condições locais, que determinam a concentração e o arraste dos elementos na solução do solo, do que da forma de utilização do solo, como afirmam Dechert et al. (2005). A fraca interação entre os nutrientes e a matriz dos solos com baixa CTC pode aumentar a concentração de cátions da solução, em que a predominância do cálcio (Ca), segundo Kolahchi e Jalali (2007), provoca a dessorção e a lixiviação dos outros cátions básicos, principalmente do potássio (K), cujas perdas podem atingir até 80 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, em solo franco-arenoso, como verificado por Johnston et al. (1993).

Em resumo, o manejo de agrossistemas sustentáveis na Amazônia deve abranger a produção de resíduos de baixa taxa de decomposição para a manutenção do solo coberto, em atenção

aos indicadores físicos da fertilidade e de altos teores de nutrientes, para compensar a lixiviação e manter o equilíbrio do complexo sortivo, com resíduos orgânicos com altos teores de nutrientes (Moura, 2004; Aguiar et al., 2010).

## Leguminosas e o manejo da fertilidade dos solos na Amazônia

Na Amazônia, existe uma grande diversidade de espécies de plantas leguminosas arbóreas fixadoras de N que representam um grande potencial para melhorar e manter a fertilidade do solo cultivado. O rápido crescimento dessas árvores, proporcionado por um ambiente favorável, oferece a possibilidade de incorporação de grande quantidade de biomassa, que pode atender às condicionantes de manejo sustentável dos solos tropicais. Além de seu caráter permanente, que dispensa a obtenção de sementes e plantios anuais, as árvores podem produzir de cinco a seis vezes mais biomassa do que as leguminosas herbáceas, o que pode fazer a diferença num clima no qual os fatores da decomposição atuam de forma muito mais intensa. Aguiar et al. (2010) mostraram que a combinação de leucena (*Leucaena leucocephala*) com *Acacia mangium* pode produzir até 20 t de matéria seca por hectare, por ano, no espaçamento de 4 m (Figura 1). Na escolha da espécie a ser utilizada, devem ser obedecidos os critérios de fácil estabelecimento, sistema radicular profundo, tolerância ao corte, alta capacidade de rebrota, fixação biológica de N e boa tolerância à baixa



**Figura 1.** Biomassa seca produzida em 3 anos e aplicada às parcelas pela combinação de leguminosas.

S + G = sombreiro + guandu; L + G = leucena + guandu; A + G = acácia + guandu; S + L = sombreiro + leucena; L + A = leucena + acácia.

Fonte: Adaptado de Aguiar et al. (2010).

fertilidade do solo (Kang et al., 1990). Na Tabela 3, estão descritas as características de algumas espécies potencialmente úteis para uso em agrossistemas no trópico úmido.

**Tabela 3.** Características de leguminosas arbóreas florestais em sistemas agroflorestais da Amazônia.

<b>Espécie</b>	<b>Nome popular</b>	<b>Fixação de N<sub>2</sub></b>	<b>Características e vantagens</b>
<i>Inga edulis</i> Mart.	Ingá-cipó, ingá-de-metro	Sim	Rusticidade, frutos comestíveis, conhecida pela população, crescimento rápido, forragem para animais e adaptação a solos argilosos ácidos
<i>Clitoria fairchildiana</i> Howard	Palheteira, paliteira, sombreiro	Sim	Sombreamento e adubação de cultivos econômicos, forragem, adaptada a aleias (alta rebrota), produção de lenhas e varas
<i>Stryphnodendron guianense</i> (Aubl.) Benth.	Faveira, camuzé, camunzé	Sim	Espécie lenhosa para a terra firme; produção de lenha, madeira e tanino para curtume; rusticidade e crescimento rápido, recuperação de áreas degradadas
<i>Cedrelinga catenaeformis</i> Ducke	Cedrorana, cedro- -branco, iacaiacá	Sim	Madeirável para comércio internacional, crescimento mais rápido que pinus e eucalipto na Amazônia; sombreamento e adubação
<i>Anadenanthera peregrina</i> (L.) Speg	Angico-vermelho, angico	Sim	Madeira comercializável, produção de tanino e substâncias bioativas (alcaloide na semente); sombreamento e adubação de cultivos
<i>Swartzia polyphylla</i> Benth.	Arabá, piracutaca, pitaica	Sim	Rusticidade, madeirável para recuperação de solos degradados; porte elevado, fácil estabelecimento em solos pobres de terra firme

Fonte: Adaptado de Leeuwen et al. (1997).

Pesquisas têm mostrado que, em solos cultivados na Amazônia, o nitrogênio (N) é um dos elementos com o nível mais reduzido. A substituição parcial ou total de fertilizantes nitrogenados em regiões remotas, que é muito importante, pode ser obtida por meio da maximização dos processos biológicos, que ocorrem naturalmente no solo, como a fixação biológica de N pelas plantas leguminosas, e também pela incorporação dos resíduos dessas leguminosas ao solo (Alfaia, 1997).

Foi conduzido um estudo para avaliar o potencial de plantas leguminosas na melhoria da fertilidade do solo e no fornecimento de N às plantas, constituído de dois ensaios em condições controladas de incubação, para a seleção de 11 leguminosas herbáceas e seis arbóreas florestais da Amazônia. Com relação à seleção de leguminosas arbóreas, foi observado que, depois de 80 dias de incubação, os valores de N mineral na forma de amônio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), obtidos com incorporação da *Erythrina fusca* e da *Gliricidia sepium* no Latossolo, corresponderam, respectivamente, a 75% e 80% do teor em NH<sub>4</sub><sup>+</sup> obtido com a aplicação de 100 mg kg<sup>-1</sup> de ureia. No Podzólico, os teores de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> observados foram, respectivamente, de 56% e 63%, para *E. fusca* e *G. sepium*. Esses resultados mostram o potencial dessas leguminosas como fornecedoras de N para as plantas nesses solos

(Serrão, 1992). Buresh e Tian (1997) admitem que o aproveitamento do N adicionado, via resíduo vegetal, varia nos agrossistemas em torno de 20%.

Ricci e Aguiar (2003), ao avaliarem a influência da leguminosa *C. cajan* sobre o crescimento e a produtividade do cafeeiro (*Coffea arabica*), sob manejo orgânico, mostraram a importância dessa associação no significativo aporte de N e de matéria orgânica, além de outros nutrientes no agroecossistema. Nos testes feitos, os autores constataram um teor médio de N nas folhas dos cafeeiros de 3,3% na presença dessa leguminosa nas entrelinhas, contra 2,7% obtidos nos cafeeiros sem leguminosas.

Gomes e Moraes (1997), em suas recomendações para plantio de espécies leguminosas para o manejo de solos no Acre, indicaram a *Flemingia congesta* como a mais produtiva e também como opção para manejo e recuperação dos solos tropicais, principalmente em regiões geograficamente muito distantes dos grandes mercados de insumos, por causa do preço elevado dos fertilizantes minerais.

Em trabalho conduzido por Bergo et al. (2006) na Amazônia, a produtividade dos cafeeiros aumentou, independentemente do uso de adubação nitrogenada, quando foram utilizadas as leguminosas *F. congesta* e *Mucuna aterrima*. Entretanto, com o uso combinado dessas leguminosas com adubação nitrogenada, os cafeeiros tornaram-se mais altos e frondosos. Os teores de Ca e o valor da soma de bases aumentaram significativamente quando se utilizou a *F. congesta*.

Um ensaio de consórcio de cupuaçu e três leguminosas arbóreas foi instalado na Estação Experimental de Fruticultura Tropical do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (EEFT/Inpa), no qual foram utilizadas as leguminosas ingá-cipó (*Inga edulis* Mart.), sombreiro (*Clitoria fairchildiana* Howard) e mulungu (*E. fusca* Lour), com o intuito de avaliar a produção de biomassa das leguminosas em consórcio com fruteiras locais. O cupuaçu foi plantado no espaçamento de 6 m x 6 m. As leguminosas foram plantadas entre as linhas de cupuaçu, com espaçamento de 3 m x 12 m. Um ano depois da plantação, as leguminosas foram podadas a 1 m de altura, em plantas intercaladas, enquanto as demais foram mantidas para dar sombreamento ao cupuaçu. O material da poda foi pesado e espalhado nas parcelas. O ingá-cipó produziu, nesse corte, 1.003 kg ha<sup>-1</sup> (massa verde) de material de poda; o sombreiro, 596 kg ha<sup>-1</sup>; e o mulungu, 105 kg ha<sup>-1</sup>. O sombreiro produziu, de fato, mais biomassa, mas, antes da poda, teve uma queda acentuada de folhas. Para o ingá-cipó e o mulungu, a massa folhosa formava cerca de 50% do material de poda, e para o sombreiro, menos de 30% (Leeuwen et al., 1997).

Leite et al. (2008) avaliaram um sistema de cultivo em aleias com quatro espécies de leguminosas – ingá, guandu, sombreiro e leucena – num Argissolo da Amazônia. A grande variação temporal dos dados de massa vegetal produzida pelas leguminosas indicou que o estabelecimento e a sustentabilidade do sistema em aleias podem ser primeiro afetados pela produtividade anual das leguminosas (Tabela 4). Diferenças foram encontradas tanto no ingá, que só se estabeleceu no terceiro ano, quanto no guandu, cujo pico de produtividade ocorreu

**Tabela 4.** Produtividade de massa vegetal seca e quantidade de nutrientes reciclados em ramos de quatro leguminosas em aleias, em 5 anos de corte.

Tratamento	1996	1997	1998	1999	2001	Total
	Matéria seca (t ha <sup>-1</sup> )					
Guandu ( <i>Cajanus cajan</i> )	0,97a	8,50a	3,55b	2,43c	0,00d	15,45
Ingá ( <i>Inga edulis</i> )	0,00b	0,88c	3,21b	3,27c	4,95c	12,31
Leucena ( <i>Leucaena leucocephala</i> )	0,04b	3,50b	6,39a	8,21b	6,61b	28,75
Sombreiro ( <i>Clitoria fairchildiana</i> )	0,22b	6,98 a	7,64a	12,40a	10,82a	38,06
<b>Coefficiente de variação (%)</b>	<b>15,0</b>	<b>13,0</b>	<b>10,0</b>	<b>12,0</b>	<b>15,0</b>	-
	Nutriente (kg ha <sup>-1</sup> )					
	N	P	K	Ca	Mg	
Guandu ( <i>Cajanus cajan</i> )	408,7	22,1	283,6	76,5	33,7	
Ingá ( <i>Inga edulis</i> )	1.261,9	68,1	688,6	161,8	131,1	
Leucena ( <i>Leucaena leucocephala</i> )	1.189,8	68,1	934,7	248,9	119,5	
Sombreiro ( <i>Clitoria fairchildiana</i> )	385,9	21,3	119,8	185,5	38,9	
<b>Coefficiente de variação (%)</b>	<b>10,0</b>	<b>11,0</b>	<b>12,0</b>	<b>13,0</b>	<b>10,0</b>	

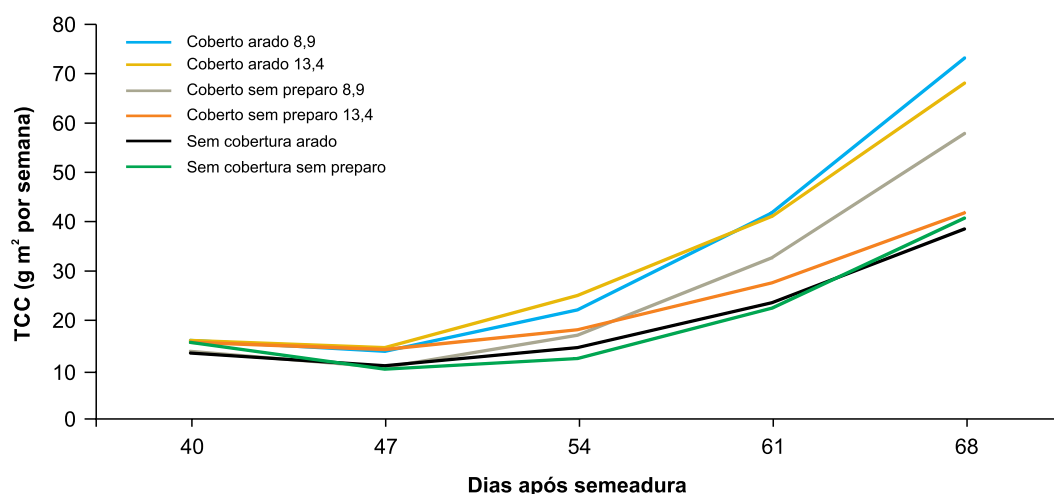
Médias seguidas de letras iguais não diferem, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Fonte: Adaptado de Leite et al. (2008).

no segundo ano e não produziu nenhuma brotação até o quinto ano. Para efeito de cobertura de solo, o sombreiro foi a leguminosa de melhor desempenho, tanto pela quantidade quanto pela durabilidade dos resíduos produzidos, seguido pelo ingá. No caso da leucena, embora a quantidade produzida possa ser considerada relevante, as condições de umidade e temperatura do experimento, associadas à alta qualidade de seus resíduos, diminuem sensivelmente sua capacidade de proteção do solo. O balanço de nutrientes no sistema depois de 5 anos mostrou que os teores de bases trocáveis atingiram níveis adequados nos tratamentos com sombreiro, leucena e guandu, segundo parâmetros de Ribeiro et al. (1999). Nesse aspecto, deve ser ressaltada a significativa contribuição da leucena e do sombreiro para a manutenção dos níveis de K, o que pode ser importante para a implantação de sistemas orgânicos, nos quais a adição de adubos potássicos constitui uma das suas principais dificuldades. Com relação ao fósforo (P), as quantidades adicionadas por adubação foram mais significativas que as recicladas, mas, nesse caso, os baixos teores de argila do solo e a fraca mobilidade do elemento no perfil favoreceram sua presença em níveis razoáveis na zona das raízes. As quantidades recicladas de Ca e magnésio (Mg) foram suficientes para manter em níveis razoáveis os teores desses elementos no sistema, o que pode ser relevante em regiões onde são raras as fontes desses nutrientes. No caso do N, observou-se grande variação entre os teores produzidos pelas leguminosas, que não foi refletida na produtividade da cultura, o que abre espaço importante para estudos sobre o aumento do sincronismo entre liberação e absorção de N, principalmente em sistemas que utilizam espécies como o sombreiro.



Moura et al. (2008) utilizaram a cultura do milho entre aleias de guandu para avaliar os efeitos dos resíduos dessa leguminosa e do preparo do solo sobre a capacidade de aeração e sobre o crescimento da cultura do milho num Argissolo do trópico úmido. Verificaram que o solo preparado sem resíduo apresentou menor capacidade de aeração e taxas de crescimento das plantas também menores (Figura 2). A recompactação das parcelas descobertas, com ou sem preparo, e a proteção exercida pela cobertura contra a chuva e a favor da macrofauna foram os fatores preponderantes para essas diferenças. As menores taxas de crescimento das parcelas sem preparo e com maior cobertura (13,4 t ha<sup>-1</sup>) foram atribuídas ao sombreamento do milho pelas aleias de guandu com espaçamento muito estreito.



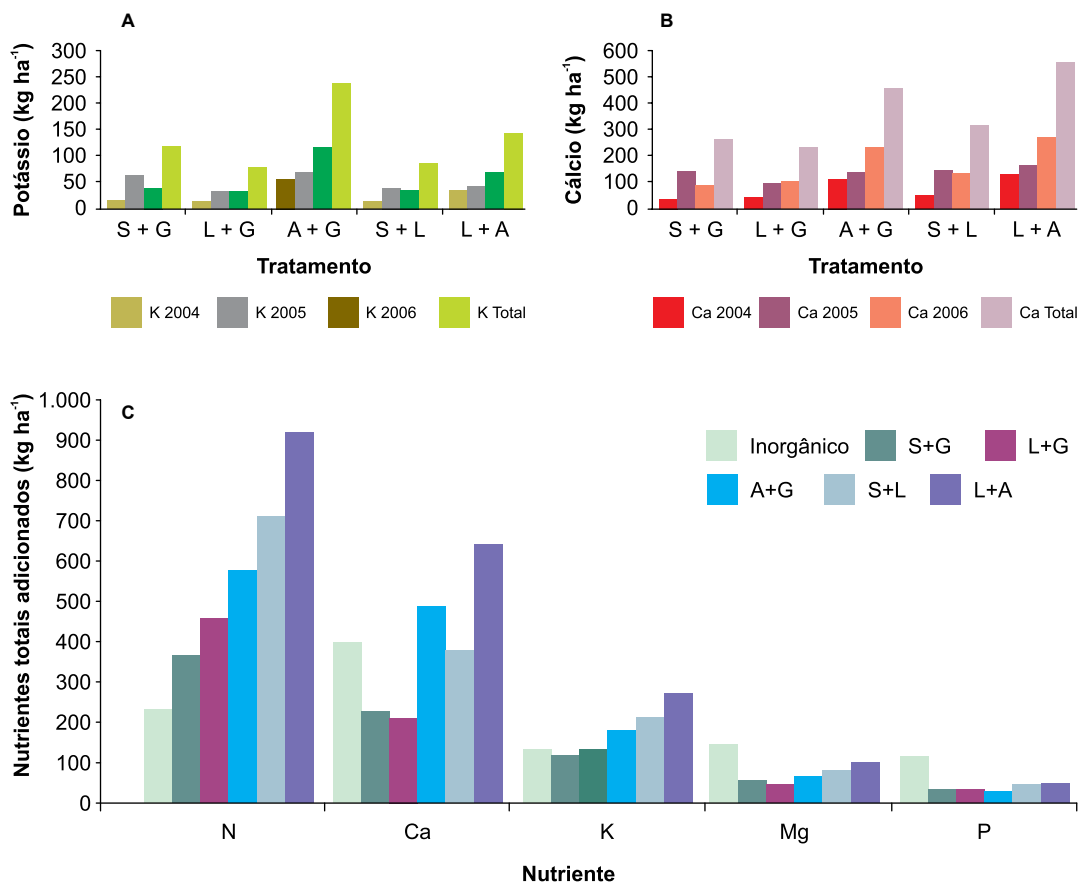
**Figura 2.** Taxa de crescimento da cultura (TCC) do milho em solo não preparado e preparado, com cobertura de 13,4 t ha<sup>-1</sup> ou 8,9 t ha<sup>-1</sup>, com guandu e em solo descoberto.

Fonte: Adaptado de Moura et al. (2008).

Para Young (1997), resíduos de alta qualidade são aqueles que apresentam alto teor de N e baixas quantidades de lignina e polifenóis, enquanto o inverso designam resíduos de baixa qualidade. Experiências conduzidas pelo grupo de pesquisas do Programa de Pós-Graduação em Agroecologia da Universidade Estadual do Maranhão recomendam o uso combinado de leguminosas de resíduos de alta e baixa qualidade como forma de atender, ao mesmo tempo, as condicionantes de cobertura do solo e reciclagem de nutrientes.

Trabalho de Aguiar et al. (2010) avaliou quatro espécies de leguminosas: duas de alta qualidade de resíduos – *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. (leucena) e *C. cajan* (L.) Millsp. (guandu) – e duas de baixa qualidade de resíduos – *C. fairchildiana* R. A. Howard (sombreiro) e *A. mangium* Willd. (acácia). As espécies foram semeadas em fileiras duplas, e cada parcela recebeu dois tipos de resíduos, que resultaram da combinação de duas leguminosas de qualidades diferentes. Entre os tratamentos, as combinações com leucena (exceto leucena com guandu) foram as que mais

contribuíram com o aporte de N. Em todos os tratamentos, as quantidades de P recicladas foram aquém do que se considera necessário para conferir sustentabilidade a um agrossistema. Como reportado por Buresh et al. (1997), os resíduos vegetais geralmente apresentam uma razão N:P menor do que a relação na adubação requerida pelas culturas; por isso, é preferível integrar uma fonte de P mineral com o material orgânico fornecedor de N, do que buscar atender às necessidades de P recorrendo aos resíduos vegetais. Com relação à ciclagem do K e do Ca, os tratamentos com acácia foram os de maior eficiência (Figuras 3A, 3B e 3C). Para solos com baixa CTC, principalmente para os sistemas produtivos orgânicos, a quantidade de K aportada pode ser importante para a sustentabilidade do sistema. Considerando-se esses resultados e levando-se em conta a combinação dos critérios de precocidade, a quantidade de biomassa, a reciclagem de nutrientes e a cobertura do solo, o tratamento acácia com leucena foi o mais eficiente, seguido pela combinação sombreiro e leucena.



**Figura 3.** Quantidades aportadas pelas combinações de leguminosas: potássio (A), cálcio (B) e nutrientes totais adicionados (C).

S + G = sombreiro + guandu; L + G = leucena + guandu; A + G = acácia + guandu; S + L = sombreiro + leucena; L + A = leucena + acácia.

Fonte: Adaptado de Aguiar et al. (2010).

A incapacidade de o sistema sustentar os níveis do K e Mg na zona radicular, somada à baixa concentração deste último e do P nos resíduos das leguminosas, sugere que deve ser adotada uma estratégia de reposição desses três nutrientes, via fontes inorgânicas, e de acompanhamento de seus teores no solo.

A melhoria na qualidade do solo refletida pelas grandes diferenças de produtividade do milho das parcelas com resíduo (Tabela 5), em comparação com a testemunha, pode ser atribuída principalmente a três fatores: a) maior capacidade de aeração do solo das parcelas cobertas com

**Tabela 5.** Parâmetros da produção do milho ao longo de 4 anos, em São Luís, MA, de 2003 a 2006, em solo com cobertura de leguminosas.

Tratamento <sup>(1)</sup>	2003	2004	2005	2006
	<b>Massa da espiga (g)</b>			
Sombreiro + guandu	39	26	96	115 a
Leucena + guandu	40	33	90	121 a
Acácia + guandu	44	46	90	120 a
Sombreiro + leucena	43	36	110	124 a
Leucena + acácia	32	41	89	110 a
Testemunha	57	32	72	68 b
Valor de F	2,25 <sup>ns</sup>	1,37 <sup>ns</sup>	1,30 <sup>ns</sup>	*
CV (%)	26	28	25	15
<b>Massa de 1.000 grãos (g)</b>				
Sombreiro + guandu	200	242	288	258 ab
Leucena + guandu	200	238	322	312 a
Acácia + guandu	194	266	314	295 a
Sombreiro + leucena	198	249	317	310 a
Leucena + acácia	201	254	281	290 a
Testemunha	220	217	273	208 b
Valor de F	0,67 <sup>ns</sup>	3,12 <sup>ns</sup>	2,55 <sup>ns</sup>	*
CV (%)	10	8	10	12
<b>Produtividade de grãos (t ha<sup>-1</sup>)</b>				
Sombreiro + guandu	1,08	1,77	2,88	3,00 a
Leucena + guandu	1,28	1,72	2,71	3,75 a
Acácia + guandu	1,39	2,20	2,69	3,50 a
Sombreiro + leucena	1,37	2,00	3,33	3,80 a
Leucena + acácia	0,94	2,58	2,66	3,20 a
Testemunha	1,72	1,54	1,84	1,50 b
Valor de F	2,55 <sup>ns</sup>	1,10 <sup>ns</sup>	2,25 <sup>ns</sup>	*
CV (%)	30	24	20	33

<sup>(1)</sup>Sombreiro = *Clitoria fairchildiana* R. A. HOWARD

ns = não significativo; \* = significativo a 5% de probabilidade.

Letras diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa ao nível de 5% pelo teste Tukey.

Fonte: Adaptado de Aguiar et al. (2010).

resíduos, com efeitos sobre a absorção de nutrientes; b) maior quantidade e melhor aproveitamento do N aplicado, tanto na forma orgânica quanto na inorgânica; e c) melhores distribuição e manutenção de níveis adequados de bases na zona radicular. Esses resultados confirmam que o sistema plantio direto com resíduo de leguminosas, por sua capacidade de reciclar nutrientes e melhorar os indicadores de qualidade do solo ao longo do tempo, pode ser uma alternativa de uso sustentável dos solos de baixa fertilidade natural do tópicio úmido. A combinação de acácia + leucena apresenta, além da precocidade, grande eficiência na cobertura do solo e na reciclagem de nutrientes, mas o uso do sombreiro como fornecedor de resíduo de baixa qualidade, por sua facilidade de implantação, não pode ser descartado.

As mesmas condições que favorecem o crescimento das leguminosas e, conseqüentemente, a produção de adubo verde contribuem para o aumento da agressividade das ervas daninhas, cujo controle nos sistemas sem preparo é normalmente feito com a aplicação de herbicidas pós-emergentes. A possibilidade de controle dessas ervas, por supressão ou por efeito alelopático, como sugerido por Inderjit e Keating (1999), foi testada por Araújo et al. (2007), que utilizaram quatro leguminosas herbáceas entre aleias de sombreiro. As espécies foram semeadas no final do período chuvoso e depois da colheita do arroz, num Plintossolo Argilúvico da Amazônia. Os autores concluíram que as leguminosas exerceram efeitos de supressão distintos sobre as diferentes espécies da população de ervas do agrossistema (Tabela 6).

Com base nesses resultados, os autores recomendam que, para um sistema agroecológico e nas condições testadas, o uso contínuo da rotação anual das leguminosas é o mais racional; e que o feijão-de-porco e o guandu, entre as espécies utilizadas, são as mais recomendadas, graças à sua resistência à seca e à sua elevada capacidade de supressão de ervas.

**Tabela 6.** Espécies usadas como cultura de cobertura sobre os parâmetros: densidade, número de espécies, índice de diversidade de Shannon-Wiener e biomassa seca das ervas espontâneas.<sup>(1)</sup>

Tratamento	Densidade (plantas m <sup>-2</sup> )	Nº de espécies (espécies m <sup>-2</sup> )	Diversidade (índice de Shannon-Wiener)	Biomassa seca (g m <sup>-2</sup> )
Mucuna-preta	59,0 (±12,2)	5,2 (±1,1)	1,0 (±0,2)	377,9 (±93,8)
Guandu	51,8 (±11,3)	5,2 (±1,7)	0,9 (±0,4)	392,9 (±58,4)
Feijão-de-porco	44,8 (±6,1)	3,8 (±0,8)	0,8 (±0,2)	158,6 (±49,8)
Calopogônio	53,4 (±9,5)	6,4 (±1,6)	1,0 (±0,2)	414,6 (±24,4)
Controle	73,8 (±16,5)	6,4 (±1,1)	1,0 (±0,2)	428,4 (±122,8)

<sup>(1)</sup>Os dados representam as médias e os valores entre parênteses o erro padrão.

Fonte: Araújo et al. (2007).

## Considerações finais

No Norte do Brasil, estabelecer e manter sistemas agrícolas intensivos, produtivos e sustentáveis é um grande desafio. A maioria dos agricultores locais pratica o sistema de queimadas

como forma de preparar e fertilizar o solo, o que traz, sabidamente, efeitos negativos para o ambiente local e global. As consideradas “vantagens agronômicas” do sistema de corte e queima, percebidas numa época de vegetação abundante e baixa densidade demográfica, são agora, na modernidade, insuficientes para alimentar as famílias dos pequenos agricultores. Eles, por sua vez, resistem à adoção de outros modelos agrícolas, por acreditarem que o velho sistema ainda possa ajudá-los na luta pela sobrevivência (Ferraz Júnior, 2004). Este artigo sugere a iniciação desses agricultores na prática do sistema plantio direto de leguminosas, pelas diversas vantagens que apresenta para o trópico úmido.

O plantio direto na palha de leguminosas é uma prática fundamental para a sustentabilidade da agricultura porque a cobertura exercida pela palha na superfície protege o solo contra o impacto das chuvas, estimula a atividade da fauna e da flora e contribui para melhorar os indicadores químicos, por meio da reciclagem de nutrientes. O revolvimento do solo nas atividades de preparo, ao contrário, quebra sua estrutura, tornando-o suscetível à recompactação, que começa sob o impacto de chuvas intensas, muito comuns na região.

O uso combinado de árvores leguminosas de alta qualidade de resíduos com árvores de baixa qualidade de resíduos, semeadas em fileiras, formando faixas onde serão aplicados seus ramos e folhas e cultivadas as culturas alimentares, poderá substituir a agricultura itinerante, como forma de solucionar problemas que englobam, por exemplo, a segurança alimentar das famílias, a diminuição da emissão de CO<sub>2</sub> e a preservação da biodiversidade regional.

A melhoria da fertilidade do solo pode aumentar a incidência e a agressividade das ervas daninhas, mas a ocupação da área com leguminosas anuais entre o final e o início do período chuvoso pode ajudar a controlar as plantas daninhas, pela supressão permanente dessas ervas, dispensando o preparo do solo.

Deve ser observado também que, sem a agricultura itinerante e sem o uso do fogo, o plantio durante todo ano e na mesma área responde pelo aumento exacerbado de algumas pragas. Isso pode ser minimizado com o plantio de faixas alternadas de culturas de maior porte, como a mandioca e o milho, e de menor porte, como o arroz e a abóbora.

A substituição de sistemas tão diversos, quanto o corte e a queima, pelo plantio direto em aleias, afetará as dimensões ecológicas e culturais do uso de recursos, mediante a incorporação da sustentabilidade como um dos pilares principais do manejo dos agroecossistemas do trópico úmido.

## Referências

ADEKALU, K. O.; OKUNADE, D. A.; OSUNBITAN, J. A. Compaction and mulching effects on loss and runoff from two southwestern Nigeria agricultural soils. **Geoderma**, v. 137, n. 1/2, p. 226-230, Dec. 2006.

AGUIAR, A. C. F.; BICUDO, S. J.; COSTA SOBRINHO, J. R. S.; MARTINS, A. L. S.; COELHO, K. P.; MOURA, E. G. Nutrient recycling and physical indicators of an alley cropping system in a sandy loam soil in the PreAmazon region of Brazil. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 86, n. 2, p. 189-198, Mar. 2010.

ALFAIA, S. S. Mineralização do nitrogênio incorporado como material vegetal em três solos da Amazônia Central. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, n. 3, p. 387-392, jul./set. 1997.

ARAÚJO, J. C.; MOURA, E. G.; AGUIAR, A. C. F.; MENDONÇA, V. C. M. Supressão de plantas daninhas por leguminosas anuais em sistema agroecológico na Pré-Amazônia. **Planta Daninha**, v. 25, n. 2, p. 267-275, 2007.

ASTIER, M.; MAASS, J. M.; ETCHEVERS-BARRA, J. D.; PEÑA, J. J.; GONZÁLEZ, F. L. Short-term green manure and tillage management effects on maize yield and soil quality in an Andisol. **Soil and Tillage Research**, v. 88, n. 1/2, p. 153-159, July 2006.

ATLAS do desenvolvimento humano do Brasil. [S.l.]: Pnud Brasil, 2004. 51 p. Disponível em: <http://www.pnud.org.br/atlas/instalacao/index.php>. Acesso em: 14 jul. 2010.

BARBOSA, R. I. Erosão do solo na Colônia Agrícola do Apiaú, Roraima, Brasil. **Boletim do Museu Integrado Roraima**, v. 1, p. 22-40, 1991.

BERGO, C. L.; PACHECO, E. P.; MENDONÇA, H. A.; MARINHO, J. T. S. Avaliação de espécies leguminosas na formação de cafezais no segmento da agricultura familiar no Acre. **Acta Amazônica**, v. 36, n. 1, p. 19-24, 2006.

BETZ, C. L.; ALLMARAS, R. R.; COPELAND, S. M.; RANDALL, G. W. Least limiting water range: traffic and long-term tillage influences in a webster soil. **Soil Science Society of America Journal**, v. 62, n. 5, p. 1384-1393, Sept./Oct. 1998.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Agenda 21 brasileira**: área temática: agricultura sustentável: produto 03: versão final. São Paulo: Consórcio Museu Emilio Goeldi, 1999. Projeto PNUD BRA/094/016 – Contrato Nº 139/98. Disponível em: <http://tinyurl.com/lhytfx>. Acesso em: 13 jul. 2010.

BURESH, R. J.; SMITHSON, P. C.; HELLUMS, D. T. Building soil phosphorus capital in Africa. In: BURESH, R. J.; SANCHEZ, P. A.; CALHOUN, F. (ed.). **Replenishing soil fertility in Africa**. Madison: Soil Science Society of America: American Society of Agronomy, 1997. p. 111-149. (SSSA. Special publication, n. 51).

BURESH, R. J.; TIAN, G. Soil improvement by trees in sub-Saharan Africa. **Agroforestry Systems**, v. 38, n. 1/3, p. 51-76, July 1997.

BUSSCHER, W. J.; BAUER, P. J.; FREDERICK, J. R. Recompaction of the coastal loamy sand after deep tillage as a function of subsequent cumulative rainfall. **Soil and Tillage Research**, v. 68, n. 1, p. 49-57, Oct. 2002.

DECHERT, G.; VELDKAMP, E.; BRUMME, R. Are partial nutrient balances suitable to evaluate nutrient sustainability of land use systems? Results from a case study in Central Sulawesi, Indonesia. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 72, n. 3, p. 201-212, July 2005.

DRINKWATER, L. E.; SNAPP, S. S. Nutrients in agroecosystems: rethinking the management paradigm. **Advances in Agronomy**, v. 92, p. 163-186, 2007.

FEARNSIDE, P. M. Deforestation in Brazilian Amazonia: the effect of population and land. **AMBIO**, v. 22, p. 537-545, 1993.

FERRAZ JÚNIOR, A. S. L. O cultivo em aléias como alternativa para a produção de alimentos na agricultura familiar do trópico úmido. In: MOURA, E. G. (ed.). **Agroambientes de transição**: entre o trópico úmido e o semi-árido do Brasil. São Luís: Universidade Estadual do Maranhão, 2004. Cap. 3, p. 71-100.

GOMES, T. C. A.; MORAES, R. N. S. **Recomendações para o plantio de espécies leguminosas para o manejo de solos no Acre**. Rio Branco: Embrapa-CPAF-AC, 1997. 3 p. (Embrapa-CPAF-AC. Comunicado técnico, 77).

GUTERRES JÚNIOR, D. S. P.; MOURA, E. G. de; AGUIAR, A. das C. F.; SEGUNDA, M. de N. M. M.; MOURA, N. G. de; FERRAZ JÚNIOR, A. S. de L. Biomassa e densidade de anelídeos e miriápodes como indicadores da qualidade de um solo afetado pela mobilização e adição de cobertura morta. **Científica**: revista de ciências agrárias, v. 35, n. 1, p. 71-79, 2007.

HARTEMINK, A. E. Assessing soil fertility decline in the tropics using soil chemical data. **Advances in Agronomy**, v. 89, p. 179-225, 2006.

INDERJIT; KEATING, K. I. Allelopathy: principles, procedures, processes, and promises for biological control. **Advances in Agronomy**, v. 67, p. 141-231, 1999.

JOHNSTON, A. E.; GOULDING, K. W. T.; MERCER, E. **Potassium leaching from a sandy soil**. Bern: International Potash Institute, 1993. 23 p. (Potash Review. Subject 12, n. 4).

KANG, B. T.; REYNOLDS, L.; ATTA-GRAH, A. N. Alley farming. **Advances in Agronomy**, n. 43, p. 315-359, 1990.



KOLAHCHI, Z.; JALALI, M. Effect of water quality on the leaching of potassium from 16 sandy soil. **Journal of Arid Environment**, v. 68, n. 4, p. 624-639, Mar. 2007.

LAL, R. **Métodos para avaliação do uso sustentável dos recursos solo e água nos trópicos**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 1999. 97 p. (Embrapa Meio Ambiente. Documentos, 3).

LEEUWEN, J. van; MENEZES, J. M. T.; GOMES, J. B. M.; IRIARTE-MARTEL, J. H.; CLEMENT, C. R. Sistemas agroflorestais para a Amazônia: importância, pesquisas realizadas. In: NODA, H.; SOUZA, L. A. G. de; FONSECA, O. J. de M. (ed.). **Doas décadas de contribuições do INPA à pesquisa agrônoma no trópico úmido**. Manaus: Inpa, 1997. p. 131-146.

LEITE, A. A. L.; FERRAZ JÚNIOR, A. S. L.; MOURA, E. G.; AGUIAR, A. C. F. Comportamento de dois genótipos de milho cultivados em sistema de aléias pré-estabelecidos com diferentes leguminosas arbóreas. **Bragantia**, v. 67, p. 817-825, 2008.

MARTINEZ, L. J.; ZINCK, J. A. Temporal variation of soil compaction and deterioration of soil quality in pasture areas of Colombian Amazonia. **Soil and Tillage Research**, v. 75, n. 1, p. 3-17, Jan. 2004.

MELE, P. M.; CARTER, M. R. Impact of crop management factors in conservation tillage farming on earthworm density, age structure and species abundance in south-eastern Australia. **Soil and Tillage Research**, v. 50, n. 1, p. 1-10, Feb. 1999.

MOURA, E. G. de. Agroambientes de transição avaliados numa perspectiva da agricultura familiar. In: MOURA, E. G. de. (coord.). **Agroambientes de transição entre o trópico úmido e o semi-árido do Brasil**: atributos, alterações, uso na produção familiar. São Luís: Uema, 2004. p. 15-51.

MOURA, E. G. de. **Atributos de fertilidade de um podzólico vermelho amarelo da formação Itapecuru limitantes da produtividade do milho**. 1995. 91 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Botucatu.

MOURA, E. G. de; ALBUQUERQUE, J. M.; AGUIAR, A. das C. F. Growth and productivity of corn as affected by mulching and tillage in alley cropping systems. **Scientia Agricola**, v. 65, n. 2, p. 204-208, Mar./Apr. 2008.

MOURA, E. G. de; ARAÚJO, J. R. G.; MONROE, P. H. M.; NASCIMENTO, I. O.; AGUIAR, A. C. F. Patents on periphery of the Amazon rainforest. **Recent Patents on Food, Nutrition & Agriculture**, v. 1, n. 2, p. 142-148, 2009.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO - PNUD. **Relatório de desenvolvimento humano 2000**. Disponível em: [www.pnud.org.br](http://www.pnud.org.br). Acesso em: 27 dez. 2000.

REDE de agricultura sustentável. [S.l.: s.n.], 2006. Disponível em: <http://www.agrisustentavel.com>. Acesso em: 23 jan. 2006.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. V. (ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**: 5ª aproximação. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo de Estado de Minas Gerais, 1999. 359 p.

RICCI, M. S. F.; AGUIAR, L. A. Influência da adubação verde sobre o crescimento, produtividade e teor de nitrogênio no tecido foliar do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) sob manejo orgânico. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 3., 2003, Brasília, DF. **Anais...** Brasília, DF: Embrapa Café, 2003. p. 420-421.

SANCHEZ, P. A. **Properties and management of soils in the Tropics**. New York: J. Wiley, 1976. 618 p.

SCHAEFER, C. E. G. R.; LIMA, H. N.; VALE JÚNIOR, J. F.; MELLO, J. W. V. Uso dos solos e alterações da paisagem na Amazônia: cenários e reflexões. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**, v. 12, p. 63-104, 2000.

SCHOENHOLTZ, S. H.; MIEGROET, H. van; BURGER, J. A. A review of chemical and physical properties as indicators of forest soil quality: challenges and opportunities. **Forest Ecology and Management**, v. 138, n. 1/3, p. 335-356, 2000.

SERRÃO, E. A. Modelo de desenvolvimento agropecuário e floresta sustentável para a Amazônia: a proposta da Embrapa. **Revista do Instituto Florestal**, v. 4, p. 413-426, 1992.

VEIGA, J. E. Problemas da transição à agricultura sustentável. **Estudos Econômicos**, v. 24, p. 9-29, 1994. Número especial.

YOUNG, A. **Agroforestry for soil management**. London: Cab International, 1997. 307 p.



## Capítulo 23

# Adubação verde na ecorregião dos Tabuleiros Costeiros

---

Antônio Carlos Barreto  
Marcelo Ferreira Fernandes  
Joézio Luiz dos Anjos  
Walane Maria Pereira de Mello Ivo  
Fernando Luis Dultra Cintra



## Introdução

Tabuleiros Costeiros são formações terciárias que aparecem desde o Amapá até o Rio de Janeiro; no entanto, são característicos do litoral nordestino, considerados como uma das grandes unidades de paisagem da região Nordeste. Apresentam altitude média de 50 m a 100 m e compreendem platôs de origem sedimentar, com grau de entalhamento variável, ora com vales estreitos e encostas abruptas, ora com vales abertos, tanto com encostas suaves quanto com amplas várzeas. A precipitação anual média varia de 500 mm a 1.500 mm, é altamente sazonal e cerca de 80% dela ocorre num período de 6 meses. Ao longo de toda a ecorregião, o início e o término do período chuvoso variam durante o ano e de um ano para outro. As temperaturas anuais médias giram em torno de 26 °C, e há pouca variação entre as médias do mês mais quente e as do mês mais frio. Do ponto de vista dos recursos naturais, os problemas inerentes à produção agrícola dos solos dos Tabuleiros Costeiros, dos quais cerca de 70% são Latossolos e Argissolos Amarelos, dizem respeito principalmente às suas baixas fertilidade natural, capacidade de retenção de cátions e grau de umidade e agregação (Haynes, 1970; Silva et al., 1992).

Além desses problemas, há outro componente característico desses solos, que tem grande importância em relação às práticas de manejo adotadas, visando ao seu uso sustentável. Apesar de esses solos, em geral, serem profundos, eles apresentam com frequência um horizonte sub-superficial adensado, descrito como coeso, que varia de duro a muito duro quando seco e friável quando úmido (Jacomine; Ribeiro, 1997). A origem, controversa, desse horizonte está, em geral, associada a vários processos morfopedogenéticos. O fato é que a sua ocorrência altera vários atributos dos solos, tais como densidade, porosidade e velocidade de infiltração de água; por isso, impõe vários graus de restrição ao desenvolvimento do sistema radicular das plantas, com implicações negativas, tanto de natureza econômica quanto ambiental.

A adoção de práticas de manejo que aliam excessiva movimentação do solo com baixa reposição de restos vegetais contribui, no decorrer do tempo, para o decréscimo dos teores de matéria orgânica e, conseqüentemente, agrava o processo de deterioração de características físicas, químicas e biológicas dos solos (Igue, 1984). Portanto, para os solos dos Tabuleiros Costeiros,

o manejo da matéria orgânica é essencial, já que ela é a principal reserva de nitrogênio (N) do solo, influencia diversos aspectos físicos relacionados ao movimento de água e trocas gasosas e é a responsável por grande parte da capacidade de troca de cátions (CTC). De acordo com Raij (1991), 56% a 82% da CTC de solos tropicais derivam da matéria orgânica.

Entre as práticas de manejo visando à conservação e/ou recuperação dos teores de matéria orgânica e da qualidade do solo, a adubação verde é uma das mais promissoras, pois, além dos benefícios de proteção superficial e da melhoria das características físicas, químicas e biológicas do solo, apresenta um custo relativamente baixo, sendo eficiente em termos de produtividade. Um efeito benéfico da adubação verde, de especial importância para os Tabuleiros Costeiros, é a capacidade de algumas leguminosas funcionarem como arados biológicos, rompendo camadas adensadas em subsuperfície, já que a dinâmica de água e o aprofundamento de raízes no perfil desses solos são comumente restringidos pela presença das camadas coesas. Além disso, o uso de leguminosas com sistemas radiculares vigorosos promove, em escala extensiva, a atividade de microrganismos e da fauna em profundidade no solo, o que dificilmente pode ser conseguido por outras tecnologias e insumos, como práticas mecânicas e fertilizantes químicos (Costa, 1993).

Ao longo dos Tabuleiros Costeiros, cultivam-se, principalmente, cana-de-açúcar, fruteiras tropicais (citros, abacaxi, maracujá e mamão), eucalipto, pastagens, com predominância de braquiárias e colômbio, e outras culturas com ocorrência relativamente frequente, como mandioca, batata-doce, inhame e feijão-de-corda.

## Leguminosas anuais

### Avaliação de leguminosas

Diversas espécies de leguminosas foram avaliadas nas condições edafoclimáticas da ecorregião dos Tabuleiros Costeiros (Barreto; Fernandes, 1999). As seguintes características foram consideradas para a seleção dessas leguminosas: alta produtividade de biomassa seca, baixa susceptibilidade a pragas e doenças, boa produção de sementes e facilidade de semeio manual e mecânico.

Na Tabela 1, são apresentadas as produções médias de matéria seca, além de diversas técnicas de manejo. Tomando-se por base a produtividade de matéria seca da parte aérea, as leguminosas poderiam ser divididas em três grupos: 1) grupo de maior produtividade: guandu-comum (*Cajanus cajan*), lablab (*Lablab purpureum*) e feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*); 2) grupo de produtividade intermediária: *Crotalaria ochroleuca*, mucuna-preta (*Mucuna aterrima*), *Crotalaria juncea* e *Crotalaria spectabilis*; 3) grupo de menor produtividade: mucuna-rajada (*Mucuna*



*deeringiana*), calopogônio (*Calopogonium mucunoides*), guandu-anão (*Cajanus cajan*), amendoim, *Crotalaria breviflora* e feijão-de-corda (*Vigna unguiculata*). Constata-se que, de maneira geral, as produções de matéria seca da parte aérea foram equivalentes às obtidas em outras regiões (Abboud; Duque, 1993; Miyasaka, 1984), o que expressa o bom potencial de utilização dessas espécies de plantas no conjunto de práticas de manejo a serem adotadas para a manutenção e/ou a recuperação da qualidade do solo. Em trabalho realizado em solo dos Tabuleiros Costeiros do Piauí, Garcia (2002) verificou que as espécies guandu, lablab e feijão-de-porco foram as que também apresentaram maior produção de biomassa seca; portanto, os resultados coincidiram com os obtidos no estudo desenvolvido no estado de Sergipe. A concordância entre os resultados das duas localidades também se deu em relação à deficiente produção de sementes apresentada pelo lablab, o que resulta em restrições ao seu uso, apesar das altas produtividades alcançadas por essa espécie. As maiores produtividades alcançadas no Piauí, em comparação com Sergipe, em torno de 13 t ha<sup>-1</sup> para as espécies de maior produção, provavelmente estão relacionadas ao uso de irrigação na condução do experimento.

Vale salientar que o bom desempenho alcançado pelo uso de espécies com características bastante diversas quanto ao hábito de crescimento, à duração do ciclo e ao porte da planta cria um amplo campo de escolha de leguminosas para uso em diferentes sistemas e ambientes.

Os teores de macronutrientes na parte aérea das leguminosas avaliadas são apresentados na Tabela 2. O feijão-de-porco, as mucunas e o calopogônio foram as espécies que apresentaram os maiores teores de N na matéria seca da parte aérea, ou seja, acima de 28 g kg<sup>-1</sup>. Altos teores de N na mucuna-preta também foram observados por Abboud e Duque (1993). O feijão-de-porco, por associar altos teores de N com alta produtividade de biomassa, foi a espécie que mais contribuiu, em quantidade (kg ha<sup>-1</sup>), para o aporte desse nutriente ao solo. Tendo em consideração os baixos teores de matéria orgânica dos solos dos Tabuleiros Costeiros, e o fato de a área na qual o experimento foi instalado não ter recebido adubos nitrogenados, é pertinente dizer que a maior parte do N presente nas plantas foi proveniente da fixação biológica. Confirma-se, então, que o feijão-de-porco é uma leguminosa promissora, e, por conseguinte, indicada para utilização quando o objetivo principal da prática for fornecer grande quantidade desse nutriente para culturas consorciadas.

O uso da adubação verde nos Tabuleiros Costeiros tem sido recomendado ainda para outros fins. Nos Tabuleiros Costeiros da Paraíba, diversas espécies de leguminosas citadas anteriormente têm sido recomendadas, de acordo com resultados de pesquisas conduzidas pela Empresa Estadual de Pesquisa Agropecuária da Paraíba S.A. (Emepa), para plantio em consórcio com o inhame (*Dioscorea* spp.), principalmente como culturas-armadilha para o controle alternativo de fitonematoides, para o controle de plantas daninhas e como fonte de N (Inhame..., 2006).

**Tabela 1.** Rendimento médio de matéria seca (MS) da parte aérea, espaçamento entre linhas e entre covas, densidade de sementeira, massa de cem sementes, quantidade de sementes produzida por planta, rendimento médio de grãos e ciclo até floração plena de leguminosas cultivadas nos Tabuleiros Costeiros de Sergipe.

Espécie	MS da parte aérea (t ha <sup>-1</sup> )	Espaçamento entre linhas (m)	Espaçamento entre covas (cm)	Densidade de sementeira (sementes por m)	Massa de 100 sementes (g)	Quantidade de sementes para sementeira <sup>(1)</sup> (kg ha <sup>-1</sup> )	Rendimento médio de sementes (kg ha <sup>-1</sup> )	Floração plena (dias)
<i>Labiab purpureum</i>	8,21	0,50–0,80	40	8	25–35	45–50	500–1.000	150
<i>Canavalia ensiformis</i>	7,72	0,50–1,0	40	5	150–170	150–170	800–1.200	130
<i>Mucuna aterrima</i>	6,27	0,50–1,0	40	5	70–80	70–80	1.000–1.500	115
<i>Mucuna deeringiana</i>	4,57	0,50–1,0	40	5	55–65	55–65	1.500–2.100	83
<i>Crotalaria juncea</i>	6,39	0,25–0,50	20	15–20	5–10	25–35	1.000–1.300	56
<i>Crotalaria ochroleuca</i>	6,23	0,25–0,50	20	20–25	3–5	13–18	-	77
<i>Crotalaria spectabilis</i>	6,08	0,25–0,50	20	15–20	3–7	15–20	1.000	96
<i>Crotalaria breviflora</i>	4,53	0,25–0,50	20	15–20	4–7	15–20	-	83
<i>Calopogonium miconoides</i>	4,34	0,50–1,0	20	20–25	2–4	8–15	500–800	146
<i>Cajanus cajan</i> (Guandu-comum)	8,61	0,50–1,0	20	10–15	15–25	45–55	1.000–2.000	146
<i>Cajanus cajan</i> (Guandu-anão)	4,04	0,25–0,7	20	10–15	5–15	20–30	1.000–2.000	77

<sup>(1)</sup>Para plantio a lanço, usar mais 20%.  
Fonte: Adaptado de Barreto e Fernandes (2001b).

**Tabela 2.** Teores e quantidades de macronutrientes na parte aérea de leguminosas, na época de máxima produtividade de cada espécie, quando cultivadas em solo de Tabuleiros Costeiros de Sergipe, em 1995.

Espécie	Macronutriente <sup>(1)</sup>											
	Nitrogênio (g kg <sup>-1</sup> )	Nitrogênio (kg ha <sup>-1</sup> )	Fósforo (g kg <sup>-1</sup> )	Fósforo (kg ha <sup>-1</sup> )	Potássio (g kg <sup>-1</sup> )	Potássio (kg ha <sup>-1</sup> )	Cálcio (g kg <sup>-1</sup> )	Cálcio (kg ha <sup>-1</sup> )	Magnésio (g kg <sup>-1</sup> )	Magnésio (kg ha <sup>-1</sup> )	Enxofre (g kg <sup>-1</sup> )	Enxofre (kg ha <sup>-1</sup> )
<i>Cajanus cajan</i> (guandu-comum)	22,8	176,2	1,4	10,8	10,2	44,8	4,9	37,9	2,0	15,5	1,0	7,7
<i>Canavalia ensiformis</i>	34,3	237,0	2,2	15,2	10,8	74,6	12,3	85,0	4,0	27,6	1,6	11,1
<i>Mucuna aterrima</i>	32,6	115,7	2,6	9,2	15,3	54,3	7,1	25,2	2,4	8,5	1,8	6,4
<i>Crotalaria juncea</i>	22,5	100,8	2,2	9,9	12,1	54,2	5,7	25,5	2,5	11,2	2,0	9,0
<i>Crotalaria ochroleuca</i>	23,3	145,6	2,0	5,6	11,8	73,8	4,1	35,6	2,9	23,8	1,9	11,9
<i>Crotalaria spectabilis</i>	23,8	130,2	1,9	10,4	18,7	102,3	14,7	80,4	3,1	17,0	1,6	8,8
<i>Calopogonium mucunoides</i>	28,5	126,8	1,6	7,1	13,6	60,5	9,9	44,1	3,9	17,4	1,4	2,7
<i>Mucuna deeringiana</i>	32,8	152,2	2,6	12,1	13,1	60,8	8,2	38,0	2,2	10,2	1,8	8,4
<i>Crotalaria breviflora</i>	24,1	116,6	1,7	9,2	15,0	72,6	10,4	50,3	3,8	18,4	1,4	6,8
<i>Cajanus cajan</i>	22,6	75,4	2,0	5,2	11,9	28,0	7,8	23,5	1,3	3,8	1,3	3,8

<sup>(1)</sup> Os teores (g kg<sup>-1</sup>) e as quantidades (kg ha<sup>-1</sup>) de macronutrientes correspondem à média dos valores observados para caule e folha.  
Fonte: Adaptado de Barreto e Fernandes (1999).

## Práticas de manejo da adubação verde

### Preparo do solo

O preparo do solo para plantio, comumente feito por meio de aração e gradagem, ou apenas por gradagem em solos de textura mais leve, tem contribuído para um contínuo processo de degradação dos solos. O revolvimento periódico do solo por essas operações acelera o processo de decomposição da matéria orgânica, diminui o seu acúmulo e restringe os efeitos positivos da adubação verde, principalmente em relação à melhoria de características físicas, como agregação, densidade e porosidade, e químicas, como a CTC.

Em experimento realizado durante 3 anos em um Argissolo Amarelo dos Tabuleiros Costeiros, constatou-se que as expressivas quantidades de biomassa produzidas e incorporadas ao solo pelos sistemas de consórcio de milho (*Zea mays*) com leguminosas, em comparação com a vegetação espontânea, não se converteram em melhoria de características químicas (matéria orgânica e CTC) e físicas (densidade, porosidade e estabilidade de agregados) do solo. Um fator que pode ter contribuído para esse resultado foi o uso do método convencional de preparo do solo para plantio, com uma aração e duas gradagens no início de cada ano (Barreto et al., 2005). Em relação ao manejo, as taxas de perda de matéria orgânica são afetadas pela cobertura do solo e pelo seu preparo, especialmente pela intensidade de revolvimento, em razão da influência que esse processo apresenta sobre temperatura, umidade, aeração, ruptura de agregados e grau de fracionamento e de incorporação dos resíduos culturais (Sánchez, 1981). Vários trabalhos têm mostrado que, para recuperar os teores de matéria orgânica em sistemas de produção intensivos, o uso de espécies que produzam grandes quantidades de resíduos deve estar aliado à redução do revolvimento do solo (Testa et al., 1992; Bayer; Mielniczuk, 1997).

O uso de métodos de preparo do solo com pouco ou nenhum revolvimento é recomendado para a ecorregião dos Tabuleiros Costeiros, a exemplo do cultivo mínimo e do plantio direto. Um grande desafio a ser vencido é a produção de biomassa suficiente durante o período seco do ano. Uma alternativa é o plantio de espécies com tolerância à seca, no final das chuvas. Em geral, essa estratégia possibilita a germinação e o estabelecimento inicial, mas nem sempre permite um desenvolvimento satisfatório das plantas, o que está na dependência da quantidade e da distribuição de chuvas em cada ano. Nas condições edafoclimáticas da região, outra opção é o plantio consorciado da cultura do milho com leguminosas, como é o caso do guandu, que apresenta excelente capacidade de rebrota.

### Calagem e adubação

Os solos de maior expressão em extensão sobre os Tabuleiros Costeiros são os Latossolos Amarelos e, secundariamente, os Argissolos Amarelos. Em geral, esses solos são ácidos a forte-

mente ácidos, contêm alumínio trocável e, em grande parte, são álicos, ou seja, com saturação por alumínio igual ou maior que 50%. A CTC é muito baixa, assim como os teores de fósforo (P) e potássio (K) (Jacomine, 1997). Portanto, são solos que necessitam, pelo menos, de correção da acidez e de adição de macronutrientes, para que as plantas apresentem um desenvolvimento satisfatório.

A maioria das espécies de leguminosas naturalmente dispensa o fornecimento de N na forma de fertilizantes, já que esse nutriente pode ser obtido por meio da fixação simbiótica com bactérias dos gêneros *Rhizobium* e *Bradyrhizobium*. Embora algumas leguminosas utilizadas como cobertura vegetal ou adubo verde sejam pouco exigentes em nutrientes, o processo de fixação biológica do N é muito dependente de P (Figura 1). Na maioria dos casos, a adubação fosfatada torna-se indispensável para garantir um crescimento vigoroso das leguminosas e manter a eficiência simbiótica. Na ecorregião dos Tabuleiros Costeiros, em razão da baixa disponibilidade de P da maioria dos solos, resultados satisfatórios têm sido alcançados com a utilização da dose de  $60 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ , o qual pode ser aplicado a lanço ou em sulco, a depender de questões de ordem prática.

Foto: Antônio Carlos Barreto



**Figura 1.** Desenvolvimento diferenciado de plantas de *Crotalaria ochroleuca* (frente) e de *Crotalaria juncea* (fundo) na ausência de adubação fosfatada (nas faixas centrais; - P) e com adubação de  $60 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  (nas faixas laterais; + P), em Argissolo Amarelo dos Tabuleiros Costeiros.

No que diz respeito ao K, que em geral apresenta de baixa a média disponibilidade, tem-se utilizado a dose de 40 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O. No entanto, é altamente recomendável, sempre que possível, efetuar a calagem e a adubação tomando-se por base os resultados da análise do solo.

## Inoculação das sementes com rizóbios

Experimentos realizados em solos de Tabuleiros Costeiros, em 1995 e 1996, indicam a ausência de resposta de diversas leguminosas utilizadas como adubo verde (feijão-de-porco, mucuna-preta, mucuna-rajada, *C. juncea*, *C. spectabilis*, *C. ochroleuca*, *C. breviflora*, guandu-comum, guandu-anão, lablab, calopogônio, amendoim e feijão-de-corda) à inoculação com rizóbios selecionados em outras regiões do País (Barreto; Fernandes, 1999). Vários fatores podem estar relacionados a esses resultados, tais como: a) baixa adaptabilidade das estirpes inoculadas às condições edafoclimáticas da região; b) incapacidade de as estirpes introduzidas colonizarem efetivamente as raízes na presença das populações de rizóbios locais; c) baixa eficiência simbiótica das bactérias alóctones; e d) suprimento suficiente de N para as plantas via fertilizantes ou mineralização da matéria orgânica. Além disso, as restrições ao processo de fixação biológica do N pelas leguminosas podem estar mais associadas a problemas químicos do solo, como baixos teores de nutrientes, principalmente P e molibdênio (Mo), acidez do solo e altos teores de alumínio, do que propriamente à ausência ou à baixa eficiência simbiótica dos rizóbios no solo. Porém, se, depois da correção química do solo, a nodulação das raízes das leguminosas for reduzida ou estar ausente, a inoculação poderá ser necessária.

Em estudos realizados na Embrapa Tabuleiros Costeiros, diversas estirpes de rizóbios nativas dos Tabuleiros Costeiros foram isoladas de nódulos de guandu, feijão-de-porco e caupi (*Vigna unguiculata*), e avaliadas em casa de vegetação quanto à capacidade de nodulação das raízes, à eficiência de fixação biológica de N e à promoção do crescimento vegetal. Com a seleção de estirpes locais, pretendeu-se avaliar se a ausência de resposta à inoculação com bactérias recomendadas para outras regiões ocorreu em razão da baixa adaptabilidade destas últimas às condições dos Tabuleiros Costeiros. Leguminosas inoculadas com algumas das estirpes nativas apresentaram, em condições de casa de vegetação, maior crescimento e acúmulo de N do que as plantas inoculadas com rizóbios recomendados para outras regiões do País ou adubadas com N mineral. As estirpes que se mostraram superiores nesses critérios foram testadas também quanto à tolerância a fatores adversos, como altos teores de alumínio, temperatura elevada e presença de antibióticos. Para cada uma das leguminosas estudadas, isolaram-se algumas estirpes que atendiam a todos os critérios anteriormente mencionados (Fernandes; Fernandes, 2000; Fernandes et al., 2003b). A caracterização genética do gene 16S rRNA dos isolados selecionados demonstrou a existência de uma ampla diversidade taxonômica dessas bactérias nos solos de Tabuleiros Costeiros (Fernandes et al., 2003a). Apesar da grande diversidade e da superioridade dessas bactérias em condições controladas, a inoculação das sementes com as estirpes selecionadas em testes de campo não promoveu os mesmos benefícios observados em casa de vegetação.



Plantas não inoculadas nos ensaios de campo apresentaram elevada produção de biomassa e de nódulos, e altos teores de N nas folhas (3% a 5% N), indicando que o N não foi limitante sob as condições do experimento.

Com base nesses resultados, concluiu-se que, pelo menos para algumas regiões dos Tabuleiros Costeiros, a população de rizóbios nativos é elevada e apresenta alta eficiência simbiótica com guandu, feijão-de-porco e caupi, e que a inoculação das sementes com essas bactérias é dispensável.

## Sistemas de cultivo

As leguminosas devem ser plantadas no início da estação chuvosa. Se plantadas como cultura exclusiva, devem-se observar os seguintes aspectos: espaçamento, densidade de plantio e quantidade necessária de sementes por unidade de área recomendadas para cada espécie (Tabela 1). O plantio pode também ser feito a lanço, acompanhado de uma gradagem leve, e deve-se usar cerca de 20% a mais da quantidade de sementes recomendada. Observe-se que, nessas densidades, o feijão-de-porco e a mucuna-preta apresentam alta capacidade de controle de ervas daninhas (Fernandes et al., 1999). A profundidade de incorporação deve ser de 1 cm a 2 cm para sementes pequenas e de 4 cm a 5 cm para sementes grandes. Nesse caso, a adubação com P e K também deve ser feita a lanço.

O uso de leguminosas para adubo verde também pode ser feito em consorciação com culturas anuais, principalmente em regiões que apresentem período chuvoso curto, insuficiente para atender ao cultivo de duas culturas em sucessão, como é o caso da maior parte dos Tabuleiros Costeiros do Nordeste.

Conforme Willey (1979), no consórcio verifica-se um uso mais eficiente dos recursos luz, água e nutrientes à medida que as espécies apresentam diferenças de porte aéreo e de distribuição do sistema radicular, permitindo melhor interceptação de luz pela parte aérea e exploração de água e nutrientes em diferentes camadas do solo, o que caracteriza uma complementaridade espacial. Outro tipo de complementaridade é a temporal, que ocorre quando as espécies apresentam seus níveis máximos de uso dos recursos em épocas diferentes. Torna-se, pois, necessário ajustar a definição de espécies e de algumas práticas de manejo do consórcio a ser utilizado.

Com culturas anuais, a exemplo do milho, que apresenta um grande potencial de exploração na ecorregião dos Tabuleiros Costeiros, os melhores resultados foram obtidos utilizando-se leguminosas de porte ereto, como guandu (Figura 2) e feijão-de-porco (Figura 3), em plantio simultâneo (Heinrichs et al., 2002; Barreto; Fernandes, 2005). O espaçamento e a densidade do milho devem ser os recomendados para plantio exclusivo, ou seja, 0,8 m entre linhas e 0,40 m entre covas, com duas plantas por cova. A leguminosa deve ser plantada entre as fileiras de milho, e com a mesma densidade utilizada no plantio exclusivo. Nesse sistema, o P e o K devem ser

Foto: Antônio Carlos Barreto



**Figura 2.** Guandu-comum em sistema consorciado com o milho.

Foto: Antônio Carlos Barreto



**Figura 3.** Feijão-de-porco em sistema consorciado com o milho.

fornecidos para ambas as culturas, por meio da adubação a lanço ou pela aplicação de adubo no sulco de plantio de ambas as culturas. Se a leguminosa não for adubada, ela sofrerá competição muito forte por parte do milho, o que reduzirá drasticamente a produção de biomassa. O N deverá ser aplicado apenas para o milho. Espera-se que, com o uso continuado desse sistema, a necessidade de N diminua ao longo do tempo. Com a utilização da leguminosa em sistema de consórcio, é possível fazer uso continuado da adubação verde, uma vez que a exploração econômica da área não fica restrita à cultura de caráter comercial. Cria-se, portanto, um estímulo econômico para a adoção, por parte dos agricultores, dessa prática tão importante na recuperação e/ou no aproveitamento de áreas degradadas na propriedade.

Sabe-se que, nas regiões tropicais, a taxa de decomposição de materiais orgânicos adicionados ao solo é muito alta e, conseqüentemente, o tempo de permanência desses materiais é curto, o que limita os efeitos benéficos da adubação verde (Igue, 1984). Segundo Harris et al. (1966), a formação de agregados e sua estabilidade são determinadas pelo suprimento contínuo de resíduos orgânicos (raízes, folhas e caules) e por sua decomposição no solo. Um método eficiente para favorecer a estruturação do solo é a combinação de gramíneas que tenham um sistema radicular abundante, e em constante renovação, com leguminosas que fixam N. Por causa da relação C:N elevada, as raízes das gramíneas são decompostas mais lentamente; portanto, atuam como agentes estabilizadores importantes dos macroagregados (Tisdall; Oades, 1980).

Das leguminosas citadas, o guandu foi a que apresentou o melhor desempenho em consórcio com o milho, pois é uma espécie que se estabelece lentamente, exercendo pequena competição. Quando o milho declina vegetativamente, o guandu apresenta um desenvolvimento expressivo e de mais longo prazo. Além desse resultado favorável ao uso do guandu, sabe-se que essa espécie apresenta uma série de outras características muito positivas, tais como tolerância à seca, possibilidade de uso dos grãos para consumo humano, potencial forrageiro e raiz pivotante, com capacidade de penetrar em camadas mais adensadas do solo, a exemplo dos horizontes coesos comuns nos Tabuleiros Costeiros.

Além do mais, o guandu apresenta uma boa capacidade de rebrota quando a planta é cortada acima do ponto de crescimento, em torno de 1 m de altura, e após a formação das vagens (Seiffert; Thiago, 1983). Dessa forma, após a colheita do milho, que se dá no início do período seco, pode-se optar por efetuar a poda do guandu, cujas plantas, por estarem com o sistema radicular totalmente estabelecido, rebrotam e desenvolvem-se satisfatoriamente, chegando a apresentar, no início do ano seguinte, produções de matéria seca em torno de 6 t ha<sup>-1</sup> a 8 t ha<sup>-1</sup>. Esse procedimento de manejo é encarado como uma promissora alternativa de manutenção da cobertura do solo e produção significativa de biomassa no período seco do ano, visando viabilizar a implantação do sistema plantio direto na ecorregião dos Tabuleiros Costeiros.

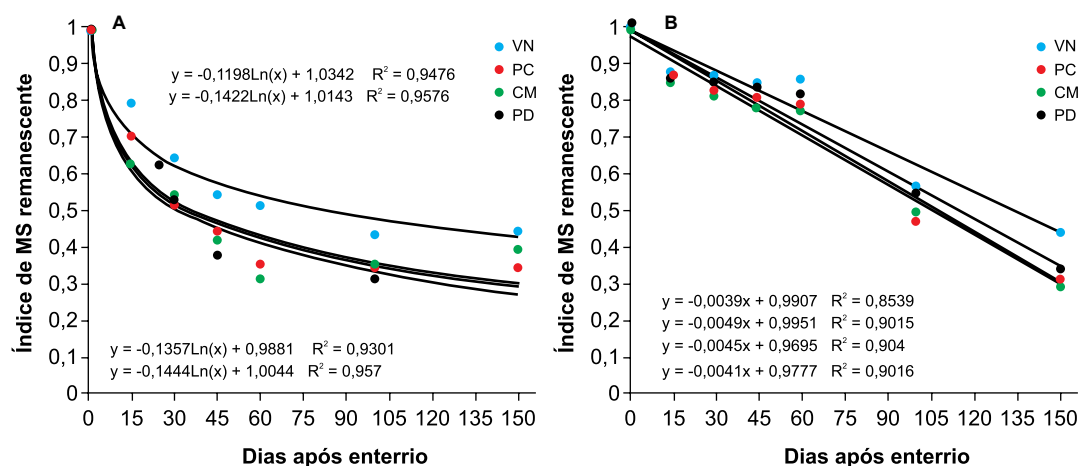
## Época e forma de manejo da biomassa

Quando o uso do adubo verde visa principalmente ao fornecimento de N, em geral o manejo das leguminosas é feito na época da floração, pois é nesse período que elas apresentam grande produção de biomassa, que se encontra tenra e com baixa relação C:N, o que favorece o processo de decomposição e liberação de nutrientes. Esse é o caso das leguminosas plantadas nas entrelinhas de culturas perenes e de cultivos em sucessão, as quais são incorporadas ao solo pouco tempo antes do plantio das culturas comerciais. Por sua vez, no material manejado em época mais tardia, o qual se encontra mais lenhoso e com relação C:N mais alta, a taxa de decomposição tende a ser mais lenta, o que proporciona maior proteção ao solo e contribui com mais eficiência para melhorar suas características físicas.

A degradação de materiais com menor teor de lignina e estreita relação C:N ocorre rapidamente no solo, e isso resulta em elevada mineralização do N, o que diminui o N imobilizado pela microbiota (Vigil; Kissel, 1991). Por sua vez, biomassas com relação C:N mais ampla têm maior efeito agregante em razão da decomposição mais lenta e da formação de compostos orgânicos intermediários, que estarão contribuindo para o aumento do teor de matéria orgânica no solo (Muzilli, 1996). A relação C:N e o teor de lignina da cobertura vegetal variam de acordo com a espécie de adubo verde utilizada e com a época de corte e adição dos resíduos vegetais ao solo, observando-se relação direta entre ambas as propriedades e a idade da planta.

Da mesma forma, o material, quando incorporado ao solo, sofre decomposição mais rápida do que quando deixado na superfície, uma vez que o processo de incorporação aumenta bastante a superfície de contato do adubo verde com a microbiota do solo (De-Polli; Chada, 1989). Deixado na superfície, o material é decomposto mais lentamente; portanto, protege o solo por mais tempo e promove melhorias na sua estrutura, como se tem verificado no sistema plantio direto.

Em experimento conduzido em Argissolo Amarelo, avaliou-se a taxa de decomposição da biomassa de milho + guandu-comum, em vários sistemas de preparo do solo (plantio convencional com uma aração e duas gradagens; cultivo mínimo com escarificador e plantio direto, fazendo-se apenas a abertura de sulco para plantio) e em duas épocas de manejo da biomassa (na época de milho-verde e na época de milho-grão), utilizando-se sacos de náilon, com abertura de 1,0 mm (Barreto et al., 2005). A taxa de decomposição da vegetação espontânea produzida em parcelas em pousio também foi avaliada. Verifica-se, na Figura 4, que a taxa de decomposição da biomassa da vegetação espontânea foi mais lenta do que a do consórcio milho + guandu, o que tem a ver com a relação C:N mais alta e com o maior teor de lignina. Quanto à diferença entre as duas épocas de manejo, observa-se que a decomposição está intimamente relacionada com o teor de umidade do solo, pois, na época de milho-verde (Figura 4A), que corresponde ao período das chuvas, a taxa de decomposição é mais rápida do que na época de milho-grão (Figura 4B), quando, então, o início do processo de decomposição corresponde ao início do período seco.



**Figura 4.** Índice de matéria seca (MS) remanescente da biomassa de milho + guandu-comum sob diferentes métodos de preparo do solo na época de milho-verde (A) e na época de milho-grão (B).

VN = vegetação natural; PC = plantio convencional; CM = cultivo mínimo; PD = plantio direto.

Fonte: Adaptado de Barreto et al. (2005).

## Leguminosas perenes

Trabalhos com leguminosas perenes foram desenvolvidos em Argissolo Amarelo dos Tabuleiros Costeiros de Sergipe, comparando-se as espécies gliricídia (*Gliricidia sepium*) e leucena (*Leucaena leucocephala*) em relação à produção de biomassa, aos nutrientes na parte aérea, à adaptabilidade ao sistema de cultivo em alamedas e à capacidade de promover melhorias em termos de características físicas e químicas do solo (Barreto; Fernandes, 2001a). Foi observado que as duas espécies promoveram melhorias em algumas das características do solo avaliadas, mas a gliricídia, além da maior produção de biomassa e da excelente capacidade de rebrota, apresentou maior longevidade e melhor adaptação ao cultivo em alamedas, o que está de acordo com trabalho anteriormente desenvolvido por Silva e Mendonça (1995), em solos de Tabuleiros Costeiros do sul da Bahia, com essas mesmas leguminosas.

## Cultivo de alamedas de gliricídia

Esse sistema consiste no plantio de leguminosas perenes, de porte arbustivo, em fileiras suficientemente espaçadas para permitir o plantio de culturas alimentares e/ou comerciais entre elas (Wilson; Kang, 1981; Barreto; Carvalho Filho, 1992). Essa prática apresenta potencial de uso, principalmente na recuperação de áreas degradadas, por meio da melhoria de características do solo (aumento de matéria orgânica, oferta de nutrientes e porosidade e diminuição da densidade),



como já constatado em solos de Tabuleiros Costeiros (Silva; Mendonça, 1995; Barreto; Fernandes, 2001a; Barreto et al., 2002).

A gliricídia é uma leguminosa arbórea que apresenta crescimento rápido e enraizamento profundo, o que lhe confere boa tolerância à seca. Ademais, suporta muito bem a realização de cortes periódicos, consequência da sua alta capacidade de rebrota. É uma espécie que pode ter múltiplos usos, como adubação verde, forragem, reflorestamento e cerca viva, entre outros (Carvalho Filho et al., 1997).

## Formas de uso

A gliricídia tem demonstrado grande adaptabilidade à ecorregião dos Tabuleiros Costeiros, e apresenta desenvolvimento vegetativo vigoroso e sem ocorrência de problemas fitossanitários. Nessa ecorregião, onde pode ser utilizada como cultura complementar para os sistemas de produção predominantes, ocupa parte da área da propriedade com as seguintes finalidades: a) recuperação e aproveitamento de áreas degradadas, por meio da melhoria das características físicas, químicas e biológicas do solo; b) produção de forragem de alto valor nutritivo, sobretudo proteico, favorecendo a manutenção de animais num sistema integrado lavoura-pecuária; e c) produção adicional de alimentos para o consumo humano ou que gere excedentes para complementar a renda do agricultor.

## Calagem e adubação

Como os solos da ecorregião dos Tabuleiros Costeiros são, na sua maioria, de baixa fertilidade, é conveniente que, na implantação da área com gliricídia, sejam realizados, pelo menos, os processos de correção da acidez e de adubação com P e K, macronutrientes importantes para um satisfatório estabelecimento e desenvolvimento das plantas. A gliricídia, como grande parte das leguminosas, dispensa naturalmente o uso de N, que é obtido por meio da fixação simbiótica com bactérias dos gêneros *Rhizobium* e *Bradyrhizobium*. A eficiência desse processo é comprometida, porém, em solos com limitações nutricionais, principalmente em relação ao P.

Preferencialmente, as recomendações de adubação devem ser baseadas em resultados de análises do solo. A calagem, quando necessária, deve ser realizada em toda a área, enquanto o calcário, de preferência dolomítico, deve ser incorporado com antecedência de cerca de 2 meses em relação ao plantio, na profundidade de 20 cm, por meio das operações de preparo do solo. Os adubos devem ser aplicados no fundo da cova ou sulco de plantio e cobertos com um pouco de terra, a fim de se evitar o contato com as estacas ou sementes. Não havendo disponibilidade de resultado de análise do solo, no caso do P, pode-se aplicar 50 g por cova ou 100 g por metro linear de sulco de superfosfato simples. Quanto ao K, deve-se aplicar 25 g por cova ou 50 g por



metro linear de sulco de cloreto de potássio. Depois de implantada, a gliricídia não precisará mais ser adubada, beneficiando-se da adubação das culturas implantadas nas entrelinhas.

## Sistema de plantio

A gliricídia pode ser estabelecida por sementes ou por estacas, diretamente no campo (semeadura na cova) ou por meio de mudas previamente enviveiradas, com 2 meses de antecedência. A escolha do método vai depender do uso que se pretende dar à planta, das condições climáticas e da disponibilidade de sementes. Pela praticidade e para as condições climáticas dos Tabuleiros Costeiros, o plantio por estacas é um método relativamente satisfatório no que se refere à pega, desde que sejam seguidas algumas recomendações, transcritas a seguir do trabalho de Carvalho Filho et al. (1997).

Na seleção de estacas para plantio direto, alguns aspectos devem ser levados em conta:

- Idade da estaca: superior a 6 meses de crescimento; evitar estacas demasiadamente velhas.
- Diâmetro: estacas de maior diâmetro (de 3 cm a 4 cm) propiciam melhor pega.
- Posição no ramo: estacas provenientes da base apresentam melhor índice de estabelecimento.
- Comprimento: quanto maior, melhor a porcentagem de estabelecimento (maior o número de gemas para gerar novos ramos), não devendo ser menor que 30 cm.

Na operação de plantio, os seguintes cuidados devem ser observados para se obter um bom índice de estabelecimento (acima de 60%):

- Plantio imediatamente após o corte da estaca – quanto maior o tempo de corte até o plantio, menor a porcentagem de estabelecimento.
- As estacas devem ser colocadas nas covas, em posição vertical, e enterradas em profundidade de 15 cm a 20 cm, sem sofrer qualquer traumatismo; a terra ao redor deve ser bem comprimida. Observar que as gemas das estacas devem estar voltadas para cima.

Para o sistema de alamedas, o espaçamento recomendado entre fileiras de gliricídia deve ser de 5 m a 6 m. No plantio por sementes, deve-se utilizar o espaçamento de 0,20 m entre covas, com duas sementes por cova. No plantio por estacas, o espaçamento dentro da fileira pode ser de 0,5 m entre covas, e devem ser plantadas duas estacas por cova. O plantio deve ser feito no início das chuvas, o que favorece a pega.

Em áreas com declive, as fileiras de gliricídia devem ser plantadas seguindo as curvas de nível, que passam a funcionar como cordões de contorno permanentes, o que reduz o escoamento superficial e exerce uma desejável proteção do solo contra a erosão.

## Sistema de manejo

É recomendável deixar as plantas de gliricídia desenvolverem-se durante o primeiro ano sem efetuar cortes, o que permite um bom enraizamento e confere às plantas boa capacidade de suportar cortes e/ou podas periódicas da parte aérea por um longo período. A partir do segundo ano, próximo ao início do período chuvoso, efetua-se um corte drástico das plantas de gliricídia, entre 20 cm e 50 cm de altura, de modo que seja aberto espaço para a implantação de culturas de ciclo curto nas entrelinhas. Em seguida ao corte, deitam-se os galhos e folhas nas entrelinhas, conforme ilustrado na Figura 5. A biomassa produzida nesse corte é destinada à adubação verde, por meio da sua incorporação ao solo. Esse corte deve ser feito pelo menos um mês antes do plantio das culturas intercalares, tempo suficiente para que haja secamento e desprendimento da folhagem dos galhos, o que antecipa o processo de decomposição da biomassa (Barreto et al., 2004).



**Figura 5.** Plantas de gliricídia após corte drástico dos ramos (A) e aspecto da distribuição da fitomassa nas entrelinhas (B), no início do período chuvoso e a partir do segundo ano.

A gliricídia apresenta grande capacidade de rebrota. Em torno de 4 meses após algum corte, em geral as plantas recompõem toda a parte aérea, tornando possível a realização de três cortes por ano. No espaçamento entre fileiras recomendado, os três cortes anuais produzem em média 4,5 t ha<sup>-1</sup> de matéria seca, o que corresponde a folhas e ramos finos de, no máximo, 1 cm de diâmetro.

É possível diminuir a periodicidade entre os cortes para até 3 meses, sem comprometer o desenvolvimento das plantas nem modificar a produção de matéria seca, o que vai depender do uso da biomassa da gliricídia e do seu grau de competição sobre as espécies cultivadas nas entrelinhas. No decorrer do ano, é possível fazer podas da folhagem em vez de cortes na base das plantas, principalmente se a biomassa, de alto valor proteico, destinar-se à alimentação animal. Nesse caso, a recomposição da parte aérea das plantas é mais rápida. Informações acerca do uso da gliricídia na alimentação de ruminantes, sobre valor nutritivo, palatabilidade, conservação de

forragem e uso como banco de proteína, poderão ser obtidas em outras publicações, tais como Vearasilp (1981), Carvalho Filho e Languidey (1988) e Carvalho Filho et al. (1997).

A partir do segundo ano, aproximadamente um mês após a realização do corte drástico das plantas de gliricídia, deve-se efetuar o preparo da área para o plantio nas entrelinhas. A realização de uma ou duas gradagens é suficiente para triturar os galhos remanescentes, incorporar a biomassa depositada na superfície e eliminar ervas daninhas porventura existentes. Pode-se também optar pelo deslocamento dos galhos mais grossos para a margem das fileiras de gliricídia, utilizando-se gadanho e efetuando-se apenas a abertura de sulcos para o plantio (Figura 6), se as condições permitirem o uso do sistema plantio direto.



**Figura 6.** Cultivo nas entrelinhas de gliricídia: abertura de sulcos para adubação e plantio (A); cultivo de milho nas entrelinhas (B).

A abertura dos sulcos pode ser executada manualmente ou por meio de sulcador. Uma faixa de 1,5 m de largura deve ser mantida limpa em cada lado das fileiras de gliricídia. Portanto, no espaçamento recomendado de 5 m ou 6 m entre fileiras, pode-se plantar, por exemplo, três ou quatro fileiras de milho. A possibilidade de plantios mais adensados de milho (cinco fileiras em alamedas de 5 m) tem sido avaliada atualmente nos Tabuleiros Costeiros de Sergipe e apresenta grande potencial de incremento da produtividade sob esse sistema. Devem ser adotadas as recomendações relacionadas a espaçamento, densidade, tratos culturais e fitossanitários para as culturas que forem plantadas nas entrelinhas.

## Adubação verde em áreas de produção de citros

A baixa longevidade dos pomares instalados nos solos dos Tabuleiros Costeiros, em geral de 12 a 15 anos, é atribuída em grande parte ao fato de o sistema radicular desenvolver-se sobre as camadas coesas subsuperficiais do solo, as quais impõem restrições ao seu desenvolvimento em profundidade e só permitem acesso a um pequeno volume de solo e água (Cintra et al., 1999).

## Implantação do pomar

Com o objetivo de superar os impedimentos impostos pela camada coesa ao desenvolvimento do sistema radicular dos citros, tem-se utilizado a prática da subsolagem na implantação da cultura, levando-se em conta que essa prática é capaz de romper os horizontes adensados. Como consequência disso, diversas características do solo aumentariam, como macroporosidade, aeração, drenagem interna, taxa de infiltração e infiltração acumulada. Além disso, diminuiria a resistência do solo à penetração de raízes, ao encharcamento do solo e ao deflúvio superficial em áreas planas ou com declive, desde que o uso dessa técnica esteja associado ao plantio de leguminosas com boa capacidade de produção de biomassa, para proteger o solo, e com sistema radicular agressivo, capaz de transpor as camadas coesas (Rezende, 2000, 2002).

Em relação à subsolagem, no entanto, é importante levar em consideração dois fatores antes de sua utilização. O primeiro é o tipo de solo a ser subsolado, já que essa prática não apresenta a mesma eficiência para diferentes tipos de solo. O segundo é avaliar o custo em relação ao benefício que a subsolagem irá proporcionar futuramente. Essa é uma operação que implica em elevado consumo de energia e somente se justifica em condições especiais, o que deve ser aferido por profissional conhecedor do assunto.

## Manejo das entrelinhas

A utilização de culturas intercalares nas entrelinhas em nada prejudica o pomar de citros em formação, desde que se tomem medidas adequadas, principalmente no plantio e na manutenção (limpeza e adubação). Já foram desenvolvidos diversos estudos, com resultados positivos, com feijão, milho, amendoim, inhame, fumo, maracujá, abacaxi e mamão. Essa prática, compensadora do ponto de vista econômico e/ou de oferta alimentar, pode ser utilizada nos primeiros anos de implantação do pomar, graças ao pouco sombreamento exercido pelas plantas cítricas. Entretanto, ela nem sempre coopera para a preservação ou a melhoria das características do solo.

O manejo tradicional do solo nas entrelinhas do pomar, que recorre ao uso excessivo de gradagens para controlar plantas daninhas, tem contribuído para a perda de matéria orgânica, agravando, assim, os problemas naturais próprios dos solos dos Tabuleiros Costeiros, tais como os baixos valores de CTC e a baixa capacidade de retenção de água. Além disso, a destruição da agregação pelas operações mecânicas de preparo do solo e o adensamento característico da camada coesa subsuperficial têm afetado a dinâmica da água no perfil do solo, o que dificulta sua infiltração. Esses fatores restringem o desenvolvimento do sistema radicular das plantas, que é fator condicionante para a obtenção de altas produtividades, por meio da exploração de um maior volume de solo. Em pomares de citros nos Tabuleiros Costeiros da Bahia e de Sergipe, há resultados favoráveis com sistema de manejo para o controle integrado de plantas daninhas, por meio de cobertura vegetal, com feijão-de-porco na entrelinha (Figura 7), associado ao uso de





Foto: JOÉZIO LUÍZ DOS ANJOS

**Figura 7.** Cultivo de feijão-de-porco nas entrelinhas de pomar cítrico.

glifosato nas linhas e à realização de subsolagem em intervalos de 4 a 5 anos, com o objetivo de atenuar o efeito da coesão do solo. Esse sistema tem resultado em melhoria de características do solo, aumento de produtividade e redução dos custos na exploração do citros (Carvalho et al., 1998). Em trabalhos conduzidos em Latossolo Amarelo álico coeso distrófico, no campus da Universidade do Recôncavo da Bahia, outras espécies de leguminosas (guandu, feijão-caupi e *C. juncea*) mostraram-se eficientes para uso como subsoladoras biológicas (Barbosa, 1996; Carvalho et al., 2003).

Com o plantio de leguminosas nas entrelinhas, também é possível reduzir o uso de fertilizantes nitrogenados minerais em até 50% (Tabela 3), o que reflete positivamente na diminuição de custos, além de proporcionar condições mais favoráveis do ponto de vista ambiental (Anjos et al., 2004). Feijão-de-porco e *C. juncea* apresentaram comportamentos semelhantes, já que ambos foram eficientes no controle da vegetação espontânea na entrelinha do pomar e promoveram o mesmo efeito na produtividade. Dessa forma, são duas espécies leguminosas recomendadas para consórcio em pomares de citros nos Tabuleiros Costeiros.

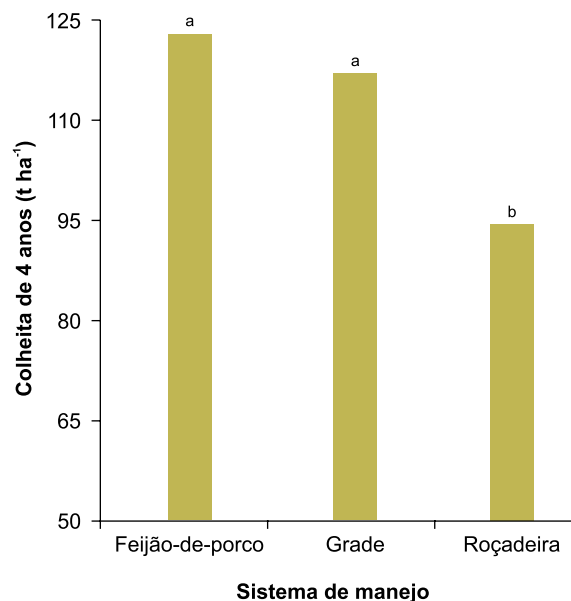
Segundo Anjos (2006), em pesquisa com duração de 8 anos sobre sistemas de manejo na entrelinha de citros com grade, roçadeira e feijão-de-porco, na presença e ausência de subsolagem, nos Tabuleiros Costeiros de Sergipe, verificou-se que o manejo com feijão-de-porco e com grade teve efeitos semelhantes nas produtividades médias acumuladas de 4 anos de colheitas, que foram de 124 t ha<sup>-1</sup> e 116 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente (Figura 8). Entretanto, o manejo com grade apresentou tendência de desagregar o solo em longo prazo.

**Tabela 3.** Produtividade média de frutos em pomar de citros durante 4 anos, com cultivo de plantas de cobertura nas entrelinhas, e na ausência e presença de adubação mineral com nitrogênio nas linhas, em Umbaúba, SE, de 2001 a 2004.

Tratamento <sup>(1)</sup>	Produtividade média (t ha <sup>-1</sup> )
Mato + 100% de N mineral	33,76
<i>Crotalaria juncea</i> + 0% de N mineral	33,87
Feijão-de-porco + 0% de N mineral	34,56
<i>C. juncea</i> + 25% de N mineral	38,79
Feijão-de-porco + 25% de N mineral	36,35
<i>C. juncea</i> + 50% de N mineral	35,27
Feijão-de-porco + 50% de N mineral	37,22
Mucuna-preta + 50% de N mineral	29,50
Mato + 0% de N mineral	23,09

<sup>(1)</sup>Tratamentos: 100% de N mineral equivale ao total 280 kg ha<sup>-1</sup> de N por meio da ureia em aplicação parcelada em duas vezes. As leguminosas foram plantadas, anualmente, nas entrelinhas do pomar no início das chuvas (mar./maio), e incorporadas superficialmente no final das chuvas (ago. a out.). Densidade de sementes equivalente a 100 kg ha<sup>-1</sup> de feijão-de-porco e 20 kg ha<sup>-1</sup> de *C. juncea*.

Fonte: Adaptado de Anjos et al. (2004).



**Figura 8.** Produtividade acumulada de frutos de laranjeira 'Pêra' sobre limoeiro 'Cravo', durante 4 anos, com manejo da vegetação espontânea nas entrelinhas do pomar pelo cultivo de feijão-de-porco, pelo uso de grade e uso de roçadeira.

Médias com letras minúsculas iguais não diferem entre si a 5% pelo teste de Tukey.

Fonte: Adaptado de Anjos (2006).

## Calagem e adubação na entrelinha do pomar

A calagem e a adubação das entrelinhas de citros para a implantação de leguminosas anuais seguem as mesmas recomendações descritas anteriormente para o plantio exclusivo de leguminosas. No entanto, vale ressaltar que a calagem e a adubação podem beneficiar diretamente as plantas cítricas, à medida que suas raízes alcancem as entrelinhas.



## Plantio e manejo

O plantio das leguminosas deve ser feito no início do período chuvoso (abril a maio), em geral a lanço (Tabela 1), com posterior incorporação das sementes, com uma gradagem leve. No final desse período, quando a competição por água torna-se crítica, a massa vegetal desenvolvida nas entrelinhas é roçada e deixada sobre a superfície.

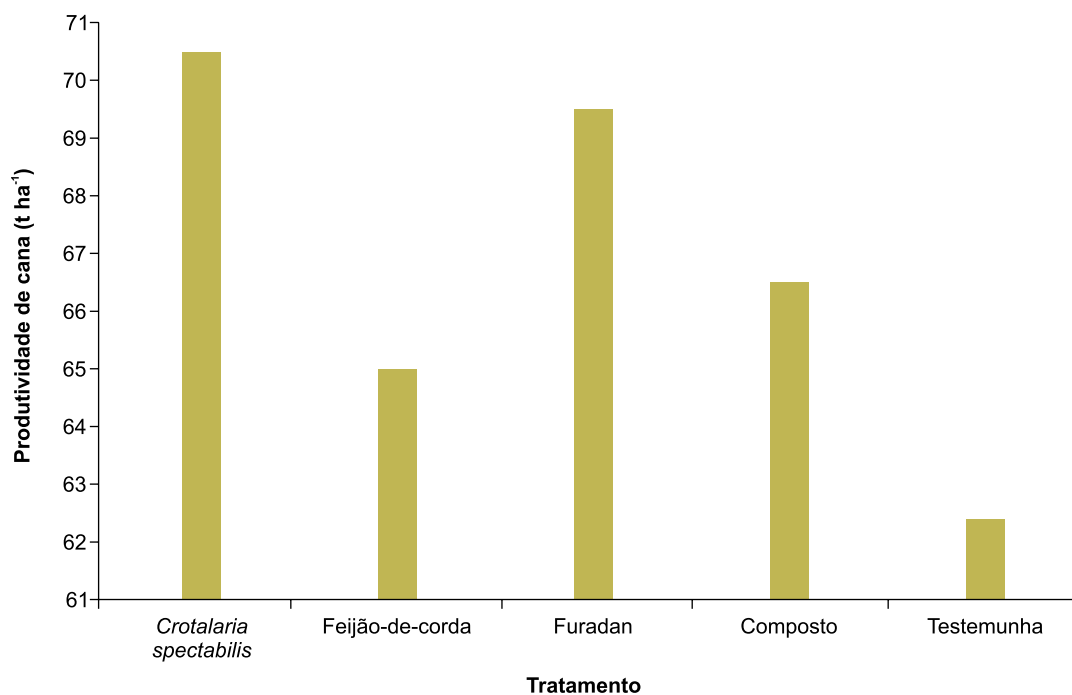
## Produção de sementes

A produção de sementes de leguminosas na própria área deve ser incentivada por vários motivos. Além de reduzir custos, essa prática familiariza o agricultor com as principais espécies que podem ser utilizadas e o ajuda a perceber a importância da adoção da prática da adubação verde no que se refere ao aumento benéfico da diversidade biológica e à melhoria da qualidade do solo. Assim, o agricultor vai incorporá-la ao seu processo produtivo. Além das orientações técnicas sugeridas na Tabela 1, deve-se planejar a produção de sementes, em área separada, de acordo com a quantidade necessária para a utilização da adubação verde na propriedade.

## Adubação verde em áreas de produção de cana-de-açúcar

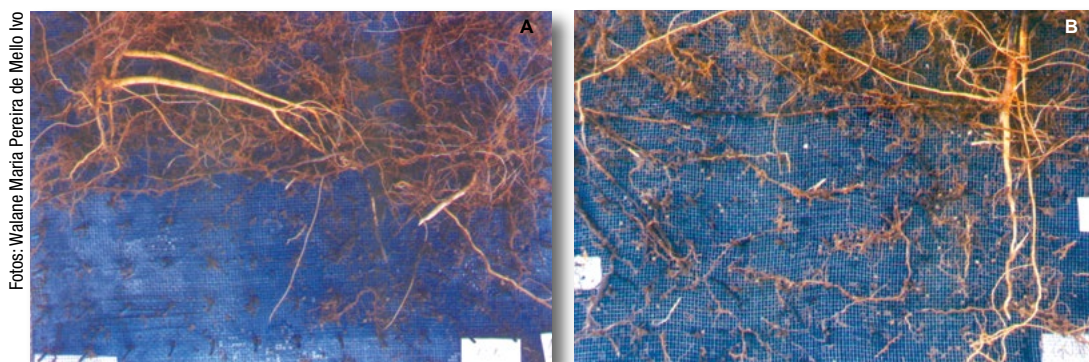
A adubação verde com leguminosas é uma prática cada vez mais frequente nas áreas de renovação dos canaviais dos Tabuleiros Costeiros. As espécies mais utilizadas são *C. spectabilis*, feijão-de-corda (*V. unguiculata*) ou, então, um coquetel com diversas espécies. Inicialmente, o feijão-de-corda foi a espécie escolhida pelos produtores, por causa da possibilidade de produção de alimentos nas áreas de renovação dos canaviais do Nordeste. Porém, alguns trabalhos, como o de Rosário (1999), mostraram problemas relacionados à infestação de nematoides nessas áreas cultivadas com o feijão. Ao mesmo tempo, *C. spectabilis* despontou como a alternativa mais indicada para a prática da adubação verde na renovação do canavial, tanto pelo eficiente controle dos nematoides quanto pelo aumento de produtividade da cana-de-açúcar (Figura 9).

Além de adicionar nutrientes ao sistema de produção (principalmente N), controlar nematoides, produzir cobertura e quebrar a compactação do solo, a utilização de leguminosas em rotação com a cana é vista como meio indicado para aumentar a profundidade efetiva dos solos dos Tabuleiros Costeiros com horizontes coesos, podendo estar associada a práticas mecânicas, como é o caso da subsolagem. Tal associação visa potencializar o efeito das leguminosas na quebra da compactação/coesão e na consequente criação de poros, uma vez que áreas muito compactadas não permitem que as raízes das leguminosas se aprofundem (Figura 10).



**Figura 9.** Produtividade da cana-de-açúcar submetida a diferentes tratamentos para controle de nematoides: rotação com *Crotalaria spectabilis*, rotação com feijão-de-corda utilizada aplicação de carbofurano, composto e testemunha (Usina Coruripe, AL).

Fonte: Adaptado de Rosário (1999).



**Figura 10.** Perfis de enraizamento de feijão-guandu, consorciado com cana-de-açúcar cultivada em um Argissolo Amarelo (até 40 cm) com (A) e sem (B) problemas de compactação (Usina Seresta, AL).

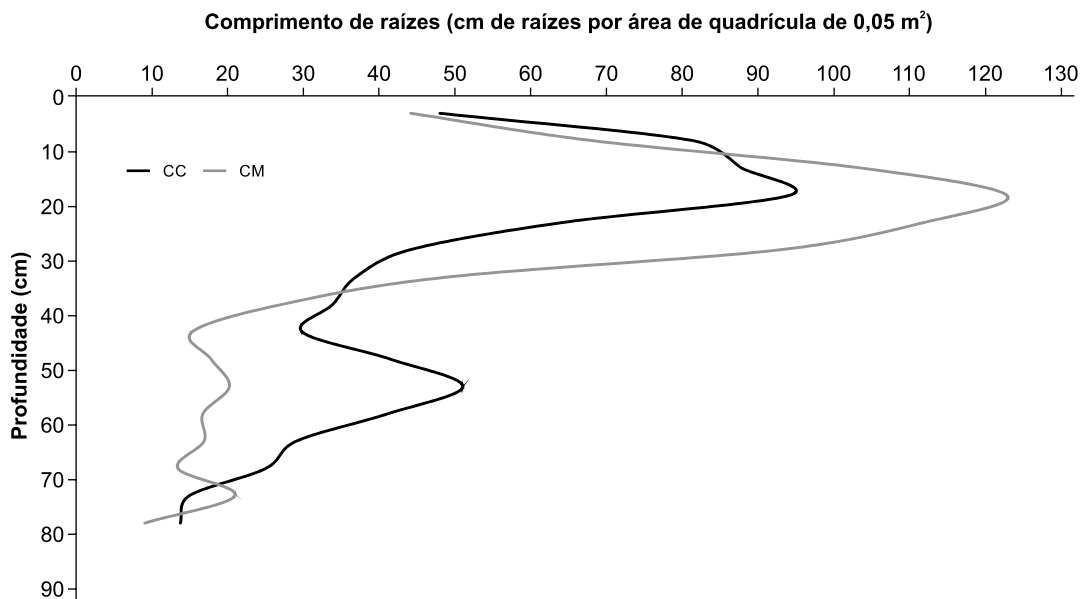
Fonte: Adaptado de Ivo et al. (2007).

Para avaliar a eficiência do uso das leguminosas nessa quebra da compactação, ou na capacidade de ultrapassar os horizontes coesos, pode-se lançar mão do estudo de raízes como uma ferramenta metodológica, para avaliar tanto a própria leguminosa quanto o seu efeito na cana-de-açúcar. Os perfis de enraizamento de *C. spectabilis* e do coquetel de leguminosas cultivadas

na região dos Tabuleiros Costeiros têm demonstrado que as raízes ultrapassam a profundidade de 60 cm (Figura 11), o que justifica a sua utilização com o objetivo de romper camadas coesas e formar poros em profundidade. Quando o enfoque passa a ser o da influência dessas leguminosas na cultura subsequente, os resultados também demonstram o efeito delas na capacidade de aprofundamento das raízes da cana. Nesse sentido, Cintra et al. (2006) conduziram um estudo com o objetivo de avaliar o efeito de práticas biológicas (composto orgânico aplicado no fundo do sulco de plantio e *C. spectabilis* plantada no período da renovação do canavial) no aprofundamento do sistema radicular da cana-de-açúcar, em solo de Tabuleiro Costeiro. A Figura 12 mostra a distribuição em profundidade do sistema radicular de cana-de-açúcar nos tratamentos *C. spectabilis* e composto orgânico. Tais resultados evidenciam as diferenças entre os tratamentos quanto à distribuição em profundidade das raízes da cana-de-açúcar. Em ambos os tratamentos, pode-se notar redução no comprimento das raízes, entre 30 cm e 40 cm de profundidade. Acima dessa camada, observa-se melhor desempenho do tratamento com adubação orgânica, o qual deve estar relacionado à melhoria do ambiente radicular, proporcionado pela matéria orgânica adicionada ao solo. Abaixo desse limite, observa-se superioridade do tratamento com crotalária, provavelmente em razão do aprofundamento do seu sistema radicular e da alteração da estrutura das camadas inferiores do solo. Os autores concluíram que a utilização de adubação verde com *C. spectabilis* durante a renovação do canavial contribuiu para o aprofundamento do sistema radicular da cana-de-açúcar, pois atuou na melhoria do ambiente radicular em profundidade.



**Figura 11.** Raízes de *Crotalaria spectabilis* (A) e do coquetel de leguminosas (*Crotalaria spectabilis*, *Crotalaria juncea*, guandu-anão, feijão-de-porco e feijão-de-corda) (B), em área de renovação de canavial, nos Tabuleiros Costeiros de Alagoas (Usinas Coruripe e Triunfo).



**Figura 12.** Distribuição em profundidade do sistema radicular de cana-de-açúcar nos tratamentos *Crotalaria spectabilis* (CC) e composto orgânico (CM), em Argissolo Amarelo dos Tabuleiros Costeiros de Alagoas (Usina Coruripe).

Fonte: Adaptado de Cintra et al. (2006).

A produção de biomassa de leguminosas, utilizadas em rotação nas áreas de renovação da cana-de-açúcar nos Tabuleiros Costeiros, tem chegado a valores que variam de 5,6 t ha<sup>-1</sup> a 9,9 t ha<sup>-1</sup> de matéria seca de parte aérea, e de 0,8 t ha<sup>-1</sup> a 1,2 t ha<sup>-1</sup> de raízes para o coquetel de leguminosas e para *C. spectabilis*, respectivamente (Tabela 4). Vale salientar que toda essa produção de biomassa por leguminosas na região (Figura 13) só é obtida quando seu plantio é feito na época correta, ou seja, no final de abril ou começo de maio, pois a experiência tem mostrado que, quando elas são plantadas tardiamente, sofrem influência do fotoperíodo, o que reduz fortemente a produção de matéria seca da parte aérea.

Pelo exposto, percebe-se que a adubação verde com leguminosas é uma prática de manejo extremamente eficiente no aporte e ciclagem de biomassa e de nutrientes ao sistema de produção da cana-de-açúcar, bem como no aprofundamento das raízes nos solos dos Tabuleiros Costeiros, o que reforça a recomendação do seu uso pelos produtores.

As leguminosas utilizadas em rotação com a cana-de-açúcar também têm sido bastante eficientes no aporte de nutrientes ao sistema de produção. Entre os nutrientes, destaca-se o N, cujas altas quantidades tanto podem ser adicionadas pela crotalaria (232,5 kg ha<sup>-1</sup>) quanto pelo coquetel de leguminosas (152,4 kg ha<sup>-1</sup>) (Tabela 5). Graças a essa entrada de N no sistema, a palhada da cana-de-açúcar passa a apresentar uma alta relação C:N, em torno de 100, o que ajuda a diminuir esse valor.



**Tabela 4.** Produtividade de matéria seca da parte aérea e do sistema radicular de leguminosas cultivadas em áreas de renovação de cana-de-açúcar, nos Tabuleiros Costeiros de Alagoas.

Leguminosa	Parte aérea	Sistema radicular	
	Matéria seca (t ha <sup>-1</sup> )	Profundidade (cm)	Matéria seca <sup>(1)</sup> (kg ha <sup>-1</sup> )
<i>Crotalaria spectabilis</i>	9,9 ± 1,9	0–10	493,5
		10–20	399,6
		20–30	165,4
		30–40	64,7
		40–50	31,7
		50–60	20,1
		<b>Total</b>	<b>1.175,0 ± 307,8</b>
Coquetel de leguminosas <sup>(2)</sup>	5,6 ± 0,7	0–10	257,9
		10–20	155,8
		20–40	169,2
		40–60	212,5
		<b>Total</b>	<b>795,4 ± 208,9</b>

<sup>(1)</sup>Raízes a partir de 5 mm de diâmetro; CV geral de raízes = 26%; parte aérea da crotalária = 19%; parte aérea do coquetel = 12%. <sup>(2)</sup>Por ordem de frequência na área: 1ª) *Crotalaria spectabilis*; 2ª) *Crotalaria juncea*; 3ª) guandu-anão; 4ª) feijão-de-porco; 5ª) feijão-de-corda.

Fonte: Adaptado de Ivo et al. (2007).



Fotos: Waiane Maria Pereira de Wello Ivo

**Figura 13.** Biomassa aérea de *Crotalaria spectabilis* (A) e coquetel de leguminosas (B), em área de renovação de cana-de-açúcar, nos Tabuleiros Costeiros de Alagoas.

**Tabela 5.** Teores e quantidades de nutrientes na parte aérea das leguminosas, na época de florescimento, em área de renovação da cana-de-açúcar nos Tabuleiros Costeiros de Alagoas.

Leguminosa	Nutriente											
	Nitrogênio (g kg <sup>-1</sup> )	Nitrogênio (kg ha <sup>-1</sup> )	Fósforo (g kg <sup>-1</sup> )	Fósforo (kg ha <sup>-1</sup> )	Potássio (g kg <sup>-1</sup> )	Potássio (kg ha <sup>-1</sup> )	Cálcio (g kg <sup>-1</sup> )	Cálcio (kg ha <sup>-1</sup> )	Magnésio (g kg <sup>-1</sup> )	Magnésio (kg ha <sup>-1</sup> )	Enxofre (g kg <sup>-1</sup> )	Enxofre (kg ha <sup>-1</sup> )
<i>Crotalaria spectabilis</i> <sup>(1)</sup>	23,8	235,2	1,9	18,8	18,7	185,1	14,7	145,3	3,1	30,7	1,6	15,8
Coquetel de leguminosas	27,2	152,4	4,6	25,6	18,6	104,0	11,0	61,4	3,4	18,9	2,7	15,0

<sup>(1)</sup> Estimado a partir dos teores apresentados por Barreto e Fernandes (2001b).

Fonte: Adaptado de Ivo et al. (2007).



Outro macronutriente presente em elevadas quantidades é o K. Esse é o elemento mais utilizado pela cana e também o exportado em maior quantidade, o que reforça a importância dessa rotação com as leguminosas. Os trabalhos conduzidos nos Tabuleiros Costeiros também demonstram elevados teores de cálcio (Ca) no material aportado pela crotalária. Quando compararam as quantidades de nutrientes na parte aérea de dez leguminosas, Barreto e Fernandes (2001b) encontraram teor de Ca em *C. spectabilis* em torno de 14,7 g kg<sup>-1</sup>. Essa quantidade é muito superior à dos outros materiais testados, com exceção do feijão-de-porco. Valores elevados desse nutriente (11 g kg<sup>-1</sup>) também foram observados por Ivo et al. (2007) na parte aérea do coquetel de leguminosas, em cuja composição predominava *C. spectabilis*.

## Considerações finais

Neste capítulo, foram analisados alguns dos principais sistemas de produção em uso na ecorregião dos Tabuleiros Costeiros, justamente aqueles que acumulam a maior quantidade de trabalhos de pesquisa desenvolvidos sobre adubação verde. Foram observados apenas os aspectos técnicos e científicos; por isso, considera-se implícita a necessidade de serem avaliados os custos envolvidos na utilização dessa prática, bem como o tempo de obtenção de benefícios, que, em geral, ocorre em médio e em longo prazo. Entre as leguminosas anuais testadas, destacaram-se o guandu-comum, o feijão-de-porco e o lablab. As duas primeiras também podem ser utilizadas em cultivo consorciado com culturas alimentares, como o milho, em cultivo intercalar e em plantio simultâneo. A glicíndia apresenta grande adaptação a essa ecorregião, e seu cultivo em alamedas melhora a qualidade dos solos nas entrelinhas, além de dar suporte à exploração de culturas alimentares e de poder eventualmente ser utilizada na alimentação animal. O plantio de leguminosas nas entrelinhas dos citros fornece grande parte do N exigido por essa cultura. Na cana-de-açúcar, essa prática de manejo mostra-se muito eficiente no aporte de biomassa e nutrientes, bem como no aprofundamento das raízes, o que reforça a recomendação do seu uso pelos produtores.

## Referências

ABBOUD, A. C. S.; DUQUE, F. F. Caracterização de leguminosas com potencial para adubação verde no período da seca. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 24., 1993, Goiânia. **Cerrados**: fronteira agrícola no século XXI: resumos. Goiânia: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1993. v. 3, p. 99-100.

ANJOS, J. L. dos. **Sistemas de manejo de um Argissolo dos Tabuleiros Costeiros de Sergipe cultivado com citros**. 2006. 83 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, Areia.

ANJOS, J. L. dos; SOBRAL, L. F.; BARRETO, A. C.; SILVA, L. M. S. Adubação de laranja 'Pêra' (*Citrus sinensis*, Osb.) com leguminosas e uréia num Argissolo Amarelo dos Tabuleiros Costeiros. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E

CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 15., 2004, Santa Maria. [Anais...]. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria; [Viçosa]: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2004. 1 CD-ROM.

BARBOSA, M. F. **Alterações na estrutura de um Latossolo Amarelo álico coeso provocadas pelas leguminosas *gandu* (*Cajanus cajan* L. Millsp) e mucuna preta (*Stizolobium aterrimum* Piper e Tracy) no Município de Cruz das Almas – BA.** 1996. 61 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador.

BARRETO, A. C.; CARVALHO FILHO, O. M. de. Cultivo de leucena em consórcio com feijão, milho e algodão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 27, n. 11, p. 1533-1540, nov. 1992.

BARRETO, A. C.; FERNANDES, M. F. **Adubação verde com leguminosas em cultivo intercalar com a cultura do milho.** Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2005. 15 f. (Embrapa Tabuleiros Costeiros. Boletim de pesquisa, 7).

BARRETO, A. C.; FERNANDES, M. F. Cultivo de *Gliricidia sepium* e *Leucena leucocephala* em alamedas visando à melhoria dos solos dos Tabuleiros Costeiros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 10, p. 1287-1293, out. 2001a.

BARRETO, A. C.; FERNANDES, M. F. Produtividade de fitomassa de leguminosas para adubação verde, em solo de Tabuleiro Costeiro. **Agrotropica**, v. 11, n. 2, p. 89-96, 1999.

BARRETO, A. C.; FERNANDES, M. F. **Recomendações técnicas para o uso da adubação verde em solos de Tabuleiros Costeiros.** Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2001b. 24 p. (Embrapa Tabuleiros Costeiros. Circular técnica, 19).

BARRETO, A. C.; FERNANDES, M. F.; ANJOS, J. L. dos. Dinâmica de decomposição da matéria orgânica sob o efeito de métodos de preparo do solo e épocas de manejo do adubo verde em solo dos Tabuleiros Costeiros. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 30., 2005, Recife. **Solos, sustentabilidade e qualidade ambiental.** Recife: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. 1 CD-ROM.

BARRETO, A. C.; FERNANDES, M. F.; CARVALHO FILHO, O. M. de. **Cultivo de alamedas de gliricídia (*Gliricidia sepium*) em solos de Tabuleiros Costeiros.** Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2004. 4 p. (Embrapa Tabuleiros Costeiros. Circular técnica, 36).

BARRETO, A. C.; FERNANDES, M. F.; CARVALHO FILHO, O. M. de. Matéria seca de *Gliricidia sepium* em função da altura e da frequência de corte para adubação verde em sistema de cultivo em alamedas em solos de Tabuleiros Costeiros. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 14., 2002, Cuiabá. **Os (des)caminhos do uso da água na agricultura brasileira:** resumos. Cuiabá: SBCS: Ed. da UFMT: DSER, 2002. p. 147.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, n. 1, p. 105-112, jan./mar. 1997.

CARVALHO FILHO, O. M. de; DRUMOND, M. A.; LANGUIDEY, P. H. ***Gliricidia sepium* – leguminosa promissora para regiões semi-áridas.** Petrolina: EMBRAPA-CPATSA, 1997. 16 p. (EMBRAPA-CPATSA. Circular técnica, 35).

CARVALHO FILHO, O. M. de; LANGUIDEY, P. H. Leucena versus farelo de coco como suplemento para vacas em lactação mantidas a pasto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 23, n. 10, p. 1181-1187, out. 1988.

CARVALHO, J. E. B.; SOUZA, L. da S.; SOUZA, L. D.; CALDAS, R. C.; RAMOS, W. F.; COSTA NETO, A. de O.; ARAÚJO, A. M. de A.; LOPES, L. C.; SILVEIRA, J. R. S. Manejo do solo no controle integrado de plantas daninhas em citros. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 20, n. 1, p. 21-27, 1998.

CARVALHO, S. R. L. de; REZENDE, J. de O.; FERNANDES, J. C.; PEREIRA, A. P. Cinética do crescimento de leguminosas e gramíneas com alto poder relativo de penetração de raízes em solo coeso dos Tabuleiros Costeiros do Recôncavo Baiano (etapa I). **Magistra**, v. 15, n. 2, p. 155-163, jul./dez. 2003.

CINTRA, F. L. D.; IVO, W. M. P. de M.; DILVA, L. V.; LEAL, M. L. S. **Distribuição das raízes de cana-de-açúcar em sistemas de cultivo com adubação orgânica e *Crotalaria spectabilis*.** Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2006. 20 p. (Embrapa Tabuleiros Costeiros. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 12). Disponível em: <http://www.cpatc.embrapa.br/index.php?idpagina=artigos&artigo=2405>. Acesso em: 14 jun. 2010.

CINTRA, F. L. D.; LIBARDI, P. L.; JORGE, L. A. de C. Distribuição do sistema radicular de porta-enxertos de citros em ecossistema de tabuleiro costeiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 21, n. 3, p. 313-317, 1999.

COSTA, M. B. B. da (coord.). **Adubação verde no sul do Brasil.** 2. ed. Rio de Janeiro: AS-PTA, 1993. 346 p.

DE-POLLI, H.; CHADA, S. de S. Adubação verde incorporada ou em cobertura na produção de milho em solo de baixo potencial de produtividade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 13, n. 3, p. 287-293, set./dez. 1989.

FERNANDES, M. F.; BARRETO, A. C.; EMÍDIO FILHO, J. Fitomassa de adubos verdes e controle de plantas daninhas em diferentes densidades populacionais de leguminosas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n. 9, p. 1593-1600, set. 1999.

FERNANDES, M. F.; FERNANDES, R. P. M. Seleção inicial e caracterização parcial de rizóbios de Tabuleiros Costeiros associados ao guandu. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, n. 2, p. 321-327, abr./jun. 2000.

FERNANDES, M. F.; FERNANDES, R. P. M.; HUNGRIA, M. Caracterização genética de rizóbios nativos dos Tabuleiros Costeiros eficientes em culturas do guandu e caupi. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 8, p. 911-920, ago. 2003a.

FERNANDES, M. F.; FERNANDES, R. P. M.; HUNGRIA, M. Seleção de rizóbios nativos para guandu, caupi e feijão-de-porco nos Tabuleiros Costeiros de Sergipe. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 7, p. 835-842, jul. 2003b.

GARCIA, L. F. Introdução e avaliação de leguminosas para adubação verde em solos arenosos de Tabuleiros Costeiros do Piauí. **Revista de la Facultad de Agronomía**, v. 28, n. 2, p. 93-103, 2002.

HARRIS, R. F.; CHESTERS, G.; ALLEN, O. N. Dynamic of soil aggregation. **Advances in Agronomy**, v. 18, p. 107-169, 1966.

HAYNES, J. L. **Uso agrícola dos Tabuleiros Costeiros do Nordeste do Brasil**: um exame das pesquisas. 2. ed. Recife: Sudene, 1970. 139 p.

HEINRICH, R.; VITTI, G. C.; MOREIRA, A.; FANCELLI, A. L. Produção e estado nutricional do milho em cultivo intercalar com adubos verdes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 1, p. 225-230, jan./mar. 2002.

IGUE, K. Dinâmica da matéria orgânica e seus efeitos nas propriedades do solo. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE ADUBAÇÃO VERDE, 1., 1983, Rio de Janeiro. **Adubação verde no Brasil**. Campinas: Fundação Cargill, 1984. p. 232-267.

INHAME: produção e preservação ambiental, um produto da agricultura familiar. João Pessoa: Emepa, 2006. 1 folder.

IVO, W. M. P. de M.; CINTRA, F. L. D.; SILVA, W. C.; SILVA, L. V. Produção de biomassa por leguminosas em área de renovação de cana-de-açúcar nos Tabuleiros Costeiros de Alagoas. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 31., 2007, Gramado. **Conquistas e desafios da ciência do solo brasileira**: livro de resumos. [Porto Alegre]: Ed. da UFRGS Solos: SBCS, Núcleo Regional Sul, 2007. 1 CD-ROM.

JACOMINE, P. K. I.; RIBEIRO, M. R. Solos coesos dos Tabuleiros Costeiros: características, distribuição geográfica, gênese e manejo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., 1997, Rio de Janeiro. **Informação de solos na globalização do conhecimento sobre o uso das terras**: anais. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. 1 CD-ROM.

MIYASAKA, S. Histórico de estudos de adubação verde, leguminosas e suas características. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE ADUBAÇÃO VERDE, 1., 1983, Rio de Janeiro. **Adubação verde no Brasil**. Campinas: Fundação Cargill, 1984. p. 64-123.

MUZILLI, O. A fertilidade do solo no contexto da agricultura sustentável. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13.; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 1.; SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 4.; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 6.; REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 11., 1996, Águas de Lindóia. **Solo suelo 96**. Águas de Lindóia: SBCS: SLSC, 1996. 1 CD-ROM.

RAIJ, B. van. Interações entre nutrientes e solos. In: RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1991. Cap. 3, p. 17-31.

REZENDE, J. de O. **Solos coesos dos Tabuleiros Costeiros**: limitações agrícolas e manejo. Salvador: Secretaria da Agricultura, Irrigação e Reforma Agrária, 2000. 117 p. (Série estudos agrícolas, 1).

REZENDE, J. de O.; MAGALHÃES, A. F. de J.; SHIBATA, R. T.; ROCHA, E. S.; FERNANDES, J. C.; BRANDÃO, F. J. C.; REZENDE, V. J. R. P. **Citricultura nos solos coesos dos Tabuleiros Costeiros**: análise e sugestões. Salvador: Secretaria da Agricultura, Irrigação e Reforma Agrária, 2002. 97 p. (Série estudos agrícolas, 3).

ROSÁRIO, A. **Programa de melhoramento da cana-de-açúcar**: resultados experimentais 1992 a 1998: relatório final. [S.l.]: Ed. da Ufal, 1999. 50 p.

SÁNCHEZ, P. A. Matéria orgânica del suelo. In: SÁNCHEZ, P. A. **Suelos del trópico**. San José, Costa Rica: IICA, 1981. Cap. 5, p. 167-186.

SEIFFERT, N. F.; THIAGO, L. R. L. S. **Legumineira**: cultura forrageira para produção de proteína. Campo Grande, MS: EMBRAPA-CNPGC, 1983. 52 p. (EMBRAPA-CNPGC. Circular técnica, 13).

SILVA, F. B. R. e; RICHE, G. R.; TONNEAU, J. P.; SOUZA NETO, N. C. de; BRITO, L. T. de L.; CORREIA, R. C.; CAVALCANTI, A. C.; SILVA, F. H. B. B. da; SILVA, A. B. da; ARAÚJO FILHO, J. C. de; LEITE, A. P. **Zoneamento agroecológico do Nordeste**: diagnóstico do quadro natural e socioeconômico. Petrolina: EMBRAPA-CPATSA; Recife: EMBRAPA-SNLCS, Coordenadoria Regional Nordeste, 1992. 2 v. (EMBRAPA-CPATSA. Documentos, 80).

SILVA, L. F. da; MENDONÇA, J. R. **Comportamento da gliricídia (*G. sepium*) em solos de tabuleiro do Sul da Bahia**. Ilhéus: Ceplac: Centro de Pesquisa do Cacau, 1995. 15 p.

TESTA, V. M.; TEIXEIRA, L. A. J.; MIELNICZUK, J. Características químicas de um podzólico vermelho-escuro afetadas por sistemas de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 16, n. 1, p. 107-114, jan./abr. 1992.

TISDALL, J. M.; OADES, J. M. The management of ryegrass to stabilize aggregates of a red-brown earth. **Australian Journal of Soil Research**, v. 18, n. 4, p. 415-422, Nov. 1980.

VEARASILP, T. Digestibility of rice straw rations supplemented with *Leucaena leucocephala* and *Gliricidia maculata*. **Thai Journal of Agricultural Science**, v. 14, p. 259-264, 1981.

VIGIL, M. F.; KISSEL, D. E. Equations for estimating the amount of nitrogen mineralized from crop residues. **Soil Science Society of America Journal**, v. 55, n. 3, p. 757-761, May/June 1991.

WILLEY, R. W. Intercropping - its importance and research needs. Part. 2. Agronomy and research approaches. **Field Crop Abstracts**, v. 32, n. 2, p. 1-10, Jan. 1979.

WILSON, G. F.; KANG, B. T. Developing stable and productive biological cropping systems for the humid tropics. In: STONEHOUSE, B. (ed.). **Biological husbandry**: a scientific approach to organic farming. London: Butterworths, 1981. p. 193-203.

Capítulo 24

# Adubação verde no Cerrado

---

Armanda Moreira de Carvalho  
Jeanne Christine Claessen de Miranda  
Leo Nobre de Miranda  
Maria Lucrecia Gerosa Ramos  
Walter Quadros Ribeiro Júnior





## Introdução

O Cerrado representa um dos principais biomas brasileiros, não só pelo fato de possuir a segunda maior área, com 204,7 milhões de hectares (IBGE, 2005), como também por abrigar uma enorme riqueza de espécies vegetais e por conter as nascentes de grandes bacias hidrográficas. Atividades agropecuárias vêm transformando sua área contínua, originalmente com biota natural, em uma paisagem cada vez mais fragmentada; estima-se que até 2010 o percentual de cobertura vegetal natural remanescente no Cerrado foi de 47%, sendo que 90% se concentravam na parte norte do bioma e o restante ao sul (Sano et al., 2010; Beuchle et al., 2015). Tem-se observado ainda que a perda anual de áreas nativas nesse bioma é de 1% a 2% ao ano (Espírito-Santo et al., 2016).

Os Latossolos, que representam 46% das classes dos solos do bioma Cerrado, têm a produtividade primária limitada pela baixa disponibilidade de fósforo (P), cuja retenção pode chegar a 90% da quantidade aplicada (Carvalho et al., 1995). Mesmo com sua baixa fertilidade natural, esses solos sustentam fitofisionomias densas como o cerradão em razão da ciclagem de nutrientes resultante da decomposição da matéria orgânica originária da serrapilheira que se acumula na superfície do solo (Haridasan, 1990). Assim, a matéria orgânica desses solos (cerca de 2% a 3%) torna-se o principal componente responsável pela reserva e pelo fornecimento de nutrientes às plantas (Pereira et al., 1992; Silva et al., 1997; Carvalho et al., 2014a). O pH, o P disponível, a capacidade de troca catiônica (CTC) e a agregação também estão fortemente relacionados à matéria orgânica do solo (Silva et al., 1994; Carvalho et al., 2014b). Por isso, práticas de manejo que contribuem para a recuperação e/ou a manutenção da matéria orgânica e, conseqüentemente, das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo devem ser adotadas. O uso de associação de cultivos (rotação, sucessão e consórcio), a adubação verde e o sistema plantio direto (SPD) associado ao emprego de plantas de cobertura aumentam a diversidade de espécies, a quantidade e a qualidade dos resíduos vegetais e da matéria orgânica, além da agregação do solo, e minimizam os impactos ambientais negativos de agroecossistemas no Cerrado (Amabile et al., 2000; Bayer et al., 2001; Carvalho, 2005; Carvalho; Amabile, 2006; Pitol et al., 2006; Silva et al., 2016; Soares et al., 2019).

Neste capítulo, discute-se como a adubação verde influencia a qualidade do solo e como pode promover a recuperação de áreas degradadas, a fim de diminuir gradativamente o processo de conversão de áreas nativas do bioma Cerrado a atividades agropecuárias. Além disso, analisa-se como a adubação verde e plantas de cobertura em SPD podem contribuir para a diminuição da aplicação de fertilizantes nitrogenados no solo, contribuindo para a mitigação das emissões de gases de efeito estufa para a atmosfera (Pereira et al., 1992; Vargas et al., 2004; Carvalho, 2005; Carvalho et al., 2006, 2015; Ribeiro Júnior; Ramos, 2006; Campanha et al., 2019).

## Efeitos de adubação verde em agroecossistemas

A adubação verde corresponde ao uso de plantas de cobertura em sucessão, rotação ou consórcio com as culturas principais com os objetivos de buscar a proteção da superfície e a manutenção e a melhoria das propriedades físico-hídricas, químicas e biológicas do solo em todo seu perfil. Além disso, partes das plantas de cobertura utilizadas podem ser aplicadas para outros fins, como a produção de sementes e fibras e a alimentação animal (Calegari, 2006; Carvalho; Amabile, 2006). Como os adubos verdes contribuem para o aumento de diversidade de espécies e de resíduos vegetais em sistemas agrícolas do Cerrado, também minimizam os impactos da conversão da vegetação natural ao processo de produção, que historicamente tem se baseado em monocultivos.

O incremento de nitrogênio (N) no solo, seja por meio da fixação biológica, seja mediante incorporação de biomassa, principalmente no caso das leguminosas, é uma das contribuições de maior relevância dos adubos verdes, uma vez que proporciona economia de fertilizantes nitrogenados. Como essa prática também promove controle de insetos-pragas, doenças, fitonematoides e plantas invasoras, reduz as aplicações dos vários pesticidas. O controle das erosões hídrica e eólica é outra vantagem do uso de adubos verdes, que minimizam perdas de solo e, consequentemente, de água, nutrientes e matéria orgânica. A redução/eliminação de aplicação de pesticidas e fertilizantes tem impactos ambientais e socioeconômicos altamente positivos e diminui os riscos de poluição do solo e dos mananciais hídricos (Amabile; Carvalho, 2006; Calegari, 2006; Carvalho; Amabile, 2006).

As espécies de adubos verdes cultivadas em associação às culturas devem apresentar uma dinâmica de decomposição mais lenta para promover uma proteção do solo eficiente. Algumas plantas que têm essa característica são: sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] e guandu [*C. cajan* (L.) Millsp.]. No SPD, os efeitos positivos sobre atributos do solo podem manifestar-se num período mais longo por causa da decomposição acelerada dos resíduos vegetais, sobretudo nas condições climáticas do Cerrado (Carvalho, 2005).

Alcântara et al. (2000) constataram maiores benefícios dos adubos verdes sobre a fertilidade química quando os resíduos foram incorporados do que quando foram mantidos na superfície do solo. Bayer et al. (2002) verificaram menor grau de humificação sob sistema plantio direto (SPD) do que sob plantio convencional e relacionaram os efeitos dos sistemas de cultivo (rotação e sucessão de espécies vegetais) à diversidade dos resíduos vegetais.

O cultivo de espécies vegetais que têm maior habilidade para reciclar o P, seja por meio de associações micorrízicas, seja pela recuperação de frações orgânicas e inorgânicas de baixa disponibilidade (Ae et al., 1991; Carvalho, 2005; Miranda; Miranda, 2006; Miranda, 2008; Carvalho et al., 2014a), reduz as quantidades de fosfato que precisam ser aplicadas aos solos de Cerrado. Carvalho et al. (2014a) avaliaram formas de P em Latossolo sob diferentes sistemas de manejo e de plantas de cobertura em rotação com milho (*Zea mays*) e constataram que a concentração de P inorgânico de maior disponibilidade – ou seja, as frações extraídas com bicarbonato de sódio ( $\text{NaHCO}_3\text{-Pi}$ ) e hidróxido de sódio ( $\text{NaOH-Pi}$ ) – foi mais elevada no solo sob SPD na profundidade de 5 cm a 10 cm durante a estação chuvosa (Figura 1). Já as concentrações de P orgânico foram maiores durante a estação seca, quando as plantas de cobertura (*Canavalia brasiliensis*, *Cajanus cajan* L. e *Raphanus sativus* L.) foram cultivadas. Nessa estação, o P orgânico constituiu 70% do P lábil no solo plantado com *C. cajan* em SPD. Portanto, as plantas de cobertura foram capazes de



Foto: Arminda Moreira de Carvalho

**Figura 1.** Planta de cobertura, feijão-bravo-do-ceará (*Canavalia brasiliensis*), em área de plantio direto a ser cultivada com milho (*Zea mays*) em sucessão em Planaltina, DF.

manter maiores frações de P disponível para o milho, resultando em redução de perdas de P para compartimentos indisponíveis, principalmente em SPD.

Já Silva et al. (2016), ao avaliarem a agregação do solo num SPD com uso de diferentes plantas de cobertura no Cerrado, constataram que a mucuna-preta (*Mucuna atterima*), o milheto (*Pennisetum glaucum*) e o nabo-forrageiro (*Raphanus sativus*) favoreceram a formação de agregados maiores e mais estáveis no solo, gerando condição mais próxima à do solo sob vegetação natural de Cerrado. O nabo-forrageiro promoveu o maior acúmulo de carbono (C) lábil em microagregados, enquanto o milheto resultou em maiores teores intramacroagregados (2,32 g kg<sup>-1</sup> de C) e intramicroagregados (2,34 g kg<sup>-1</sup> de C). Entretanto, a conversão de Cerrado em agroecossistema reduziu o conteúdo de C orgânico total, principalmente devido à quebra de macroagregados, resultando em menor proteção física da matéria orgânica do solo.

A rotação de culturas consiste na alternância regular e ordenada no cultivo de diferentes espécies vegetais em sequência temporal em uma determinada área. As espécies escolhidas devem ter propósitos comerciais, de cobertura e de manutenção e/ou recuperação da qualidade do solo. Na integração lavoura-pecuária, os propósitos comerciais podem estar relacionados à produção de grãos ou à produção de forragem para aproveitamento pela pecuária, o que viabiliza maior número de opções para compor sistemas de produção. Quando bem planejada, com o passar dos anos, a rotação de culturas preserva ou melhora as propriedades físico-hídricas, químicas e biológicas do solo; contribui para a redução e para o controle de plantas daninhas, doenças, insetos-praga e fitonematoides; e repõe ou aumenta os teores de matéria orgânica do solo (Czepak et al., 2006; Medeiros; Calegari, 2006; Pitol et al., 2006; Sharma, 2006).

No planejamento de uma rotação de culturas, devem-se considerar as espécies vegetais e as cultivares a serem utilizadas e compatibilizar as produções de grãos e de biomassa e o maior tempo de permanência de cobertura do solo (Tabela 1).

Algumas espécies vegetais apresentam o chamado “efeito alelopático”: a supressão de plantas pela liberação de substâncias alelopáticas, seja como biomassa viva, seja como parte do processo de decomposição. Um exemplo já estudado por Carvalho et al. (2002), Fontanetti et al. (2004), Carvalho; Amabile (2006) é a ação do feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*) no controle de plantas daninhas, incluindo a tiririca (*Cyperus rotundus*). O controle dessas plantas por meio de sombreamento e competição também é um efeito relevante a ser considerado, já que espécies vegetais mais rústicas e agressivas, como a mucuna-preta, o feijão-bravo-do-ceará e o milheto, quando em rotação, diminuem a infestação da área pelas chamadas ervas daninhas (Burle et al., 2006). Além disso, Martins et al. (2016) constataram que as plantas utilizadas como cobertura do solo no SPD para a formação de palhada, como a aveia-preta (*Avena strigosa* Schreb.) e o nabo-forrageiro, têm efeito alelopático sobre plantas daninhas, independentemente da aplicação de herbicidas.

**Tabela 1.** Sequência de cultivos recomendados em relação à cultura principal para compor sistemas de rotação.<sup>(1)</sup>

Cultura antecessora	Cultura principal	Cultura sucessora
Milho, sorgo, milheto, arroz, trigo, aveia, consórcios milho + mucuna-preta e milho + guandu	Soja	Milho, sorgo, milheto, girassol, nabo-forageiro, arroz, ervilhaca, aveia, trigo
Soja, guandu, mucuna, girassol, crotalária, lablab, nabo-forageiro, ervilhaca, aveia, consórcios milho + mucuna e milho + guandu	Milho	Aveia, nabo-forageiro, trigo, girassol, milheto, soja, feijão, sorgo, arroz
Milho, soja, milheto, trigo e aveia	Algodão	Aveia, nabo-forageiro, trigo, soja, milho, sorgo, milheto, arroz
Milho, soja, sorgo, arroz, milheto, aveia e trigo	Girassol	Milho, sorgo, arroz, aveia, milheto, nabo-forageiro, trigo
Milho, sorgo, arroz, milheto, aveia e mucuna-preta	Feijão	Milho, sorgo, arroz, trigo, milheto, aveia
Milho, soja, guandu, aveia, trigo, crotalária, lablab, nabo-forageiro, ervilhaca e mucuna-preta	Sorgo	Girassol, feijão, aveia, nabo-forageiro, tremoço, ervilhaca, guandu, soja, mucuna-preta, lablab
Nabo-forageiro, ervilhaca, aveia, tremoço, girassol, guandu, soja, milho, crotalária-júncea, mucuna-preta, feijão e lablab	Arroz de sequeiro	Girassol, feijão, tremoço, aveia, nabo-forageiro, ervilhaca, guandu, soja, mucuna-preta, lablab
Milho, algodão, girassol, mucuna-preta, feijão, soja, guandu, crotalária-júncea e lablab	Trigo	Mucuna, girassol, feijão, algodão, sorgo, milheto, guandu, soja, lablab, crotalária-júncea
Todas podem ser recomendadas	Aveia	Todas podem ser recomendadas

<sup>(1)</sup>Milho (*Zea mays*); Sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench); Milheto (*Pennisetum glaucum*); Arroz (*Oryza sativa* L.); Trigo (*Triticum aestivum*); Aveia (*Avena strigosa*); Mucuna-preta (*Mucuna aterrima*); Guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.); Soja (*Glycine max*); Girassol (*Helianthus annuus*); Crotalária-júncea (*Crotalaria juncea*); Lablab (*Lablab purpureus*); Nabo-forageiro (*Raphanus sativus*); Ervilhaca (*Vicia sativa*); Aveia (*Avena strigosa*); Tremoço (*Lupinus albus* L.); Feijão (*Phaseolus vulgaris*); Algodão (*Gossypium hirsutum* L.).

Fonte: Adaptado de Broch et al. (1997).

Dantas et al. (2015) verificaram que a produtividade de colmos da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) não foi afetada pelo consórcio dessa cultura com as leguminosas *Arachis pintoi*, *C. cajan*, *Calopogonium mucunoides*, *Crotalaria anagyroides*, *Crotalaria juncea* e Estilosantes Campo Grande (*Stylosanthes macrocephala* x *Stylosanthes capitata*). O consórcio entre a cana-de-açúcar orgânica e as leguminosas com semeadura tardia para adubação verde também foi eficiente no controle de plantas daninhas, contribuindo para a manutenção do sistema orgânico de produção, que não permite aplicação de herbicidas. Sodré Filho et al. (2014) observaram que sistemas de cultivo em safrinha com a presença de capim-marandu (*Brachiaria brizantha* 'Marandu') ou *Brachiaria ruziziensis*, solteiros ou em consórcio, apresentaram menor número de sementes de plantas daninhas viáveis no solo, o que indica que essas espécies podem ser inseri-



das em sistemas consorciados ou em sucessão visando ao manejo integrado de plantas daninhas no SPD.

As propriedades antagonísticas de plantas a fitonematoides também são conhecidas. Destacam-se as seguintes leguminosas: *Crotalaria paulina*, *C. juncea*, *Crotalaria spectabilis*, mucuna-preta (*M. aterrima*), mucuna-anã (*Mucuna deeringiana*), mucuna-cinza (*Mucuna pruriens* DC), *Stylosanthes* sp., *Indigofera hirsuta* e *Indigofera tinctoria*. Destacam-se também algumas gramíneas, tais como: aveia-preta (*Avena strigosa* Schreb.), *Digitaria decumbens* 'Pangola', *Panicum maximum* 'Guiné'. Essas plantas, quando empregadas na rotação, não prejudicam os inimigos naturais dos fitonematoides e melhoram as propriedades físico-hídricas e químicas do solo. A decomposição da matéria orgânica favorece não só a proliferação de inimigos naturais, como também libera substâncias que têm efeito nematicida e possibilitam o controle de outros patógenos do solo além dos fitonematoides (Sharma, 2006).

## Manejo dos fungos micorrízicos arbusculares em sistemas agrícolas

O cultivo de plantas no Cerrado requer aplicação de nutrientes como P e N por causa da baixa fertilidade natural de seus solos (Sousa; Lobato, 2002). Sua viabilidade econômica está vinculada ao manejo adequado da adubação, com aplicações menores e eficientes de fertilizantes fosfatados e nitrogenados (Sanchez; Salinas, 1981). Além disso, o sucesso dessas estratégias, que envolvem insumos e plantas, depende de processos biológicos, como a micorriza arbuscular, que é um componente natural dos ecossistemas e desempenha um papel fundamental na sua funcionalidade e sustentabilidade (Miranda; Miranda, 1997).

A micorriza arbuscular é uma associação simbiótica não patogênica entre fungos benéficos e específicos do solo e raízes de plantas superiores, que proporciona acréscimo na absorção de nutrientes pelas plantas, principalmente do P. Desse modo, a associação micorrízica aumenta a eficiência de utilização do P natural e do P adicionado ao solo por meio da adubação segundo Siqueira (1990), Robson (1991), Miranda e Miranda (1997, 2006) e Dantas et al. (2014).

A colonização pelos fungos micorrízicos arbusculares ocorre nas raízes finas e de absorção (Mosse, 1981). O micélio externo do fungo é uma das estruturas mais importantes da micorriza na absorção dos nutrientes da solução do solo e no seu transporte para a raiz. Suas hifas podem crescer consideravelmente fora da área da rizosfera, o que contribui para aumentar de 5 até 200 vezes o volume de solo a ser explorado pela planta. Segundo Sieverding (1991), enquanto cada centímetro de raiz não colonizado pode explorar em torno de 1 cm<sup>3</sup> a 2 cm<sup>3</sup> de solo, esse volume pode aumentar para cerca de 12 cm<sup>3</sup> a 15 cm<sup>3</sup> no caso de cada centímetro de raiz colonizado.



Os efeitos benéficos da associação micorrízica no crescimento das plantas, na ciclagem de nutrientes e na estrutura do solo têm sido amplamente demonstrados em diversos trabalhos (Miranda; Miranda, 1997; Varma; Hock, 1999; Rillig; Mummey, 2006). Os fungos micorrízicos arbusculares podem influenciar no desenvolvimento das culturas em geral, como das plantas de cobertura, e ampliar a magnitude de seus benefícios nos cultivos subsequentes (Espindola et al., 1998). Resultados de pesquisa mostram também que práticas agrícolas, tais como a calagem e a fertilização, a rotação de culturas e de sistemas de produção e a utilização de plantas de cobertura, podem favorecer a propagação dos fungos micorrízicos no solo, bem como estimular seus efeitos (Bethlenfalvay; Linderman, 1992; Johnson et al., 1992; Abbott; Robson, 1994; Miranda et al., 2001, 2005).

Os fungos micorrízicos arbusculares são simbiontes obrigatórios e se multiplicam unicamente em presença de uma planta hospedeira, pois dependem dela para a obtenção de fotosintatos necessários à sua sobrevivência (Smith; Read, 1997; Varma; Hock, 1999). Esses fungos estão presentes na maioria dos solos, mas indicações existem de que certas espécies ocorrem unicamente nos solos tropicais (Sieverding, 1991). A ocorrência e a densidade dos fungos micorrízicos arbusculares dependem de características da planta hospedeira, do fungo micorrízico, do solo e do clima (Johnson et al., 1992; Sylvia; Williams, 1992; Heijden et al., 2003; Miranda; Miranda, 2006; Miranda, 2008). A comunidade pode ser reduzida ou inexistente nos solos em pousio, inundados e alterados negativamente pela mineração ou agricultura intensiva (Brundrett, 1991; Martins et al., 1999); entretanto, em geral, a comunidade é grande nos agrossistemas que empregam moderadamente agroquímicos, cultivo mínimo e rotação de culturas (Jasper et al., 1989; Miranda et al., 2005; Miranda; Miranda, 2007). Na mesma rizosfera, podem ser encontradas até seis ou mais espécies (Bononi; Trufem, 1983; Brundrett, 1991; Miranda; Miranda, 1997), as quais podem se diferenciar quanto à efetividade (Bever et al., 1996). Portanto, é importante conhecer as condições ambientais e as práticas agrícolas que favoreçam as espécies mais eficientes.

Os levantamentos realizados em diferentes tipos de solos de Cerrado (Miranda; Miranda, 2006; Miranda, 2008) mostram que a micorriza arbuscular ocorre em grande número de plantas nativas da região, incluindo gramíneas, leguminosas e espécies arbóreas. Também comprovam que, nos diferentes ecossistemas naturais no Cerrado, a densidade dos fungos micorrízicos arbusculares é baixa, observando-se, em média, um número de 25 esporos por 50 cm<sup>3</sup> de solo no Distrito Federal e de 46 esporos por 50 cm<sup>3</sup> de solo em Minas Gerais. Nos agrossistemas dessas regiões, a densidade pode ser mais elevada de acordo com as práticas agrícolas utilizadas (Miranda; Miranda, 1997), como o cultivo de plantas de cobertura (DODD et al., 1990; Espindola et al., 1998). Em pesquisa sob condições de solo de Cerrado com o uso de adubos verdes e cultivo de milho em sucessão, Moura (2015) obteve alta densidade de esporos em solo rizosférico de *C. juncea*, feijão-bravo-do-ceará, sorgo, guandu e milheto (entre 512,83 e 754,83 esporos por 50 cm<sup>3</sup> de solo). Dentre as plantas de cobertura avaliadas, somente o milheto apresentou menor densidade de esporos (316,74 esporos por 50 cm<sup>3</sup> de solo). A colonização micorrízica das plantas

de cobertura esteve entre 63,07% e 78,97%. Esse mesmo autor obteve, ainda, uma baixa diversidade de espécies associadas às plantas de cobertura (12 espécies identificadas), destacando-se a *Scutellospora pellucida*, que ocorreu associada a todas as espécies de plantas de cobertura. Deve-se destacar que a densidade de esporos e a colonização micorrízica foram quantificadas em experimento de longa duração (12 anos) sob sucessão de plantas de cobertura e cultura do milho, o que possivelmente deve ter estimulado esses atributos do solo ao longo dos anos.

Na Tabela 2, observa-se que, após o cultivo e a incorporação de mucuna-preta e soja em período chuvoso, houve, em período seco, um acréscimo na densidade de propágulos de fungos micorrízicos arbusculares nativos em solo de Cerrado. Esse acréscimo foi mais acentuado no cultivo seguinte com milho, o que beneficiou também a multiplicação diferenciada de espécies de fungos micorrízicos arbusculares. Em solo de Cerrado, constatou-se que a cultura de soja e a mucuna-preta contribuíram mais para a multiplicação da espécie *Gigaspora margarita* do que de outras espécies nativas (Tabela 3).

**Tabela 2.** Número mais provável de propágulos (NMP) de fungos micorrízicos arbusculares em Latossolo Vermelho-Amarelo em pousio e com milho (*Zea mays*) no período seco. Embrapa Cerrados, Planaltina, DF.

1º plantio	Período chuvoso		Período seco	
	Pousio		2º plantio – milho	
	(nº por 100 g)	(%)	(g planta <sup>-1</sup> )	Matéria seca
Pousio	6	9	25	1,1
Mucuna-preta	24	99	56	4,5
Soja	37	119	61	3,8

Fonte: Adaptado de Bowen (1987).

**Tabela 3.** Número de esporos de *Gigaspora margarita* e de outras espécies de fungos micorrízicos arbusculares em Latossolo Vermelho de Cerrado cultivado com cultura anual e mucuna-preta (*Mucuna aterrima*).

Espécie vegetal	<i>Gigaspora margarita</i>	Outras espécies
	(nº por 50 g de solo)	
Soja ( <i>Glycine max</i> )	43	7
Mucuna-preta	41	13
Vegetação nativa	13	2

Fonte: Adaptado de Embrapa (1985).

A utilização da micorriza arbuscular tem sido considerada uma alternativa para a otimização do uso de fertilizantes na agricultura em razão dos seus efeitos benéficos ao crescimento de plantas de interesse agrônomo, florestal, hortícola e pastoril. Esses efeitos em solos de Cerrado, medidos por meio da produção de biomassa e de grãos, dependem da planta hospedeira, do fungo micorrízico e das condições de cultivo (Miranda, 1982; Miranda et al., 2005).

A densidade de esporos de fungos micorrízicos arbusculares no solo pode influenciar seu grau de infectividade e alterar sua eficiência no crescimento das plantas (Miranda et al., 2001). Além disso, as diferentes espécies de plantas hospedeiras (Yost; Fox, 1979) e até mesmo cultivares de uma mesma espécie, como mostrado por Sieverding (1991) em mandioca (*Manihot esculenta*) e por Silva et al. (1994) em trigo (*Triticum aestivum*), podem apresentar resposta diferenciada à colonização, de acordo com a sua dependência micorrízica (Habte; Manjunath, 1991), e alterar o potencial de inóculo do solo. Os dados da Tabela 4 mostram que plantas de cobertura, como *Crotalaria ochroleuca* e mucuna-preta, apresentaram naturalmente micorriza em suas raízes, enquanto nabo-forageiro não foi colonizado pelos fungos micorrízicos nativos.

**Tabela 4.** Colonização radicular de plantas de cobertura com fungos micorrízicos arbusculares nativos de Cerrado no florescimento em campo num Latossolo Vermelho-Amarelo.

Planta de cobertura	Colonização radicular (%)
Crotalária ( <i>Crotalaria ochroleuca</i> )	49
Guandu ( <i>Cajanus cajan</i> 'Kaki')	52
Feijão-bravo-do-ceará ( <i>Canavalia brasiliensis</i> )	60
Girassol ( <i>Helianthus annuus</i> )	51
Milheto ( <i>Pennisetum glaucum</i> )	49
Mucuna-preta ( <i>Mucuna aterrima</i> )	49
Nabo-forageiro ( <i>Raphanus sativus</i> )	00

Fonte: Adaptado de Miranda et al. (2001).

Por causa de sua dependência micorrízica, essas plantas podem interferir no potencial de inóculo do solo, como demonstrado pelos dados apresentados na Tabela 5. Observa-se que as plantas de crotalária e mucuna-preta obtiveram maior produção de matéria seca nos tratamentos inoculados, com elevada colonização radicular e esporulação do fungo micorrízico arbuscular no solo. Consequentemente, essas culturas aumentaram significativamente o potencial de inóculo do solo. Entretanto, o nabo-forageiro, que pertence à família das crucíferas, uma das poucas famílias de plantas não micorrízicas, não apresentou dependência micorrízica nem colonização radicular, e as produções de matéria seca foram semelhantes nos tratamentos inoculados e não inoculados. Mesmo com a inoculação, o número de esporos no solo foi reduzido.

A eficiência da associação micorrízica no crescimento das plantas está vinculada também à disponibilidade de nutrientes e à acidez do solo (Miranda; Miranda, 1997). A correção da acidez por meio da calagem pode alterar a espécie de fungo responsável pela colonização radicular e, consequentemente, o efeito da micorriza nesse crescimento (Mosse, 1972; Sano et al., 2002).

A eficiência da simbiose pode ser igualmente identificada na absorção de outros nutrientes pela planta, como o N e o potássio (K), além do P. No caso do N, seu teor pode ser alterado diretamente

**Tabela 5.** Matéria seca (MS), dependência micorrízica (DM), teor de fósforo (P) nas plantas, número de esporos (E) no solo e colonização radicular (CR) de três plantas de cobertura não inoculadas (NI) e inoculadas (I) com o fungo micorrízico arbuscular nativo de Cerrado *Glomus etunicatum* e cultivadas em Latossolo Vermelho, textura argilosa.

Parâmetro	<i>Crotalaria ochroleuca</i>		<i>Mucuna-preta (Mucuna aterrima)</i>		<i>Nabo-forrageiro (Raphanus sativus)</i>	
	NI	I	NI	I	NI	I
MS (g por vaso)	0,63b	2,07a	3,75b	4,77a	5,61a	5,57a
DM (%) <sup>(1)</sup>	-	70	-	21	-	-
P (mg por vaso)	0,10b	0,14a	0,05b	0,08a	0,12a	0,11b
E (nº por 50 g)	0b	248a	0b	453a	0b	10a
CR (%)	0b	82a	0b	59a	0a	0a

<sup>(1)</sup>DM = (MSI - MSNI) 100/MSI.

Para cada cultura, médias seguidas de letras iguais não diferem pelo teste de Duncan, a 5% de probabilidade.

Fonte: Miranda et al. (2001).

pelos fungos micorrízicos arbusculares por meio de sua absorção de fontes orgânicas ou inorgânicas pelas hifas (Ames et al., 1983) ou indiretamente por meio de relações sinérgicas com microrganismos fixadores do N atmosférico, principalmente o rizóbio (Barea, 1991; Linderman, 1992).

No cultivo de leguminosas para cobertura do solo, essa relação entre os fungos micorrízicos arbusculares e o rizóbio é de grande importância, pois a eficiência da fixação biológica de nitrogênio (FBN) depende do adequado balanço nutricional (especialmente do P) e da dependência micorrízica da planta hospedeira (Diederichs, 1990; Faria, 1998; Oliveira, 1998). Conforme apresentado por Miranda e Miranda (2006), a micorriza arbuscular favorece a nodulação, influencia na competição entre estirpes eficientes de rizóbio pelos sítios de ocupação dos nódulos nas raízes e maximiza o efeito do rizóbio na planta leguminosa. Os dados de formação do etileno em nódulos nas raízes de soja e feijão, apresentados na Tabela 6, mostram que a presença da micorriza arbuscular beneficiou a fixação do N pelo rizóbio nessas plantas. Esses efeitos observados podem também ocorrer com as leguminosas para adubação verde, como a *C. ochroleuca* e a mucuna-preta (Tabela 5), que apresentam alta nodulação. Essas plantas, quando micorrizadas e noduladas, tornam-se mais adaptadas às condições de deficiências nutricionais dos solos de Cerrado, o que beneficia diretamente o crescimento das culturas subsequentes.

O cultivo de plantas nos sistemas de produção requer a utilização de práticas agrícolas adequadas visando à obtenção de retornos econômicos de todos os insumos aplicados. Segundo De-Polli et al. (1996), o uso da adubação verde nos sistemas de rotação, principalmente com leguminosas, é uma prática em expansão na região do Cerrado, considerada importante pelos seus efeitos benéficos, tais como: produção de fitomassa, melhoria nas condições físicas e químicas do solo, capacidade de estocar C e fixar N atmosférico,, melhoria na ciclagem de nutrientes e controle biológico de pragas e doenças.

**Tabela 6.** Atividade da redução da nitrogenase em plantas de soja (*Glycine max*) e feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) não inoculadas (NI) e inoculadas (I) com estirpes específicas de rizóbio e com o fungo micorrízico arbuscular (FMA) *Glomus etunicatum* (isolado CPAC 4); plantas cultivadas em Latossolo Vermelho adubado com 25  $\mu\text{g g}^{-1}$  de fósforo.

Cultura	Rizóbio	FMA	Etileno formado ( $\mu\text{moles por planta por hectare}$ )
Soja	NI <sup>(1)</sup>	NI	0,2
	NI <sup>(1)</sup>	I	55,0
	I <sup>(2)</sup>	NI	0,2
	I <sup>(2)</sup>	I	59,1
Feijão	NI <sup>(1)</sup>	NI	0,1
	NI <sup>(1)</sup>	I	3,0
	I <sup>(3)</sup>	NI	0,1
	I <sup>(3)</sup>	I	6,8

<sup>(1)</sup>Presença de rizóbio preestabelecido. <sup>(2)</sup>*Bradyrhizobium japonicum*, estirpe CPAC 15. <sup>(3)</sup>*Rhizobium tropici*, estirpe CPAC H41.

Fonte: Adaptado de Faria (1998) e Oliveira (1998).

Como os fungos micorrízicos arbusculares fazem parte, naturalmente, dos sistemas de produção e as práticas agrícolas interferem na sua multiplicação, é necessário que elas sejam selecionadas de modo que favoreçam a comunidade desses fungos no solo e a simbiose micorrízica. Isso é especialmente importante nos ambientes onde a comunidade nativa é deficiente quantitativa e qualitativamente, como nos solos de Cerrado. Na adubação verde, as plantas de cobertura promovem uma variação no número de propágulos de fungos micorrízicos arbusculares no solo, o que influencia diretamente a produtividade das culturas subsequentes (Tabelas 2 e 7). Na Tabela 7, observa-se, por exemplo, que os maiores índices de produtividade de grãos e de colonização radicular do feijão foram obtidos após o uso das plantas de cobertura, como o feijão-de-porco e a mamona (*Ricinus communis* L.) (Miranda et al., 2001). Entretanto, a utilização de plantas de cobertura não dependentes da micorriza pode influir negativamente no potencial

**Tabela 7.** Produtividade de grãos e colonização radicular de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) e número de esporos de fungos micorrízicos arbusculares nativos em Latossolo Vermelho, após pousio e cultivo de diferentes culturas.

Parâmetro	Cultivo anterior <sup>(1)</sup>					
	Feijão-de-porco	Mamona	Milho	Girassol	Arroz	Pousio
Grãos (kg ha <sup>-1</sup> )	1.950	2.026	1.891	1.699	1.499	1.500
Colonização radicular (%)	76	81	84	73	34	28
Esporos (nº por 50 g)	67	47	53	20	4	4

<sup>(1)</sup>Feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*); mamona (*Ricinus communis*); milho (*Zea mays*); girassol (*Helianthus annuus*); arroz (*Oryza sativa*).

Fonte: Adaptado de Miranda et al. (2001).

de inóculo de fungos micorrízicos arbusculares do solo e causar uma redução na produção das culturas posteriores, como mencionado anteriormente (Tabelas 4 e 5). A recuperação dessa comunidade pode ocorrer por meio da introdução de plantas dependentes da micorriza no sistema de produção (Miranda; Miranda, 2006).

Uma sequência inadequada de culturas no sistema agrícola pode levar também ao acúmulo seletivo de espécies de fungos micorrízicos arbusculares no solo, que podem ser ineficientes para as culturas sucessivas. Sieverding (1991) comenta que o cultivo da mandioca em solos tropicais da Colômbia por 1 ano aumentou consideravelmente a quantidade de fungos micorrízicos arbusculares nativos e não eficientes para outras culturas. Nesse caso, rotações de culturas seriam necessárias para alterar a composição da comunidade micorrízica, de maneira que se restabelesse um novo equilíbrio entre as espécies fúngicas que seriam eficientes para um maior número de espécies vegetais. Observou-se, por exemplo, num solo de Cerrado cultivado com culturas anuais e forrageiras, uma alteração quantitativa seguida de uma alteração qualitativa quando a rotação das culturas foi realizada (Tabela 8). A introdução do milho no 5º ano de cultivo, na área anteriormente ocupada com plantas forrageiras, restabeleceu o número de espécies de fungos micorrízicos arbusculares nativos encontrados na área cultivada somente com culturas anuais. Nesse mesmo período, a introdução do pasto na área anteriormente ocupada com culturas anuais não alterou o número de espécies de fungos micorrízicos arbusculares. Por meio da rotação de culturas, pode-se, portanto, promover um novo equilíbrio entre espécies de fungos micorrízicos arbusculares nativos e, assim, restaurar o potencial quantitativo e qualitativo de inóculo do solo.

**Tabela 8.** Espécies de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) presentes em Latossolo Vermelho de Cerrado sob rotação de plantas anuais [S = soja (*Glycine max*); M = milho (*Zea mays*)] e perenes [P = *Andropogon gayanus* + coquetel de leguminosas: calopogônio (*Calopogonium mucunoides*), *Stylosanthes* sp., *Neonotonia wightii* e soja-perene (*Glycine wightii*)].

Rotação	Época de amostragem			
	Ano agrícola (1991–1992 a 1995–1996)	Abril/1994 (após 3 anos)	Setembro/1995 (após 4 anos)	Abril/1996 (após 5 anos)
		<b>Espécies FMA<sup>(1)</sup></b>		
P – P – P – P – M		Asp. Lsp.	Asp. Lsp. Csp.	Asp. Lsp. Csp. Gsp. Esp
S – S – M – S – P		Asp. Lsp. Csp. Gsp.	Asp. Lsp. Csp. Gsp.	Asp. Lsp. Csp. Gsp. Esp.

<sup>(1)</sup> Asp. = *Acaulospora* sp. (*A. scrobiculata*, *A. mellea*, *A. tuberculata*); Csp. = *Scutellospora* sp. (*S. biornata*, *S. cerradensis*, *S. pellucida*, *S. reticulata*); Lsp. = *Glomus* sp. (*G. occultum*, *G. clarum*); Gsp. = *Gigaspora* sp. (*G. gigantea*, *G. margarita*); Esp. = *Entrophospora* sp. (*E. colombiana*).  
Fonte: Adaptado de Miranda et al. (2005).



## Incorporação de nutrientes no solo pelo uso de adubos verdes

Uma das principais contribuições das leguminosas, como as mucunas, o guandu e as crotalárias, para o incremento da fertilidade química do solo e a economia de fertilizantes nitrogenados é o fornecimento de N por meio da fixação biológica do ar atmosférico e da incorporação de biomassa (Ribeiro Júnior; Ramos, 2006).

O uso de adubos verdes também contribui para o aumento da fertilidade do solo graças à FBN, ao aumento da atividade biológica em geral e à proteção contra a erosão e contra a radiação solar intensa, comum na entressafra e no início do período chuvoso do Cerrado (Carvalho et al., 1999). Entretanto, apesar de as leguminosas promoverem maior ciclagem e mobilização de nutrientes, principalmente por causa das maiores concentrações de nutrientes na sua biomassa comparadas com as de não leguminosas, esse efeito parece ser temporário, pois não tem sido observada melhoria na fertilidade do solo aos 150 dias após o uso de adubos verdes (Alcântara et al., 2000). Caso a matéria orgânica adicionada não seja repostada pela adição de resíduos vegetais, haverá rápido declínio de nutrientes e perda da capacidade produtiva do solo (Moreira; Siqueira, 2002).

As leguminosas fixam N atmosférico e, após serem roçadas e/ou incorporadas ao solo nas condições de Cerrado, podem adicionar entre 142 kg ha<sup>-1</sup> e 242 kg ha<sup>-1</sup> de N (Ribeiro Júnior; Ramos, 2006). Leguminosas arbóreas, como *Leucaena leucocephala*, podem ser utilizadas como adubo verde, fixando até 600 kg ha<sup>-1</sup> de N por ano (Duguma et al., 1988). Existem poucos estudos sobre a mineralização de N no solo do Cerrado e sobre seu aproveitamento pela cultura subsequente ao adubo verde. Deve-se considerar também que, com a adoção do SPD e com o não revolvimento do solo, há modificações na dinâmica de mineralização e de imobilização do N graças à decomposição mais lenta dos resíduos na superfície do solo (Cabezas et al., 2004).

Existem inúmeros trabalhos com adubos verdes que precedem as culturas (principalmente a do milho) que mostram que é possível substituir a fertilização nitrogenada entre 80 kg ha<sup>-1</sup> e 130 kg ha<sup>-1</sup> de N (De-Polli; Chadda, 1989; Calegari et al., 1995; Carvalho, 2005; Carvalho; Amabile, 2006; Calegari, 2006; Carvalho et al., 2015). As leguminosas também auxiliam na correção da acidez do solo (Hunter et al., 1995) e são bastante eficientes na extração de outros nutrientes, como cálcio (Ca), P e K (Magalhães et al., 1991; Hunter et al., 1995); por isso, podem suprir a próxima cultura com esses elementos (Warman, 1991).

O aproveitamento de N proveniente da *C. juncea* e do milheto em SPD no Cerrado em 2 anos de cultivo promoveu o aumento de 2 t ha<sup>-1</sup> na produtividade do milho sem fertilização nitrogenada, quando comparada à produtividade do milho em pousio ou à sucessão ao milheto. Com a aplicação de 30 kg ha<sup>-1</sup> de N na semeadura do milho, sua produtividade foi mais baixa em sucessão ao solo em pousio e ao milheto, quando comparada à sucessão com *C. juncea*. Observou-se que a

*C. juncea* acumulou entre 169 kg ha<sup>-1</sup> e 189 kg ha<sup>-1</sup> de N e o milho entre 64 kg ha<sup>-1</sup> e 68 kg ha<sup>-1</sup> de N. A adubação nitrogenada pode ter contribuído para o aumento de N mineral no solo e ter favorecido a atividade microbiana, conduzindo à maior mineralização do adubo verde, consequentemente, absorção de N pelo milho (Silva et al., 2006). Esse resultado sugere que é possível utilizar os adubos verdes e complementar o fornecimento de N mineral mediante aplicação de fertilizantes na cultura de milho.

Para evitar e/ou minimizar as perdas de N, pode-se fazer uso do consórcio entre duas espécies de adubos verdes: uma leguminosa e outra gramínea ou mix representado pela mistura de várias espécies de plantas de cobertura. Assim, as perdas de N são reduzidas por meio da imobilização temporária desse nutriente (Andreola et al., 2000) e da redução da taxa de mineralização. Consequentemente, aumenta-se a eficiência de cobertura/proteção do solo (Bortolini et al., 2000), e a disponibilidade de N que foi incorporado no solo via FBN (Perin et al., 2004).

Na cultura do arroz (*Oryza sativa*) de terras altas no SPD em sucessão às plantas de cobertura, o guandu resultou em maior rendimento dessa cultura em relação à sua sucessão com sorgo. O efeito da adubação nitrogenada em cobertura foi linear crescente na produtividade de grãos, no segundo ano agrícola, e com o aporte de 125 kg ha<sup>-1</sup> de N houve incremento de 20,2% no rendimento em relação ao tratamento onde não se aplicou N em cobertura (Cazetta et al., 2008).

Torres et al. (2005) observaram que plantas de cobertura, como braquiária (*B. ruziziensis*), guandu, milho, sorgo, crotalária (*C. juncea*) e aveia-preta, apresentaram suas maiores taxas de mineralização aos 42 dias após a dessecação e que as plantas que mais acumularam N foram a crotalária e o guandu. A aveia-preta, apesar de ter apresentado menor taxa de mineralização de N, teve a função de proteger o solo (Tabela 9). Visando evitar as perdas de N no perfil do solo, deve-se compatibilizar a produção de fitomassa com a sua taxa de mineralização, com a cobertura do solo e com o período em que a cultura subsequente demanda N. Esses dados sugerem a conveniência de um consórcio com plantio simultâneo ou sequencial de mais de uma espécie para adubação verde.

Veras et al. (2016) constataram que as plantas de cobertura acumulam diferentes frações de N de acordo com a composição química do seu tecido vegetal. A razão C:N foi a característica que mais diferenciou as espécies vegetais quanto à capacidade de acumular N no solo. O feijão-bravo-do-ceará e a braquiária (*B. ruziziensis*), com os menores valores de C:N, foram as espécies que tiveram os teores mais elevados de N disponível e N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, respectivamente. Dentre as frações do N avaliadas, a fração de N particulada foi a que se mostrou mais sensível às alterações no manejo adotado.

Em área com uso de plantas de cobertura no Cerrado, o SPD apresentou maiores concentrações de bases trocáveis, valores mais altos de CTC e de saturação por bases na camada superficial do solo, principalmente na presença de feijão-bravo-do-ceará em sucessão ao milho. Os estoques de C e N na camada de 0 a 40 cm diferiram significativamente na comparação das diferentes plantas de cobertura; entre elas, as espécies mucuna-cinza e feijão-bravo-do-ceará resultaram em maiores valores de estoques de C e N. O uso do SPD resultou em acúmulo de

**Tabela 9.** Quantidade de nitrogênio (N) total acumulado e liberado em resíduos vegetais de adubos verdes no 1º e 2º anos de cultivo.

Planta de cobertura <sup>(1)</sup>	N total acumulado (kg ha <sup>-1</sup> )	Liberação de N (kg ha <sup>-1</sup> )			
		110 a 152 DAP <sup>(2)</sup>	152 a 208 DAP	208 a 264 DAP	264 a 320 DAP
<b>1º ano</b>					
Pousio	46,6	25,9	5,5	4,8	4,7
Milheto	165,5	59,3	10,9	23,0	18,7
Sorgo	84,1	31,8	11,4	9,8	5,4
Crotalária	118,1	51,7	12,8	10,8	4,8
Aveia-preta	29,2	12,6	2,4	3,9	2,7
Guandu	51,3	16,7	8,3	7,5	3,1
Braquiária	130,8	77,4	10,3	14,9	13,2
<b>2º ano</b>					
Pousio	57,2	12,6	7,7	9,8	7,3
Milheto	55,8	20,3	6,1	7,6	4,9
Sorgo	45,0	12,9	5,6	9,4	3,9
Crotalária	76,4	21,0	7,7	15,0	6,0
Aveia-preta	46,0	8,8	6,9	11,6	3,8
Guandu	62,4	15,9	14,6	10,2	7,6
Braquiária	41,7	15,5	8,7	6,5	4,6

<sup>(1)</sup>Milheto (*Pennisetum glaucum*); Sorgo (*Sorghum bicolor*); Crotalária (*Crotalaria juncea*); Aveia-preta (*Avena strigosa*); Guandu (*Cajanus cajan*); Braquiária (*Brachiaria ruziziensis*). <sup>(2)</sup>DAP = dias após o plantio.

Fonte: Adaptado de Torres et al. (2005).

matéria orgânica na camada de 0 a 5 cm e promoveu melhoria na fertilidade do solo. A utilização das plantas de cobertura feijão-bravo-do-ceará ou mucuna-cinza no SPD em sucessão ao milho foi uma alternativa para o sequestro de C e melhoria da qualidade do solo no Cerrado (Carvalho et al., 2014a).

O aporte de resíduos vegetais em sistemas com adoção de adubos verdes resulta numa ciclagem mais eficiente de nutrientes. Isso favorece que a cultura em sequência use principalmente aqueles nutrientes com potencial de lixiviação, como o N e o K, ou os que podem ser retidos com relativa facilidade, como o P. No entanto, o uso eficiente dos nutrientes liberados no processo de decomposição depende da sincronia entre a cultura principal e as plantas em sucessão (Carvalho, 2005; Carvalho; Amabile, 2006; Carvalho et al., 2014a).

No caso de sistemas orgânicos de produção, a adubação verde é uma das alternativas mais viáveis para incorporar N ao solo, já que não são permitidas aplicações de fertilizantes solúveis (Carvalho; Amabile, 2006).

## Plantas de cobertura com potencial de uso no Cerrado

Algumas espécies vegetais avaliadas quanto ao rendimento de biomassa e de nutrientes acumulados na parte aérea (Tabela 10), razão C:N e razão C:P (Tabela 11) mostraram-se mais adaptadas às condições de estresse hídrico no Cerrado. A dinâmica de decomposição de resíduos vegetais e a composição química em relação aos grupos de C também são parâmetros que contribuem para a recomendação de adubos verdes em sistemas agrícolas no Cerrado (Carvalho et al., 2008, 2009).

Para cobertura de solo, em que a formação de palhada é condição essencial, o guandu, o milho e a mucuna-cinza são as espécies mais indicadas, porque levam mais tempo para reciclar seus resíduos vegetais (Tabela 12) em razão dos maiores picos observados para o C do grupo de compostos aromáticos (Figura 2) e da adaptabilidade às condições de estresse hídrico do Cerrado (Burle et al., 1992; Carvalho et al., 1996; Amabile et al., 2000). Embora o feijão-bravo-do-ceará tenha elevada tolerância ao estresse hídrico (Burle et al., 1992), apresenta decomposição mais acelerada dos seus resíduos vegetais por ter menores proporções relativas de C dos grupos aromático e alquilas (Carvalho, 2005; Alcântara; Carvalho, 2006; Carvalho et al., 2008, 2009).

Outras duas espécies que têm potencial como planta de cobertura são principalmente a quinoa (*Chenopodium quinoa*) e o amaranto (*Amaranthus cruentus*). Observou-se que as dinâmicas de crescimento de quinoa, amaranto e milho ao longo do tempo nas diversas fases fenológicas variam muito em condições de campo no Cerrado e de acordo com o regime hídrico e o nível de estresse hídrico (Oliveira et al., 2017). Os mesmos autores observaram que, entre essas

**Tabela 10.** Produtividade de matéria seca, teores e conteúdos de nitrogênio e fósforo na parte aérea das plantas de cobertura no ano agrícola 2002–2003 em Planaltina, DF.

Planta de cobertura <sup>(1)</sup>	Matéria seca (kg ha <sup>-1</sup> )	Nitrogênio		Fósforo	
		(g kg <sup>-1</sup> )	(kg ha <sup>-1</sup> )	(g kg <sup>-1</sup> )	(kg ha <sup>-1</sup> )
Crotalária	1.706cd	24,02a	40,96a	1,82ab	3,00a
Feijão-bravo-do-ceará	2.958a	17,73b	50,72a	0,79c	2,35abc
Girassol	898e	11,90de	10,63b	1,52bc	1,36c
Guandu	1.317ed	15,16bcd	19,99b	1,09bc	1,45bc
Milho	2.103bc	10,08e	20,86b	0,87c	1,75bc
Mucuna-cinza	2.724ab	16,12c	43,81a	0,79c	2,14abc
Nabo-forrageiro	1.031ed	17,74b	18,32b	2,45a	2,57ab
Vegetação espontânea	827e	12,75cde	10,70b	1,52bc	1,30c

<sup>(1)</sup>Crotalária (*Crotalaria juncea*); feijão-bravo-do-ceará (*Canavalia brasiliensis*); girassol (*Helianthus annuus*); guandu (*Cajanus cajan*); milho (*Pennisetum glaucum*); mucuna-cinza (*Mucuna pruriens*); nabo-forrageiro (*Raphanus sativus*).

Médias seguidas de letras iguais não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Fonte: Adaptado de Carvalho (2005).

**Tabela 11.** Razões carbono:nitrogênio (C:N) e carbono:fósforo (C:P) do material verde e dos resíduos vegetais das plantas de cobertura aos 180 dias do início da decomposição no ano agrícola 2002–2003 em Planaltina, DF.

Planta de cobertura <sup>(1)</sup>	C:N		C:P	
	Material verde	Resíduo	Material verde	Resíduo
Crotalária	21d	28a	300bc	400b
Feijão-bravo-do-ceará	30bcd	17c	630a	380b
Girassol	39ab	24abc	310bc	270b
Guandu	34bc	26ab	490ab	610a
Milheto	50a	24abc	640a	340b
Mucuna-cinza	32bcd	20bc	660a	560a
Nabo-forrageiro	26cd	27ab	190c	300b
Vegetação espontânea	39ab	21bc	330bc	350b

<sup>(1)</sup>Crotalária (*Crotalaria juncea*); feijão-bravo-do-ceará (*Canavalia brasiliensis*); girassol (*Helianthus annuus*); guandu (*Cajanus cajan*); milheto (*Pennisetum glaucum*); mucuna-cinza (*Mucuna pruriens*); nabo-forrageiro (*Raphanus sativus*).

Médias seguidas de letras iguais não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Fonte: Adaptado de Carvalho (2005).

**Tabela 12.** Variação da decomposição no tempo e do tempo de reciclagem de resíduos vegetais em sistema plantio direto e convencional com incorporação durante o ano agrícola 2002–2003 em Planaltina, DF.

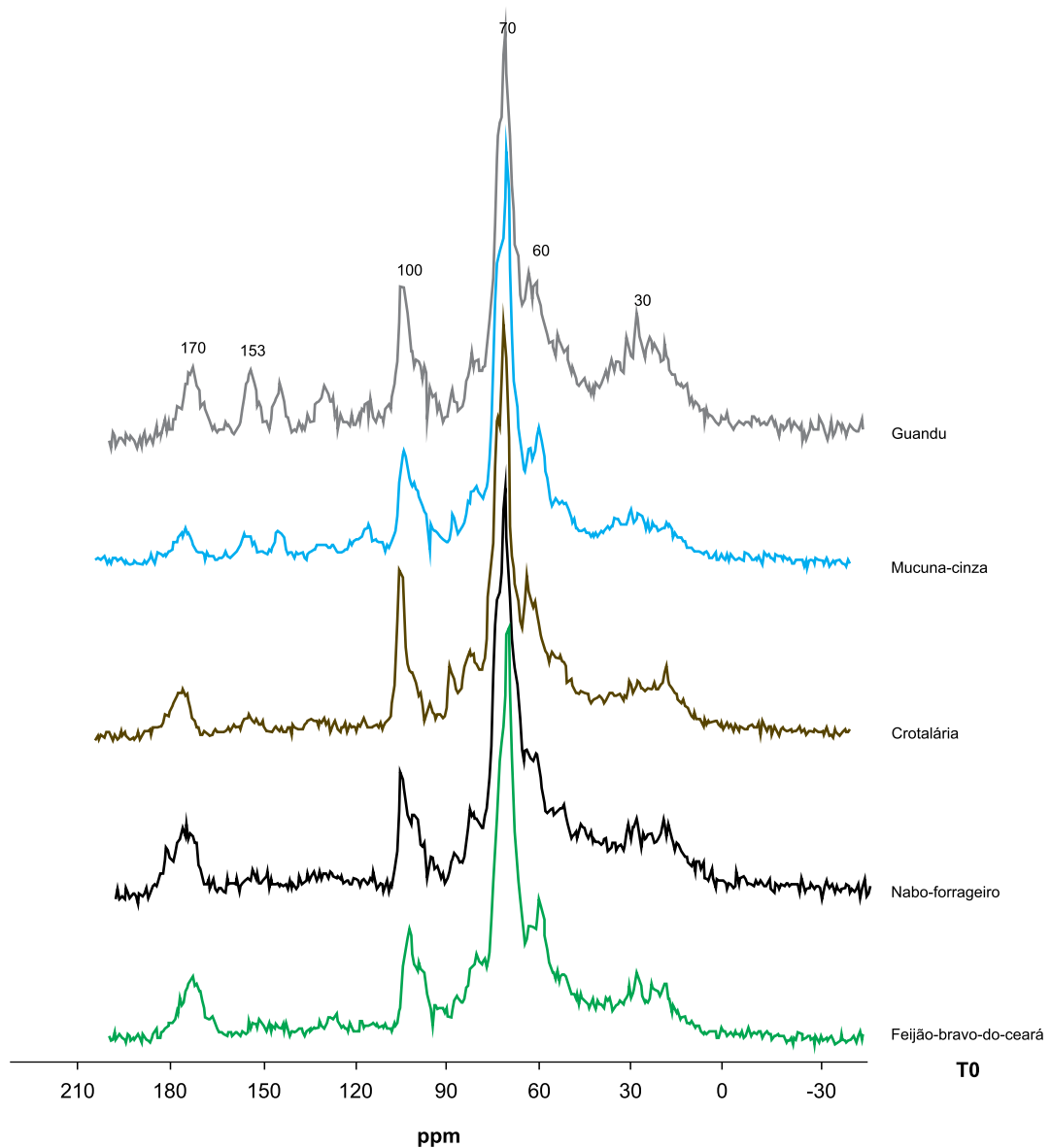
Planta de cobertura <sup>(1)</sup>	Decomposição (%) <sup>(2)</sup>		Tempo de reciclagem <sup>(3)</sup> (dias)	
	Plantio direto	Convencional	Plantio direto	Convencional
Crotalária	49aA	51aA	141	118
Feijão-bravo-do-ceará	48aA	49aA	123	110
Girassol	41abcA	45abA	111	99
Guandu	40bcA	48abB	196	154
Milheto	38bcA	44abB	172	132
Mucuna-cinza	34cA	40bcB	175	145
Nabo-forrageiro	44abA	31cB	112	94
Vegetação espontânea	43abA	48aA	156	116
Sistema de manejo	42B	44A	148	121

<sup>(1)</sup>Crotalária (*Crotalaria juncea*); feijão-bravo-do-ceará (*Canavalia brasiliensis*); girassol (*Helianthus annuus*); guandu (*Cajanus cajan*); milheto (*Pennisetum glaucum*); mucuna-cinza (*Mucuna pruriens*); nabo-forrageiro (*Raphanus sativus*). <sup>(2)</sup>Variação de decomposição estimada por  $Y = \beta_0 + \beta_1 \log T$ , em que  $\beta_0$  = intercepto e  $T$  = tempo. <sup>(3)</sup>Tempo de reciclagem =  $1/k$ , em que  $k$  é a constante da equação exponencial  $[DR = 100 * e^{k * (t)}$ .

Médias seguidas de letras iguais, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Fonte: Adaptado de Carvalho (2005).

três espécies, amaranto foi a mais responsiva à adição de água e a que obteve a maior biomassa no maior nível de irrigação. Isso porque o aumento nos componentes vegetativos dessa planta de cobertura entre baixo e alto níveis de água foi significativo para altura da planta (77%), área basal



**Figura 2.** Espectro de ressonância magnética nuclear (RMN) de  $^{13}\text{C}$  do material vegetal (T0) de plantas de cobertura durante o ano agrícola 2002–2003 em Planaltina, DF.

Guandu (*Cajanus cajan*); mucuna-cinza (*Mucuna pruriens*); Crotalária (*Crotalaria juncea*); nabo-forageiro (*Raphanus sativus*); feijão-bravo-do-ceará (*Canavalia brasiliensis*).

Fonte: Adaptado de Carvalho et al. (2009).

(157%) e peso de colmo (375%); esses percentuais foram superiores aos medidos no milheto (11%, 22% e 67%, respectivamente) e na quinoa (32%, 65% e 120%, respectivamente). Entretanto, o milheto apresentou a maior biomassa em condições de estresse hídrico e as menores diferenças entre os níveis de água, o que indica tolerância a esse tipo de estresse abiótico.



Os resultados de pesquisas indicam que o uso de espécies vegetais tolerantes ao estresse hídrico e com decomposição mais lenta favorece a cobertura do solo sob baixa oferta hídrica do Cerrado e que as leguminosas adicionam quantidades significativas de N e melhoram a qualidade da matéria orgânica do solo.

As espécies vegetais com teores de lignina mais elevados em sua composição, como o milho, o sorgo e o guandu, apresentam decomposição mais lenta de seus resíduos vegetais; conseqüentemente, proporcionam cobertura mais eficiente do solo. Entretanto, o feijão-bravo-do-ceará e a *B. ruziziensis*, que têm menores teores de lignina, apresentam decomposição mais acelerada e ciclagem mais rápida de nutrientes (Carvalho et al., 2008, 2009, 2011).

As espécies vegetais recomendadas para adubação verde em sistemas agrícolas do Cerrado são: mucunas (mucuna-preta, mucuna-cinza, *Mucuna cochinchinensis*, mucuna-anã), crotalárias (*C. juncea*, *C. spectabilis*, *C. paulina*), guandu, feijão-bravo-do-ceará, milho, sorgo e braquiária. O uso de cada uma dessas espécies dependerá do sistema de cultivo adotado e dos seguintes fatores: cultura principal (por exemplo, se é gramínea ou leguminosa), modo de uso (rotação, sucessão, consórcio), condições da propriedade e interesse do produtor rural (Carvalho et al., 2011, 2012, 2015).

Segundo Carvalho et al. (2015), plantas de cobertura como *B. ruziziensis* e feijão-bravo-do-ceará são recomendadas para associação com milho, pois decompõem seus resíduos vegetais mais aceleradamente e promovem maiores rendimentos de grãos da cultura em função da ciclagem de nutrientes mais eficiente. Efeitos benéficos de braquiárias sobre o rendimento de culturas como milho e soja já vêm sendo comprovados em sistemas integrados de lavoura-pecuária (Vilela et al., 2011). Ainda nessa pesquisa, observou-se que o rendimento do milho não variou em função do manejo das plantas de cobertura (seja na floração ou na maturação fisiológica); por isso, fica a critério do produtor adotá-lo ou não, considerando principalmente a preocupação de minimizar operações agrícolas excedentes. Além disso, deve-se destacar que algumas dessas plantas de cobertura apresentam dormência de sementes, como é o caso da mucuna-preta e do feijão-bravo-do-ceará (Burlle et al., 2006); por isso, devem ser manejadas na floração para que não se estabeleçam permanentemente na área e dificultem as práticas agrícolas. Entretanto, plantas de cobertura como sorgo, milho e trigo podem ser deixadas até a maturação dos grãos. Já *B. ruziziensis* pode permanecer como cobertura na área caso o objetivo do sistema de produção seja um consórcio para pastejo.

## Limitações, alternativas e cuidados no uso de plantas de cobertura

Apesar dos vários efeitos positivos já relacionados, os adubos verdes são pouco cultivados na grande área de produção de grãos do Cerrado. Eles são recomendados para as rotações de

culturas principalmente por terem potencial de associação com fungos micorrízicos (Miranda; Miranda, 2006), por promoverem adição de N derivado da FBN (Ribeiro Júnior; Ramos, 2006), por participarem de processos biológicos fundamentais para o sequestro de C (Sisti et al., 2004) e por fornecerem nutrientes pouco disponíveis em solos de Cerrado. As principais limitações ao uso dessas plantas nos sistemas agrícolas são: a) pouco conhecimento a respeito de suas características e compatibilidade com o sistema de produção; b) baixa divulgação da tecnologia; c) informações limitadas provenientes de estudos agronômicos, principalmente os de melhoramento genético, com poucas cultivares lançadas; d) custo de implantação elevado, sem retorno imediato, o que desestimula o produtor; e) germinação irregular de sementes de algumas espécies com elevado potencial para adubação verde; f) inadequação ou inexistência de equipamentos para semeadura e beneficiamento de sementes; g) ciclo de algumas espécies longo e de difícil compatibilidade com o das culturas; h) dificuldades no plantio e na colheita (especialmente no caso de espécies de sementes pequenas, como quinoa e amaranto); i) falta de disponibilidade rotineira de sementes ou disponibilidade de sementes com qualidade; j) preço de sementes elevado e variável.

A decomposição dos resíduos vegetais depende da microbiota do solo e da influência de fatores ambientais. O clima (precipitação pluvial e temperatura) é o principal agente que interfere nesse processo (Preston, 1996; Sodré Filho et al., 2004). As condições de clima no Cerrado, principalmente em relação à sazonalidade das chuvas, às temperaturas elevadas e à radiação solar intensa, dificultam o uso de adubos verdes na entressafra e ainda favorecem a rápida decomposição dos seus resíduos. Por isso, a cobertura do solo e a adubação verde, com incrementos de matéria orgânica, são práticas cujo uso é limitado nesse bioma (Burle et al., 1992; Amabile et al., 2000; Sodré Filho et al., 2004; Carvalho et al., 2011, 2012, 2015).

A suscetibilidade dos resíduos vegetais à decomposição também está associada à sua composição química, principalmente quanto aos teores de celulose, hemicelulose, lignina e polifenóis, e às relações entre constituintes como C:N, C:P, lignina:N, polifenóis:N e lignina + polifenóis:N (Aita; Giacomini, 2003; Espindola et al., 2006). A razão C:N individualmente não representa bem o processo de decomposição dos materiais orgânicos por não considerar a qualidade do C. Quando o objetivo é cobertura e não incorporação, devem-se buscar materiais com capacidade mais elevada de permanência no solo com menores taxas de decomposição, razões C:N e C:P mais altas, teores de lignina, celulose e polifenóis mais elevados (Carvalho et al., 1996; Scholes et al., 1997; Zech et al., 1997; Burle et al., 2006).

Para viabilizar o uso de adubos verdes em sistemas agrícolas no Cerrado, há necessidade de associar parâmetros agronômicos com condições edafoclimáticas e rotação, sucessão e consórcio de diferentes espécies vegetais.

Os principais parâmetros agronômicos a serem considerados na escolha de plantas de cobertura são: rendimento de biomassa, produção de sementes, ciclo compatível com o da cultura comercial, sementes de fácil obtenção e colheita, baixa suscetibilidade a doenças e

pragas, enraizamento profundo, tolerância ao alumínio, eficiência na extração e ciclagem de nutrientes, elevada fixação de  $N_2$  atmosférico, resistência ao estresse hídrico, eficiência no controle de invasoras e de nematoides e aumento na produtividade das culturas subsequentes (Pereira et al., 1992; Amabile et al., 2000; Carvalho; Amabile, 2006). Entre os fatores relacionados, um dos mais relevantes é a tolerância ao estresse hídrico (Burle et al., 1992; Amabile et al., 2000). Essas características devem-se refletir em incrementos de matéria orgânica do solo e fornecimento de nutrientes, principalmente de N e de P em formas disponíveis às plantas (Silva et al., 1997; Amabile et al., 2000).

Alguns cuidados básicos devem ser tomados ao selecionar espécies vegetais para uso na adubação verde. Um dos aspectos mais importantes é que determinadas espécies vegetais podem tornar-se hospedeiras de pragas-chave de culturas, como milho, soja, cana-de-açúcar, entre outras. Portanto, o controle se faz necessário antes de instalar a cultura comercial. Também deve-se evitar o uso de espécies vegetais suscetíveis às mesmas pragas e doenças em sistemas de rotação de cultivos (Czepak et al., 2006).

É necessário cuidado especial com o manejo de determinadas plantas de cobertura, como mucunas e feijão-bravo-do-ceará, para que não se tornem plantas invasoras. O corte deverá ser efetuado no início da floração, que ocorre a partir de 90 dias em um ciclo que se completa a partir de 150 dias. Por causa da desuniformidade na germinação e, conseqüentemente, na floração, deve-se evitar a formação de sementes dessas plantas de cobertura e, principalmente, a sua maturação, pois essas sementes podem permanecer no solo e rebrotar. Para minimizar o problema da desuniformidade da germinação, deve-se escarificar as sementes imergindo-as em água em ebulição por 30 s. O manejo da biomassa pode ser efetuado com rolo-faca, roçadeira, grade leve fechada ou aplicação de herbicidas. Feito o corte, o material deve ser deixado na superfície e deve permanecer como cobertura para o plantio direto. Recomenda-se priorizar a manutenção dos resíduos vegetais em cobertura, já que sua incorporação promove a ciclagem mais rápida de nutrientes (sobretudo daqueles com potencial de lixiviação, como N e K), prejudicando sua absorção pela cultura em sequência. Além disso, a incorporação favorece processos de erosão e incidência direta de radiação solar na superfície do solo (Burle et al., 2006; Carvalho; Amabile, 2006).

## Aportes de carbono no solo e emissões de gases de efeito estufa

A adição da matéria orgânica ao solo ocorre principalmente pela entrada do C resultante da síntese de compostos orgânicos durante a fotossíntese. A quantidade de C incorporada ao solo depende das espécies vegetais e dos sistemas de cultivos em uso. As perdas de C ocorrem, em geral, pela liberação de  $CO_2$  na respiração, pela decomposição microbiana dos resíduos e

da matéria orgânica do solo e pelas perdas dos compostos orgânicos por meio de lixiviação e erosão. A magnitude desses processos, em condições edafoclimáticas específicas, depende direta ou indiretamente do manejo do solo (Mielniczuk, 1999; Lal, 2002). As concentrações de CO<sub>2</sub> atmosférico em áreas agrícolas podem ser reduzidas pelo uso de sistemas com preparo do solo, como SPD com plantas de cobertura que resultem em matéria orgânica estável e mais resistente à degradação (Resck, 1998; Bronick; Lal, 2005).

Ecossistemas cuja emissão de CO<sub>2</sub> excede sua assimilação na forma de produção primária são considerados como fontes desse gás. Ao contrário, ecossistemas cuja absorção predomina sobre a liberação são considerados drenos de CO<sub>2</sub>. Portanto, o equilíbrio entre o C perdido pelo processo de respiração e o C acumulado como matéria orgânica conduz o solo à função de dreno ou fonte de CO<sub>2</sub>. Essa função do solo depende fundamentalmente do seu uso e manejo e da alteração dos seus estoques de C no momento da conversão de vegetação nativa em sistemas agropecuários (Resck, 1998; Ferreira, 2002). Corazza et al. (1999) demonstraram que sistemas sem preparo do solo no Cerrado (reflorestamento, plantio direto e pastagens) resultaram em maior acúmulo de C em relação aos sistemas que utilizaram o revolvimento do solo; por isso, são considerados drenos de CO<sub>2</sub> para a atmosfera.

Para que ocorra sequestro de C no solo, é fundamental que o agroecossistema esteja associado a um sistema de cultivos (cultura principal e adubo verde) com elevada produção de biomassa e decomposição mais lenta de resíduos vegetais, o que resultará em cobertura mais eficiente do solo. O acúmulo de C está diretamente relacionado ao aumento de N, que advém, em sua maior parte, do uso de plantas de cobertura, que pode promover sequestros de C e de N no perfil do solo e mitigar processos de degradação do solo e emissões de gases de efeito estufa para a atmosfera (Meio Ambiente..., 2009; Figueiredo et al., 2019).. Santos et al. (2014) verificaram que *B. ruziziensis* resultou nos maiores teores de C no solo, com incrementos de C nas frações de ácido húmico e C orgânico particulado, que são indicadores da qualidade da matéria orgânica do solo.

As concentrações atmosféricas de gases de efeito estufa têm aumentado rapidamente por causa das atividades antropogênicas, como queima de combustíveis fósseis, urbanização, desmatamentos, queimadas e práticas agrícolas que envolvem aplicações de fertilizantes, preparo do solo, incorporação de resíduos vegetais, irrigação e drenagem, entre outras (Sanhueza et al., 1994; Skiba; Dick, 2004; Carvalho et al., 2006, 2016, 2019, 2021). Os processos de degradação física, química e biológica, que resultam na diminuição de biomassa produzida e incorporada ao solo, causam impactos negativos no acúmulo de C do solo (Lal, 2002). A concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera ultrapassou a marca de 400 ppm em 2016, atingindo 485 ppm de CO<sub>2</sub> equivalente (Noaa, 2016). Apesar da menor proporção de N<sub>2</sub>O em relação à concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera, ações de mitigação devem também priorizar a redução de suas emissões (Martins et al., 2015) em função do potencial de aquecimento global desse gás de efeito estufa ser 298 vezes maior do que o do CO<sub>2</sub> num horizonte de tempo de 150 anos (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014).

Essa tendência de aumento das concentrações de gases de efeito estufa deverá continuar nas próximas décadas, seja pela busca do desenvolvimento, seja pela expansão da área agrícola, onde é crescente o consumo de fertilizantes nitrogenados (Smith et al., 2007). No caso do  $N_2O$ , a agricultura é a principal responsável pelas suas emissões como consequência da oxidação da matéria orgânica e de processos microbianos complexos associados às práticas de manejo (FAO, 2014). Em 2005, no Brasil, agropecuária e energia emitiram 20% e 16%, respectivamente, enquanto, em 2012, ambos responderam por 37% das emissões de gases de efeito estufa no País. A emissão de  $N_2O$  da agropecuária em 2012 chegou a 541 Gg de  $CO_2$  equivalente, contribuindo com cerca de 38% a mais de emissões do que as de metano (Brasil, 2014).

No Brasil, o setor agropecuário é responsável por 83% das emissões de  $N_2O$  para a atmosfera (MCTIC, 2017). De acordo com a versão atual do Guia para Elaboração de Inventários Segundo a Metodologia do IPCC, as emissões antrópicas de  $N_2O$  em solos manejados são decorrentes não só da adição de N ao solo nas formas orgânica (adubos orgânicos, decomposição de esterco, resíduos vegetais e esgotos sanitários) e inorgânica (fertilizantes nitrogenados), mas também da mineralização de N da matéria orgânica do solo, o que resulta em mais de 60% das emissões totais desse gás (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2013).

As alterações na dinâmica de decomposição da matéria orgânica por mecanismos biológicos associados aos resíduos vegetais, além dos fatores climáticos, afetam diretamente a liberação de  $CO_2$  e a mineralização do N (Soares et al., 2019), o que se reflete na emissão de gases ( $CO_2$ , NO e  $N_2O$ ) para a atmosfera (Carvalho et al., 2016, 2017; Santos et al., 2016; Sato et al., 2017, 2019; Figueiredo et al., 2019).

Pesquisas mostram reduções nas emissões globais de  $N_2O$  após aplicações de práticas agrícolas como rotação de culturas (em especial, a intercalação com leguminosas), que promovem menor dependência de fontes externas de N (Abdalla et al., 2014; Carvalho et al., 2016; Santos et al., 2016; Sato et al., 2017, 2019; Figueiredo et al., 2019). A diversidade de espécies vegetais nos sistemas integrados com rotação e sucessão de cultivos, além do uso de plantas de cobertura (Soares et al., 2019), também contribui para a redução das emissões de  $N_2O$  (Carvalho et al., 2016; Santos et al., 2016; Carvalho et al., 2017; Lehman et al., 2017; Sato et al., 2017; Thomas et al., 2017). Diante desses resultados, é necessário monitorar o acúmulo de N no solo e as emissões de  $N_2O$ . Estimativas da Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO, 2003; Campanha et al., 2019) indicam aumentos das emissões de  $N_2O$  em função do uso de fertilizantes nitrogenados em 35% a 60% até 2030. Por isso, é necessário pesquisar sobre emissões globais de gases de efeito estufa (Sisti et al., 2004, Carvalho, 2005, Abdalla et al., 2014; Carvalho et al., 2016, Santos et al., 2016; Carvalho et al., 2017, 2019; Campanha et al., 2019; Figueiredo et al., 2019; Sato et al., 2019)) e, em complemento, sobre sistemas agropecuários mais diversificados que tenham potencial de intensificação sustentável (Soares et al., 2019) e sobre leguminosas que promovam menor dependência de fontes externas de N.

A quantidade e a qualidade de resíduos vegetais acumulados no solo em consequência da rotação de cultivos com espécies de adubos verdes e de outros sistemas de diversificação de culturas expressam o aporte de nutrientes (em especial, de C e N) e contribuem para o balanço positivo de C (sequestro de C) e para o balanço negativo (ou seja, a mitigação) das emissões de gases de efeito estufa para atmosfera (Sisti et al., 2004; Abdalla et al., 2014; Carvalho et al., 2016; Santos et al., 2016; Carvalho et al., 2017; Sato et al., 2017, 2019; Figueiredo et al., 2019).

## Considerações finais

Pesquisas que identificam espécies tolerantes ao estresse hídrico, como mucunas, guandu, feijão-bravo-do-ceará, milheto e sorgo, são fundamentais para recomendar cultivos na entressafra no Cerrado, quando o solo descoberto fica exposto aos agentes de degradação (radiação solar e erosão eólica e hídrica). O uso de adubos verdes que favorecem associações micorrízicas e incrementos de N no solo, além de aumentar a matéria orgânica, proporciona uma ciclagem mais eficiente de nutrientes e maiores estoques de C e N no solo. Portanto, trata-se de uma prática que contribui para minimizar impactos ambientais negativos de agroecossistemas no Cerrado. Quando cultivadas no período chuvoso, durante o qual há elevada produção de biomassa, as leguminosas podem resultar na incorporação de até 280 kg ha<sup>-1</sup>, dos quais mais de 50% resultam da FBN. Esses dados comprovam o potencial dos adubos verdes na redução da aplicação de fertilizantes nitrogenados, insumos que oneram significativamente os custos de produção dos sistemas agrícolas que têm altas demandas de N (como os das culturas de milho e cana-de-açúcar), além de implicarem riscos de poluição do solo e dos mananciais hídricos.

Os adubos verdes também contribuem para diminuir a contaminação ambiental em razão da menor lixiviação de nitrato e da mitigação das emissões de gases de efeito estufa (CO<sub>2</sub> e N<sub>2</sub>O).

Existem diversas espécies recomendadas para adubação verde, as quais apresentam diferenças no que diz respeito à dinâmica de N e de outros nutrientes como P. Isso ocorre, entre outros motivos, em razão das diferenças na quantidade e qualidade da biomassa vegetal, da capacidade simbiótica, da profundidade do sistema radicular e da eficiência de absorção desse nutriente. Essa diversidade sugere o plantio simultâneo de mais de uma espécie ou mistura de diferentes espécies, denominada de coquetéis ou mix de plantas de cobertura.

Considerando-se que, no Cerrado, há significativa área sob SPD, integração lavoura-pecuária e integração lavoura-pecuária-floresta, torna-se um desafio buscar informações mais precisas sobre os efeitos do uso de adubos verdes nas propriedades químicas, biológicas e físico-hídricas do solo, e, conseqüentemente, na sua qualidade.

Além disso, a manutenção da produtividade dos sistemas agrícolas sem causar impactos negativos ou degradar o meio ambiente é outro grande desafio da pesquisa agropecuária; nesse



contexto, estudos adicionais relacionados à rotação de culturas com diversificação de cultivos e aos adubos verdes são essenciais para atingir esse objetivo. Os órgãos de extensão rural e de pesquisa devem trabalhar conjuntamente no intuito de desenvolver essas pesquisas e tecnologias.

## Referências

- ABBOTT, L. K.; ROBSON, A. D. The impact of agricultural practices on mycorrhizal fungi. In: PANKHURST, C. E.; DOUBE, B. M.; GUPTA, V. V. S. R.; GRACE, P. R. (ed.). **Soil biota: management in sustainable farming systems**. Victoria: Csiro, 1994. p. 88-95.
- ABDALLA, M.; HASTINGS, A.; HELMY, M.; PRESCHER, A.; OSBORNE, B.; LANIGAN, G.; FORRISTAL, D.; KILLI, D.; MARATHA, P.; WILLIAMS, M.; RUEANGRITSARAKUL, K.; SMITH, P.; NOLAN, P.; JONES, M. B. Assessing the combined use of reduced tillage and cover crop for mitigating greenhouse gas emissions from arable ecosystem. **Geoderma**, v. 223-225, p. 9-20, July, 2014. DOI: [10.1016/j.geoderma.2014.01.030](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.01.030).
- AE, N.; ARIHARA, J.; OKADA, K. Phosphorus uptake mechanism of pigeon pea grow in Alfisols and Vertisols. In: JOHANSEN, C.; LEE, K.; SAHRAWAT, K. L. (ed.). **Phosphorus nutrition of grain legumes in the semi-arid tropics**. Patancheru: Icrisat, 1991. p. 91-98.
- AGUIAR, J. L. P. de; CARVALHO, A. M. de; CARDOSO, A. N.; GOMES, A. C. Viabilidade econômica do uso de plantas condicionadoras de solo em agroecossistemas de sequeiro. In: CARVALHO, A. M. de; AMABILE, R. F. (ed.). **Cerrado: adubação verde**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2006. p. 331-369.
- AITA, C.; GIACOMINI, S. J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura de solo solteiras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 4, p. 601-612, jul./ago. 2003.
- ALCÂNTARA, F. A. de; CARVALHO, A. M. de. Ressonância magnética nuclear de  $^{13}\text{C}$  em estudos de caracterização estrutural da matéria orgânica do solo. In: ROSCOE, R.; MERCANTE, F. M.; SALTON, J. C. (ed.). **Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2006. p. 243-280.
- ALCÂNTARA, F. A. de; FURTINI NETO, A. E.; PAULA, M. B. de; MESQUITA, H. A. de; MUNIZ, J. A. Adubação verde na recuperação da fertilidade de um Latossolo Vermelho-Escuro degradado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 2, p. 277-288, fev. 2000.
- AMABILE, R. F.; CARVALHO, A. M. de. Histórico da adubação verde. In: CARVALHO, A. M. de; AMABILE, R. F. (ed.). **Cerrado: adubação verde**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2006. p. 23-40.
- AMABILE, R. F.; FANCELLI, A. L.; CARVALHO, A. M. de. Comportamento de espécies de adubos verdes em diferentes épocas de semeadura e espaçamentos na região dos cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 1, p. 47-54, jan. 2000.
- AMES, R. N.; REID, C. P. P.; PORTER, L. K.; CAMBARDELLA, C. Hyphal uptake and transport of nitrogen from two  $^{15}\text{N}$ -labelled sources by *Glomus mosseae*, a vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus. **New Phytologist**, v. 95, n. 3, p. 381-396, Nov. 1983. DOI: [10.1111/j.1469-8137.1983.tb03506.x](https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1983.tb03506.x).
- ANDREOLA, F.; COSTA, L. M.; OLSZEWSKI, N.; JUCKSCH, I. A cobertura vegetal de inverno e a adubação orgânica e, ou, mineral, influenciando a sucessão feijão/milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, n. 4, p. 867-874, out./dez. 2000.
- BAREA, J. M. Vesicular arbuscular mycorrhizae as modifiers of soil fertility. **Advances in Soil Science**, v. 15, p. 1-39, 1991.
- BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PILLON, C. N.; SANGOI, L. Changes in soil organic matter fractions under Subtropical no-till cropping systems. **Soil Science Society of America Journal**, v. 65, n. 5, p. 1473-1478, Sept./Oct. 2001.
- BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; SAAB, S. da C.; MILORI, D. M. P.; BAGNATO, V. S. Tillage and cropping system effects on soil humic acid characteristics as determined by electron spin resonance and fluorescence spectroscopies. **Geoderma**, v. 105, n. 1/2, p. 81-92, Jan. 2002. DOI: [10.1016/S0016-7061\(01\)00093-3](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(01)00093-3).

- BETHLENFALVAY, G. J.; LINDERMAN, R. G. (ed.). **Mycorrhizae in sustainable agriculture**. Madison: American Society of Agronomy, 1992. p. 71-99. (ASA. Special publication, 54).
- BEUCHLE, R.; GRECCHI, R. C.; SHIMABUKURO, Y. E.; SELIGER, R.; EVA, H. D.; SANO, E.; ACHARD, F. Land cover changes in the Brazilian Cerrado and Caatinga biomes from 1990 to 2010 based on a systematic remote sensing sampling approach. **Applied Geography**, v. 58, p. 116-127, Mar. 2015. DOI: [10.1016/j.apgeog.2015.01.017](https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2015.01.017).
- BEVER, J. D.; MORTON, J. B.; ANTONOVICS, J.; SCHULTZ, P. A. Host-dependent sporulation and species diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in a mown grassland. **Journal of Ecology**, v. 84, n. 1, p. 71-82, 1996. DOI: [10.2307/2261701](https://doi.org/10.2307/2261701).
- BONONI, V. L. R.; TRUFEM, S. F. B. Endomicorizas vesículo-arbusculares do Cerrado da reserva biológica de Moji-Guaçu, São Paulo, Brasil. **Rickia**, v. 10, p. 55-84, dez. 1983.
- BORTOLINI, C. G.; SILVA, P. R.; ARGENTA, G. Sistemas consorciados de aveia preta e ervilhaca comum como cobertura de solo e seus efeitos na cultura do milho em sucessão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, n. 4, p. 897-903, out./dez. 2000.
- BOWEN, W. T. **Estimating the nitrogen contribution of legumes to succeeding maize on an oxisol in Brazil**. 1987. 178 f. Thesis (PhD) – Cornell University, Ithaca.
- BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil**. Brasília, DF, 2014. 164 p.
- BRASIL. Ministério de Ciência, Tecnologia, Inovação e Comunicação. **Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil**. 4. ed. Brasília, DF: MCTIC, 2017. 89 p.
- BROCH, D. L.; PITOL, C.; BORGES, E. P. **Integração agricultura-pecuária**: plantio direto da soja sobre pastagem na integração agropecuária. Maracaju: Fundação MS, 1997. 24 p.
- BRONICK, C. J.; LAL, R. Soil structure and management: a review. **Geoderma**, v. 124, n. 1/2, p. 3-22, Jan. 2005. DOI: [10.1016/j.geoderma.2004.03.005](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.03.005).
- BRUNDRETT, M. Mycorrhizas in natural ecosystems. **Advances in Ecological Research**, v. 21, p. 171-313, 1991. DOI: [10.1016/S0065-2504\(08\)60099-9](https://doi.org/10.1016/S0065-2504(08)60099-9).
- BURLE, M. L.; CARVALHO, A. M. de; AMABILE, R. F. Caracterização das espécies de adubos verdes. In: CARVALHO, A. M. de; AMABILE, R. F. (ed.). **Cerrado**: adubação verde. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2006. p. 71-142.
- BURLE, M. L.; SUHET, A. R.; PEREIRA, J.; RESCK, D. V. S.; PERES, J. R. R.; CRAVO, M. S.; BOWEN, W.; BOULDIN, D. R.; LATHWELL, D. J. **Legume green manures**: dry-season survival and the effect on succeeding maize crops. Raleigh: Soil Management CRSP, 1992. 35 p. (CRSP Bulletin, 92-04).
- CABEZAS, W. A. R. L.; ALVES, B. J. R.; CABALLERO, S. S. U.; SANTANA, D. G. de. Influência da cultura antecessora e da adubação nitrogenada na produtividade de milho em sistema de plantio direto e solo preparado. **Ciência Rural**, v. 34, n. 4, p. 1005-1013, jul./ago. 2004.
- CALEGARI, A. Plantas de cobertura. In: CASÃO JUNIOR, R.; SIQUEIRA, R.; MEHTA, Y. R.; PASSINI, J. J. (ed.). **Sistema de Plantio Direto com qualidade**. Londrina: Iapar; Foz do Iguaçu: Itaipu Binacional, 2006. p. 55-73.
- CAMPANHA, M. M.; OLIVEIRA, A. D. de; MARRIEL, I. E.; RIBEIRO, F. P.; LANDAU, C.; GONTIJO NETO, M. M.; ALBUQUERQUE FILHO, M. R.; MALAQUIAS, J. V.; CARVALHO, A. M. de. Effect of soil tillage and N fertilization on N<sub>2</sub>O mitigation in maize in the Brazilian Cerrado. **Science of the Total Environment**, v. 692, p. 1165-1174, 2019. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2019.07.315](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.315).
- CARVALHO, A. M. de. **Uso de plantas condicionadoras com incorporação e sem incorporação no solo**: composição química e decomposição dos resíduos vegetais; disponibilidade de fósforo e emissão de gases. 2005. 199 f. Tese (Doutorado em Ecologia) – Universidade de Brasília, Brasília, DF.
- CARVALHO, A. M. de; AMABILE, R. F. Plantas condicionadora de solo: interações edafoclimáticas, uso e manejo. In: CARVALHO, A. M. de; AMABILE, R. F. (ed.). **Cerrado**: adubação verde. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2006. p. 143-170.
- CARVALHO, A. M. de; BUSTAMANTE, M. M. C. da; ALMONDES, Z. A. P. do; FIGUEIREDO, C. C. de. Forms of phosphorus in an oxisol under different soil tillage systems and cover plants in rotation with maize. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 3, p. 972-979, May/June 2014a. DOI: [10.1590/S0100-06832014000300029](https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000300029).

- CARVALHO, A. M. de; BUSTAMANTE, M. M. da C.; KOZOVITS, A. R.; MIRANDA, L. N. de; VIVALDI, L. J.; SOUSA, D. M. de. Emissão de óxidos de nitrogênio associada à aplicação de uréia sob plantio direto e convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 4, p. 679-685, abr. 2006.
- CARVALHO, A. M. de; BUSTAMANTE, M. M. da C.; SOUSA JÚNIOR, J. G. de A.; VIVALDI, L. J. Decomposição de resíduos vegetais em Latossolo sob cultivo de milho e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2831-2838, nov./dez. 2008. Número especial.
- CARVALHO, A. M. de; CARNEIRO, R. G.; AMABILE, R. F.; SPERA, S. T.; DAMASO, F. H. M. **Adubos verdes**: efeitos no rendimento e no nitrogênio do milho em plantio direto e convencional. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 1999. 20 p. (Embrapa Cerrados. Boletim de pesquisa, 7).
- CARVALHO, A. M. de; COELHO, M. C.; DANTAS, R. A.; FONSECA, O. P.; GUIMARÃES JÚNIOR, R.; FIGUEIREDO, C. C. Chemical composition of cover plants and its effect on maize yield in no-tillage systems in the Brazilian savanna. **Crop and Pasture Science**, v. 63, n. 12, p. 1075-1081, Dec. 2012. DOI: [10.1071/CP1227](https://doi.org/10.1071/CP1227).
- CARVALHO, A. M. de; CORREIA, J. R.; BLANCANEUX, P.; FREITAS, L. R. S. da; MENEZES, H. A.; PEREIRA, J.; AMABILE, R. F. Caracterização de espécies de adubos verdes para milho em Latossolo Vermelho-Escuro originalmente sob cerrado. In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO, 8.; INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON TROPICAL SAVANNAS, 1., 1996, Brasília, DF. **Biodiversidade e produção sustentável de alimentos e fibras nos Cerrados**: anais. Planaltina, DF: EMBRAPA-CPAC, 1996. p. 384-388.
- CARVALHO, A. M. de; FAGERIA, N. K.; OLIVEIRA, I. P. de; KINJO, T. Resposta do feijoeiro à aplicação de fósforo em solos dos cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 19, n. 1, p. 61-67, jan./abr. 1995.
- CARVALHO, A. M. de; MARCHÃO, R. L.; SOUZA, K. W.; BUSTAMANTE, M. M. C. da. Soil fertility status, carbon and nitrogen stocks under cover crops and tillage regimes. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, n. 5 Especial, 2014b. DOI: [10.1590/S1806-66902014000500007](https://doi.org/10.1590/S1806-66902014000500007).
- CARVALHO, A. M. de; OLIVEIRA, A. D. de; COSER, T. R.; SOUSA, T. R.; LIMA, C. A. de; RAMOS, M. L. G.; MALAQUIAS, J. V.; GONÇALVES, A. D. M. A. de; RIBEIRO JUNIOR, W. Q. Nitrous oxide emissions from sugarcane field in the Brazilian Cerrado using contrasting water regimes. **Environmental Technology & Innovation**, v. 22, p. 1-11, 2020. DOI: [10.1016/j.eti.2021.101470](https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101470).
- CARVALHO, A. M. de; OLIVEIRA, W. R. D. de; RAMOS, M. L. G.; COSER, T. R.; OLIVEIRA, A. D.; PULROLNIK, K.; SOUZA, K. W.; VILELA, L.; MARCHÃO, R. L. Soil N<sub>2</sub>O fluxes in integrated production systems, continuous pasture and Cerrado. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 107, p. 1-15, 2017.
- CARVALHO, A. M. de; SOUZA, L. L. P. de; GUIMARÃES JÚNIOR, R.; ALVES, P. C. A. C.; VIVALDI, J. L. Cover plants with potential use for crop-livestock integrated systems in the Cerrado region. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1200-1205, out. 2011.
- CARVALHO, A. M.; BUSTAMANTE, M. M. DA C.; COSER, T. R.; MARCHÃO, R. L.; MALAQUIAS, J. V. Nitrogen oxides and CO<sub>2</sub> from an Oxisol cultivated with corn in succession to cover crops. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1213-1222, 2016.
- CARVALHO, A. M.; BUSTAMANTE, M. M. C.; ALCÂNTARA, F. A.; RESCK, I. S.; LEMOS, S. S. Characterization by solid-state CPMAAS <sup>13</sup>C NMR spectroscopy of decomposing plant residues in conventional and no-tillage systems in Central Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 102, n. 1, p. 144-150, Jan. 2009.
- CARVALHO, A. M.; COSER, T. R.; REIN, T. A.; DANTAS, R. DE A.; SILVA, R. R.; SOUZA, K. W. Manejo de plantas de cobertura em duas épocas e efeito no rendimento do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, p. 1-11, 2015.
- CAZETTA, D. A.; ORIVALDO, A. R. F.; SALATIER, B.; DE SÁ, M. E.; RODRIGUES, R. A. F. Desempenho do arroz de terras altas com a aplicação de doses de nitrogênio e em sucessão às culturas de cobertura do solo em sistema de plantio direto. **Bragantia**, v. 67, n. 2, p. 471-479, 2008. DOI: [10.1590/S0006-87052008000200023](https://doi.org/10.1590/S0006-87052008000200023).
- CERRI, C.; CERRI, C. E. Agricultura e aquecimento global. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 40-44, 2007.
- CORAZZA, E. J.; SILVA, J. E.; RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C. Comportamento de diferentes tipos de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação à vegetação de Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, n. 2, p. 425-432, abr./jun. 1999.

- CZEPAK, C.; FERNANDES, P. M.; VELOSO, V. R. S. da; BORGES, J. D.; TAKATSUBA, F. S. Insetos de importância econômica associados às espécies vegetais usadas como adubos verdes. In: CARVALHO, A. M. de; AMABILE, R. F. (ed.). **Cerrado: adubação verde**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2006. p. 273-299.
- DANTAS, R. A. de; CARMONA, R.; CARVALHO, A. M. de; REIN, T. A.; MALAQUIAS, J. V.; SANTOS JÚNIOR, J. D. G. Produção de matéria seca e controle de plantas daninhas por leguminosas consorciadas com cana-de-açúcar em cultivo orgânico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, p. 681-689, 2015.
- DANTAS, R. A. de; CARVALHO, A. M. de; Coelho, C. M.; MIRANDA, J. C. C. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi and doses of phosphorus on corn crop. **Científica**, v. 42, n. 3, p. 285, 2014. DOI: [10.15361/1984-5529.2014v42n3p285-293](https://doi.org/10.15361/1984-5529.2014v42n3p285-293).
- DE-POLLI, H.; CHADDA, S. de S. Adubação verde incorporada ou em cobertura na produção de milho em solo de baixo potencial de produtividade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 13, n. 3, p. 287-293, set./dez. 1989.
- DE-POLLI, H.; GUERRA, J. G. M.; ALMEIDA, D. L.; FRANCO, A. A. Adubação verde: parâmetros para avaliação de sua eficiência. In: CASTRO FILHO, C.; MUZZILLI, O. (ed.). **Manejo integrado de solos e microbacias hidrográficas**. Londrina: Iapar, 1996. p. 225-242.
- DIEDERICHS, C. Improved growth of *Cajanus cajan* (L.) Millsp. in an unsterile soil by three mycorrhizal fungi. **Plant and Soil**, v. 123, n. 2, p. 261-266, Apr. 1990.
- DODD, J. C.; ARIAS, I.; KOOMEN, I.; HAYMAN, D. S. The management of populations of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in acid-infertile soils of a savanna ecosystem. I. The effect of pre-cropping and inoculation with VAM-fungi on plant growth and nutrition in the field. **Plant and Soil**, v. 122, n. 2, p. 229-240, 1990. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2019.07.315](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.315).
- DUGUMA, B.; KANG, B. T.; OKALI, D. U. U. Effect of pruning intensities of three woody leguminous species grown in alley cropping with maize and cowpea on an Alfisol. **Agroforestry Systems**, v. 6, n. 1/3, p. 19-35, Feb. 1988.
- ESPINDOLA, J. A. A.; ALMEIDA, D. L. de; GUERRA, J. G. M.; SILVA, E. M. R. da; SOUZA, F. A. de. Influência da adubação verde na colonização micorrízica e na produção da batata-doce. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, n. 3, p. 339-347, mar. 1998.
- ESPINDOLA, J. A. A.; GUERRA, J. G. M.; ALMEIDA, D. L. de; TEIXEIRA, M. G.; URQUIAGA, S. Decomposição e liberação de nutrientes acumulados em leguminosas herbáceas perenes consorciadas com bananeira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 2, p. 321-328, mar./abr. 2006.
- ESPÍRITO-SANTO, M. M.; LEITE, M. E.; SILVA, J. O.; BARBOSA, R. S.; ROCHA, A. M.; ANAYA, F. C.; DUPIN, M. G. V. Understanding patterns of land-cover change in the Brazilian Cerrado from 2000 to 2015. **Philosophical Transactions of the Royal Society B**, v. 371, p. 20150435, 2016. DOI: [10.1098/rstb.2015.0435](https://doi.org/10.1098/rstb.2015.0435).
- FAO. **Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra emisiones por fuentes y absorciones por sumideros**. Rome, 2014. (Working Paper Series ESS/14-02).
- FAO. **World agriculture: towards 2015/2030: an FAO perspective and summary report**. (Short Reviews). Rome, 2003.
- FARIA, F. C. **Efeito de associações micorrízicas na eficiência e competitividade de estirpes de rizóbio no feijoeiro**. 1998. 105 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade de Brasília, Brasília, DF.
- FERREIRA, E. A. B. **Dinâmica do fluxo de CO<sub>2</sub> e do carbono da biomassa microbiana em diferentes sistemas de manejo do solo do cerrado**. 2002. 145 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília, Brasília, DF.
- FIGUEIREDO, C. C. de; OLIVEIRA, A. D. de; SANTOS, I. L.; FERREIRA, E. A. B.; MALAQUIAS, J. V.; CARVALHO, A. M. de; SANTOS JÚNIOR, J. D. G. Relationships between soil organic matter pools and nitrous oxide emissions of agroecosystems in the Brazilian Cerrado. **Science of The Total Environment**, v. 618, p. 1572-1582, Mar. 2018. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2017.09.333](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.333).
- FONTANÉTTI, A.; CARVALHO, G. J. de; MORAIS, A. R. de; ALMEIDA, K. de; DUARTE, W. F. Adubação verde no controle de plantas invasoras nas culturas de alface-americana e de repolho. **Ciência Agrotecnologia**, v. 28, n. 5, p. 967-973. 2004. DOI: [10.1590/S1413-70542004000500001](https://doi.org/10.1590/S1413-70542004000500001).
- HABTE, M.; MANJUNATH, A. Categories of vesicular-arbuscular mycorrhizal dependency of host species. **Mycorrhiza**, v. 1, n. 1, p. 3-12, Sept. 1991.
- HARIDASAN, M. Solos do Distrito Federal. In: PINTO, M. N. (org.). **Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas**. Brasília, DF: Ed. da UnB: Sematec, 1990. p. 309-330.

- HEIJDEN, M. G. A. van der; WIEMKEN, A.; SANDERS, I. R. Different arbuscular mycorrhizal fungi alter coexistence and resource distribution between co-occurring plant. **New Phytologist**, v. 157, n. 3, p. 569-578, Mar. 2003. DOI: [10.1046/j.1469-8137.2003.00688.x](https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2003.00688.x).
- HUNTER, D. J.; YAPA, L. G. G.; HUE, N. V.; EAQUB, M. Comparative effects of green manure and lime on the growth of sweet corn and chemical properties of an acid oxisol in Western Samoa. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 26, n. 3/4, p. 375-388, 1995. DOI: [10.1080/00103629509369304](https://doi.org/10.1080/00103629509369304).
- IBGE. **Mapas interativos**: mapa de biomas. Rio de Janeiro, 2005. Disponível em: <http://mapas.ibge.gov.br>. Acesso em: 17 set. 2009.
- INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **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. 1535 p.
- JASPER, D. A.; ABBOTT, L. K.; ROBSON, A. D. Soil disturbance reduces the infectivity of external hyphae of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. **New Phytologist**, 112, n. 1, p. 93-99, 1989.
- JOHNSON, N. C.; TILMAN, D.; WEDIN, D. Plant and soil controls on mycorrhizal fungal communities. **Ecology**, v. 73, n. 6, p. 2034-2042, Dec. 1992.
- KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. Conservation of the Brazilian Cerrado. **Conservation Biology**, v. 19, n. 3, p. 707-713, June 2005.
- LAL, R. Soil carbon dynamics in cropland and rangeland. **Environmental Pollution**, 116, n. 3, p. 353-362, Mar. 2002.
- LEHMAN, R. M.; OSBORNE, S. L.; DUKE, S. E. Diversified No-Till crop rotation reduces nitrous oxide emissions, increases soybean yields, and promotes soil carbon accrual. **Soil Science Society of America Journal**, v. 81, p. 76-83, 2017. DOI: [10.2136/sssaj2016.01.0021](https://doi.org/10.2136/sssaj2016.01.0021).
- LINDERMAN, R. G. (ed.). **Mycorrhizae in sustainable agriculture**. Madison: American Society of Agronomy, 1992. p. 11-27. (ASA. Special publication, 54). DOI: [10.1017/S0889189300005919](https://doi.org/10.1017/S0889189300005919).
- MAGALHÃES, J. C. A. J. de; VIEIRA, R. F.; PEREIRA, J.; PERES, J. R. R. Efeito da adubação verde na disponibilidade de fósforo de fosfatos, numa sucessão de culturas, em solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 15, n. 3, p. 329-337, set./dez. 1991.
- MARTINS, C. R.; MIRANDA, J. C. C.; MIRANDA, L. N. Contribuição de fungos micorrízicos arbusculares nativos no estabelecimento de *Aristida setifolia* Kunth em áreas degradadas no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n. 4, p. 665-674, abr. 1999.
- MARTINS, C. S. C.; NAZARIES, L.; MACDONALD, C. A.; ANDERSON, I. C. Water availability and abundance of microbial groups are key determinants of greenhouse gas fluxes in a dryland forest ecosystem. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 86, p. 5-16, July, 2015. DOI: [10.1016/j.soilbio.2015.03.012](https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2015.03.012).
- MARTINS, D.; GONÇALVES, C. G.; SILVA JUNIOR, A. C. da. Coberturas mortas de inverno e controle químico sobre plantas daninhas na cultura do milho. **Revista Ciência Agronômica**, v. 47, n. 4, p. 649-657, 2016.
- MEDEIROS, G. B. de; CALEGARI, A. Rotação de culturas. In: CASÃO JÚNIOR, R.; SIQUEIRA, R.; MEHTA, Y. R.; PASSINI, J. J. (ed.). **Sistema de plantio direto com qualidade**. Londrina: Iapar, 2006. p. 135-141.
- MEIO ambiente: plantio direto é o mais eficaz no sequestro de carbono. **Monsanto em Campo**: newsletter, ano 4, n. 29, set. 2009. Disponível em: [http://www.monsanto.com.br/monsanto/brasil/newsletter/geral/06\\_2009Setembro/meioambiente.asp](http://www.monsanto.com.br/monsanto/brasil/newsletter/geral/06_2009Setembro/meioambiente.asp). Acesso em: 4 dez. 2009.
- MIELNICZUK, J. Matéria orgânica e a sustentabilidade em sistemas agrícolas. In: SANTOS, G. de A.; CAMARGO, F. A. de O. (ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo**: ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: Genesis, 1999. p. 1-8.
- MIRANDA, J. C. C.; MIRANDA, L. N.; VILELA, L.; VARGAS, M. A.; CARVALHO, A. M. **Manejo da micorriza arbuscular por meio da rotação de culturas nos sistemas agrícolas do cerrado**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2001. 3 p. (Embrapa Cerrados. Comunicado técnico, 42).
- MIRANDA, J. C. C. de. **Cerrado**: micorriza arbuscular ocorrência e manejo. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2008. 169 p.
- MIRANDA, J. C. C. de; MIRANDA, L. N. de. Micorriza arbuscular e uso de adubos verdes em solos do Bioma Cerrado. In: CARVALHO, A. M. de; AMABILE, R. F. (ed.). **Cerrado**: adubação verde. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2006. p. 211-236.

- MIRANDA, J. C. C. de; VILELA, L.; MIRANDA, L. N. de. Dinâmica e contribuição da micorriza arbuscular em sistemas de produção com rotação de culturas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 10, p. 1005-1014, out. 2005.
- MIRANDA, J. C. C. Influência de fungos endomicorrízicos inoculados a campo, na cultura de sorgo e soja em um solo sob Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 6, n. 1, p. 19-23, jan./abr. 1982.
- MIRANDA, J. C. C.; MIRANDA, L. N. **Contribuição da micorriza arbuscular para a produtividade e sustentabilidade nos sistemas de produção com plantio direto e convencional no Cerrado**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2007. 6 p. (Embrapa Cerrados. Comunicado técnico, 134).
- MIRANDA, J. C. C.; MIRANDA, L. N. Micorriza arbuscular. In: VARGAS, M. A. T.; HUNGRIA, M. (ed.). **Biologia dos solos dos cerrados**. Planaltina, DF: Embrapa-CPAC, 1997. p. 69-123.
- MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: Ed. da Ufla, 2002. 626 p.
- MOSSE, B. Effects of different Endogone strains on the growth of *Paspalum notatum*. **Nature**, v. 239, n. 5369, p. 221-223, Sept. 1972.
- MOSSE, B. **Vesicular-arbuscular mycorrhiza research for tropical agriculture**. Hawaii: Institute for Tropical Agriculture and Human Resources, 1981. 82 p. (ITAGR. Research bulletin, 194).
- MOURA, J. B. **Diversidade e colonização micorrízica em diferentes usos do solo no cerrado**. 2015. 124 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade de Brasília, Brasília, DF.
- NOAA Research. National Oceanic & Atmospheric Administration. **NOAA's Annual Greenhouse Gas Index (An Introduction)**. Disponível em: <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/aggi>. Acesso em: 5 May 2016.
- OLIVEIRA, A. J.; RIBEIRO JÚNIOR, W. Q.; RAMOS, M. L. G.; ZIVIANI, A. C.; JAKELAITIS, A. Crescimento e desenvolvimento do amaranço, quinoa e milho sob regime hídrico variável no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, n. 8, ago. 2017.
- OLIVEIRA, R. S. **Alterações na dinâmica da competição entre estirpes de rizóbio pelos sítios de nodulação nas raízes de soja e suas conseqüências no crescimento da planta causadas por fungo micorrízico arbuscular**. 1998. 75 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília, Brasília, DF.
- OLIVEIRA, W. R. D.; RAMOS, M. L. G.; CARVALHO, A. M. de; COSER, T. R.; SILVA, A. M. M.; LACERDA, M. M.; SOUZA, K. W.; MARCHÃO, R. L.; PULROLNIK, K. Dynamics of soil microbiological attributes under integrated production systems, continuous pasture, and native cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, p. 1501-1510, 2016. DOI: [10.1590/S0006-87052008000200023](https://doi.org/10.1590/S0006-87052008000200023).
- PEREIRA, J.; BURLE, M. L.; RESCK, D. V. S. Adubos verdes e sua utilização no cerrado. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO E CONSERVAÇÃO DE SOLO NO CERRADO, 1990, Goiânia. **Anais...** Campinas: Fundação Cargill, 1992. p. 140-154. (Fundação Cargill. Série técnica-científica, 177).
- PERIN, A.; SANTOS, R. H. S.; URQUIAGA, S.; GUERRA, J. G. M.; CECON, P. R. Produção de fitomassa, acúmulo de nutrientes e fixação biológica de nitrogênio por adubos verdes em cultivo isolado e consorciado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 1, p. 35-40, jan. 2004.
- PITOL, C.; BROCH, D. L.; CARVALHO, A. M. de; SPERA, S. T. Uso de adubos verdes nos sistemas de produção no Bioma Cerrado. In: CARVALHO, A. M. de; AMABILE, R. F. (ed.). **Cerrado: adubação verde**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2006. p. 301-330.
- PRESTON, C. M. Applications of NMR to soil organic matter analysis: history and prospects. **Soil Science**, v. 161, n. 3, p. 144-166, Mar. 1996.
- RAMOS, M. L. G.; SILVA, V. G.; CARVALHO, A. M.; MALAQUIAS, J. V.; OLIVEIRA, A. D.; SOUSA, T. R.; SILVA, S. B. Carbon fractions in soil under no-tillage corn and cover crops in the Brazilian Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 55, p. 1-9, Jan.-Dec. 2020. DOI: [10.1590/S1678-3921.pab2020.v55.01743](https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2020.v55.01743).
- RESCK, D. V. S. Agricultural intensification systems and their impact on soil and water quality in the Cerrados of Brazil. In: LAL, R. (ed.). **Soil quality and agricultural sustainability**. Chelsea: Sleeping Bear, 1998. p. 288-300.
- RIBEIRO JÚNIOR, W. Q.; RAMOS, M. L. G. Fixação biológica de nitrogênio em espécies para adubação verde. In: CARVALHO, A. M. de; AMABILE, R. F. (ed.). **Cerrado: adubação verde**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2006. p. 171-209.
- RILLIG, M. C.; MUMMEY, D. L. Mycorrhizas and soil structure. **New Phytologist**, v. 171, n. 1, p. 41-53, July 2006.



ROBSON, A. D. Improving the phosphorus nutrition of grain legumes in the semi-arid tropics. In: JOHANSEN, C.; LEE, K. K.; SAHRAWAT, K. L. (ed.). **Phosphorus nutrition of grain legumes in the semi-arid tropics**. Patancheru: Icrisat, 1991. p. 167-170.

SANCHEZ, P. A.; SALINAS, J. G. Low-input technology for managing Oxisols and Ultisols in tropical America. **Advances in Agronomy**, v. 34, p. 279-406, 1981.

SANHUEZA, E.; CÁRDENAS, L.; DONOSO, L.; SANTANA, M. Effect of plowing on CO<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, and NO fluxes from tropical savannah soils. **Journal of Geophysical Research**, v. 99, n. D8, p. 16429-16434, 1994.

SANO, E. E.; ROSA, R.; BRITO, J. L. S.; FERREIRA, L. G. Land cover mapping of the tropical savanna region in Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 166, p. 113-124, 2010.

SANO, S. M.; ABBOTT, L. K.; SOLAIMAN, M. Z.; ROBSON, A. D. Influence of liming, inoculum level and inoculum placement on root colonization of subterranean clover. **Mycorrhiza**, v. 12, n. 6, p. 285-290, Dec. 2002.

SANTOS, I. L. dos; OLIVEIRA, A. D. de; FIGUEREDO, C. C. de; MALAQUIAS, J. V.; SANTOS JÚNIOR, J. de D. G.; FERREIRA, E. A. B.; SÁ, M. A. C. de; CARVALHO, A. M. de. Soil N<sub>2</sub>O emissions from long-term agroecosystems: interactive effects of rainfall seasonality and crop rotation in the Brazilian Cerrado. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 233, p. 111-120, 2016. DOI: [10.1016/j.agee.2016.08.027](https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.08.027).

SANTOS, I. L.; CAIXETA, C. F.; SOUSA, A. A. T. C.; FIGUEIREDO, C. C.; GEROSA, M. L.; CARVALHO, A. M. de. Cover plants and mineral nitrogen: effects on organic matter fractions in an oxisol under no-tillage in the Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 1874-1881, 2014.

SATO, J. H.; FIGUEIREDO, C. C.; MARCHÃO, R. L.; OLIVEIRA, A. D. de; VILELA, L.; DELVICO, F. M. S.; ALVES, B. J. R.; CARVALHO, A. M. de. Understanding the relations between soil organic matter fractions and N<sub>2</sub>O emissions in a long-term integrated crop-livestock system. **European Journal of Soil Science**, 5 Apr. 2019. DOI: [10.1111/ejss.12819](https://doi.org/10.1111/ejss.12819).

SATO, J. H.; CARVALHO, A. M. de; FIGUEIREDO, C. C. de; COSER, T. R.; SOUSA, T. R. de; VILELA, L.; MARCHÃO, R. L. Nitrous oxide fluxes in a Brazilian clayey Oxisol after 24 years of integrated crop-livestock management. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 107, p. 01-14, 2017.

SCHOLES, M. C.; POWLSON, D.; TIAN, G. Input control of organic matter dynamics. **Geoderma**, v. 79, n. 1/4, p. 25-47, Sept. 1997.

SHARMA, R. D. Adubação verde no controle de fitonematóides. In: CARVALHO, A. M. de; AMABILE, R. F. (ed.). **Cerrado: adubação verde**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2006. p. 237-272.

SIEVERDING, E. **Vesicular-arbuscular mycorrhiza management in tropical agrosystems**. Eschborn: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit, 1991. 371 p.

SILVA, A. N.; FIGUEIREDO, C. C.; CARVALHO, A. M. de; SOARES, D. S.; SANTOS, D. C. R.; SILVA, V. G. Effects of cover crops on the physical protection of organic matter and soil aggregation. **Australian Journal of Crop Science**, v. 11, n. 12, p. 1623, Dec. 2016.

SILVA, E. C. da; MURAOKA, T.; BUZZETTI, S.; VELOSO, M. E. da C.; TRIVELIN, P. C. O. Aproveitamento do nitrogênio (N<sup>15</sup>) da crotalária e do milho pelo milho sob plantio direto em Latossolo Vermelho de Cerrado. **Ciência Rural**, v. 36, n. 3, p. 739-746, maio/jun. 2006.

SILVA, E. C. da; MURAOKA, T.; FRANZINI, V. I.; SAKADEVAN, K.; BUZZETTI, S.; ARF, O.; BENDASSOLLI, J. A.; SOARES, F. A. L. Use of nitrogen from fertilizer and cover crops by upland rice in an Oxisol under no-tillage in the Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 6, 2016.

SILVA, J. E.; LEMAINSKI, J.; RESK, D. V. S. Perdas de matéria orgânica e suas relações com a capacidade de troca catiônica em solos da região de Cerrados do Oeste baiano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 18, n. 3, p. 541-547, set./dez. 1994.

SILVA, M. L. N.; CURTI, N.; LIMA, J. M. de; CARVALHO, A. M. Rotação adubo verde-milho e adsorção de fósforo em Latossolo Vermelho Escuro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 32, n. 6, p. 649-654, jun. 1997.

SIQUEIRA, J. O. Eficiência de fertilizantes fosfatados em associações micorrízicas. In: ENCONTRO NACIONAL DE ROCHA FOSFÁTICA, 5., 1990, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Instituto Brasileiro do Fosfato, 1990. p. 165-193.

- SISTI, C. P. J.; SANTOS, H. P. dos; KOHHANN, R.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 76, n. 1, p. 39-58, Mar. 2004.
- SKIBA, U. M.; DICK, J. **Emissions of climate forcing gases from tropical soils**. Edinburg: Centre of Ecology and Hidrology, 2004. Disponível em: <http://www.etfrn.org/etfrn/workshop/degradedlands/documents/skiba.pdf>. Acesso em: 4 dez. 2009.
- SMITH, D. M.; CUSACK, S.; COLMAN, A. W.; FOLLAND, C. K.; HARRIS, G. R.; MURPHY, J. M. Improved surface temperature prediction for the coming decade from a global climate model. **Science**, n. 317, p. 796-799, 2007.
- SMITH, S. E.; READ, D. J. **Mycorrhizal symbiosis**. 2nd ed. London: Academic Press, 1997. 605 p.
- SOARES, D. S.; GEROSA, M. L.; MARCHÃO, R. L.; MACIEL, G. A.; OLIVEIRA, A. D. de; MALAQUIAS, J. V.; CARVALHO, A. M. de. How diversity of crop residues in long-term no-tillage systems affect chemical and microbiological soil properties. **Soil & Tillage Research**, v. 194, p. 1-12, 2019.
- SODRÉ FILHO, J.; CARDOSO, A. N.; CARMONA, R.; CARVALHO, A. M. de. Fitomassa e cobertura do solo de culturas de sucessão ao milho na região do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 4, p. 327-334, abr. 2004.
- SODRÉ FILHO, J.; MARCHÃO, R. L.; CARVALHO, A. M. de; CARMONA, R. Weed dynamics in grain sorghum-grass intercropped systems. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, p. 1032-1039, 2014.
- SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2002. 416 p.
- STADDON, P. L.; THOMPSON, K.; JAKOBSEN, I.; GRIME, J. P.; ASKEW, A. P.; FITTER, A. H. Mycorrhizal fungal abundance as affected by long-term climatic manipulations in the field. **Global Change Biology**, v. 9, n. 2, p. 186-194, Feb. 2003.
- SYLVIA, D. M.; WILLIAMS, S. E. Vesicular-arbuscular mycorrhizae and environmental stresses. In: BETHLENFALVAY, G. J.; LINDERMAN, R. G. (ed.). **Mycorrhizae in sustainable agriculture**. Madison: American Society of Agronomy, 1992. p. 101-124. (ASA. Special publication, 54).
- THOMAS, B. W.; HAO, X.; LARNEY, F. J.; GOYER, C.; CHANTIGNY, M. H.; CHARLES, A. Non-legume cover crops can increase non-growing season nitrous oxide emissions. **Soil Science Society of America Journal**, v. 81, p. 189-199, 2017.
- TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G.; ANDRIOLI, I.; POLIDORO, J. C.; FABIAN, A. J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura em um solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 4, p. 609-618, jul./ago. 2005.
- VARGAS, M. A. T.; MENDES, I. C. de; CARVALHO, A. M. de; BURLE, M. L.; HUNGRIA, M. Inoculação de leguminosas e manejo de adubos verdes. In: SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E. (ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2004. p. 97-127.
- VARMA, A.; HOCK, B. **Mycorrhiza: structure, function, molecular biology, and biotechnology**. 2nd ed. Berlin: Springer, 1999. 704 p.
- VERAS, M. S.; RAMOS, M. L. G.; FIGUEIREDO, C. C.; CARVALHO, A. M. de ; SOUZA, K. W. ; PULROLNIK, K. Cover Crops and Nitrogen Fertilization Effects on Nitrogen Soil Fractions under Corn Cultivation in a No-Tillage System. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 40, 2016. DOI: [10.1590/18069657rbcs20150092](https://doi.org/10.1590/18069657rbcs20150092).
- VILELA, L.; MARTHA JR. G.B.; MACEDO, M. C. M.; MARCHÃO, R. L.; GUIMARÃES JR. R.; PULROLNIK, K.; MACIEL, G. A. Sistemas de integração lavoura pecuária na região do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, p. 1127-1138, 2011.
- WARMAN, P. R. Effect of incorporated green manure crops on subsequent oat production and acid, infertile silt loam. **Plant and Soil**, 134, n. 1, p. 115-119, July 1991.
- YOST, R. S.; FOX, R. H. Contribution of mycorrhizae to the P nutrition of crops growing on an oxisol. **Agronomy Journal**, v. 71, n. 6, p. 903-908, Nov./Dec. 1979.
- ZECH, W.; SENESI, N.; GUGGENBERGER, G.; KAISER, K.; LEHMANN, J.; MIANO, M. T.; MILTNER, A.; SCHROTH, G. Factors controlling humification and mineralization of soil organic matter in the tropics. **Geoderma**, v. 79, n. 1/4, p. 117-161, Sept. 1997.

Capítulo 25

# Sistemas de integração lavoura-pecuária como estratégia para melhorar a fertilidade do solo

---

Josiléia Acordi Zanatta  
Júlio Cesar Salton  
Gessi Ceccon



## Introdução

A expansão da agricultura baseada no uso intensivo do solo e no preparo convencional trouxe como consequências a degradação dos solos pela compactação e pela diminuição da taxa de infiltração de água e do teor de matéria orgânica. Com a introdução do sistema plantio direto (SPD), com maior efetividade a partir dos anos 1990, percebeu-se que o manejo adequado poderia evitar a degradação do solo. O sucesso desse sistema depende essencialmente da adição de resíduos em quantidade adequada ao ambiente e da rotação de culturas. Em determinadas regiões, por causa das condições climáticas, podem, porém, surgir duas complicações: a dificuldade de produzir palha e/ou forragem para a alimentação animal em alguns períodos do ano, e a elevada taxa de decomposição dos resíduos no período de primavera/verão, o que deixa o solo descoberto. Essa situação se agrava quando se pratica monocultura de soja no verão, porque esse cultivo resulta em reduzida quantidade de resíduos vegetais no solo.

Para dar conta dessas dificuldades, que se manifestam em diferentes níveis de intensidade, dependendo da propriedade agrícola, tem sido empregada, como sucesso, a técnica de rotacionar pastagens com lavouras. As pastagens, principalmente as gramíneas forrageiras tropicais, apresentam a grande vantagem de se adaptarem ao ambiente. Além disso, aportam elevada quantidade de resíduos vegetais e, quando bem manejadas, podem suprir a produção de pasto no período seco, que é crítico para a produção animal, além de produzirem palha excedente para viabilizar o SPD. As lavouras introduzem nutrientes, via fertilizante, que potencializam a produtividade das pastagens na sequência.

O maior benefício da integração lavoura-pecuária (ILP) é a capacidade de ajuda mútua entre pecuária e lavoura de grãos. A sustentabilidade desse sistema tem como fundamento o manejo das plantas (forrageiras e culturas comerciais) e dos animais, de forma que não sejam produzidos efeitos restritivos ao desenvolvimento radicular das plantas e, ao mesmo tempo, que, no sistema, seja introduzida uma quantidade de resíduos suficiente para a consolidação do SPD. Essa premissa conservacionista também deve atentar para o fato de que a pastagem deve ser utilizada para a alimentação animal, o que exige maior controle sobre os resíduos remanescentes.

Os sistemas integrados em plantio direto podem resultar em ganhos econômicos e ambientais. A pastagem/forrageira, quando bem manejada, além de manter o solo coberto, apresenta elevada capacidade de aporte de resíduos vegetais ao solo. Esse fato pode manter ou até mesmo aumentar o teor de matéria orgânica do solo, e é mais eficiente na reciclagem de nutrientes do que as culturas anuais; além disso, promove melhorias nas propriedades químicas e físicas do solo.

Nos sistemas integrados, as relações são mais complexas, com interações espaço-temporais que alteram as propriedades do solo continuamente e, conseqüentemente, a produção do sistema. Entende-se que o solo é o único componente do sistema que centraliza as alterações dos processos; por isso, aceita as modificações impostas pelo sistema. Enquanto o cultivo das plantas, ou pastagens, e a produção animal se sucedem no tempo, o solo permanece recebendo as influências continuamente, que resultam em alterações de ordem física, química e biológica sem precedentes. Embora os SI sejam conhecidos desde tempos remotos, da época da domesticação dos animais e das plantas, só modernamente eles estão reassumindo sua importância nos processos de produção. Portanto, há grande interesse em entender como se dão essas relações, para tornar possível o manejo do sistema, e, conseqüentemente, aperfeiçoar a produção agrícola com a conservação do ambiente.

O objetivo deste capítulo é abordar os benefícios dos sistemas integrados, principalmente no tocante à introdução de pastagens/forrageiras em áreas cultivadas com lavouras de grãos, sob SPD. A qualidade do solo é abordada com detalhes, relacionando-se sua obtenção em sistemas integrados com elevado aporte e acúmulo de carbono (C) no solo. Para tanto, é fundamental conhecer as espécies forrageiras e a forma de implantação e condução dos sistemas. Este capítulo apresenta alguns aspectos relativos ao manejo do solo e das plantas e à produção agropecuária de maneira geral. Não se pretende esgotar o assunto, mas discutir os benefícios advindos dessa integração, além de situar alguns desafios e oportunidades.

## Integração lavoura-pecuária em plantio direto

Sistemas mistos de exploração de lavoura e pecuária têm se destacado pelas vantagens em relação aos sistemas isolados de agricultura ou pecuária. A ILP pode ser definida como a diversificação, rotação, consorciação e/ou sucessão das atividades de agricultura e de pecuária dentro da propriedade rural e de forma harmônica. Trata-se de um sistema sinérgico em que há benefícios para ambas as atividades (Alvarenga, 2004; Balbino et al., 2011).

O uso do sistema ILP no Cerrado não é novo, visto que, na abertura inicial de áreas no Cerrado, o cultivo de pastagem já tinha sido precedido de culturas anuais. As lavouras de grãos, como o arroz no Cerrado e o milho em outras regiões, foram os cultivos pioneiros, fonte de receita



para cobrir os custos das operações mecanizadas, dos corretivos e dos fertilizantes. Passadas algumas safras, parte dessas áreas foi convertida em pastagens e em sistema de parceria entre pecuaristas e agricultores, enquanto novas áreas com vegetação nativa foram gradativamente incorporadas ao sistema produtivo.

A alternância de lavoura e pecuária não manteve, porém, a periodicidade necessária para evitar a degradação do solo. Depois de algum tempo, em geral 6 a 7 anos, dependendo das condições de solo, as pastagens apresentaram sinais de degradação, expressa na redução da capacidade produtiva. Novamente, a parceria entre os agricultores e pecuaristas foi acionada. Os agricultores arrendaram as áreas para o cultivo de grãos por alguns anos e as devolveram com a pastagem reformada, pastagem essa que, por causa das sobras de fertilizantes e corretivos utilizados nas lavouras intercalares, apresentou melhor capacidade produtiva.

Esses cultivos foram executados inicialmente em sistema de preparo convencional do solo. A incorporação dos resíduos vegetais, além de deixar o solo exposto, acelera a taxa de decomposição da matéria orgânica do solo, reduzindo significativamente a resiliência e a capacidade produtiva do solo. Uma solução para esse problema, que abarcou quase todos os cultivos nas décadas de 1970 e 1980, começou a ser delineada no início dos anos 1990, com o desenvolvimento e a utilização do SPD.

A evolução do uso do SPD se deu graças à disponibilidade de tecnologias específicas, que se somou aos interesses dos setores públicos e privados em levá-las às propriedades rurais (Anghinoni, 2007). Esse sistema representou grande avanço na agricultura brasileira, pois tornou viável a produção de grãos em todas as regiões, de forma econômica e com inúmeros benefícios ao solo e ao ambiente (Rodrigues, 2005).

A Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha (Evolução..., 2018) estima que, na safra 2011–2012, mais de 31 milhões de hectares foram cultivados em plantio direto no Brasil por pequenos, médios e grandes agricultores, com aproximadamente 10,5 milhões e 11,5 milhões de hectares nas regiões Sul e Centro-Oeste, respectivamente. Na região Sul, possivelmente em razão do limite da fronteira agrícola, a área cultivada sob SPD tende a estabilizar, enquanto, nos Cerrados e nas demais regiões, o sistema encontra-se ainda em plena expansão.

Na década de 1990, além dos cultivos anuais de outono/inverno, como o trigo (*Triticum aestivum* L.), a aveia (*Avena strigosa* L.) e o nabo (*Raphanus sativus* L.), da disponibilidade de cultivares de soja com ciclo mais curto e da possibilidade da antecipação da semeadura (safrinha), alternativas de cultivos anuais foram acrescentadas, como o milheto (*Pennisetum americanum* L.), o milho (*Zea mays* L.), o sorgo (*Sorghum bicolor* L.) e o girassol (*Helianthus annuus* L.) (Spehar; Trecenti, 2011). A partir daquele período, outras tecnologias associadas ao uso do SPD foram disponibilizadas e/ou aperfeiçoadas, entre as quais se destacam melhores equipamentos de semeadura e aplicação de insumos, que proporcionaram maior agilidade à colheita e à implantação dos cultivos e ampliaram as opções de sistemas produtivos, incluindo o aproveitamento das cul-

turas de entressafra para a produção de forragem. Com forte vocação para a produção animal, os resíduos vegetais remanescentes de lavouras de inverno passaram a ser utilizados para o pastejo nas regiões Sul e Centro-Oeste. A partir do sucesso obtido com essa prática na entressafra, em pouco tempo as espécies forrageiras perenes passaram a ser adotadas em substituição às plantas de cobertura, principalmente no Centro-Oeste. E outros fatores também explicam a expansão da pecuária em áreas de lavouras: a evolução da tecnologia de dessecação e a redução dos custos com herbicidas, além da maior oferta de sementes de forrageiras com boa qualidade.

A despeito das melhorias alcançadas com a adoção do SPD em larga escala, nem tudo foi resolvido. Na região Centro-Oeste, por exemplo, as elevadas taxas de decomposição dos resíduos vegetais e o período de déficit hídrico marcante não permitem o atendimento pleno de dois dos três fundamentos do SPD. À exceção do mínimo revolvimento e da cobertura permanente do solo em lavouras de consórcio milho-braquiária, a rotação de culturas ainda é um desafio. Em razão das condições climáticas, a palhada das culturas não resiste por muito tempo, e deixa o solo parcialmente descoberto. Além disso, existe uma carência de opções de cultivos de outono/inverno para completarem o ciclo anual de produção, que sejam adaptados às condições mais secas e com adequada produção de resíduos vegetais. Segundo Cruz (2007), a combinação da ILP com o SPD estabeleceu as bases de um novo paradigma na sustentabilidade agrícola. De modo geral, as forrageiras aportam quantidades de resíduos vegetais relativamente maiores se comparadas aos cultivos anuais, diferença que consiste numa das vantagens de cultivar pastagens rotacionadas com lavouras anuais de grãos. Além do sistema de preparo do solo, outro fator que diferencia a ILP dos anos 2000 daquela praticada décadas atrás é a execução dessa integração de forma sistemática, numa propriedade. Ou seja, a ILP passou a ser vislumbrada como um sistema de produção com características próprias, com cultivos de lavoura de grãos e pecuária abordados de forma indissociáveis. O resultado dessa integração foi o sinergismo entre os cultivos, com benefícios tanto para as lavouras de grãos quanto para a pecuária.

No Brasil, as áreas de lavouras temporárias ultrapassam os 63 milhões de hectares, enquanto as áreas com pastagens ocupam mais de 160 milhões de hectares (IBGE, 2018). O desafio atual é ampliar a integração desses cultivos de forma harmoniosa, considerando-se as grandes extensões, a ampla diversidade dos ecossistemas e as situações socioeconômicas que caracterizam a agricultura brasileira, de modo que se obtenham os benefícios advindos da integração.

## Importância das pastagens para o sucesso do plantio direto

A crescente demanda por alimentos tem instigado a busca por tecnologias que possibilitem maiores produtividades e, ao mesmo tempo, maior sustentabilidade da agricultura.

A exigência de sustentabilidade na produção agrícola não diz respeito somente ao aspecto econômico, mas à conservação dos recursos naturais envolvidos no processo produtivo. Contudo, em muitas regiões agrícolas, verifica-se que esse objetivo ainda não foi alcançado, pois grande parte das áreas de pastagens encontra-se com algum nível de degradação, por causa do pastejo excessivo ou de outro manejo inapropriado (Macedo, 2000; Dias-Filho; Andrade, 2014). Nas áreas de lavouras, o predomínio do monocultivo no verão (80% da área cultivada com soja) e a ausência de cultivo no período de inverno contribuem para as baixas taxas de cobertura do solo (< 50%) e, conseqüentemente, para o aumento dos problemas fitossanitários (Trento et al., 2002; Asmus; Richetti, 2010) e a perda gradativa da qualidade do solo (Vezzani; Mielniczuk, 2009).

Uma análise das safras agrícolas da região Centro-Oeste indica ausência de cultivos na entressafra numa extensa área. Na safra primavera/verão, de 2017/2018, estima-se que foram cultivados 17 milhões de hectares; enquanto, no período de outono/inverno, apenas 50% dessa área foi cultivada (Acompanhamento da Safra Brasileira [de] Grãos, 2018) – Tabela 1. Estima-se ainda que cerca de 4,2 milhões de hectares sejam ocupados por culturas de cobertura, restando ainda áreas de aproximadamente 5 milhões de hectares que podem estar em pousio nesse

**Tabela 1.** Estimativa da área cultivada com as principais culturas anuais nos estados da região Centro-Oeste (média das safras 2017 e 2017/18).

Período de cultivo	Cultura	MT	MS	GO	DF	Total
		(x 1.000 ha)				
Primavera/verão	Algodão	746,5	30,0	33,0		809,5
	Arroz	138,0	14,3	21,6		173,9
	Feijão		0,8	56,2		57,0
	Milho	27,2	15,5	214,2	27,8	284,7
	Soja	9.518,6	2.656,0	3.386,7	71,5	15.632,8
	<b>Total</b>	<b>10.430,3</b>	<b>2.716,6</b>	<b>3.711,7</b>	<b>99,3</b>	<b>16.957,9</b>
Outono/inverno	Amendoim		2,5			2,5
	Aveia		29,0			29,0
	Feijão	311,3	27,0	94,1	4,2	436,6
	Girassol	44,4	0,7	16,0	0,7	61,8
	Milheto <sup>(1)</sup>	2.000,0	350,0	1.200,0	10,0	3.560,0
	Milho 2ª safra	4.334,0	1.689,5	1.210,3	37,0	7.270,8
	Outras <sup>(1)</sup>	100,0	300,0	200,0	3,0	603,0
	Sorgo	38,5	7,0	248,0	7,0	300,5
	Trigo		20,0	11,0	0,9	31,9
<b>Total</b>	<b>6.789,7</b>	<b>2.398,7</b>	<b>2.720,4</b>	<b>54,9</b>	<b>11.963,7</b>	

<sup>(1)</sup>Estimativa.

Fonte: Adaptado de Acompanhamento da Safra Brasileira [de] Grãos (2018).

período. Um único cultivo agrícola no ano, a soja, implica baixa capacidade de proteção do solo, além de reduzido aporte de resíduos vegetais, maiores custos de produção e menor eficiência no uso dos recursos. A reduzida taxa de cobertura do solo, principalmente no período de inverno, e a pequena adição de resíduos vegetais, aliada a uma elevada taxa de decomposição, têm sido um dos grandes desafios do SPD, principalmente na região do Cerrado (Silva et al., 2009a). A introdução de pastagens intercaladas aos cultivos de lavouras de grãos, como ocorre no sistema de ILP, trouxe uma nova perspectiva ao SPD. Segundo Mello (2001), essa tecnologia tem contribuído para a viabilização econômica das propriedades agrícolas e do próprio SPD, pois diversifica a fonte de renda da propriedade (Ambrosi et al., 2001; Assmann et al., 2003), aumenta a oferta de alimento ao gado no inverno (Sulc; Tracy, 2007) e adiciona maior quantidade de palha ao solo, o que mantém a atividade biológica (Mercante et al., 2004) e a cobertura do solo elevadas (Botrel et al., 1999). As pastagens, ou mais especificamente as gramíneas forrageiras, têm sido o grande diferencial do sistema ILP, em relação ao SPD exclusivamente com culturas anuais.

As justificativas para a introdução de pastagens em áreas de lavouras num sistema integrado são inúmeras. Entre os benefícios está a redução de custos de produção, o aumento da eficiência do uso da terra, a melhoria da qualidade do solo, a redução de pragas, doenças e plantas daninhas e o aumento de liquidez e da renda (Carvalho et al., 2004). A diversificação da rotação de culturas com pastagens é fundamental para uma agricultura eficiente, produtiva e estável (Moraes et al., 2002). Constitui uma das estratégias mais promissoras para desenvolver sistemas de produção menos intensivos no uso de insumos e, por sua vez, mais sustentáveis (Cassol, 2003).

A despeito dos benefícios advindos da introdução de pastagens em áreas exclusivamente de lavouras em plantio direto, muitos agricultores ainda se mostram relutantes à adoção dessa prática. Entre os motivos mais fortemente apontados para essa resistência, destacam-se: menor complexidade no manejo de monoculturas em relação às rotações; preconceito pelo fato de a entrada de animais na pastagem provocar compactação do solo; necessidade de conhecimento adicional sobre sistemas integrados; necessidade de investimentos adicionais em infraestrutura (cercas, aguadas, animais); necessidade de mão de obra qualificada; e falta de incentivos financeiros para a adoção dos sistemas.

A seguir, serão discutidos alguns dos principais efeitos da introdução das pastagens nas rotações com culturas de grãos sobre a qualidade do solo, o aporte de resíduos e o acúmulo de C, e em alterações em atributos físicos e químicos do solo.

## Qualidade do solo em sistemas integrados

Qualidade do solo consiste na sua capacidade de funcionar, dentro dos limites de um ecossistema natural, para sustentar a produtividade biológica, manter e melhorar a qualidade ambiental e promover o vigor das plantas e a saúde dos animais (Doran; Parkin, 1994). Segundo

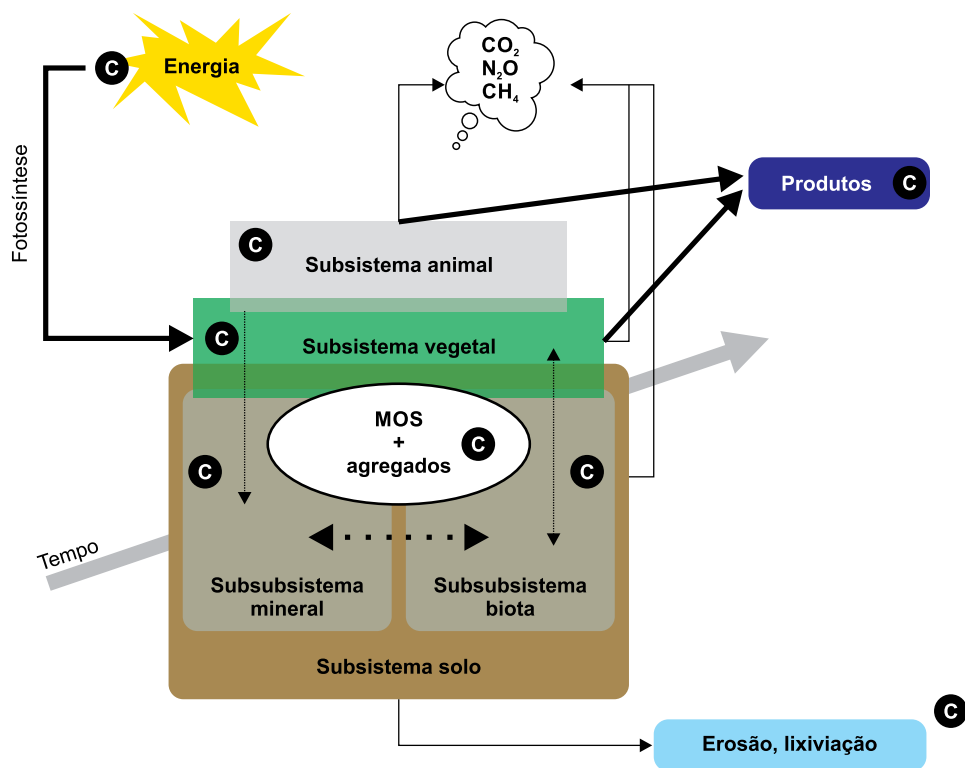
Vezzani e Mielniczuk (2009), na avaliação da qualidade do solo, deve-se considerar que ele é o resultado de interações complexas entre os componentes minerais, as plantas e a microbiota.

Como o solo é um sistema aberto, os fluxos de matéria e energia no sistema são dependentes da entrada contínua de compostos orgânicos ao longo do tempo, a fim de alimentar as relações entre os componentes do sistema e permitir que o solo atinja estados de organização mais avançados. Por sua vez, se a quantidade de energia e de matéria adicionada, via plantas, não é satisfatória, ou seja, se os resíduos vegetais não são suficientes para suprir a demanda do solo, os microrganismos vão utilizar a energia e a matéria armazenadas no solo e destruir a organização obtida anteriormente. Com isso, o processo de obtenção da qualidade do solo sofre regressão (Vezzani, 2001). Portanto, trata-se de um processo dinâmico, o que implica necessidade contínua de aporte de resíduos vegetais para suprir as inter-relações entre os microrganismos, o componente mineral do solo, as plantas e os animais (Figura 1).

A Figura 1 apresenta de forma esquemática o funcionamento de um sistema de ILP, no qual os fluxos de energia e matéria podem ser entendidos pelo fluxo de C entre os componentes do sistema. Inicialmente, a energia luminosa é transformada em matéria por meio da fotossíntese, e isso resulta em produção vegetal, a qual pode ter duas finalidades: produção de grãos e carne, que são fluxos de saída de C do sistema; e produção de resíduos vegetais e animais, que permanecem no sistema e são alimentos para a microbiota do solo. Percebe-se que a presença dos animais modifica os fluxos de energia e matéria entre os compartimentos solo-planta-atmosfera pela ingestão de forragem, digestão e retorno ao sistema, via fezes e urina, além de imprimir maior heterogeneidade na distribuição espacial dos nutrientes no solo. Considerando-se o pastejo, o excedente da matéria (carbono) que ficou no sistema (forragem e excrementos) vai, com o passar dos anos, interagir com o componente mineral do solo e formar estruturas de nível organizacional mais avançado. Pode ainda ser perdido do sistema, por meio da erosão superficial ou lixiviação.

Os estados de ordem do solo podem ser representados pelos níveis hierárquicos da formação e da estabilização de agregados (Figura 2). Os macroagregados representam o nível mais elevado de organização da estrutura do solo, cujas interações entre os componentes são complexas e diversificadas, armazenando, ademais, elevada quantidade de energia e matéria na forma de componentes orgânicos. Por esse motivo, muitos autores utilizam os índices de agregação como indicativo da qualidade do solo entre sistemas de produção.

Outra forma de mensurar a qualidade do solo se dá pelo conteúdo de matéria orgânica do solo (MOS). Esse indicador potencializa-se quando considerado um atributo indicador de qualidade do solo, pela sua característica de integrar processos e funções do solo (Doran; Parkin, 1994; Franzluebbers, 2002; Shukla et al., 2006). A matéria orgânica também representa um indicador de fácil mensuração e interpretação, de reprodutibilidade no tempo e possível aplicação em grande número de condições ecológicas e socioeconômicas. Por esse motivo, muitos autores consideram



**Figura 1.** Modelo conceitual de um sistema misto de produção agropecuária, com destaque para o fluxo de carbono (C) entre os componentes do sistema.

MOS = matéria orgânica do solo.

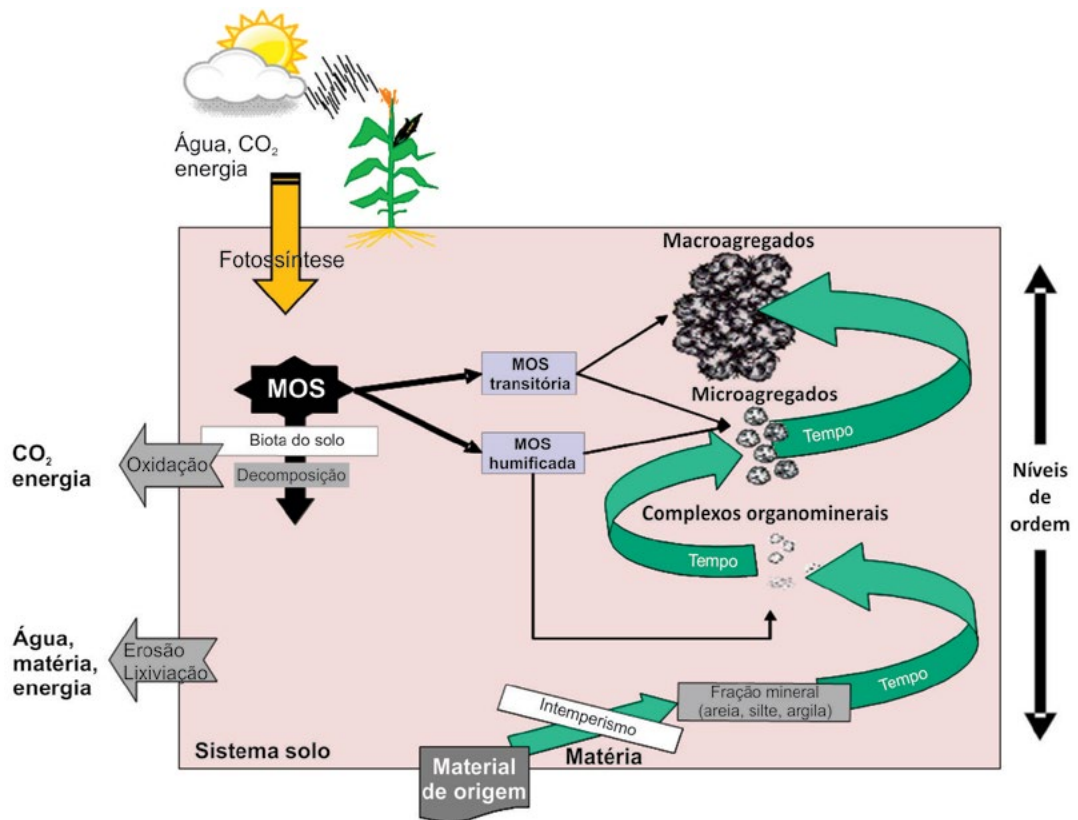
Fonte: Adaptado de Salton (2005).

o conteúdo de MOS, principalmente em ambiente tropical, uma forma de definir a produtividade das culturas e indicar o rumo do sistema agrícola à sustentabilidade ou à degradação.

De fato, a agregação e os conteúdos de MOS estão relacionados, como fica evidente na Figura 2. A presença de MOS permite a evolução hierárquica no processo de agregação, principalmente na fase de formação de macroagregados, assim como a agregação desempenha a função de proteger fisicamente a MOS da ação direta de enzimas e microrganismos. Desse modo, essas duas formas de expressar qualidade do solo são interconectadas e interdependentes.

Em sistemas com inclusão de pastagens, muitos autores têm destacado a capacidade de essas plantas aumentarem a agregação do solo (Boeni, 2007; Marchão et al., 2008). Salton et al. (2008b) avaliaram a agregação e a estabilidade dos agregados em diferentes sistemas de manejo do solo, como lavouras em plantio direto, lavouras em rotação com pastagens em plantio direto e pastagens permanentes de *Urochloa* (Syn. *Brachiaria*) sp. Os autores verificaram que a macroagregação preponderou nos sistemas com pastagens, resultado esse que foi corroborado pelo uso de índices específicos de monitoramento da qualidade do solo (Salton et al., 2005). A formação





**Figura 2.** Representação esquemática do processo de ordenação do solo (níveis de ordem), com destaque para os principais subprocessos, componentes e fluxos de energia e matéria.

MOS = matéria orgânica do solo.

Fonte: Adaptado de Roscoe et al. (2006).

de macroagregados está muito relacionada à adição de resíduos vegetais, especialmente aqueles oriundos do sistema radicular, os quais, nesse caso, são beneficiados pela abundante massa radicular das pastagens no perfil do solo (Figura 3).

Em outra avaliação que envolveu diferentes formas de uso do solo, a qualidade foi estreitamente relacionada ao acúmulo de C, à atividade biológica e à macroporosidade do solo (Melloni et al., 2008). Os sistemas integrados têm sido destaque e há inúmeros estudos que indicam que, nesses sistemas, o aumento dos estoques de C no solo (Salton et al., 2005; Jantalia et al., 2006) pode até mesmo superar os mensurados na vegetação nativa (Roscoe et al., 2001). Portanto, é fundamental que o manejo do solo e das culturas, com o objetivo de atingir a qualidade do solo, busque primariamente aumentar os estoques de MOS.

Araújo et al. (2007), entretanto, destacam que a qualidade de solos cultivados com pastagens pode ser alterada pelo manejo das forrageiras e/ou dos animais. Os autores verificaram



**Figura 3.** Sistema radicular de pastagem de *Urochloa* (Syn. *Brachiaria*) *brizantha* submetida a pastejo controlado, em experimento com 11 anos de duração, em Maracaju, MS.

que a qualidade do solo cultivado com pastagem em comparação com a vegetação nativa foi negativamente afetada por alterações em atributos físicos do solo, o que reforça a importância de se adequar o manejo das plantas e dos animais para aumentar os conteúdos de MOS e atingir qualidade. O aporte (ou manutenção) de resíduos orgânicos ao solo em quantidade suficiente para alimentar os processos biológicos do solo e protegê-lo, nesse caso, é imprescindível em qualquer sistema agrícola de uso/manejo que vise atingir a qualidade.

Num ambiente homogêneo, o estoque de C do solo depende diretamente da taxa de aporte de resíduos vegetais (Zanatta; Salton, 2010). Solos submetidos a baixo aporte de resíduos apresentam redução dos estoques de C orgânico ao longo do tempo, enquanto taxas elevadas de aporte de resíduos vegetais proporcionam acúmulo de C no solo; portanto, promovem a sua qualidade. Numa visão aplicada do conceito de qualidade do solo, parece mais importante identificar como obtê-la do que identificar meios ou atributos para medi-la (Vezzani; Mielniczuk, 2009).

## Aporte e acúmulo de C no solo em sistemas integrados

Tão importante quanto os índices de produtividade dos sistemas de produção é a quantidade de resíduos vegetais aportada ao solo, os quais, posteriormente, podem ser incorporados

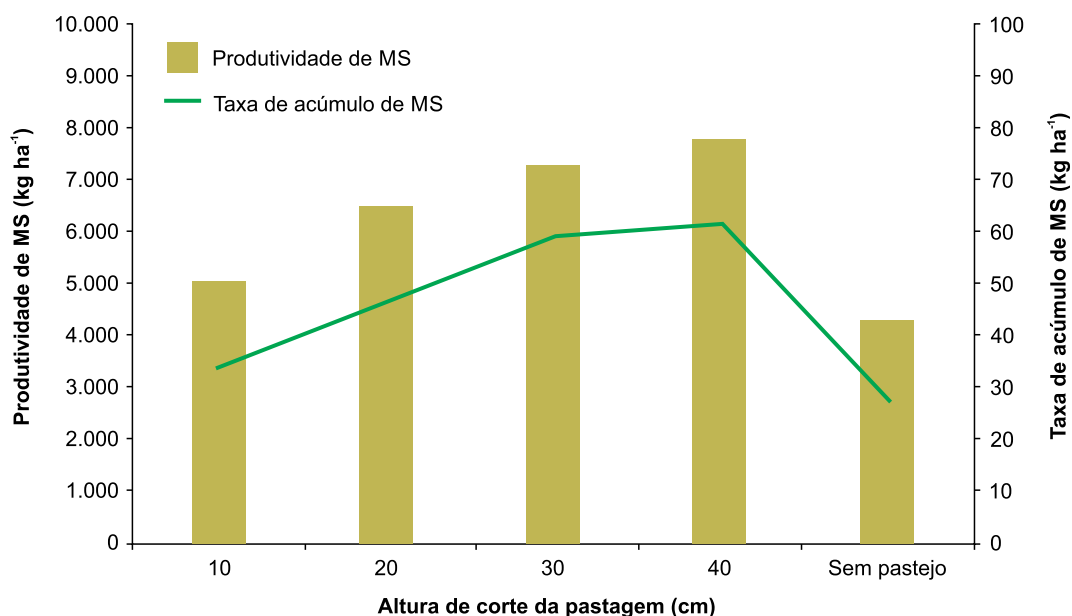
ao compartimento orgânico. Nesse contexto, incluir espécies com elevado potencial de produção de palha e menor taxa de decomposição dos resíduos é condição essencial para a composição de sistemas de culturas, principalmente para regiões de clima tropical (Salton et al., 2008a).

As pastagens, se comparadas a culturas anuais, possuem maior potencial de adição de resíduos, mesmo em condições de déficit hídrico, como na estação seca. Entre as pastagens cultivadas e utilizadas em integração com lavouras, destacam-se as do gênero *Urochloa* (Syn. *Brachiaria*) e *Panicum*, as quais, dependendo da adubação, podem produzir mais de 20 t ha<sup>-1</sup> ao ano de matéria seca (MS) de parte aérea (Oliveira, 2008). Considerando-se a condição de outono/inverno, Machado e Assis (2010) observaram produções de MS que variaram de 2 t ha<sup>-1</sup> a 7 t ha<sup>-1</sup> em espécies desses gêneros, quando cultivadas durante a entressafra, em São Gabriel do Oeste, MS.

Em Santa Helena de Goiás, GO, Ferreira et al. (2010) verificaram produções de MS que variaram de 3,6 t ha<sup>-1</sup> – capim-pé-de-galinha (*Eleusine indica*) – até 16,6 t ha<sup>-1</sup> – capim-tanzânia (*Panicum maximum*) –, quando as espécies forrageiras foram semeadas no início do outono (março) e dessecadas no final de novembro, para a introdução dos cultivos de verão. Esses autores observaram efeitos positivos na produtividade do algodoeiro para a maioria das culturas antecessoras avaliadas. Também visando à produção de palhada para o cultivo do algodoeiro em Primavera do Leste, MT, Lamas e Staut (2006) avaliaram a produção de massa seca por espécies vegetais no período de março a junho e a dezembro, e verificaram valores médios de 4 t ha<sup>-1</sup> a 6 t ha<sup>-1</sup> para o primeiro período (120 dias) e de 10 t ha<sup>-1</sup> a 12 t ha<sup>-1</sup> para o segundo período (300 dias). Salienta-se que a utilização da pastagem como alimento para o gado consome parte dessa fitomassa, e, por isso, os valores adicionados ao solo são menores.

As pastagens, principalmente as gramíneas forrageiras, também produzem quantidades significativas de resíduos vegetais via raízes, além de liberarem exsudatos e compostos orgânicos. Embora haja poucos estudos que quantifiquem o aporte de resíduos radiculares, por causa das dificuldades intrínsecas da amostragem, na literatura são citadas adições que correspondem a uma fração de 30% a 40% da adição da parte aérea (Buyanovski; Wagner, 1986; Balesdent; Balabane, 1992; Bolinder et al., 1997; Kissele et al., 2001; Muraro, 2004). Em medições pontuais, Volpe et al. (2008) verificaram, para *Urochloa* (Syn. *Brachiaria*) *decumbens*, adições de até 13 t ha<sup>-1</sup> de MS na camada de 0 a 40 cm de profundidade.

O maior acúmulo de fitomassa proporcionado pelas pastagens, tanto de parte aérea como de raízes, em comparação com a produzida por lavouras de grãos, decorre principalmente do corte ou do pastejo animal. O pastejo promove a retirada da parte aérea das plantas, o que estimula a rebrota e o crescimento radicular, e, assim, contribui para a maior produção líquida primária das pastagens se comparadas a outras espécies vegetais. Na Figura 4, pode-se perceber que o pastejo, em níveis adequados, proporciona maior produção acumulada de matéria seca de forragem do que na área sem pastejo (SP). As taxas de acúmulo chegaram a 60 kg ha<sup>-1</sup> de MS contra 28 kg ha<sup>-1</sup> de MS no tratamento SP.



**Figura 4.** Produtividade acumulada e taxa de acúmulo de matéria seca (MS) de plantas de aveia + azevém em diferentes alturas de corte da pastagem durante o período de inverno.

Fonte: Adaptado de Kunrath et al. (2011).

O pastejo aumenta a produção acumulada das pastagens pelo efeito direto sobre a taxa de aparecimento das folhas. Quando não há pastejo, a taxa de aparecimento de folhas novas diminui (Skinner; Nelson, 1995; Duru; Ducrocq, 2000). Comportamento similar foi reportado para gramíneas forrageiras tropicais, tais como *Urochloa* (Syn. *Brachiaria*) *decumbens*, em pastejo simulado (Gomide, 1997) e em pastejo contínuo (Grasselli et al., 2000), e para *P. maximum* 'Tanzânia' (Barbosa et al., 2002), em pastejo rotacionado, nos quais se constatou que a taxa de aparecimento de folhas fica reduzida pelo aumento da altura da pastagem.

Constata-se, dessa forma, que a altura de corte da pastagem também afeta significativamente a produção primária líquida, como pode ser verificado na Figura 4. Além disso, o manejo adequado prevê um equilíbrio entre a produção e a altura de corte. O manejo da pastagem em alturas de corte ao redor de 10 cm resultou em menor produção de fitomassa (3 t ha<sup>-1</sup> de MS) se comparado o manejo de pastagem a 40 cm. Nesse caso, os sucessivos cortes rasos da pastagem provavelmente causaram redução das reservas orgânicas e, conseqüentemente, da capacidade de rebrote da pastagem (Nascimento Junior et al., 2002). Logo, o intervalo de desfolhação ou pastejo em sistemas integrados deverá ser adequado ao ritmo de aparecimento de folhas novas.

O tempo necessário para o aparecimento de uma folha nova depende de vários fatores, entre eles: genótipo, nível de inserção, fatores ambientais, nutrientes e água, estação do ano e a própria intensidade e frequência de pastejo. Fisiologicamente, em condições não limitantes,

a formação de uma folha depende da temperatura. O azevém (*Lolium multiflorum*) anual, por exemplo, apresenta necessidade de 128 graus-dia a 170 graus-dia (Gonçalves; Quadros, 2003), ou seja, em condições de temperaturas mínimas acima de 7 °C e médias diárias de 20 °C, a cada 6 dias surge uma nova folha no perfilho. Segundo Silva et al. (2009b), o período para a emissão de uma folha nova de *Urochloa* (Syn. *Brachiaria*) *decumbens* e *U. brizantha* varia de 6 a 9 dias, dependendo da fertilização. Portanto, se a desfolha, por alguma razão, ocorrer seguidamente e antes desse intervalo de tempo, o perfilho entra em balanço negativo de fluxo de MS. Em consequência disso, a planta fica esgotada e a produção de MS é reduzida.

O ajuste da carga animal/lotação e o método de pastejo constituem ferramentas determinantes para evitar a degradação das pastagens, o que, por consequência, afeta o potencial de aporte e de acúmulo de C no solo (Figuras 4, 5 e 6). Observa-se que há um equilíbrio entre a produção da parte aérea e a produção de resíduos radiculares. Além disso, a máxima adição de resíduos da parte aérea não se reflete em máxima taxa de acúmulo de C no solo, o que, possivelmente, demonstra o equilíbrio entre a retirada da parte aérea e a produção de raízes.

Estudos avaliando os estoques de matéria orgânica do solo em sistemas de produção que incluíam pastagens confirmam que a utilização dessas espécies em rotação com culturas de grãos em SPD aumenta os estoques de MOS, em magnitudes que variam de 3% a 20% (Tabela 2). A elevada produção líquida primária das espécies forrageiras e o aumento do mecanismo de proteção física, desempenhada pela oclusão do C orgânico no interior de agregados estáveis do solo (Sollins et al., 1996; Boeni, 2007), são provavelmente os fatores determinantes dos maiores estoques de C no solo verificados nos sistemas com pastagens, se comparados aos

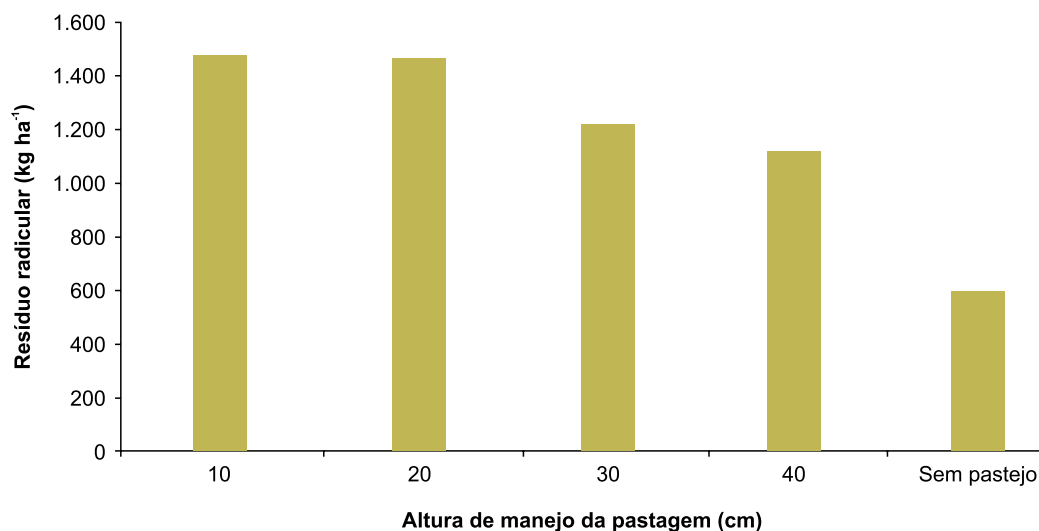
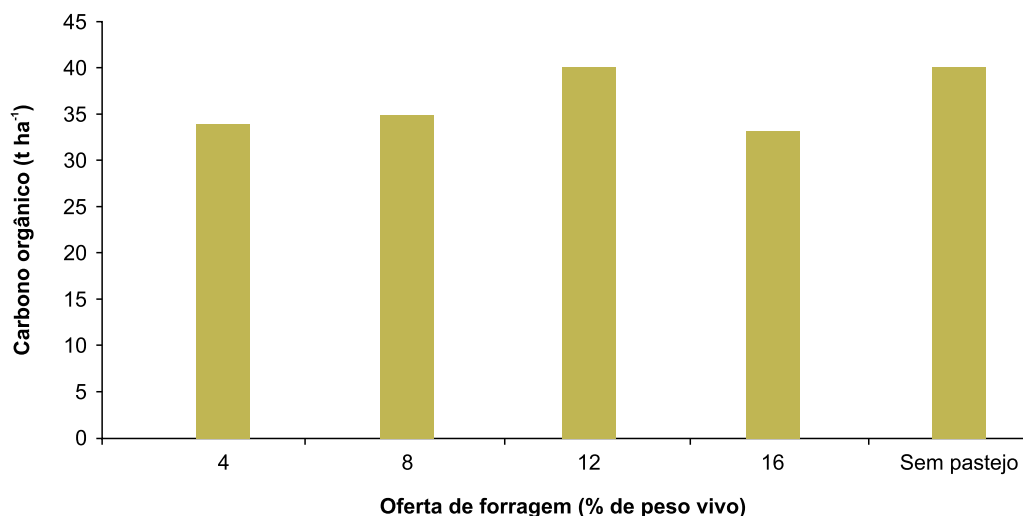


Figura 5. Aporte de resíduos radiculares até 12 cm do solo ao final do ciclo de pastejo da aveia + azevém.

Fonte: Adaptado de Conte et al. (2007).



**Figura 6.** Estoques de C na matéria orgânica particulada e associada aos minerais de acordo com o nível de oferta de forragem.

Fonte: Adaptado de Conte et al. (2011).

**Tabela 2.** Estoques de matéria orgânica do solo (MOS) em áreas com a inclusão de pastagens e em áreas mantidas em sistema plantio direto, exclusivamente com lavoura de grãos.

Local	Solo/profundidade	Pastagem	Grão <sup>(1)</sup>
Dourados, MS <sup>1</sup>	Latossolo (0–20 cm)	48,0	42,6 (13%)
Maracaju, MS <sup>1</sup>	Latossolo (0–20 cm)	61,4	56,6 (8%)
Campo Grande, MS <sup>1</sup>	Latossolo (0–20 cm)	50,5	47,4 (6,5%)
Planaltina, GO <sup>2</sup>	Latossolo (0–30 cm)	52,7	59,9 (-12%)
Planaltina, GO <sup>2</sup>	Latossolo (0–100 cm)	143,0	139,0 (3%)
Chupinguaia, RO <sup>3</sup>	Nitossolo (0–30 cm)	61,4	53,4 (15%)
Santa Carmem, MT <sup>3</sup>	Latossolo (0–30 cm)	61,5	56,4 (9%)
Santa Carmem, MT <sup>3</sup>	Latossolo (0–30 cm)	62,8	56,4 (11%)
Montividiu, GO <sup>3</sup>	Latossolo (0–30 cm)	73,0	60,9 (20%)

<sup>(1)</sup>Valores entre parênteses representam o percentual de variação relativa do estoque de C no solo.

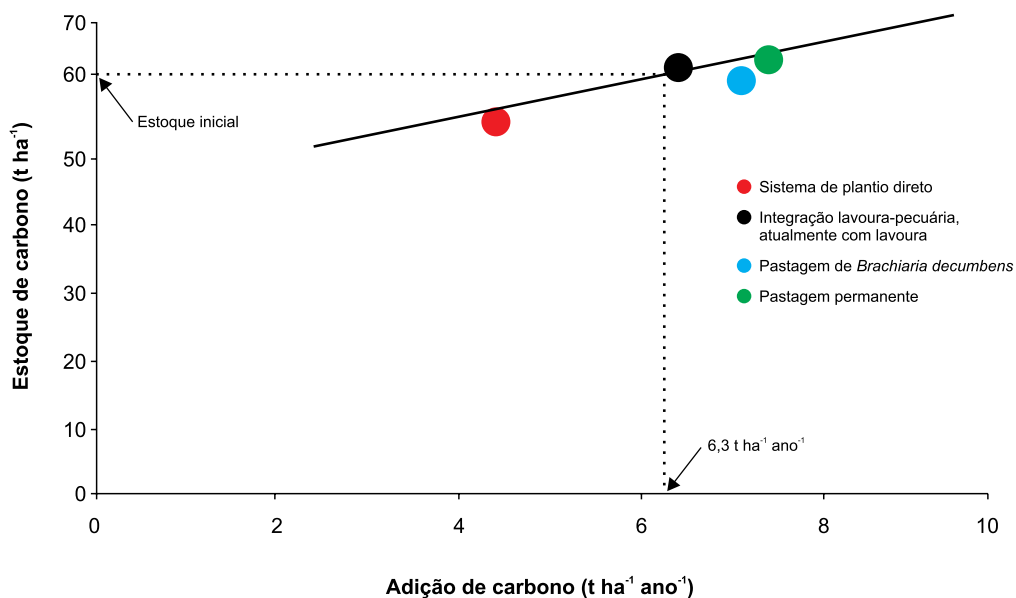
Fonte: Salton et al. (2005)<sup>1</sup>, Jantalia et al. (2006)<sup>2</sup> e Carvalho (2010)<sup>3</sup>.

sistemas de produção exclusivo de grãos (Salton et al., 2005). Contudo, esse fenômeno não foi generalizado, pois, num Latossolo de Planaltina, DF, houve redução dos estoques de C na camada de 0 a 30 cm na ILP, em comparação com sistema de produção com grãos exclusivamente. Esses efeitos provavelmente decorrem do ciclo de pastagem adotado, bem como da quantidade de fertilizante aportado no sistema de produção de grãos.



As raízes, além de representarem uma entrada de C diretamente na matriz do solo, têm uma função fundamental na estabilização da MOS, pois atuam na agregação do solo, mais especificamente na formação e na manutenção dos agregados. Os efeitos benéficos das gramíneas sobre a agregação são atribuídos, principalmente, à alta densidade de raízes, que promove a aproximação de partículas por meio da constante absorção de água do perfil do solo, das periódicas renovações do sistema radicular e da uniforme distribuição dos exsudatos no solo. Esses exsudatos funcionam como agentes cimentantes e estimulam a atividade microbiana, cujos subprodutos atuam na formação e na estabilidade dos agregados, e favorecem sobremaneira a proteção física da MOS. O C orgânico retido no interior dos agregados no solo fica inacessível ao ataque de microrganismos e suas enzimas, ao mesmo tempo em que fornece um núcleo de formação e estabilização dos agregados. Esse mecanismo tem sido considerado o principal mecanismo de estabilização da matéria orgânica em solos tropicais manejados em sistema plantio direto (Boeni, 2007; Conceição et al., 2008).

A relação de dependência entre a MOS e a adição de resíduos exige que quantidades significativas de resíduos vegetais sejam aportadas anualmente ao solo, para que os estoques de C sejam mantidos. Zanatta e Salton (2010), ao analisarem resultados de um experimento de longa duração (15 anos), em Dourados, MS, detectaram a necessidade de adicionar anualmente  $6,3 \text{ t ha}^{-1}$  ao ano de C para manter os estoques de C orgânico do solo em equilíbrio (Figura 7); portanto, adições superiores a tal valor poderão promover acúmulo de C no solo em SPD.



**Figura 7.** Relação entre o C adicionado pelos resíduos vegetais (parte aérea + raízes) e o estoque de C no solo (0 a 20 cm), em Dourados, MS.

Fonte: Adaptado de Zanatta e Salton (2010).

Investigando o potencial das culturas em adicionar C ao solo, e lembrando que, em média, 40% da MS das culturas é C, percebe-se que, com a combinação de pastagens no sistema de rotação de culturas, é possível atingir com segurança a necessidade de aporte de resíduos vegetais para manter ou aumentar os estoques de C no solo. Entretanto, é conveniente alertar para a retirada de resíduos vegetais provocada pelo pastejo. Isso exige maior atenção quando há animais nos sistemas integrados. Nesse caso, o manejo deve ser realizado de maneira que o excedente de pasto seja suficiente para atingir a adição mínima e manter e/ou aumentar os estoques de MOS.

## Impacto de sistemas integrados nas propriedades do solo

Estudos conduzidos por Bertol et al. (1998), Aita et al. (2001), Torres et al. (2005, 2008), Espindola et al. (2006), Gama-Rodrigues et al. (2007), Boer et al. (2008), Salton et al. (2009) e Carvalho et al. (2010), em diferentes condições edafoclimáticas, têm comprovado os efeitos benéficos proporcionados pelos diferentes tipos de cobertura e de seus resíduos deixados sobre o solo, nos atributos químicos, físicos e no rendimento das culturas cultivadas em sucessão. As alterações decorrem principalmente da produção de matéria seca, do acúmulo e da liberação de nutrientes pela decomposição dos resíduos. Por consequência, a rotação de culturas e a manutenção de resíduos vegetais na superfície do solo também promovem aumento da atividade biológica (Mercante et al., 2004), aumentam a capacidade de troca catiônica (CTC) e os teores de matéria orgânica, de P e de K nas camadas superficiais do solo (Bayer; Mielniczuk, 1997; Castro Filho et al., 1998; Santos; Tomm, 2003), bem como melhoram a disponibilidade de nutrientes (Salton et al., 2008a), além de indiretamente reduzirem a toxidez de  $Al^{+3}$  (Vieira et al., 2008).

De igual modo, as pastagens e os animais em sistemas agrícolas integrados podem acarretar mudanças nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, que, em última análise, afetam o crescimento e o desenvolvimento radicular, bem como a produção das culturas subsequentes (Silva et al., 2000; Albuquerque et al., 2001; Salton et al., 2001b; Flores et al., 2007). Todavia, a magnitude dessas modificações depende do manejo aplicado às áreas, podendo também variar de acordo com os seguintes aspectos: textura do solo, teores de matéria orgânica e de água do solo, quantidade de mantillo, cultura, intensidade e tempo de pastejo e espécie e categoria animal utilizada.

A seguir, serão discutidas as principais modificações nas propriedades dos solos em sistemas integrados.

## Física do solo

As propriedades físicas do solo são inter-relacionadas, de modo que a alteração de uma delas normalmente leva a modificações nas demais.

Frequentemente, quando se pensa na inserção de pastagens nas áreas de lavouras, a primeira preocupação dos agricultores é com a compactação do solo, em razão do pisoteio animal, que pode afetar negativamente a produção das culturas, pelas modificações provocadas nas relações solo-ar-água.

Diversos estudos já foram conduzidos para investigar o efeito das pastagens e dos animais sobre a compactação do solo, mas os resultados não são conclusivos, indicando ora compactação (Albuquerque et al., 2001; Cassol, 2003), ora não (Balbinot Junior, 2007; Flores et al., 2007). Sob pastejo rotacionado, Boeni et al. (1995) monitoraram as alterações físicas provocadas pelo pisoteio animal e não verificaram diferenças na camada de 0 a 10 cm. Por sua vez, Salton et al. (2001a) avaliaram atributos físicos antes e depois da entrada de animais em áreas de lavoura cultivadas com pastagem integrada e verificaram aumento da densidade na camada de 0 a 5 cm e redução de 18% na macroporosidade. Contudo, numa análise mais profunda, verifica-se que as zonas de aumento da densidade concentram-se em alguns pontos da área que correspondem aos bebedouros, aos cochos e à porteira. Salienta-se, porém, que essas áreas ficam reduzidas a 3% da área total e que, em contrapartida, apresentam elevada concentração de nutrientes pela deposição preferencial dos dejetos (Lustosa, 1998).

De modo geral, a compactação do solo, quando observada em áreas com sistemas integrados, geralmente se restringe à camada superficial do solo (0 a 5 cm) e está associada à qualidade do manejo das pastagens. Na superfície do solo, o pisoteio causa compactação por dois motivos: a destruição mecânica dos agregados e o conseqüente rearranjo das partículas sólidas, que ainda pode ser facilitado em solos úmidos. Portanto, parece evidente que uma das formas de evitar esse processo de degradação do solo é manter a cobertura contínua do solo pelo mantilho. O mantilho funciona como uma espécie de amortecedor da pressão exercida pelos animais. Segundo Braidá et al. (2006), a presença de 12 t ha<sup>-1</sup> de palha dissipou mais de 25% da energia empregada na ação do pisoteio animal, e foi fundamental para aumentar a resistência do solo à compactação.

Como exemplo, em diferentes sistemas de produção em Planaltina, DF, Jantália et al. (2006) avaliaram a densidade do solo de um sistema integrado em comparação com uma lavoura de produção de grãos em SPD. Os autores não verificaram aumento dessa variável que justificasse compactação do solo após 14 anos de monitoramento (Tabela 3).

Diversos autores concordam que, mesmo que ocorra, a compactação superficial do solo nos sistemas integrados é revertida no cultivo da cultura em sucessão, sem prejuízo para a qualidade física do solo (Moraes; Lustosa, 1997; Salton et al., 2001b; Spera et al., 2004; Flores et al., 2007). Um dos motivos que ameniza a presença de camadas compactadas nos sistemas

**Tabela 3.** Densidade do solo após 14 anos da adoção dos diferentes sistemas de cultivo, em área sob Cerrado, em Planaltina, DF.

Profundidade (cm)	Integração lavoura-pecuária <sup>(1)</sup>		Lavoura		Cerrado
	SPD	PC	SPD	PC	
	(g cm <sup>-3</sup> )				
0–5	1,23a	1,22a	1,23a	1,24a	1,12b
5–10	1,19a	1,18a	1,16a	1,20a	1,05b
10–20	1,16a	1,15a	1,09ab	1,7a	1,03b
20–30	1,12a	1,10ab	1,08ab	1,15a	1,01b
30–40	1,07a	1,06a	1,05a	1,08a	1,00a
40–60	1,00a	0,99a	1,01a	1,01a	0,97a
60–80	0,97a	0,97a	0,96a	0,98a	0,92a
80–100	0,94a	0,94a	0,92a	0,94a	0,91a

<sup>(1)</sup>SPD = sistema plantio direto; PC = plantio convencional.

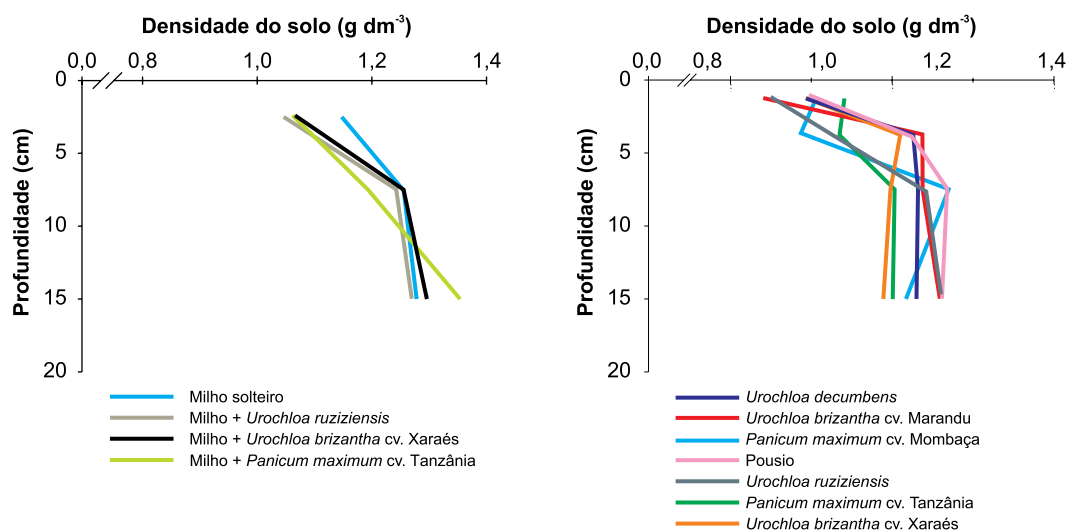
Letras diferentes, na coluna, indicam diferenças significativas a 5% de probabilidade pelo teste de LSD de Student.

Fonte: Adaptado de Jantalia et al. (2006).

integrados certamente é a presença da própria pastagem no sistema, que, com sistema radicular agressivo e abundante, pode contribuir na formação de poros e de agregados estáveis, que favorecem uma adequada relação água-ar. Flores et al. (2007) sugerem ainda que a própria operação de semeadura ajuda a romper camadas superficiais compactadas pela presença dos animais.

O efeito positivo das forrageiras sobre a alteração da densidade do solo foi verificado com clareza quando elas foram cultivadas isoladamente ou em consórcio com milho. Porém, no caso do consórcio, o efeito não foi tão evidente, possivelmente em razão do trânsito de máquinas na semeadura, dos tratos culturais e da colheita do milho (Figura 8). No primeiro caso, os efeitos diferem até mesmo em profundidade. Na superfície, a menor densidade do solo foi observada com cultivo de *U. ruziziensis* e, em maior profundidade, com 'Xaraés' e 'Tanzânia', o que coincidiu com a maior profundidade do sistema radicular dessas espécies.

As raízes das pastagens, principalmente de gramíneas tropicais, promovem ação mecânica positiva sobre o solo, pois acessam maior volume de solo e atingem maiores profundidades. Depois da sua decomposição, além de contribuírem para a MOS, deixam galerias que favorecem o crescimento de raízes das culturas subsequentes, a infiltração de água e ar, e até mesmo o deslocamento de nutrientes e dos corretivos agrícolas no perfil do solo (Silva et al., 2002; Flores et al., 2007). Gale et al. (2000) enfatizam a dependência da formação e da estabilidade de macroagregados para com a adição continuada de C e os exsudatos derivados de raízes. Souza et al. (2010) ressaltam que o sistema integrado, em intensidade moderada de pastejo, é o sistema mais eficiente no que se refere à melhoria da estrutura do solo.



**Figura 8.** Densidade do solo avaliada após o cultivo de forrageiras solteiras, ou em consórcio com milho, durante a entressafra de 2007, e da soja em seqüência, safra 2007–2008, em São Gabriel do Oeste, MS.

Fonte: Adaptado de Salton et al. (2009).

A causa mais comum da compactação do solo em sistemas integrados é o manejo inadequado. O uso indiscriminado de implementos para revolver o solo, o excessivo tráfego de máquinas e implementos e o pisoteio de animais sem controle podem causar compactação do solo. As pressões exercidas pelos pneus de máquinas agrícolas ou pelos animais podem causar compactação, principalmente em condições de elevada umidade. A ação do pisoteio animal sobre o solo depende, porém, dos seguintes fatores: espécie e idade dos animais, pressão de pastejo, classe do solo, cobertura vegetal, espécie forrageira e movimentação animal (Salton et al., 2001b; Marchão et al., 2009). Embora o pisoteio animal tenha potencial para provocar compactação, esse processo sempre está associado ao superpastejo ou à superlotação animal da área, pois esses fatores provocam uma retirada substancial da cobertura do solo e deixam o solo propenso à ação direta dos animais.

Os prejuízos decorrentes da compactação do solo podem incluir a queda da produtividade das culturas, principalmente em anos de déficit hídrico. Por isso, evitar esse problema é a melhor solução. As medidas para evitar a compactação do solo e os problemas na estrutura física pelo uso de sistemas integrados começam na escolha da espécie forrageira a ser implantada. Para tanto, é imprescindível levar em conta que as forrageiras variam quanto ao hábito de crescimento e, conseqüentemente, quanto à taxa de cobertura ou proteção do solo. Alegre e Lara (1991) observaram uma menor taxa de infiltração de água nas misturas constituídas de espécies de hábito ereto, que não protegem o solo do efeito direto do pisoteio, favorecendo, com isso, a sua compactação superficial. Os plantios de gramíneas que promovem adequada cobertura do solo

em relação à distribuição do peso dos animais impedem o contato direto desses com áreas do solo desprotegidas, além de evitar o surgimento de áreas com degradação da estrutura física superficial, o que constitui porta de entrada da água no solo.

Outros cuidados também asseguram menor risco de compactação do solo em sistemas integrados, como o adequado ajuste da lotação animal, considerando-se a umidade do solo e a taxa de suporte da pastagem. Essa prática preserva a camada de mantilho, que também impede o contato direto do casco dos animais com o solo e seus efeitos nocivos à estrutura física.

O resíduo vegetal, além desse efeito imediato na resistência do solo à compactação, torna o solo resiliente às pressões externas. Esse efeito está relacionado ao aumento dos estoques de MOS, que, por sua vez, reduzem a densidade global do solo. É muito importante lembrar que, além da taxa de cobertura permanente do solo, durante o ciclo da forrageira, para evitar a compactação, é necessário manter, por ocasião da entrada ou do retorno à lavoura de grãos, uma quantidade de resíduo vegetal suficiente para viabilizar o SPD, sem o qual a qualidade do solo e a sustentabilidade do sistema integrado ficam comprometidas.

Para solos que já apresentam esse tipo de problema, a reversão do processo de compactação pode ser conseguida biologicamente pela ação do sistema radicular da própria pastagem e também pela atividade da macro e da mesofauna do solo. Nesse sentido, o período de descanso da pastagem deve ser rigorosamente respeitado. Esse período é suficiente para promover o acúmulo de fitomassa na parte aérea da pastagem, o que se prestará também a evitar o contato direto dos animais com o solo. A rotação das pastagens com cultivos agrícolas também representa um bom período de descanso, no qual o efeito regenerador do solo é realizado por ação do crescimento dos cultivos anuais, desde que essa rotação seja estabelecida em condições de semeadura direta.

Além dos aspectos de manejo das pastagens e dos animais, os efeitos dos dejetos animais também devem ser considerados sobre os atributos físicos do solo. As áreas de influência das excreções animais são pontos de intensa atividade biológica no solo; por isso, podem promover modificações na estrutura física e nos atributos químicos, como a redução da densidade do solo e o aumento da concentração de nutrientes, em comparação com solos sem adição de dejetos (Herrick; Lal, 1995). Segundo Miranda et al. (1998), é significativo o volume de dejetos frescos incorporado ao solo por coleópteros, bem como sua consequente contribuição na elevação dos teores de fósforo (P) e nitrogênio (N) no solo. Além disso, os canais resultantes da atividade desses besouros alteram substancialmente a porosidade de aeração e a dinâmica de infiltração e drenagem de água no solo. Logicamente, esse efeito é mais intenso na camada superficial, e é minimizado à medida que se afasta da zona central de localização do dejetos, vertical ou horizontalmente (Franzluebbbers et al., 2000).



## Química do solo

O principal efeito das pastagens sobre a química dos solos está na ciclagem dos nutrientes do sistema, ou seja, o fato de deslocá-los das camadas mais profundas para a superfície do solo torna-os disponíveis para a cultura sucessora. A ciclagem biológica dos nutrientes por meio dos resíduos vegetais é um processo que resulta na conservação de nutrientes no sistema agrícola, favorecendo a sobrevivência e a produção de grande quantidade de biomassa. A elevada taxa de produção de matéria seca das forrageiras permite que grande quantidade de nutrientes fique disponível na forma orgânica e, assim, não sejam perdidos do sistema por erosão, volatilização ou lixiviação.

A complexidade do manejo dos nutrientes num sistema integrado se deve à presença de animais, que interferem na distribuição dos nutrientes na área, formando zonas ou manchas. Porém, em comparação com sistemas de culturas anuais, as pastagens são mais eficientes em aumentar a intensidade da ciclagem de nutrientes, já que os animais são considerados catalisadores dos processos de ciclagem. As pastagens aceleram a taxa de ciclagem dos nutrientes no solo, seja pelo efeito direto da absorção e posterior decomposição dos resíduos vegetais (Salton et al., 2008a), seja pelo estímulo indireto à atividade biológica (Mercante et al., 2004). Além da ciclagem, as pastagens têm importante função na redistribuição dos nutrientes no perfil do solo. Elas os absorvem em camadas mais profundas e os recoloca em camadas superficiais. A Tabela 4 apresenta, para dois locais de Mato Grosso do Sul, as quantidades de nutrientes disponibilizados por algumas espécies forrageiras e disponíveis para a cultura em sucessão, quando as forrageiras foram cultivadas no período de outono/inverno. Nesse caso, a oferta dos nutrientes inicia-se logo após a dessecação e continua durante o período de decomposição da palha, a qual permanece sobre o solo, atendendo aos preceitos do SPD.

A quantidade de nutrientes liberados pela decomposição das forrageiras varia de acordo com o ambiente, em razão das condições de temperatura e precipitação preponderantes (Tabela 4). Mas, de maneira geral, percebe-se que quantidades apreciáveis de N, Ca, Mg e K são disponibilizadas às culturas em sucessão por meio das forrageiras. Em sistemas em que as forrageiras são cultivadas em épocas sem restrição hídrica, esses valores são praticamente duas vezes maiores (Lara Cabezas et al., 2004; Torres et al., 2008; Fabian, 2009).

Antigamente, acreditava-se que, em sistemas integrados, o pastejo aumentaria a exportação de nutrientes do solo, o que reduziria a capacidade produtiva do solo e, conseqüentemente, comprometeria a produção da lavoura. Atualmente, sabe-se, porém, que grande parte dos nutrientes retirados do solo pelas pastagens retorna a ele por meio dos dejetos e da urina dos animais, e em curto intervalo de tempo. Além disso, a retirada de nutrientes pelo gado bovino de corte é muito reduzida em comparação com o total de nutrientes mobilizados pelas pastagens. Em alguns casos, como para o gado leiteiro, a extração de nutrientes via leite pode ser até maior.

**Tabela 4.** Quantidade de nutrientes reciclados e disponibilizados por forrageiras, durante o ciclo da soja (2006–2007), em dois ambientes de Mato Grosso do Sul.

Nutriente	DEC <sup>(1)</sup>	RUZ <sup>(2)</sup>	MAR <sup>(3)</sup>	XAR <sup>(4)</sup>	TAN <sup>(5)</sup>	MOM <sup>(6)</sup>
	(kg ha <sup>-1</sup> )					
	São Gabriel do Oeste					
Nitrogênio	40,4	40,8	62,7	45,0	42,0	52,6
Fósforo	2,7	2,8	4,2	3,1	2,5	3,1
Potássio	8,8	7,8	10,4	12,5	9,7	11,7
Cálcio	16,6	21,0	25,8	16,5	21,9	30,0
Magnésio	8,3	9,2	15,4	12,0	9,9	14,9
Enxofre	4,3	4,7	5,8	4,6	4,8	5,5
Dourados						
Nitrogênio	18,8	12,1	21,2	35,0	14,3	25,9
Fósforo	1,3	0,9	1,5	2,0	0,9	1,5
Potássio	2,5	1,0	2,4	7,8	2,5	4,8
Cálcio	11,0	7,2	10,1	16,5	9,4	17,6
Magnésio	4,1	2,2	3,5	7,3	3,1	5,5
Enxofre	3,9	3,2	4,9	5,5	2,9	5,3

<sup>(1)</sup>*Urochloa* (Syn. *Brachiaria*) *decumbens*. <sup>(2)</sup>*Urochloa* (Syn. *Brachiaria*) *ruziziensis*. <sup>(3)</sup>*Urochloa* (Syn. *Brachiaria*) *brizantha* 'Marandú'. <sup>(4)</sup>*Urochloa* (Syn. *Brachiaria*) *brizantha* 'Xaraés'. <sup>(5)</sup>*Panicum maximum* 'Tanzânia'. <sup>(6)</sup>*P. maximum* 'Mombaça'.

Fonte: Adaptado de Salton et al. (2008a).

Os excrementos animais, estudados como um potencial fertilizante, contêm aproximadamente 0,38% de N, 0,18% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 0,22% de K<sub>2</sub>O; enquanto a urina fresca contém cerca de 1,10% de N, 0,01% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 1,15% de K<sub>2</sub>O (Petersen et al., 1956). A Tabela 5 apresenta o retorno dos nutrientes ao solo pela urina e pelas fezes de animais em pastagem. Pauletti (2004) descreve que a quantidade de dejetos produzidos por dia por bovinos com peso em torno de 450 kg é de 23,5 kg de esterco e 9,1 kg de urina. A concentração média de nutrientes na matéria seca do esterco é de 2,7% de N, 1,8% de K, 1,0% de Ca, 0,8% de P e Mg e 0,4% de enxofre (S). Os nutrientes absorvidos estarão novamente disponíveis para as plantas, seja para a forrageira, seja para a lavoura de grãos.

Alguns nutrientes, como o P, o cálcio (Ca), o magnésio (Mg), o S, o cobre (Cu), o zinco (Zn), o ferro (Fe) e o manganês (Mn), são eliminados pelas fezes, enquanto o potássio (K) é excretado predominantemente pela urina (de 70% a 90%). Outros nutrientes, como o N, o sódio (Na) e o cloro (Cl), são excretados tanto pela urina quanto pelas fezes. Haynes e Williams (1993) afirmam que, numa pastagem intensivamente utilizada, que produz 15 t ha<sup>-1</sup> de MS, é possível reciclar aproximadamente 100 kg ha<sup>-1</sup> de N, 38 kg ha<sup>-1</sup> de K, 34 kg ha<sup>-1</sup> de P e 14 kg ha<sup>-1</sup> de S, pelas fezes de bovinos.

Além do maior volume de nutrientes mobilizados pelos resíduos e/ou pelos excrementos, em sistemas integrados com pastejo há maior taxa de mineralização desses nutrientes, em razão

**Tabela 5.** Distribuição (%) dos nutrientes retornados à pastagem pela deposição dos dejetos de bovinos em pastejo, via fezes e urina.

Nutriente	Via urina (%)	Via fezes (%)
Nitrogênio	60–70	30–40
Fósforo	Traços	~ 99
Potássio	70–90	10–30
Cálcio	< 5	> 95
Magnésio	10–30	70–90
Enxofre	5–10	90–95
Ferro	Traços	~ 99
Manganês	Traços	~ 99
Zinco	Traços	~ 99
Cobre	Traços	~ 99
Boro	99	Traços
Sódio	60–80	20–40
Cloro	55–70	30–45

Fonte: Adaptado de Moraes e Lustosa (1997).

da mastigação e da digestão da massa vegetal pelos animais (Powwell; Williams, 1993). Por exemplo, a mineralização de N em regiões temperadas em condições de um bom manejo de culturas é frequentemente na ordem de 2% a 3% do N total do solo; enquanto, em áreas de pastagens bem manejadas, alcançam de 6% a 9% (Hatch et al., 1991, citado por Russelle, 1997).

Apesar do retorno da maior parte dos nutrientes ao solo, via fezes e urina, a distribuição na área é desuniforme e, no caso do N, as perdas por lixiviação e principalmente por volatilização de  $\text{NH}_3$  podem ser consideráveis. Nas áreas de pastagens, esse efeito é confirmado pela presença de zonas com maior desenvolvimento vegetal, o que sinaliza maior disponibilidade de nutrientes, especialmente de N (Figura 9). Os nutrientes, numa mancha de fezes, podem atingir  $130 \text{ kg ha}^{-1}$  de N,  $50 \text{ kg ha}^{-1}$  de K,  $35 \text{ kg ha}^{-1}$  de P e  $13 \text{ kg ha}^{-1}$  de S (Williams; Haynes, 1995). As manchas ou “patches”, como também são denominadas, além de maior concentração de nutrientes, apresentam maior atividade biológica. O efeito do maior crescimento vegetal é verificado numa zona de influência superior à área delimitada pelos dejetos animais, pelo efeito de borda. De acordo com Salton e Carvalho (2007), depois de um único pastejo em sistema intermitente, cerca de 4% a 9% da superfície da pastagem será afetada pela urina e cerca de 1% pelas fezes. Apesar de possível, a completa cobertura da área depende do manejo animal, mas é bastante improvável. Isso reforça a importância da contribuição da fitomassa das forrageiras na redistribuição dos nutrientes, por meio dos resíduos vegetais, diferentemente do que se dá com as excreções animais, que são distribuídas de forma desuniforme na pastagem (Monteiro; Werner, 1997).

Foto: Júlio Cesar Salton



**Figura 9.** Manchas de pastagem mais bem desenvolvida em decorrência da deposição desuniforme de dejetos animais em área de rotação soja/*Urochloa* (Syn. *Brachiaria*) *decumbens*.

Outros efeitos positivos – como maior eficiência na correção da acidez do solo e melhoria dos indicadores de calagem – também são creditados à presença de pastagens em sistemas integrados. Esse resultado está relacionado a dois pontos complementares: maior atividade biológica, que favorece a incorporação natural do calcário por poros e galerias deixados pela fauna edáfica, e maior produção de ácidos orgânicos de baixo peso molecular durante a decomposição de dejetos orgânicos. Esses ácidos orgânicos de baixo peso molecular funcionam como ligantes orgânicos, que facilitam o deslocamento de íons  $\text{Ca}^{+2}$  e  $\text{Mg}^{+2}$  no perfil do solo, bem como amenizam o efeito do  $\text{Al}^{+3}$  tóxico (Miyazawa et al., 1993; Franchini et al., 2000; Vieira et al., 2008).

Alguns estudos também relacionam a presença de forragem com o aumento da disponibilidade de P no solo. Esse fenômeno se deve a dois fatores principais: ao aumento do P microbiano, considerado lábil e biologicamente disponível na rizosfera das plantas, e ao aumento da atividade da enzima fosfatase ácida (Merlin, 2008). Esses mesmos autores verificaram que o cultivo de *Urochloa* (Syn. *Brachiaria*) *ruzizensis* aumentou as formas de P lábil no perfil do solo, mas que, num único cultivo, não foi suficiente para suprir a nutrição da cultura sucessora.

## Adequação das pastagens ao sistema de rotação com lavoura

Assim como a aveia é apontada na região Sul do Brasil como a cultura responsável pela expansão do SPD naquela região, o milheto desempenha esse papel na região central do Brasil

(Salton et al., 2001a). O uso de espécies forrageiras como as dos gêneros *Urochloa* (Syn. *Brachiaria*), *Panicum*, *Andropogon*, *Cynodon* e *Pennisetum* vêm despertando o interesse de agricultores e pesquisadores (Corrêa; Santos, 2003; Macedo; Zimmer, 2007). Essas forrageiras têm grande potencial de manter a palha sobre o solo por causa da sua alta relação C:N, o que retarda sua decomposição e aumenta a possibilidade de utilização em regiões mais quentes, já que a maior limitação do SPD nessas áreas é a produção e a manutenção de palha sobre o solo, que rapidamente se decompõe (Plantio..., 2005).

Os principais fatores a serem considerados na escolha e na adequação de uma espécie forrageira para a rotação com lavoura são: a) objetivo do cultivo da forrageira (pastejo ou cobertura); b) adaptação às condições de solo; c) potencial produtivo; d) exigência de manejo; e e) preço e qualidade das sementes disponíveis no momento, que variam muito de acordo com as condições de mercado.



Quanto aos objetivos, se para cobertura ou pastejo, um aspecto importante a ser observado é a dificuldade de controlar a pastagem (dessecação) no momento de ser substituída pela lavoura. As limitações na dessecação decorrem do elevado porte de algumas espécies forrageiras, além da especial resistência a herbicidas, que podem constituir o que é conhecido como “efeito guarda-chuva”, o que impede a eficiente ação dos dessecantes. Quando o objetivo da pastagem for também a alimentação animal, vários fatores deverão ser observados: a produtividade de matéria seca, a resistência ao pisoteio, o conteúdo de proteína bruta, a digestibilidade e a aceitabilidade da forrageira pelos animais.

Uma pastagem bem formada também depende da disponibilidade de sementes de qualidade. A partir do ano 2000, houve a qualidade das sementes de forrageiras melhoraram significativamente, principalmente em decorrência da mecanização do processo de colheita, que tornou os preços mais acessíveis e melhorou a qualidade do produto. No entanto, esse processo ainda pode ser aperfeiçoado, principalmente no que se refere à pureza e à germinação.

As forrageiras utilizadas em rotação com as lavouras de grãos variam de acordo com a região e com o tipo de manejo que se pretende adotar. Quando o objetivo é apenas produzir palha para viabilizar o SPD e/ou realizar rotações de ciclo curto, com período de pastejo relativamente curto, recomendam-se: *Urochloa* (Syn. *Brachiaria*) *ruzizensis*, *Urochloa* (Syn. *Brachiaria*) *decumbens*, *Urochloa* (Syn. *Brachiaria*) *brizantha* ‘Marandu’ e *Urochloa* (Syn. *Brachiaria*) *brizantha* ‘Piatã’, considerando-se a facilidade de controle e o menor porte das pastagens. Quando o objetivo é utilizar a forrageira para pastejo e a produção de carne ou leite, além da produção de palhada, as mais indicadas são: *Urochloa* (Syn. *Brachiaria*) *brizantha* ‘Piatã’, *Urochloa* (Syn. *Brachiaria*) *brizantha* ‘Xaraés’, *P. maximum* ‘Massai’, *P. maximum* ‘Tanzânia’ e *P. maximum* ‘Mombaça’.

Na Tabela 6, são descritas algumas características das principais forrageiras utilizadas em sistemas integrados na região Centro-Oeste.



**Tabela 6.** Características de forrageiras utilizadas em sistema de integração lavoura-pecuária na região Centro-Oeste do Brasil.

Espécie	Porte e hábito de crescimento	Condição de solo	Produção de matéria seca (MS) e qualidade da forragem	Vantagem	Desvantagem	Ilustração
<i>Urochloa</i> (Syn. <i>Brachiaria</i> ) <i>ruziziensis</i>	Touceiras semieretas de até 1 m de altura e produz rizomas curtos, além de estolões	Não tolera solos mal drenados, requer solos de média fertilidade e é pouco sensível à acidez do solo	Pode produzir numa estação mais de 10 t ha <sup>-1</sup> Em consórcio com milho, essa quantidade é menor Tem alta digestibilidade (> 80% quando jovem) e teores de proteína de até 9%	Entre o gênero <i>Urochloa</i> (Syn. <i>Brachiaria</i> ), é considerada a que produz forragem de maior palatabilidade e melhor qualidade Satisfatória produção de sementes e fácil controle	Se comparada à <i>Urochloa</i> (Syn. <i>Brachiaria</i> ) <i>decumbens</i> , é menos tolerante à seca e ao frio Susceptibilidade a várias espécies de cigarrinha-das-pastagens ( <i>Decis flavopicta</i> ) Menor produção de matéria seca se comparada à <i>B. decumbens</i>	
<i>Urochloa</i> (Syn. <i>Brachiaria</i> ) <i>decumbens</i>	Porte baixo, hábito de crescimento decumbente	Adapta-se a solos de fertilidade média a baixa	10 t ha <sup>-1</sup> de MS em apenas 110 dias, com teor de proteína bruta de 7% a 9%	Possui alta resistência ao pisoteio e permite os primeiros pastejos aos 90 dias após a semeadura	Baixa resistência à cigarrinha-das-pastagens	

Continua...



Tabela 6. Continuação.

Espécie	Porte e hábito de crescimento	Condição de solo	Produção de matéria seca (MS) e qualidade da forragem	Vantagem	Desvantagem	Ilustração
<i>Urochloa</i> (Syn. <i>Brachiaria</i> ) <i>brizantha</i> 'Marandu'	Elevado porte (até 1,5 m altura), com hábito de crescimento na forma de touceira (cespitosa)	Adapta-se a solos de média fertilidade	Anualmente produz 8 t ha <sup>-1</sup> , mas pode superar 20 t ha <sup>-1</sup> quando fertilizada adequadamente O teor de proteína bruta varia de 10% a 15%	Resistente às cigarrinhas e bom desempenho sob sombreamento	Desenvolvimento inicial mais lento que a <i>Urochloa</i> (Syn. <i>Brachiaria</i> ) <i>decumbens</i> ; por isso, pode favorecer o aparecimento de plantas daninhas Tem baixa resistência ao cultivo em áreas úmidas	
<i>Urochloa</i> (Syn. <i>Brachiaria</i> ) <i>brizantha</i> 'Piatã'	Crescimento ereto e cespitoso, formando touceiras que podem atingir altura entre 0,85 m e 1,10 m	Exige média fertilidade, semelhante à dos capins brizantão e xaraés	Em média, produz 9,5 t ha <sup>-1</sup> de MS por estação, com 57% de folhas. Conteúdo de proteína bruta médio de aproximadamente 8,3%, com 50,1% de digestibilidade	Mais produtiva que as <i>Urochloa</i> (Syn. <i>Brachiaria</i> ) <i>brizantha</i> 'Marandu' e 'Xaraés' em razão do maior predomínio de folhas em relação aos colmos Resistência às cigarrinhas típicas de pastagens Boa produção, também no período das secas	Suscetível ao ataque da cigarrinha-da-cana ( <i>Diatraea saccharalis</i> )	

Continua...

**Tabela 6.** Continuação.

Espécie	Porte e hábito de crescimento	Condição de solo	Produção de matéria seca (MS) e qualidade da forragem	Vantagem	Desvantagem	Ilustração
<i>Urochloa</i> (Syn. <i>Brachiaria</i> ) <i>brizantha</i> 'Xaraés'	Crescimento cespitoso, com porte que pode chegar a 1,5 m de altura	Sensivelmente mais tolerante a solos com drenagem deficiente do que a cultivar Marandu Apesar de adaptada a solos ácidos, produz melhor em solos corrigidos e fertilizados	Até 21 t ha <sup>-1</sup> de MS com 70% dessa produção em folhas e concentrada no período chuvoso (70%) Teores médios de proteína nas folhas de 10%	Elevado potencial produtivo	Apresenta suscetibilidade à cigarrinha-das-pastagens e à mela-das-sementes, principalmente quando em condições de alta umidade e baixa temperatura, frequentemente associadas à ocorrência de frentes frias durante o florescimento; e maturação tardia das sementes	


Continua...

Tabela 6. Continuação.

Espécie	Porte e hábito de crescimento	Condição de solo	Produção de matéria seca (MS) e qualidade da forragem	Vantagem	Desvantagem	Ilustração
<i>P. maximum</i> 'Massai'	Apresenta-se na forma de touceiras de folhas finas, com grande número de perfilhos e altura de 60 cm	Apresenta menor exigência em P e mais tolerância ao alumínio entre as cultivares de <i>P. Maximum</i>	Produce cerca de 20 t ha <sup>-1</sup> de MS ao ano, com teores de proteína médios de 9% nas folhas, representando 80% da massa total na estação chuvosa, e decaindo para 18% na estação seca	Cultivar muito rústica, de fácil manejo e que fornece boa cobertura de solo Entre as cultivares de <i>Panicum</i> é a mais resistente às cigarrinhas-das-pastagens, apresentando baixos níveis populacionais de adultos e ninfas no campo É tolerante ao sombreamento		
<i>P. maximum</i> 'Tanzânia'	Hábito de crescimento cespitoso, chegando a altura de 1,30 m, com folhas decumbentes	Exigente em P e K, não recomendado para solos de baixa fertilidade	Até 30 t ha <sup>-1</sup> ao ano se adequadamente adubada. Teores de proteína médios de 16% nas folhas e 9% no colmo. As folhas representam 80% da produção anual, concentrada na época chuvosa (90%)	Cultivar de elevada produtividade. Possui maior resistência às cigarrinhas-das-pastagens do que a cultivar Mombaça	Difícil manejo de dessecação, ocorrendo com frequência o efeito guarda-chuva	

Continua...

**Tabela 6.** Continuação.

Espécie	Porte e hábito de crescimento	Condição de solo	Produção de matéria seca (MS) e qualidade da forragem	Vantagem	Desvantagem	Ilustração
<i>P. maximum</i> 'Mombaça'	Hábito de crescimento cespitoso, com altura de até 1,30 m e folhas decumbentes	Responsiva à adubação de NPK mais que a cultivar Tanzânia	Teores de proteína ao redor de 12% no período das águas e 9% na estação seca	É medianamente resistente às cigarrinhas, porém é menos resistente que a cultivar Tanzânia		

Fotos: Júlio Cesar Salton

Fonte: Informações baseadas em Valério e Koller (1993), Jank et al. (1994, 2005), Massai (2001), Valle et al. (2001, 2004, 2007), Crispim e Branco (2002), Candido et al. (2005), Ceccon (2007), Machado et al. (2007), Euclides et al. (2008, 2009), Oliveira, (2008), Valério et al. (2009), Machado (2010).

## Ciclos e duração dos componentes de sistemas ILP

A duração de cada ciclo de pastagem ou de lavoura em sistemas integrados vai depender do sistema adotado. Pode-se utilizar a pecuária por um período de 1 mês a 5 anos e retornar novamente com a lavoura por 5 meses a 5 anos, e assim sucessivamente. No entanto, estudos têm demonstrado que ciclos de pastagem e/ou de lavoura maiores que 2 anos podem ocasionar perda da qualidade do solo. Salton et al. (2005) e Boeni (2007) avaliaram experimentos em MS e concluíram que, após 2 anos de pastagens, já são detectadas reduções dos teores de matéria orgânica particulada, que é a fração lábil da MOS, e da estabilidade dos agregados do solo, o que pode expor o solo a processos de degradação química e física e à depreciação da qualidade.

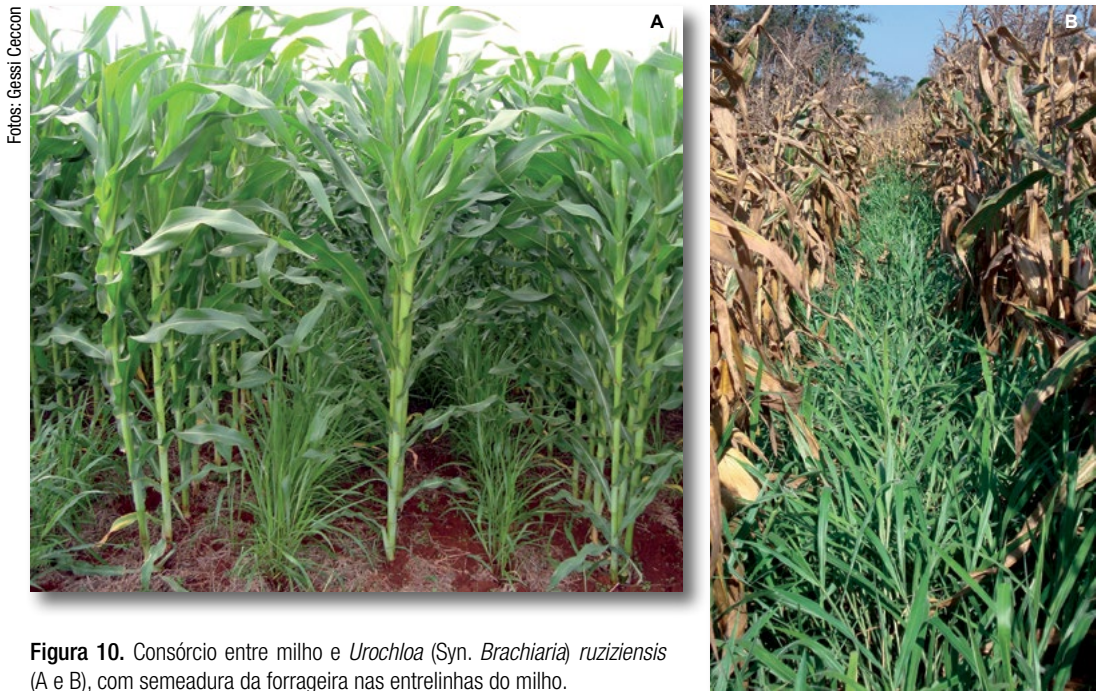
Algumas particularidades regionais podem influenciar na duração do ciclo de pastagem num sistema ILP. Em regiões com clima e solo favorável para a lavoura de grãos, pode-se utilizar a pecuária por 6 a 18 meses, e a lavoura por 2 ou mais anos, priorizando os resultados econômicos do sistema. Nesse sentido, os ciclos de pastagens podem aumentar a produção de palhada para o plantio direto, reduzir a incidência de pragas, de doenças e de riscos climáticos. Essas ponderações de ordem técnica podem refletir diretamente na lucratividade do sistema e devem ser consideradas na determinação do tempo de cada fase do sistema integrado.

Em regiões com clima e solo desfavoráveis para as lavouras de grãos, deve-se utilizar a lavoura por 1 ano e a pecuária por 2 ou mais anos. Nesse caso, as lavouras de grãos têm por principal objetivo recuperar as pastagens degradadas, com a finalidade de aumentar a produtividade e a qualidade das forragens e potencializar a produtividade e a lucratividade da pecuária.

## Consórcio milho-pastagem

O cultivo simultâneo da forrageira com a cultura de grãos pode ser uma estratégia importante para a formação da pastagem e a produção de palhada para a cobertura do solo, bem como para a produção de grãos, no mesmo período do ano. Inicialmente desenvolvido com o arroz de sequeiro para a formação de novas pastagens de braquiária na região do Cerrado, essa forma de cultivo foi posteriormente aperfeiçoada para as culturas de sorgo e milho (Figura 10). Tal forma de cultivo, ou consórcio, para a formação de pastagens pode ser implantado na safra de verão, ou das águas, e também na safrinha, ou de outono/inverno. Contudo, quando realizado no período de verão, há maior disponibilidade de água e maior crescimento das culturas. Nesse período, poderá ser utilizada maior área da propriedade para a lavoura e, por consequência, maior área para a formação de pastagem, o que proporcionará maior quantidade de pasto após a colheita do milho, em comparação com o consórcio implantado na safrinha. No verão, as condições são ideais para o crescimento da forrageira após a maturação do milho, enquanto, na safrinha, a





**Figura 10.** Consórcio entre milho e *Urochloa* (Syn. *Brachiaria*) *ruziziensis* (A e B), com semeadura da forrageira nas entrelinhas do milho.

maturação do milho coincide com o período seco e/ou frio, o que resulta em menor crescimento da forrageira e menor quantidade de pasto. A implantação pode ser feita também no outono/inverno, desde que haja planejamento para a utilização de outros alimentos antes da colheita do milho, considerando-se que esse é um longo período de baixa oferta natural de pasto.

Há três fatores que estabelecem a diferença entre cultivos de verão e de safrinha e interferem diretamente no crescimento das culturas: a disponibilidade de água, a luz solar e a temperatura. Durante o cultivo de verão, a intensidade com que esses fatores atuam aumenta com o desenvolvimento das culturas; no entanto, no período de entressafra, ela diminui. Dessa forma, a produção de massa será menor na safrinha, enquanto a competição entre as espécies será maior. Nesse caso, diferentes arranjos de plantas devem ser ajustados, com maiores populações no verão e menores na safrinha.

Há vários métodos de implantação do consórcio, conforme se vê na Tabela 7. Para a implantação do consórcio, a semeadura do milho é feita normalmente como se fosse cultivado solteiro, na respectiva estação de cultivo.

As sementes da forrageira podem ser misturadas ao adubo, desde que ele não seja distribuído em grande profundidade. Essa é uma operação trabalhosa que deve ser realizada próximo da hora da semeadura, em razão do risco de salinização das sementes, e consequente perda de poder germinativo. As sementes podem ser distribuídas a lanço quando implantadas na safra de verão, mas, tanto no verão quanto na safrinha, deve ser dada preferência à implantação



**Tabela 7.** Métodos de semeadura do consórcio de milho safrinha com *Urochloa* (Syn. *Brachiaria*) *ruziziensis*, empregados na região Centro-Oeste, em 2007.

Método	Época de implantação	Espaço entre linhas de milho (m)	Disposição da semente no solo	Mecanismos de implantação da braquiária
1	Semeadura do milho	0,45 e 0,50	Próximo à linha do milho	Misturada ao fertilizante
2	Semeadura do milho	0,45 e 0,50	Próximo à linha do milho	Caixa adicional para semente da forrageira
3	Semeadura do milho	0,45 e 0,50	A lançaço	Operação adicional com distribuidor de fertilizante
4	Semeadura do milho	0,45 e 0,50	Linhas de 0,2 m	Operação adicional com semeadora de grãos miúdos
5	Semeadura do milho	0,80 e 0,90	Linhas de 0,2 m	Operação adicional com semeadora de grãos miúdos
6	Semeadura do milho	0,80 e 0,90	Na entrelinha do milho	Com disco de sorgo na caixa da entrelinha
7	Adubação de cobertura	0,80 e 0,90	Na entrelinha do milho	Operação adicional com distribuidor de fertilizante

Fonte: Adaptado de Ceccon e Machado (2010).

com semeadora, a fim de proporcionar uma distribuição e a uma incorporação das sementes mais uniformes. A quantidade de sementes a ser utilizada por área deve ser calculada de acordo com a germinação das sementes, e não apenas segundo sua viabilidade, que está indicada nas embalagens. Nesse caso, dois sistemas merecem ênfase: 1) implantação com duas operações de semeadura; 2) semeadura do milho com linha intercalar de braquiária, em semeadura simultânea.

## Implantação com duas operações de semeadura

Esta implantação consiste simplesmente em executar duas operações, as quais devem preferencialmente ser realizadas o mais próximo possível uma da outra, a fim de garantir a implantação das duas espécies. Utiliza-se uma semeadora de grãos miúdos para a semeadura da forrageira. Para o milho, utiliza-se a semeadora convencional de soja e milho. A profundidade de semeadura do milho e do capim deve estar entre 4 cm e 6 cm, a fim de garantir o estabelecimento. A semeadura muito superficial (de 0 a 2 cm de profundidade) é vulnerável a períodos de estiagem, o que pode dificultar a formação do estande ideal.

## Implantação com linha intercalar

A implantação do consórcio pode ser feita com a mesma semeadora utilizada para a soja, a qual deve ser ajustada para a semeadura de uma linha de milho e outra de braquiária. Na linha do

milho, utiliza-se um disco para semear milho. Na linha de braquiária, deve-se usar um disco para semear sorgo, com uma fileira de furos de 5 mm de diâmetro. O valor cultural (VC) da semente e o número de furos no disco determinam a população da forrageira.

A adubação deve ser feita apenas na linha do milho, o que diminui a competição entre a braquiária e o milho. Dessa forma, não é necessário aplicar herbicida pós-emergente para suprimir a braquiária. A competição também pode ser evitada com a diminuição da população de plantas de braquiária.

Depois da colheita do milho safrinha, é importante ocupar o local com o pastejo por animais, para facilitar a entrada de luz e, conseqüentemente, melhorar a rebrota da forrageira. Além disso, quanto mais tardiamente for realizada a dessecação da forrageira para a semeadura da soja em sucessão, maior será a produção de massa, e também melhor deverá ser a eficiência do herbicida dessecante.

## Considerações finais

No cenário global, o Brasil destaca-se como grande produtor de alimentos, fibras e energia, e como exportador de commodities agrícolas. É essa posição de destaque que garante o desenvolvimento de máquinas, insumos agrícolas e tecnologias de produção. Essa pujança, porém, não deve prescindir de sistemas de produção sustentáveis para continuar suprindo a demanda crescente.

Formas de produção com baixo aporte de resíduos, caracterizadas por monocultivos de verão, revolvimento e baixa cobertura do solo, é um dos desafios a ser superado para a construção de sistemas sustentáveis na região tropical do País, onde ainda existem extensas áreas com pastagens degradadas e lavouras anuais, que coexistem isoladamente, além de áreas mantidas em pousio. A inserção de forrageiras em áreas utilizadas exclusivamente para grãos, em plantio direto, tem ajudado a identificar formas de produção compatíveis com a agricultura conservacionista. Os sistemas integrados de produção, sob plantio direto, em contraste com os baseados apenas em lavouras de grãos ou pecuária, podem resultar em ganhos econômicos, ambientais e sociais para o agroecossistema. Os sistemas integrados, ao mesmo tempo em que conseguem maximizar a quantidade de produtos agrícolas de elevada qualidade, ajudam a conservar os recursos naturais envolvidos, com benefício mútuo tanto à pecuária e quanto à lavoura.

Por natureza, os sistemas integrados são mais complexos do que aqueles exclusivamente de lavoura ou de pecuária, já que o primeiro deles implica a existência de inúmeras interações espaço-temporais entre os componentes solo, planta e animal. Essas interações, quando produzem modificações nas plantas ou nos animais, são passageiras, de modo que o único componente

do sistema que centraliza os processos e expressa as alterações de longo prazo é o solo. Por essa razão, o solo concentra inúmeros indicadores de avaliação do sistema.

Diversos estudos constataram melhorias nas propriedades químicas e físicas do solo de sistemas integrados, se comparados a sistemas simples. As principais alterações estão relacionadas ao maior aporte de resíduos vegetais e ao maior potencial de acúmulo de C no solo. Outras relativas à ciclagem de nutrientes e melhorias na estrutura física do solo são consequências do aporte de resíduos vegetais e do manejo dos animais. Essas características imprimem, aos solos manejados em sistemas integrados, a capacidade de exercerem suas funções no ambiente, o que garante a geração de alimentos com a conservação dos recursos naturais.

A adoção de sistemas integrados implica, antes de tudo, vencer dois desafios: superar mitos vigentes sobre tais sistemas e convencer os gerenciadores de propriedades rurais sobre os benefícios do emprego de sistemas mais complexos do que aqueles com os quais estão habituados a trabalhar. A inclusão de forrageiras em lavouras de grãos acrescenta um novo componente de interação, o animal, que nem sempre é bem aceito pelo agricultor porque consome a forragem que deveria ser fornecida ao solo. Para minar essa resistência, é preciso mostrar ao agricultor que a sustentabilidade dos sistemas integrados depende fundamentalmente do adequado manejo do pasto e do animal, alcançada pela contínua e intensiva difusão de conhecimentos.

A pesquisa agropecuária vem ofertando tecnologias complementares aos sistemas integrados, como os cultivos consorciados para a implantação de forrageiras, de novas espécies e cultivares de forrageiras e de grãos adaptados aos ciclos combinados de pasto e lavoura, bem como novos modelos de produção. Mas é preciso gerar técnicas inovadoras que assegurem a evolução de sistemas simples para sistemas integrados, por meio do enfrentamento de entraves culturais, técnicos e econômicos.

## Referências

- ACOMPANHAMENTO DA SAFRA BRASILEIRA [DE] GRÃOS. Brasília, DF: Conab, v. 5, n. 7, abr. 2018. 139 p. Observatório Agrícola, safra 2017/18, sétimo levantamento.
- AITA, C.; BASSO, C. J.; CERETTA, C. A.; GONÇALVES, C. N.; ROS, C. O. da. Plantas de cobertura do solo como fonte de nitrogênio ao milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 1, p. 157-165, jan./mar. 2001.
- ALBUQUERQUE, J. A.; SANGOI, L.; ENDER, M. Efeito da integração lavoura-pecuária nas propriedades físicas do solo e características da cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 3, p. 717-723, jul./set. 2001.
- ALEGRE, J. C.; LARA, P. D. Efecto de los animales en pastoreo sobre las propiedades físicas de suelos de la región tropical húmeda de Perú. **Pasturas Tropicales**, v. 13, n. 1, p. 18-23, abr. 1991.
- ALVARENGA, R. C. Integração lavoura-pecuária. In: SIMPÓSIO DE PECUÁRIA DE CORTE, 3., 2004, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: Ed. da UFMG, 2004. 1 CD-ROM.
- AMBROSI, I.; SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, R. S.; ZOLDAN, S. M. Lucratividade e risco de sistemas de produção de grãos combinados com pastagens de inverno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 10, p. 1213-1219, out. 2001.

ANGHINONI, I. Fertilidade do solo e seu manejo em sistema plantio direto. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H. V.; BARROS, N. F.; FONTES, R. F. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 873-928.

ARAÚJO, R.; GOEDERT, W. J.; LACERDA, M. P. C. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob cerrado nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 5, p.1099-1108, set./out. 2007.

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

ASSMANN, T. S.; RONZELLI JÚNIOR, P.; MORAES, A.; ASSMANN, A. L.; KOEHLER, H. S.; SANDINI, I. Rendimento de milho em área de integração lavoura-pecuária sob o sistema plantio direto, em presença e ausência de trevo branco, pastejo e nitrogênio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 4, p. 675-683, jul./ago. 2003.

BALBINO, L. C.; BARCELLOS, A. de D.; STONE, L. F. **Marco referencial: integração Lavoura-Pecuária-Floresta**. Brasília, DF: Embrapa, 2011. 130 p.

BALBINOT JUNIOR, A. A. **Uso do solo no inverno: propriedades do solo, incidência de plantas daninhas e desempenho da cultura de milho**. 2007. 150 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

BALESDENT, J.; BALABANE, M. Maize root-derived soil organic carbon estimated by natural <sup>13</sup>C abundance. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 24, n. 2, p. 97-101, Feb. 1992.

BARBOSA, R. A.; NASCIMENTO JÚNIOR, D. do; EUCLIDES, V. P. B.; REGAZZI, A. J.; FONSECA, D. M. da. Características morfológicas e acúmulo de forragem do capim-tanzânia (*Panicum maximum* Jacq. cv. Tanzânia) em dois resíduos forrageiros pós-pastejo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 31, n. 2, p. 583-593, mar./abr. 2002.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, n. 1, p. 105-112, jan./mar. 1997.

BERTOL, I.; GOMES, K. E.; DENARDIN, R. B. N.; MACHADO, L. A. Z.; MARASCHI, G. E. Propriedades físicas do solo relacionadas a diferentes níveis de oferta de forragem numa pastagem natural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, n. 5, p. 779-786, maio 1998.

BOENI, M. **Proteção física da matéria orgânica em Latossolos sob sistemas com pastagens na região do Cerrado brasileiro**. 2007. 136 f. Tese (Doutor em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

BOENI, M.; BASSANI, H. J.; REINERT, D. J.; SCAPILI, C.; RESTLE, J. Efeito do pisoteio animal durante o pastejo de inverno sobre algumas propriedades físicas do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25., 1995, Viçosa, MG. **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado: resumos expandidos**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo: Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Solos, 1995. v. 1, p. 160-161.

BOER, C. A.; ASSIS, R. L.; SILVA, G. P.; BRAZ, A. J. B. P.; BARROSO, A. L. L.; CARGNELUTTI FILHO, A.; PIRES, F. R. Biomassa, decomposição e cobertura do solo ocasionada por resíduos culturais de três espécies vegetais na região Centro-Oeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 2, p. 843-851, mar./abr. 2008.

BOLINDER, M. A.; ANGERS, D. A.; DUBUC, J. P. Estimating shoot to root ratios and annual carbon inputs in soil for cereal crops. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 63, n. 1, p. 61-66, May 1997.

BOTREL, M. A.; ALVIM, M. J.; XAVIER, D. F. Avaliação de gramíneas forrageiras na região Sul de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n. 4, p. 683-689, abr. 1999.

BRAIDA, J. A.; REICHERT, J. M.; VEIGA, M. da; REINERT, D. J. Resíduos vegetais na superfície e carbono orgânico do solo e suas relações com a densidade máxima obtida no ensaio Proctor. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 4, p. 605-614, jul./ago. 2006.

BUYANOVSKY, G. A.; WAGNER, G. H. Post-harvest residue input to cropland. **Plant and Soil**, v. 93, n. 1, p. 57-65, 1986.

CANDIDO, M. J. D.; ALEXANDRINO, E.; GOMIDE, C. A. M.; GOMIDE, J. A.; PEREIRA, E. W. Período de descanso, valor nutritivo e desempenho animal em pastagem de *Panicum maximum* cv. Mombaça sob lotação intermitente. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 34, n. 5, p. 1459-1467, set./out. 2005.

- CARVALHO, J. L. N. **Dinâmica do carbono e fluxo de gases de efeito estufa em sistema de integração lavoura-pecuária na Amazônia e no Cerrado**. 2010. 143 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- CARVALHO, P. C. F.; ANGHINONI, I.; MORAES, A.; SOUZA, E. D.; SULC, R. M.; LANG, C. R.; FLORES, P. C. C.; LOPES, M. L. T.; SILVA, J. L. S.; CONTE, O.; WESP, C. L.; LEVIEN, R.; FONTANELI, R.; BAYER, C. Managing grazing animals to achieve nutrient cycling and soil improvement in no-till integrated systems. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 88, n. 2, p. 259-273, Nov. 2010.
- CARVALHO, P. C. F.; MORAES, A.; ANGHINONI, I.; AGUINAGA, A. A. Q.; CASSOL, L. C.; FLORES, J. P. C.; SILVA, J. L. S.; ALVES, S. J.; PELISSARI, A. Integração lavoura-pecuária: como aumentar a rentabilidade, otimizar o uso da terra e minimizar os riscos. In: SIMPÓSIO DA CARNE BOVINA: INTEGRAÇÃO LAVOURA PECUÁRIA, 2., 2004, São Borja. **Anais...** São Borja: Ed. da UFRGS: Cooperativa Tríticola Sãoborjense, 2004. v. 1, p. 6-36.
- CASSOL, L. C. **Relações solo-planta-animal num sistema de integração lavoura-pecuária em semeadura direta com calcário na superfície**. 2003. 143 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PADANOSCHI, A. L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num latossolo roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotação de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, n. 3, p. 527-538, jul./set. 1998.
- CECCON, G. Cerrado: estado da arte na produção de palha com milho safrinha em consórcio com *Brachiaria*. **Revista Plantio Direto**, ano 17, n. 102, p. 3-7, nov./dez. 2007.
- CECCON, G.; MACHADO, L. A. Z. Identificação de espécies forrageiras In: ENCONTRO DE PLANTIO DIRETO NO CERRADO, 10., 2009, Dourados. **Diversificação e viabilidade**: anais. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2010. 1 CD-ROM.
- CONCEIÇÃO, P. C.; BOENI, M.; DIECKOW, J.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Fracionamento densimétrico com politungstato de sódio no estudo da proteção física da matéria orgânica em solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 2, p. 541-549, mar./abr. 2008.
- CONTE, O.; LEVIEN, R.; TREIN, C. R.; MAZURANA, M.; DEBIASI, H. Resistência mecânica do solo e força de tração em hastes sulcadoras de semeadoras-adubadoras em sistema de integração lavoura-pecuária. **Engenharia Agrícola**, v. 27, n. 1, p. 220-228, jan./abr. 2007.
- CONTE, O.; WESP, C. de L.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. de F.; LEVIEN, R.; NABINGER, C. Densidade, agregação e frações de carbono de um Argissolo sob pastagem natural submetida a níveis de ofertas de forragem por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 2, p. 579-587, mar./abr. 2011.
- CORRÊA, L. A.; SANTOS, P. M. **Manejo e utilização de plantas forrageiras dos gêneros *Panicum*, *Brachiaria* e *Cynodon***. São Carlos, SP: Embrapa Pecuária Sudeste, 2003. 36 p. (Embrapa Pecuária Sudeste. Documentos, 34).
- CRISPIM, S. M. A.; BRANCO, O. D. **Aspectos gerais das braquiárias e suas características na sub-região da Nhecolândia, Pantanal, MS**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2002. 25 p. (Embrapa Pantanal. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 33).
- CRUZ, S. C. S. **Milho e *Brachiaria decumbens* em sistemas de integração lavoura-pecuária**. 2007. 88 f. Dissertação (Mestre em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Campus de Botucatu, Botucatu. Disponível em: [http://www.fca.unesp.br/pos\\_graduacao/Teses/PDFs/Arq0175.pdf](http://www.fca.unesp.br/pos_graduacao/Teses/PDFs/Arq0175.pdf). Acesso em: 2 fev. 2010.
- DIAS-FILHO, M. B.; ANDRADE, C. M. S. **Diagnóstico das pastagens no Brasil**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2014. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 402). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/986147/1/DOC402.pdf>. Acesso em: 14 fev. 2018.
- DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (ed.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p. 3-22. (SSSA. Publication, 35).
- DURU, M.; DUCROCQ, H. Growth and senescence of the successive grass leaves on a tiller: ontogenic development and effect of temperature. **Annals of Botany**, v. 85, n. 5, p. 635-643, May 2000.

ESPINDOLA, J. A. A.; GUERRA, J. G. M.; ALMEIDA, L. de; TEIXEIRA, M. G.; URQUIAGA, S. Composição e liberação de nutrientes acumulados em leguminosas herbáceas perenes consorciadas com bananeira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 2, p. 321-328, mar./abr. 2006.

EUCLIDES, V. P. B.; MACEDO, M. C. M.; VALLE, C. B.; DIFANTE, G. S.; BARBOSA, R. A.; GONÇALVES, W. V. Valor nutritivo da forragem e produção animal em pastagens de *Brachiaria brizantha*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 1, p. 98-106, jan. 2009.

EUCLIDES, V. P. B.; MACEDO, M. C. M.; ZIMMER, A. H.; JANK, L.; OLIVEIRA, M. P. Avaliação dos capins mombaça e massai sob pastejo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, n. 1, p. 18-26, 2008. EVOLUÇÃO da área cultivada no sistema de plantio direto na palha – Brasil. [Ponta Grossa, 2010]. Disponível em: <https://febrapdp.org.br/area-de-pd>. Acesso em: 6 fev. 2018.

FABIAN, A. J. **Plantas de cobertura: efeito nos atributos do solo e na produtividade de milho e soja em rotação**. 2009. 83 f. Tese (Doutor em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Jaboticabal.

FERREIRA, A. C. de B.; LAMAS, F. M.; CARVALHO, M. da C. S.; SALTON, J. C.; SUASSUNA, N. D. Produção de biomassa por cultivos de cobertura do solo e produtividade do algodoeiro em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 6, p. 546-553, jun. 2010.

FLORES, J. P. C.; ANGHINONI, I.; CASSOL, L. C.; CARVALHO, P. C. F.; LEITE, J. G. D.; FRAGA, T. I. Atributos físicos do solo e rendimento de soja em sistema plantio direto em integração lavoura-pecuária com diferentes pressões de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 4, p. 771-780, jul./ago. 2007.

FRANCHINI, J. C.; BORKERT, C.; FERREIRA, M. M.; GAUDÊNCIO, C. A. Alterações na fertilidade do solo em sistemas de rotação de culturas em semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, n. 2, p. 459-467, abr./jun. 2000.

FRANZLUEBBERS, A. J. Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. **Soil and Tillage Research**, v. 66, n. 2, p. 95-106, July 2002.

FRANZLUEBBERS, A. J.; STUEDEMANN, J. A.; SCHOMBER, H. H. Spatial distribution of soil carbon and nitrogen pools under grazed tall fescue. **Soil Science Society of America Journal**, v. 64, n. 2, p. 635-639, Mar./Apr. 2000.

GALE, W. J.; CAMBARDELLA, C. A.; BAILEY, T. B. Root-derived carbon and the formation and stabilization of aggregates. **Soil Science Society of America Journal**, v. 64, n. 1, p. 201-217, Jan./Feb. 2000.

GAMA-RODRIGUES, A. C.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; BRITO, E. C. Decomposição e liberação de nutrientes de resíduos culturais de plantas de cobertura em Argissolo Vermelho-Amarelo na região noroeste fluminense-RJ. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 6, p. 1421-1428, nov./dez. 2007.

GOMIDE, C. A. M. **Morfogênese e análise de crescimento de cultivares de *Panicum maximum* Jacq.** 1997. 53 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

GONÇALVES, E. N.; QUADROS, F. L. F. Características morfológicas de azevém anual (*Lolium multiflorum* Lam.) sob pastejo em sistemas intensivos de utilização. **Ciência Rural**, v. 33, n. 6, p. 1129-1134, nov./dez. 2003.

GRASELLI, L. C. P.; GOMIDE, C. A. M.; PACIULLO, D. S. C.; GOMIDE, J. A. Características morfológicas e estruturais de um relvado de *B. decumbens* sob lotação contínua. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 37., 2000, Viçosa, MG. **Anais...** Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2000. 1 CD-ROM.

HAYNES, R. J.; WILLIAMS, P. H. Nutrient cycling and fertility in the grazed pasture ecosystem. **Advances in Agronomy**, v. 49, p. 119-199, 1993.

HERRICK, J. E.; LAL, R. Soil physical property changes during decomposition in a tropical pasture. **Soil Science Society of America Journal**, v. 59, n. 3, p. 908-912, May/June 1995.

IBGE. **Cobertura e uso da terra**. Disponível em: <https://ww2.ibge.gov.br/home/geociencias/recursosnaturais/usodaterra/default.shtm>. Acesso em: 14 fev. 2018.

JANK, L.; SAVIDAN, Y. H.; SOUZA, M. T. C.; COSTA, J. C. G. Avaliação do germoplasma de *Panicum maximum* introduzida da África. I: Produção forrageira. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v. 23, n. 3, p. 433-440, maio/jun. 1994.

JANK, L.; VALLE, C. B. do; KARIA, C. T.; PEREIRA, A. V.; BATISTA, L. A. R.; RESENDE, R. M. S. Opções de novas cultivares de gramíneas e leguminosas forrageiras tropicais para Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, 26, n. 226, p. 26-35, 2005.



- JANTALIA, C. P.; VILELA, L.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S. **Influência das pastagens e sistemas de produção de grãos, no estoque de carbono e nitrogênio em um Latossolo Vermelho**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2006. 50 p. (Embrapa Agrobiologia. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 11).
- KISSELE, K. W.; GARRETT, C. J.; FU, S.; HEDRIX, P. F.; CROSSLEY, D. A.; COLEMAN, D. C.; POTTER, R. L. Budgets for roots-derived C and litter-derived C: comparison between conventional tillage and no tillage soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 33, n. 7/8, p. 1067-1075, June 2001.
- KUNRATH, T. **Impactos da altura de manejo do pasto em sistemas de integração lavoura-pecuária**. 2011. 100 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- LAMAS, F. M.; STAUT, L. A. **Algodoeiro em sistema plantio direto**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2006. 7 f. (Embrapa Agropecuária Oeste. Comunicado técnico, 118).
- LARA CABEZAS, W. A. R.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA CABALLERO, S. S.; SANTANA, D. G. de. Influência da cultura antecessora e da adubação nitrogenada na produtividade de milho em sistema semeadura direta e solo preparado. **Ciência Rural**, v. 34, n. 4, p. 1005-1013, jul./ago. 2004.
- LUSTOSA, S. B. C. **Efeito do pastejo nas propriedades químicas do solo e no rendimento de soja e milho em rotação com pastagem consorciada de inverno no sistema de plantio direto**. 1998. 84 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- MACEDO, M. C. M. A integração lavoura e pecuária como alternativa de recuperação de pastagens degradadas. In: Workshop nitrogênio na sustentabilidade de sistemas intensivos de produção agropecuária, 2000, Dourados. **Anais...** Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste; Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2000. p. 90-104. (Embrapa Agropecuária Oeste. Documentos, 26; Embrapa Agrobiologia. Documentos, 128).
- MACEDO, M. C. M.; ZIMMER, A. H. Sistemas integrados de lavoura-pecuária na região dos Cerrados do Brasil. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA, 2007, Curitiba. [**Anais...**]. Curitiba: Ed. da UFPR; [Porto Alegre]: Ed. da UFRGS; [S.l.]: Ohio State University, 2007. 24 p. 1 CD-ROM.
- MACHADO, L. A. Z. **Forrageiras para a safrinha**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2010. 1 fôlder.
- MACHADO, L. A. Z.; ASSIS, P. G. G. Produção de palha e forragem por espécies anuais e perenes em sucessão à soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 4, p. 415-422, abr. 2010.
- MACHADO, L. A. Z.; FABRÍCIO, A. C.; ASSIS, P. G. G.; MARASCHIN, G. E. Estrutura do dossel em pastagens de capim-marandu submetidas a quatro ofertas de lâminas foliares. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 10, p. 1495-1501, out. 2007.
- MARCHÃO, R. L.; VILELA, L.; BALBINOT, C. L.; BECQUER, T. Integração lavoura-pecuária no Cerrado: efeito de 13 anos de cultivo sobre a densidade e agregação do solo. In: SIMPÓSIO NACIONAL CERRADO, 9.; SIMPÓSIO INTERNACIONAL SAVANAS TROPICAIS, 2., 2008, Brasília, DF. **Desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais**: anais. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2008. 1 CD-ROM.
- MARCHÃO, R. L.; VILELA, L.; PALUDO, A. L.; GUIMARÃES JÚNIOR, R. **Impacto do pisoteio animal na compactação do solo sob integração lavoura-pecuária no Oeste Baiano**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2009. 6 p. (Embrapa Cerrados. Comunicado técnico, 163).
- MASSAI é o novo capim lançado pela Embrapa. **Gado de Corte Informa**, v. 14, n. 1, p. 4-5, mar. 2001.
- MELLO, L. M. M. **Integração agricultura-pecuária em plantio direto**: atributos físicos e cobertura residual do solo, produção de forragem e desempenho econômico. 2001. 72 f. Tese (Livre Docência) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Ilha Solteira.
- MELLONI, R.; MELLONI, P. E. G.; ALVARENGA, M. I. N.; VIEIRA, F. B. M. Avaliação da qualidade de solos sob diferentes coberturas florestais e de pastagem no sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 6, p. 2461-2470, nov./dez. 2008.
- MERCANTE, F. M.; FABRÍCIO, A. C.; MACHADO, L. A. Z.; SILVA, W. M. **Parâmetros microbiológicos como indicadores da qualidade do solo sob sistemas integrados de produção agropecuária**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2004. 27 p. (Embrapa Agropecuária Oeste. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 20).
- MERLIN, A. **Disponibilidade de fósforo para a soja cultivada sobre braquiária**. 2008. 110 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Botucatu.

MIRANDA, C. H. B.; SANTOS, J. C. C. dos; BIANCHIN, I. Contribuição de *Onthophagus gazella* a melhoria da fertilidade do solo pelo enterrio de massa fecal bovina fresca. 1. Estudo em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 27, n. 4, p. 681-685, jul./ago. 1998.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; CALEGARI, A. Efeito de material vegetal na acidez do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 17, n. 3, p. 411-416, set./dez. 1993.

MONTEIRO, F. A.; WERNER, J. C. Reciclagem de nutrientes nas pastagens. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGEM, 14., 1997, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Fealq, 1997. p. 55-84.

MORAES, A.; LUSTOSA, S. B. C. Efeito do animal sobre as características do solo e a produção da pastagem. In: SIMPÓSIO SOBRE AVALIAÇÃO DE PASTAGENS COM ANIMAIS, 1997, Maringá. **Anais...** Maringá: Universidade Estadual de Maringá, 1997. p. 129-149.

MORAES, A.; PELISSARI, A.; ALVES, S. J.; CARVALHO, P. C. F.; CASSOL, L. C. Integração lavoura-pecuária no Sul do Brasil. In: Encontro de Integração Lavoura-Pecuária no Sul do Brasil, 1., 2002, Pato Branco. **Anais...** Pato Branco: Cefet-PR, 2002. p. 3-42.

MURARO, M. R. **Componentes físicos do sistema de raízes pastagens de inverno formada pelo consórcio aveia e azéveo no sistema de integração lavoura-pecuária**. 2004. 63 f. Dissertação (Mestre em Agronomia) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

NASCIMENTO JÚNIOR, D. do; GARCEZ NETO, A.; BARBOSA, R. A.; ANDRADE, C. M. S. de. Fundamentos para o manejo de pastagens: evolução e atualidade. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO ESTRATÉGICO DA PASTAGEM, 2002, Viçosa, MG. [**Anais...**]. Viçosa, MG: Ed. da UFV, 2002. Disponível em: <http://www.forragicultura.com.br/arquivos/Fundamentosparaomanejodepastagensevolucaoatualidades.pdf>. Acesso em: 30 jan. 2011.

OLIVEIRA, D. A. **Características produtivas e valor nutritivo num ano de recuperação do capim *Brachiaria* com aplicações de nitrogênio e enxofre**. 2008. 119 f. Dissertação (Mestre em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

OLIVEIRA, T. K.; CARVALHO, G. J.; FURTINI NETO, A. E.; LIMA, P. C.; MORAES, R. N. S. Atributos químicos do solo sob diferentes plantas de cobertura na implantação do sistema plantio direto. **Revista Agricultura Tropical**, v. 8, p. 57-75, 2004. Disponível em: <http://www.ufmt.br/agtrop/revista8/doc/05.doc>. Acesso em: 2 fev. 2011.

PAULETTI, V. **Nutrientes: teores e interpretações**. Castro: Fundação ABC, 2004. p. 86.

PETERSEN, R. G.; LUCAS, H. L.; WOODHOUSE JUNIOR, W. W. The distribution of excreta by freely grazing cattle and its effect on pasture fertility. I. Excretal distribution. **Agronomy Journal**, v. 48, n. 10, p. 440-444, Oct. 1956.

PLANTIO direto: módulo 1: histórico, características e benefícios do plantio direto. Brasília, DF: Abeas: Ed. da UnB, 2005. 113 p.

POWELL, J. M.; WILLIAMS, T. O. **Livestock, nutrient cycling and sustainable agriculture in the West African Sahel**. London: International Institute for Environment and Development, 1993. 14 p. (Gatekeeper series, n. SA37).

RODRIGUES, W. Valoração econômica dos impactos ambientais de tecnologias de plantio em região de cerrados. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 43, n. 1, p. 135-153, jan./mar. 2005.

ROSCOE, R.; BODDEY, R. M.; SALTON, J. C. Sistemas de manejo e matéria orgânica do solo. In: ROSCOE, R.; MERCANTE, F. M.; SALTON, J. C. (ed.). **Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas: modelagem matemática e métodos auxiliares**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2006. p. 17-42.

ROSCOE, R.; BUURMAN, P.; VELTHORST, E. J.; VASCONCELLOS, C. A. Soil organic matter dynamics in density and particle-size fractions as revealed by the <sup>13</sup>C/<sup>12</sup>C isotopic ratio in a Cerrado's Oxisol. **Geoderma**, v. 104, n. 3/4, p. 185-202, Dec. 2001.

RUSSELLE, M. P. Nutrient cycling in pasture. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE PRODUÇÃO ANIMAL EM PASTEJO, 1997, Viçosa, MG. **Anais...** Viçosa, MG: Ed. da UFV, 1997. p. 235-266.

SALTON, J. C.; CARVALHO, P. C. F. **Heterogeneidade da pastagem: causas e conseqüências**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2007. 41 p. (Embrapa Agropecuária Oeste. Documentos, 91).

SALTON, J. C.; COSTA, A. R.; SILVA, W. M. Uso de forrageiras perenes no período de entressafra para melhoria da qualidade do solo na região Centro-Oeste do Brasil. In: CONGRESSO LATINOAMERICANO DE LA CIENCIA DEL SUELO, 18.; CONGRESSO

- NACIONAL DE SUELOS, 6.; SIMPOSIO DE INNOVACIONES EDUCATIVAS DE LA CIENCIA DEL SUELO, 3., 2009, San José, Costa Rica. **Suelo... raiz de nuestro futuro**: memoria. San José, Costa Rica: SLCS: ACCS, 2009. 1 CD-ROM.
- SALTON, J. C.; FABRÍCIO, A. C.; MACHADO, I. A. Z.; OLIVEIRA, H. **Pastoreio da aveia e compactação do solo**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2001b. 5 p. (Embrapa Agropecuária Oeste. Comunicado técnico, 48).
- SALTON, J. C.; FABRÍCIO, A. M.; HERNANI, L. C. Integração lavoura-pecuária: alternativas de rotação de culturas. In: ENCONTRO REGIONAL DE PLANTIO DIRETO NO CERRADO, 5., 2001, Dourados. **Sustentabilidade, sim!**: anais. Brasília, DF: APDC; Dourados: Ed. da UFMS: Embrapa Agropecuária Oeste, 2001a. p. 31-32. (Embrapa Agropecuária Oeste. Documentos, 31).
- SALTON, J. C.; MACHADO, L. A. Z.; COSTA, A. R.; LIMA, R. R. B. Potencial de reciclagem e disponibilização de nutrientes por plantas forrageiras perenes cultivadas durante a entressafra em Mato Grosso do Sul. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 17., 2008, Rio de Janeiro. **Manejo e conservação do solo e da água no contexto das mudanças ambientais**. Rio de Janeiro: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro: Embrapa Solos; Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2008a. 1 CD-ROM. (Embrapa Solos. Documentos, 101).
- SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P. C.; FABRÍCIO, A. C.; MACEDO, M. C. M.; BROCH, D. L. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 1, p. 11-21, jan./fev. 2008b.
- SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; FABRÍCIO, A. C.; MACEDO, M. C. M.; BROCH, D. L.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P. C. **Matéria orgânica do solo na integração lavoura-pecuária em Mato Grosso do Sul**. Dourados: Embrapa Agropecuária do Oeste, 2005. 58 p. (Embrapa Agropecuária Oeste. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 29).
- SANTOS, H. P.; TOMM, G. O. Disponibilidade de nutrientes e teor de matéria orgânica em função de sistemas de cultivo e de manejo de solo. **Ciência Rural**, v. 33, n. 3, p. 477-486, maio/jun. 2003.
- SHUKLA, M. K.; LAL, R.; EBINGER, M. Determining soil quality indicators by factor analysis. **Soil and Tillage Research**, v. 87, n. 2, p. 194-204, June 2006.
- SILVA, A. A.; GALON, L.; FERREIRA, F. A.; TIRONI, S. P.; FERREIRA, E. A.; SILVA, A. F.; ASPIAZÚ, I.; AGNES, E. Sistema de Plantio Direto na palhada e seu impacto na agricultura brasileira. **Revista Ceres**, v. 56, n. 4, p. 496-506, jul./ago 2009a.
- SILVA, A. P. da; IMHOFF, S.; TORMENA, C. A.; LIMA, R. R. de; TAKAHAMA, R. S. Qualidade física de solos sob sistemas intensivos de pastejo rotacionado. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGEM, 19., 2002, Piracicaba. **Inovações tecnológicas no manejo de pastagens**: anais. Piracicaba: Fealq, 2002. p. 79-97.
- SILVA, C. C. F.; BONOMO, P.; PIRES, A. J. V.; MARANHÃO, C. M. A.; PATÊS, N. M. S.; SANTOS, L. C. Características morfogênicas e estruturais de duas espécies de braquiária adubadas com diferentes doses de nitrogênio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 4, p. 657-661, abr. 2009b.
- SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Densidade do solo, atributos químicos e sistema radicular do milho afetados pelo pastejo e manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, n. 1, p. 191-199, jan./mar. 2000.
- SKINNER, R. H.; NELSON, C. J. Elongation of the grass leaf and its relationship to the phyllochron. **Crop Science**, v. 35, n. 1, p. 4-10, Jan./Feb. 1995.
- SOLLINS, P.; HOMMAN, P.; CALDWELL, B. A. Stabilization and destabilization of soil organic matter: mechanisms and controls. **Geoderma**, v. 74, n. 1/2, p. 65-105, Nov. 1996.
- SOUZA, E. D. de; COSTA, S. E. V. G. de A.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. de F.; OLIVEIRA, E. V. F. de; MARTINS, A. P.; CAO, E.; ANDRIGHETTI, M. Soil aggregation in a crop-livestock integration system under no-tillage. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 4, p. 1365-1374, jul./ago. 2010.
- SPEHAR, C. R.; TRECENTI, R. Desempenho agrônomo de espécies tradicionais e inovadoras da agricultura em semeadura de sucessão e entressafra no cerrado do planalto central brasileiro. **Bioscience Journal**, v. 27, n. 1, p. 102-111, jan./feb. 2011.
- SPERA, S. T.; SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S.; TOMM, G. O. Efeitos de sistemas de produção de grãos envolvendo pastagens sob plantio direto nos atributos físicos de solo e na produtividade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 3, p. 533-542, maio/jun. 2004.
- SULC, R. M.; TRACY, B. F. Integrated crop-livestock systems in the U.S. corn belt. **Agronomy Journal**, v. 99, n. 2, p. 335-345, Mar./Apr. 2007.

- TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G.; ANDRIOLI, I.; POLIDORO, J. C.; FABIAN, A. J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura em um solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 4, p. 609-618, jul./ago. 2005.
- TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G.; FABIAN, A. J. Produção de resíduo vegetal por plantas de cobertura e mineralização de seus resíduos em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 3, p. 421-428, mar. 2008.
- TRENTO, S. M.; IRGANG, H. R. H.; REIS, E. M. Efeito da rotação de culturas, da monocultura e da densidade de plantas na incidência de grãos ardidos em milho. **Fitopatologia Brasileira**, v. 27, n. 4, p. 609-613, jul./ago. 2002.
- VALÉRIO, J. R.; KOLLER, W. W. Proposição para o manejo integrado das cigarrinhas-das-pastagens. **Pasturas Tropicais**, v. 15, n. 3, p. 10-16, dec. 1993.
- VALÉRIO, J. R.; SOUZA, M. S.; CHERMOUTH, K. S.; PISTORI, M. G. B.; OLIVEIRA, M. C. M. Avaliação da cultivar *Brachiaria brizantha* cv. Piatã quanto ao nível de antibiose a três espécies de cigarrinhas (Hemiptera: Cercopidae). **O Biológico**, v. 71, n. 2, p. 150, 2009.
- VALLE, C. B.; EUCLIDES, V. P. B.; MACEDO, M. C. M.; VALÉRIO, J. R.; CALIXTO, S. Selecting new *Brachiaria* for brazilian pastures. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 19., 2001, São Pedro, SP. **Proceedings...** Piracicaba: Fealq, 2001. 1 CD-ROM.
- VALLE, C. B.; EUCLIDES, V. P. B.; VALÉRIO, J. R.; MACEDO, M. C. M.; FERNANDES, C. D.; DIAS-FILHO, M. B. *Brachiaria brizantha* cv. Piatã: uma forrageira para diversificação de pastagens tropicais. **Seed News**, v. 11, n. 2, p. 28-30, mar./abr. 2007.
- VALLE, C. B.; EUCLIDES, V. P.; PEREIRA, J. M.; VALÉRIO, J. R.; PAGLIARINI, M. S.; MACEDO, M. C. M.; LEITE, G. G.; LOURENÇO, A. J.; FERNANDES, C. D.; DIAS FILHO, M. B.; LEMPP, B.; POTT, A.; SOUZA, M. A. **O capim-xaraés (*Brachiaria brizantha* cv. Xaraés) na diversificação das pastagens de braquiária**. Campo Grande, MS: Embrapa Gado de Corte, 2004. 58 p. (Embrapa Gado de Corte. Documentos, 149).
- VEZZANI, F. M. **Qualidade do sistema solo na produção agrícola**. 2001. 184 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 4, p. 743-755, jul./ago. 2009.
- VIEIRA, F. C. B.; HE, Z. L.; WILSON, P. C.; BAYER, C.; STOFFELLA, P. J.; BALIGARC, V. C. Response of representative cover crops to aluminum toxicity, phosphorus deprivation, and organic amendment. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 59, n. 1, p. 52-61, 2008.
- VOLPE, E.; MACEDO, M. C. M.; MARCHETTI, M. E.; LEMPP, B. Métodos de recuperação direta de *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk em Latossolo Vermelho distrófico de Cerrado. In: SIMPÓSIO NACIONAL CERRADO, 9.; SIMPÓSIO INTERNACIONAL SAVANAS TROPICAIS, 2., 2008, Brasília, DF. **Anais...** Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2008. 1 CD-ROM.
- WILLIAMS, P. H.; HAYNES, R. J. Effect of sheep, deer and cattle dung on herbage production and soil nutrient content. **Grass and Forage Science**, v. 50, n. 3, p. 263-271, Sept. 1995.
- ZANATTA, J. A.; SALTON, J. C. O SPD no sequestro de carbono. **A Granja**, v. 66, n. 734, p. 57-59, fev. 2010.

## Capítulo 26

# Adubos verdes na alimentação de bovinos e na reforma das pastagens

---

Valdinei Tadeu Paulino

Josiane Aparecida de Lima (*in memoriam*)

Antonio João Lourenço

Rosana Aparecida Possenti





## Introdução

É imenso o potencial agropecuário brasileiro em termos de disponibilidade de terra. As pastagens brasileiras ocupam cerca de 220 milhões de hectares do território nacional e constituem a alimentação básica do rebanho bovino, que é o maior rebanho comercial do mundo, com cerca de 209 milhões de cabeças (Luz et al., 2011). Por sua vez, a carne produzida é reconhecidamente de alta qualidade, condição que coloca o País em posição de liderança em exportação de carne bovina. Ademais, graças às extensas áreas de pastagens, o Brasil é considerado uma das regiões do globo com a maior capacidade de colaborar com a mitigação do efeito estufa, por meio do sequestro biológico do carbono (C).

A taxa média de ocupação das pastagens é, porém, de apenas 0,9 animal por hectare. Essa baixa produtividade da pecuária brasileira está relacionada com a também baixa produtividade das pastagens. Em busca de maior competitividade e preservação do ambiente, garantia de um duradouro desenvolvimento sustentável, os pecuaristas têm o poder de mudar esse panorama. O emprego de adubos verdes, por exemplo, atende a essa expectativa.

A deficiência de nitrogênio (N) é uma das responsáveis pela baixa produtividade das pastagens, além do manejo inadequado e da falta de adubação de manutenção (Paulino; Teixeira, 2009). Ademais, outros fatores devem ser considerados, como: baixo potencial produtivo; baixa qualidade; insuficientes valor nutritivo e produção estacional das forrageiras que comprometem a produtividade das pastagens; e predominância de duas espécies de *Urochloa* (Syn. *Brachiaria*) – *Urochloa decumbens* e *Urochloa brizantha* – em extensas áreas degradadas, o que significa um grande risco para a manutenção da sustentabilidade dos sistemas agropecuários.

Nesse contexto, o uso de leguminosas, além de contribuir para a alimentação animal nos sistemas de produção, coopera com a melhoria da qualidade das pastagens, formadas exclusivamente por gramíneas. Pelo fato de fixarem o N atmosférico, as leguminosas incorporam esse nutriente ao sistema, fornecendo-o às demais forrageiras.

As leguminosas apresentam ampla versatilidade para uso nos sistemas de produção animal como planta forrageira, por causa de sua excelente composição químico-bromatológica e de suas características agrônomicas. A implementação de práticas de manejo em pastos que visam melhorar a produtividade animal também contribui para reduzir a emissão de metano.

O uso de leguminosas colabora eficientemente com a sustentabilidade do ecossistema pastoril. Em virtude de sua alta qualidade nutricional, as leguminosas incrementam a produção animal, promovendo melhorias no que se refere aos níveis de proteína, à digestibilidade e ao consumo animal. Além disso, garantem melhor distribuição da pastagem ao longo do ano, aumentam a fertilidade do solo (com fornecimento de N pelas leguminosas) e proporcionam níveis de conteúdos minerais mais elevados (Barcellos; Vilela, 1994; Paulino et al., 2006b). Além de incrementar os níveis de N no solo por meio da fixação biológica, o cultivo em sucessão gramínea-leguminosa proporciona maior sequestro do C no solo (Pillon et al., 2007; Teixeira et al., 2008). Com efeito, decorridos 3 anos da implantação dos sistemas de cultivo no sistema plantio direto, houve incremento nos acúmulos de carbono orgânico total (COT) do solo na camada de 0 a 5 cm, quando comparado a área em pousio com os sistemas azevém (*Lolium multiflorum*)/milho (*Zea mays*), trevo-persa (*Trifolium resupinatum* L.)/milho e azevém + trevo/milho, que corresponderam a um sequestro líquido de 2,24 t ha<sup>-1</sup>, 0,92 t ha<sup>-1</sup> e 2,42 t ha<sup>-1</sup> de C-CO<sub>2</sub>, respectivamente (Pillon et al., 2007). O emprego de adubos verdes é, portanto, uma boa estratégia para mitigar a produção de metano, pois melhora a qualidade nutricional das pastagens e sua produtividade, além de garantir o bem-estar animal.

## Leguminosas como fator de qualidade nutricional e de sustentabilidade na produção animal em pastagens

Muitas vezes a produção de biomassa pelas gramíneas forrageiras tropicais é grande (de 15 t a 30 t de matéria seca por hectare), enquanto as leguminosas como forrageiras para pastejo direto, ou como adubos verdes, produzem na faixa de 5 t a 16 t de matéria seca por hectare. Entretanto, notadamente na época da seca, as gramíneas apresentam baixa qualidade nutricional. O emprego de leguminosas forrageiras ou forrageiras de inverno (gramíneas ou leguminosas) tem-se mostrado uma boa opção para amenizar a referida sazonalidade, além de fornecer forragem de melhor qualidade nutricional na época da seca. Dados reportados na literatura apontam que as leguminosas perdem semanalmente sua digestibilidade e conteúdos proteicos (Possenti, 2006). O aporte anual de N às pastagens, por meio da fixação biológica por leguminosas, é bem conhecido e contribui para a sustentabilidade do sistema de produção (Tabela 1). Sabe-se que a presença de leguminosas, na proporção de 20% a 40% em pastagens, é responsável por aumentos da ordem de 30% e 20% nas produções de carne e leite, respectivamente.

**Tabela 1.** Estimativas de nitrogênio fixado simbioticamente por algumas leguminosas forrageiras.

Nome científico	Nome comum	Nitrogênio fixado (kg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )
<i>Arachis pintoi</i>	Amendoim-forrageiro	60–150
<i>Calopogonium mucunoides</i>	Calopogônio	70–180
<i>Centrosema pubescens</i>	Centrosema	95
<i>Stylosanthes guianensis</i>	Estilosantes	100–110
<i>S. capitata</i>	Estilosantes	70–140
<i>Cajanus cajan</i>	Guandu	280
<i>Leucaena leucocephala</i>	Leucena	250–400
<i>Pueraria phaseoloides</i>	Cudzu-tropical	100
<i>Macroptilium atropurpureum</i>	Siratros	80–200
<i>Neonotonia wightii</i>	Soja-perene	180–200
<i>Galactia striata</i>	Galácia	122
<i>Desmodium ovalifolium</i>	Desmódio	154
<i>Zornia latifolia</i>	Zórnia	63

Fonte: Adaptado de Carvalho (1986) e Paulino et al. (2006b).

A Tabela 2 sumariza algumas formas de utilização de diferentes adubos verdes na alimentação animal.

Além da composição química, o valor nutritivo da forragem é definido pelas suas digestibilidade e degradabilidade ruminal, que, associadas à disponibilidade de forragem, têm grande efeito sobre o consumo. Este último, por sua vez, apresenta alta correlação com a produção animal, porque determina a quantidade de nutrientes ingeridos, principalmente proteína e energia, necessários ao atendimento das exigências de manutenção e crescimento do animal.

A Tabela 3 descreve a composição química de várias espécies de leguminosas tropicais. Nota-se que as leguminosas galácia (*Galactia striata*), centrosema (*Centrosema pubescens*) e soja-perene (*Neonotonia wightii*) apresentaram os maiores valores de proteína bruta (PB), enquanto a *Macrotyloma axillare*, os menores valores. Apesar dos valores baixos de PB, a taxa de digestibilidade in vitro da matéria seca (DIVMS) dessa leguminosa foi maior, provavelmente em virtude dos baixos teores de lignina e compostos fenólicos. Por sua vez, para galácia, centrosema, siratros (*Macroptilium atropurpureum*) e estilosantes (*Stylosanthes* sp.), as taxas de DIVMS foram menores e as concentrações de lignina maiores.

Em todas as leguminosas estudadas, os valores de fibra detergente neutro (FDN) encontrados refletem boa quantidade de conteúdo celular, valores esses que se assemelham aos encontrados por Kamatali et al. (1992) e Nozella et al. (2001).

**Tabela 2.** Formas de utilização dos adubos verdes na alimentação animal.

Adubo verde	Forma de utilização						
	Pastejo	Corte	Feno	Silagem	Grãos	Raízes	Vagens
Aveia-preta ( <i>Avena strigosa</i> )							
Azevém ( <i>Lolium multiflorum</i> )							
Centeio ( <i>Secale cereale</i> )							
Chícharo ( <i>Lathyrus sativus</i> )							
Aveia-forrageira 'lapar-83' ( <i>Avena strigosa</i> 'lapar-83')							
Espérgula ( <i>Spergula arvensis</i> )							
Nabo-forrageiro ( <i>Raphanus sativus</i> )							
Ervilha-comum ( <i>Pisum sativum</i> )							
Ervilhaca-peluda ( <i>Vicia sativa</i> )							
Serradela ( <i>Ornithopus sativus</i> )							
Triticale ( <i>Triticosecale</i> )							
Crotalária-júncea ( <i>Crotalaria juncea</i> )							
Feijão-mungo ( <i>Vigna radiata</i> )							
Feijão-de-porco ( <i>Canavalia ensiformis</i> )							
Guandu ( <i>Cajanus cajan</i> )							
Mucuna ( <i>Mucuna pruriens</i> )							
Lablab ( <i>Lablab purpureus</i> )							
Indigófera ( <i>Indigofera tinctoria</i> )							
Leucena ( <i>Leucena leucocephala</i> )							
Calopogônio ( <i>Calopogonium muconoides</i> )							
Siratro ( <i>Macroptilium atropurpureum</i> )							
Cudzu ( <i>Pueraria phaseoloides</i> )							
Estilosantes ( <i>Stylosanthes</i> )							
Soja-perene ( <i>Neonotonia wightii</i> )							

Fonte: Adaptado de Calegari (1999).

**Tabela 3.** Composição química e conteúdos na matéria seca (%) de várias espécies de leguminosas tropicais<sup>(1)</sup>.

Espécie	Matéria seca (%)										
	PB	EE	MM	FDN	FDA	CEL	Lignina	DIVMS	Ftt <sup>(2)</sup>	Tan.tt <sup>(3)</sup>	Tan.c <sup>(4)</sup>
Galáctia ( <i>Galactia striata</i> )	24,3	2,2	7,2	51,0	36,2	25,2	10,7	52,0	6,17	4,95	5,08
Centrosema ( <i>Centrosema pubescens</i> )	22,1	2,4	5,1	53,2	40,1	30,5	9,4	53,0	2,72	1,99	0,03
Soja-perene ( <i>Neonotonia wightii</i> )	23,7	2,1	7,7	46,6	33,2	24,9	7,7	64,0	1,80	1,19	0,03
Siratro ( <i>Macroptilium atropurpureum</i> )	17,6	2,3	7,0	54,2	43,1	32,2	9,4	54,0	3,22	2,33	0,03
Macrotiloma ( <i>Macrotiloma axillare</i> )	16,7	2,2	4,8	46,3	35,6	25,4	7,7	65,0	2,31	1,85	0,05
Estilosantes ( <i>Stylosanthes</i> )	17,9	4,7	6,8	48,6	37,0	27,7	8,4	57,0	6,23	4,92	3,49

<sup>(1)</sup>PB = proteína bruta; EE = extrato etéreo; MM = matéria mineral; FDN = fibra detergente neutro; FDA = fibra detergente ácido; CEL = celulose; DIVMS = digestibilidade in vitro da matéria seca. <sup>(2)</sup>Fenóis totais – valores expressos em equivalente de ácido tânico (% da matéria seca). <sup>(3)</sup>Taninos totais – valores expressos em equivalente de ácido tânico (% da matéria seca). <sup>(4)</sup>Taninos condensados – valores expressos como equivalentes de leucocianidina (% da matéria seca).

Fonte: Adaptado de Valarini e Possenti (2006).

As leguminosas apresentam normalmente alta taxa de degradação ruminal da PB em comparação com as gramíneas. Queiroz et al. (1998), avaliando leguminosas que apresentaram alta taxa de degradação ruminal da PB, relataram que siratro foi a que mais se destacou pela alta solubilidade inicial.

Em virtude disso, e também pelo alto teor de PB, as leguminosas podem ser utilizadas como suplementos para alimentos pobres em proteínas, tais como resíduos de culturas e gramíneas com baixo conteúdo proteico, o que pode viabilizar economicamente as pastagens consorciadas, consumidas pelos animais principalmente na estação seca (Apori et al., 2000). O melhor desempenho animal em pastagens consorciadas deve-se ao seu maior valor alimentício, em comparação com gramíneas. Os maiores níveis de proteína bruta (PB) e de digestibilidade são os atributos mais marcantes.

Em ensaio sob corte realizado em Itabela, BA, e com avaliações feitas nos períodos de maior e menor precipitação, durante 2 anos, foram contemplados 18 acessos de leguminosas e 10 acessos de gramíneas, que apresentaram teores médios de PB de 18,8% e 11,5%, com amplitudes de 13,6% a 24,6% e de 7,8% a 14,5%, para leguminosas e gramíneas, respectivamente. Em pastagens de gramíneas consorciadas com *Desmodium ovalifolium*, calopogônio (*Calopogonium mucunoides*), *Pueraria phaseoloides*, *Stylosanthes guianensis* CIAT 136, *Arachis pintoi* 'Belmonte' e

*Leucena (Leucena leucocephala)*, os níveis de PB da leguminosa em oferta foram de, respectivamente, 9,1%, 11,5%, 12,5%, 15,6%, 18,6% e 22,5%, sempre superiores aos níveis de PB da gramínea acompanhante (Pereira et al., 1995).

Os microrganismos do rúmen degradam as fontes proteicas, produzindo  $N-NH_3$ , o qual é utilizado para a manutenção e o crescimento celular. A eficiência com que tais microrganismos convertem o N do alimento em proteína microbiana depende da taxa de liberação da amônia, bem como de sua assimilação (Queiroz et al., 1998). Os valores de degradação inicial da PB contida nas biomassas das leguminosas analisadas variaram de 11,3% a 40,7%. Tais valores não têm sido descritos como causadores de intoxicação por excesso de amônia no rúmen.

## Métodos de formação de leguminosas nas pastagens

A escolha da leguminosa deve atender às suas exigências edafoclimáticas. As leguminosas devem ser semeadas quando houver umidade no solo, a fim de garantir a emergência das plântulas e seu completo estabelecimento. Os solos tropicais são, em geral, pobres em fósforo (P), que é um nutriente fundamental no sucesso da implementação das pastagens. O P deve ser adicionado ao solo conforme recomendações da análise de solos. O N é outro elemento essencial na manutenção da produtividade das leguminosas. Inicialmente, a planta usa o N proveniente da decomposição da matéria orgânica. Uma vez estabelecido o sistema de fixação biológica, o N é captado do ar do solo por bactérias fixadoras de N nos nódulos radiculares e é assimilado pelas plantas. Ao escolher a época e o momento de semeadura (ou plantio, no caso de mudas), o agricultor deve evitar épocas com elevada probabilidade de ocorrência de veranicos. Na região Sudeste, por exemplo, costuma-se semear no início das águas (outubro e novembro). O cálculo de taxa de semeadura leva em consideração o *VC* (valor cultural), que corresponde ao percentual de sementes puras viáveis (*SPV*), multiplicado pela porcentagem de germinação. A recomendação pode ser calculada pela seguinte fórmula:

$$Q = SPV \times 100/VC$$

em que:

*Q* = quantidade de sementes comerciais (kg) a serem semeadas.

*SPV* = sementes puras viáveis ( $kg\ ha^{-1}$ ).

*VC* = valor cultural.

A taxa de semeadura ( $kg\ ha^{-1}$  de *SPV*) recomendada para cada espécie deve ser respeitada.

Em virtude da dormência das sementes, geralmente por causa da impermeabilidade do tegumento, normalmente é preciso fazer a escarificação, que pode ser com água quente (60 °C), por 5 minutos, ou com ácido sulfúrico concentrado, por 3 minutos. Este último método é, porém, caro e perigoso. Para algumas leguminosas, como amendoim-forrageiro (*Arachis sp.*), a pastagem tanto pode ser formada por sementes (cultivares Amarillo e Porvenir) quanto por mudas. Já para a cultivar Belmonte, é feita por mudas.

As leguminosas são semeadas simultaneamente com as gramíneas ou em faixas alternadas, com largura entre 0,5 m e 2,0 m, com espécies misturadas. Podem ainda ser semeadas de forma exclusiva, para a formação de bancos de proteína. As leguminosas podem, também, ser introduzidas em pastagens estabelecidas com gramíneas, por meio de métodos mecânicos (uso de arado, grade e sulcador) ou químicos (uso de herbicidas, como dissecantes), ou, então, um misto de ambos os métodos, visando assegurar o estabelecimento das leguminosas. De modo geral, tem-se recomendado uma taxa adicional de 20% na densidade de semeadura da leguminosa, para garantir o sucesso em seu estabelecimento e uma boa produção de biomassa.

O desempenho do papel das leguminosas, em relação à fixação biológica de N, ao acúmulo de biomassa vegetal e à ciclagem de nutrientes, preconiza o conhecimento e a adoção de alguns procedimentos referentes ao uso em pastagens consorciadas. Como as leguminosas e as gramíneas forrageiras tropicais apresentam marcantes diferenças morfofisiológicas, aconselham-se, então, as seguintes providências: a) escolher uma associação compatível entre o capim e a leguminosa (para tanto, verificar se as condições climáticas não são limitantes); b) assegurar um suprimento adequado de nutrientes para otimizar o crescimento da leguminosa forrageira, principalmente em relação às necessidades de calagem e nutrientes; c) adotar um manejo que intensifique a produção de sementes e a ressemeadura natural, ou, se necessário, a sobressemeadura de leguminosas; e d) adotar um manejo estratégico com aumento ou redução no ciclo de pastejo, a fim de assegurar a persistência da leguminosa (Paulino et al., 2006b).

## Métodos de recuperação de pastagens com uso de leguminosas

As pastagens brasileiras apresentam-se em vários estádios de degradação. Tecnicamente, os termos “recuperação”, “reforma” e “renovação” têm significados diferentes. Recuperação refere-se à aplicação de práticas culturais e/ou agrônômicas, visando ao restabelecimento da cobertura do solo e do vigor das plantas forrageiras na pastagem, com práticas como adubação e vedação de pastos, controle de invasoras e sobressemeadura da espécie existente. O termo reforma refere-se à formação de um novo estabelecimento da pastagem, com a mesma espécie e, geralmente, com a entrada de máquinas, escarificação do solo e correção da acidez. Por sua vez, renovação abrange: a utilização da área degradada para a formação de uma nova pastagem com outra



espécie forrageira, geralmente mais produtiva; a adoção de práticas mais eficientes de melhoria das condições edáficas; e a aplicação de calcário e adubo no estabelecimento e na manutenção.

As leguminosas têm sido utilizadas tanto para recuperar quanto para reformar as pastagens em consórcio com as gramíneas. As leguminosas são, preferencialmente, semeadas em faixas de 1,2 m a 2,4 m, nas quais recebem calagem e adubação diferenciadas com 2/3 de adubações fosfatada e potássica, bem como micronutrientes; o restante é aplicado na faixa das gramíneas. O uso concomitante de gramíneas e leguminosas conduz, invariavelmente, ao desaparecimento das leguminosas, as quais são utilizadas como banco de proteína. Depois de certo tempo, essa área é ressemeada com gramínea. Existem, porém, outras opções, como o plantio da leguminosa como adubo verde, a incorporação e o plantio da gramínea. As leguminosas arbustivas e arbóreas também contribuem para a recuperação das pastagens, pois introduzem o N no sistema.

## Banco de proteínas

Banco de proteína é um componente do sistema de produção integrado em que uma porção da área de pastagem nativa ou cultivada é reservada para o plantio de leguminosas forrageiras de alto valor nutritivo e de outras espécies. Dessa forma, os animais permanecem a maior parte do tempo em pastagens de gramíneas e têm acesso controlado a uma pequena área com leguminosas.

## Banco de proteínas em pastagem

De acordo com Lourenço e Delistoianov (1993), o guandu (*Cajanus cajan*) é uma planta forrageira viável para utilização como banco de proteína, principalmente quando formado em área degradada de pastagem de gramínea. Portanto, é uma prática recomendável pela convergência de interesses econômicos, sociais e ambientais em sistemas de exploração agropecuária. Os mesmos autores obtiveram maiores ganhos de pesos diários no período da seca, quando a área da leguminosa correspondia a 33% da área total.

O uso do guandu proporcionou aumento do ganho de peso vivo diário de até 0,492 kg ha<sup>-1</sup>, de bovinos em pasto, principalmente durante o período crítico, e no seu primeiro ano de estabelecimento (Lourenço; Delistoianov, 1993).

Segundo Seifert (1988), os teores de proteína bruta do guandu diferem entre as variedades, entre os cortes e as épocas do ano, de um mínimo de 13% a um máximo de 20,2%. Lourenço e Delistoianov (1993) encontraram teores entre 18,0% e 25,5% de proteína bruta nas folhas do guandu disponível como banco de proteína, o que evidencia a presença de conteúdos proteicos não limitantes para a alimentação animal, no período de escassez de produção de forragem. Os valores de proteína bruta determinados nos caules do guandu disponível foram inferiores aos das folhas.

Schaaffhausen (1966) conduziu um trabalho no estado de São Paulo, no qual o guandu foi plantado nas curvas de nível, em pastagens de capim-pangola (*Digitaria decumbens*). O autor

verificou que novilhos Zebu ganharam em média 35 kg por animal em 93 dias durante severo período de seca, enquanto animais mantidos somente em pastagens de pangola perderam peso. Em estudo do potencial forrageiro do guandu como banco de proteína, no qual foram empregados diferentes percentuais (0%, 18%, 33% e 51%) em áreas associadas ao capim-jaraguá (*Hyparrhenia rufa*), Lourenço et al. (1984) observaram ganhos de peso de novilhos Nelore (Tabela 4).

**Tabela 4.** Ganho de massa ( $\text{kg dia}^{-1}$ ) em novilhos Zebu, na estação da seca, utilizando áreas com diferentes percentuais de ocupação com guandu como banco de proteína.

Área com guandu (%)	Jun./ago. (56 dias)	Set./dez. (140 dias)	Jun./dez. (196 dias)
0	0,196	0,314	0,280
18	0,411	0,307	0,342
33	0,750	0,300	0,428
51	0,607	0,314	0,398

Fonte: Adaptado de Lourenço et al. (1984).

Em outro trabalho, Lourenço e Delistoianov (1993) avaliaram por 2 anos o desempenho de bovinos em pastagens de capim-colonião (*Panicum maximum*), com livre acesso ao banco de proteína de guandu. Os ganhos médios anuais e diários de peso vivo dos bovinos com acesso ao banco de proteína foram maiores do que os mantidos em pasto exclusivo de capim-colonião (Tabela 5), em virtude da qualidade nutricional da dieta com leguminosa forrageira, em termos proteicos, e da melhor digestibilidade da forragem.

**Tabela 5.** Ganho comparativo de massa animal em pasto de capim-colonião (*Panicum maximum*), sem e com inclusão de guandu como banco de proteína + 30% de guandu.

Pasto	1° ano	2° ano
	(kg dia <sup>-1</sup> por animal)	
Colonião exclusivo	0,455	0,335
Colonião + guandu	0,482	0,381

Fonte: Adaptado de Lourenço e Delistoianov (1993).

Favoretto et al. (1989) estudaram o desempenho de novilhos, com peso vivo inicial de 200 kg, no qual foram avaliados: a) colonião com acesso ao guandu durante a estação seca; b) colonião adubado com 100 kg ha<sup>-1</sup> de N; e c) colonião consorciado com soja-perene, em que foi empregado o sistema *put-and-take* com o ajuste da carga animal, de acordo com a disponibilidade de forragem. Os ganhos de peso vivo na estação seca foram: de 356 g dia<sup>-1</sup> por animal e 104 kg ha<sup>-1</sup> para o pasto de colonião com acesso ao guandu; de 262 g dia<sup>-1</sup> por animal e 55 kg ha<sup>-1</sup> para o pasto de colonião adubado com N; e de 199 g dia<sup>-1</sup> por animal e 41 kg ha<sup>-1</sup> para o pasto de colonião consorciado com soja-perene. Os autores do trabalho afirmam que os ganhos de peso

vivo diário dos animais no capim-colonião foram maiores por conta do livre acesso ao guandu, enquanto os ganhos registrados no pasto consorciado foram menores em razão da baixa porcentagem de soja-perene no pasto.

Uma das formas de utilização do guandu na alimentação animal é fornecê-lo no cocho como volumoso, o que também contribui com uma fração na suplementação proteica. Manzano et al. (1988) conduziram um trabalho com o objetivo de estudar a viabilidade da utilização do guandu na engorda de novilhos da raça Canchim em confinamento. Entre os tratamentos estudados, o guandu participou com 55% e 65% da matéria seca das rações. Os autores concluíram que o guandu picado fornecido no cocho proporcionou custos de produção mais baixos por quilograma de ganho de peso vivo, em comparação com animais mantidos em confinamento.

## Dieta selecionada

Pecuaristas, e até mesmo técnicos da área, têm grande interesse em saber o grau de aceitabilidade da leguminosa e, conseqüentemente, sua participação na dieta referente ao total da matéria seca disponível no pasto.

Aplicando-se a teoria do fracionamento isotópico, com a variação natural do C, determinado nas fezes dos bovinos presentes em pastos de gramíneas (grupo fotossintético C-4) e leguminosas (grupo fotossintético C-3), é possível obter o percentual de uma das espécies que participam da dieta ingerida. Vários trabalhos de pesquisa indicam que a leguminosa participa da dieta em proporções variadas durante o ano, quando disponível no pasto.

O guandu participa da dieta dos bovinos em proporções elevadas no início do livre acesso ao banco de proteína no período da seca, decrescendo posteriormente, com o decorrer do tempo. Nesse período (seca), o valor nutritivo das gramíneas diminui acentuadamente, e a presença da leguminosa na dieta dos bovinos em pastejo contribui para a melhoria da qualidade da forragem consumida.

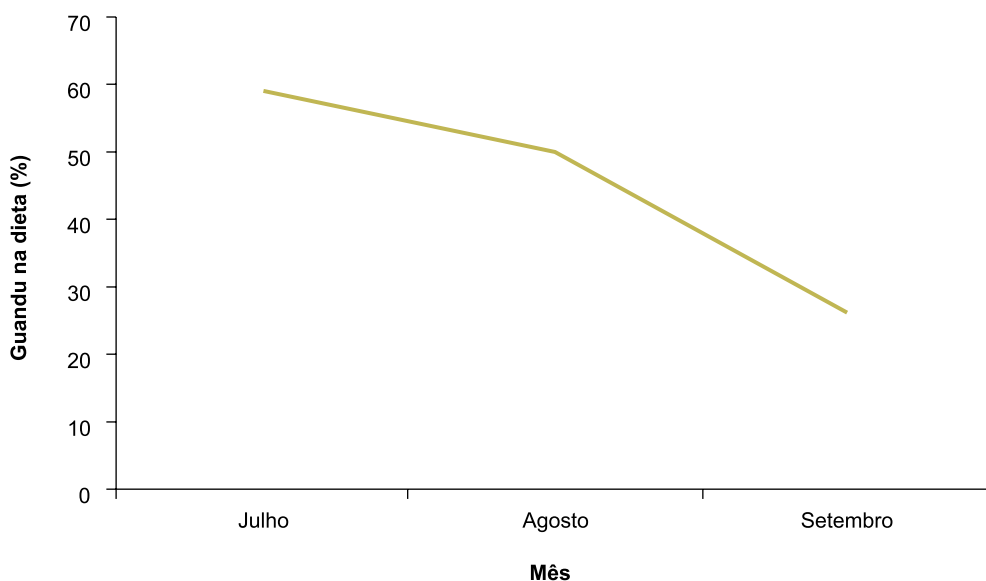
Trabalhos de pesquisa com bovinos em pastejo confirmam a expressiva participação do guandu na dieta durante o período das secas (Lourenço et al., 1984; Favoretto et al., 1989) (Figura 1).

A participação do guandu na dieta selecionada pelos bovinos com livre acesso ao banco de proteína, em que a leguminosa foi estabelecida no sistema plantio direto, foi de 58% do total da matéria seca ingerida, o que demonstra sua aceitabilidade na estação seca (Lourenço et al., 1996).

## Sistema plantio direto na formação de banco de proteína

### Uso do guandu

A formação do banco de proteína com guandu por meio do sistema plantio direto, com aplicação de herbicida glyphosate sobre pastagem degradada, é uma prática viável porque ajuda



**Figura 1.** Participação da leguminosa guandu como banco de proteína na dieta selecionada pelos bovinos.

Fonte: Adaptado de Lourenço et al. (1984).

a reduzir os custos na recuperação do pasto, como ficou demonstrado por Lourenço et al. (1992a) e Lourenço e Delistoianov (1993) na implantação de projeto de pesquisa para a avaliação de desempenho animal em pasto, no Instituto de Zootecnia, em Nova Odessa, SP.

É importante ressaltar que, decorridos 2 anos da implantação do guandu, o capim recuperou o vigor vegetativo, com o decréscimo da presença da leguminosa na área de plantio direto.

Os resultados dos trabalhos de pesquisas com guandu mostram o seu potencial para o aumento do ganho de peso vivo de bovinos em pasto, principalmente durante o período crítico e no seu primeiro ano de estabelecimento. Práticas adequadas de manejo (correção da fertilidade do solo, entre outras) que favoreçam a produtividade e a persistência do guandu no banco de proteína devem ser estimuladas. Normalmente, a duração dessa leguminosa é bienal.

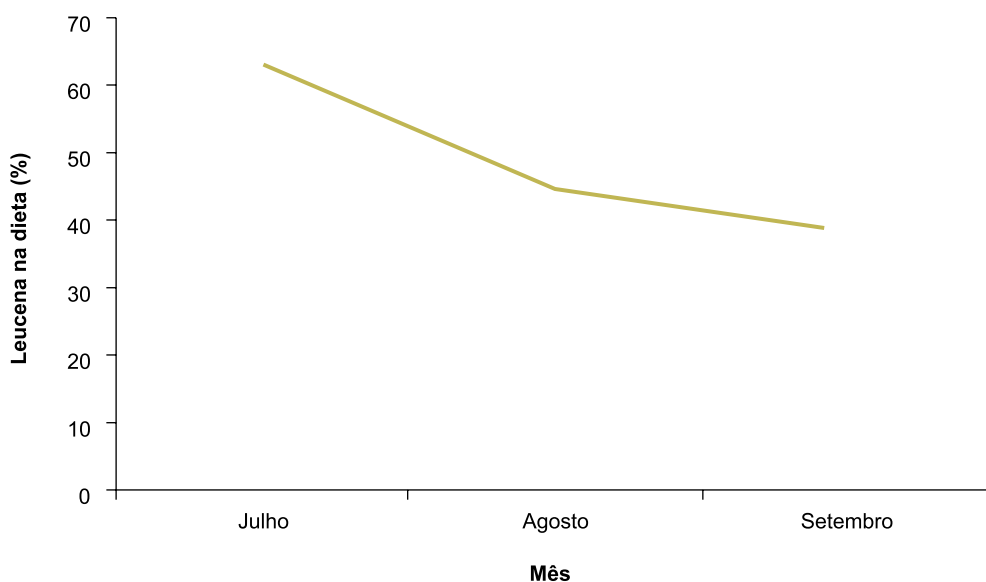
## Uso da leucena

A leucena é uma leguminosa arbustiva com potencial forrageiro e capacidade de produzir, a baixo custo, elevadas quantidades de proteína para serem empregadas na alimentação animal. Jones (1979) descreve a leucena como uma leguminosa de porte arbustivo a arbóreo, boa produtora de massa verde e sementes e não tolerante a solos ácidos com teores elevados de alumínio tóxico. Tergas e Urrea (1985) também observaram que a leucena tem crescimento reduzido em Latossolos ácidos com altos conteúdos de alumínio trocável. Segundo Wildin (1983), a leucena é uma planta que se estabelece lentamente no campo, principalmente na primeira fase depois

da germinação, por apresentar uma baixa competição com plantas invasoras. Com o objetivo de contornar essa baixa competição, Rosolem et al. (1985) estudaram o emprego de herbicida trifluralina para uso em área exclusiva de leucena. O herbicida causou redução do número de nódulos apenas nos estádios iniciais do desenvolvimento da leguminosa.

No que se refere à produtividade de matéria seca e de proteína bruta, a literatura relata rendimentos de matéria seca com variações de 6 t ha<sup>-1</sup> a 14 t ha<sup>-1</sup> ao ano, enquanto os teores de proteína bruta variaram de 15% a 30%.

Quando comparada a outras plantas forrageiras, a leucena tem teor mais elevado de mimosina, o que pode provocar distúrbios fisiológicos e toxidez aos animais. Tangendjaja et al. (1986) analisaram folhas de leucena e encontraram 45 g kg<sup>-1</sup> de mimosina em matéria seca de folhas novas e 2 g kg<sup>-1</sup> em folhas com 10 semanas de idade. Cortes frequentes em plantas de leucena aumentaram a quantidade de folhas novas; em consequência disso, elevou-se o nível de mimosina nessa forrageira. Conforme Wildin (1983), dieta com menos de 30% (peso seco) de leucena não acarretam efeitos tóxicos, o que pode ocorrer apenas com dieta com mais de 50% da leguminosa, e por período superior a 6 meses. A participação da leucena na dieta selecionada por bovinos em pastejo é elevada, com registro de 65% do total da matéria seca ingerida (Lourenço et al., 1992b) (Figura 2). Os autores relatam que os bovinos não apresentaram qualquer sintoma externo de toxidez decorrente da mimosina. Por sua vez, a folha da leucena apresenta uma característica valiosa, que é a presença do betacaroteno, o qual permite que as folhas verdes se conservem durante o período da seca. Outra característica favorável é sua digestibilidade, que varia entre 50% a 71%.



**Figura 2.** Participação da leucena como banco de proteína na dieta selecionada pelos bovinos (valores médios de 3 anos).

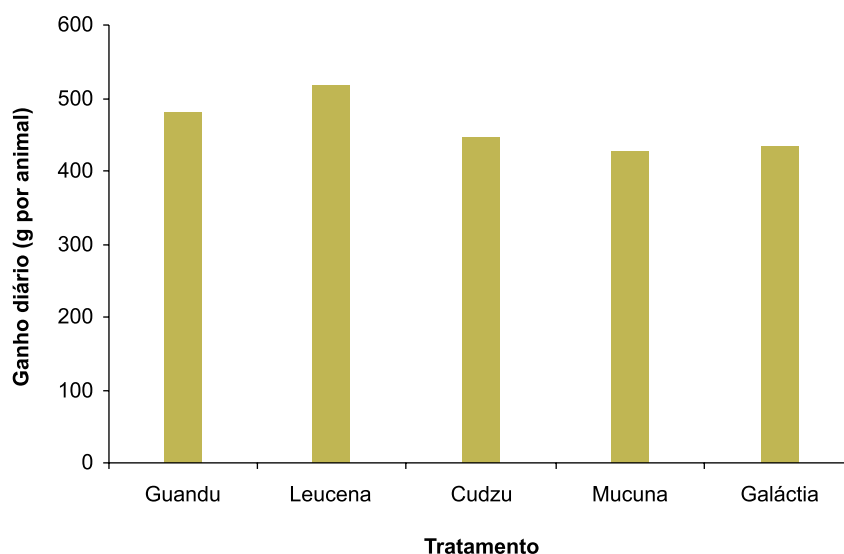
Fonte: Adaptado de Lourenço et al. (1992b).

Sanchez et al. (1986) desenvolveram, no México, um experimento para avaliar o potencial de produção de carne em pastagens de capim-estrela (*Rhynchospora speciosa*), associado com leucina, durante 393 dias. A taxa de lotação utilizada foi de quatro bezerros por hectare, no pasto de capim-estrela + leucena e de dois animais por hectare no pasto exclusivo de capim-estrela. O ganho de peso vivo diário foi maior na associação de gramínea + leguminosa do que no pasto exclusivo de gramínea (460 g e 269 g por animal por dia).

Em Fiji, Partridge e Rawacon (1974) estudaram o efeito de áreas suplementares de leucena no ganho de peso de novilhos. Os piquetes com o capim *Dichathium caricosum*, nos quais 0%, 10% e 20% da área foi plantada com leucena adubada, foram pastejados com lotação de 1,5 cabeça por hectare. Os ganhos diários de peso vivo, para um período de 3,5 anos, foram de 215 g no pasto de capim exclusivo, 300 g com 10% de leucena no pasto e 500 g com 20%.

Lourenço et al. (1992a) conduziram um trabalho experimental para avaliar o desempenho animal. Para tanto, utilizaram cinco diferentes leguminosas como banco de proteína em pastagem de *P. maximum* 'IZ-1', durante um período de 3 anos consecutivos (Figura 3). A média de ganho diário de peso vivo dos animais com acesso ao banco de proteína com leucena, de 518 g dia<sup>-1</sup> por animal, foi superior aos ganhos proporcionados por cudzu-tropical (*Pueraria phaseoloides*), mucuna-preta (*Mucuna aterrima*) e *Galactia striata* 'Yarana', mas semelhante aos ganhos por guandu. Registrou-se uma tendência em reduzir o ganho de peso vivo por animal do primeiro para o terceiro ano.

Em Cuba, Castillo et al. (1989) obtiveram ganhos de peso vivo de 360 g dia<sup>-1</sup> em pasto de guiné exclusivo e 530 g dia<sup>-1</sup> em pasto de guiné + leucena (30% da área), com uma taxa de lotação



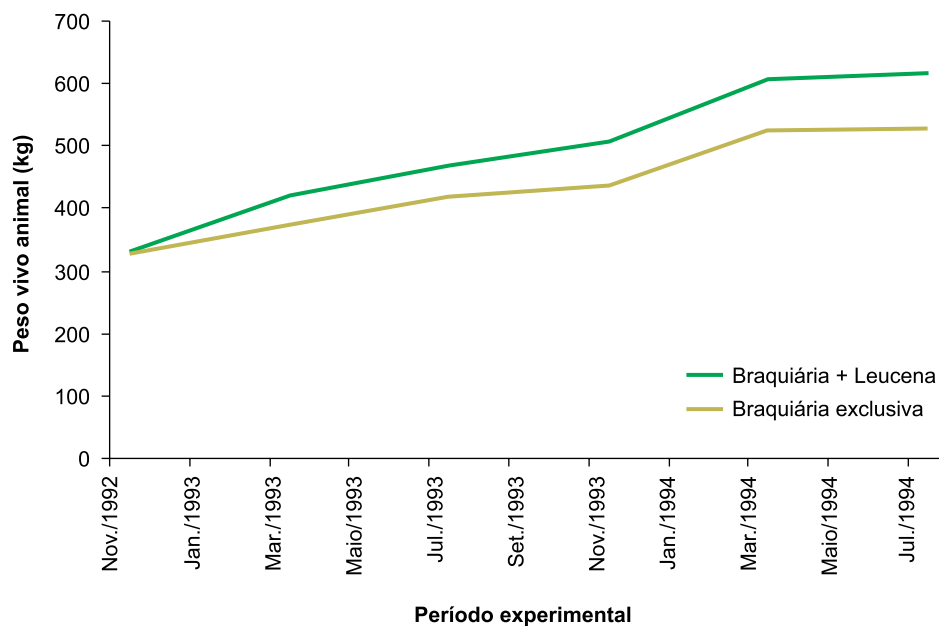
**Figura 3.** Ganho diário de massa em bovinos Nelore em pastagem de capim-colônião com banco de proteína composto, exclusivamente, de guandu, leucena, cudzu, mucuna-preta e galácia.

Fonte: Adaptado de Lourenço et al. (1992a).

de 2,3 animais por hectare, durante um período experimental de 496 dias. Essa diferença representou 51,4% a mais no ganho de peso vivo, o que pode estar associado ao alto teor proteico e à digestibilidade da leucena.

Em trabalho desenvolvido por Lourenço et al. (1996), os ganhos médios de peso, durante 608 dias, para os pastos exclusivos de *Urochloa* (Syn. *Brachiaria*) *brizantha* 'Marandu' (334 g dia<sup>-1</sup> por animal e 390 kg ha<sup>-1</sup> por período) foram menores do que nos pastos com leucena em banco de proteína ou em faixas, que foram, respectivamente, de 464 g dia<sup>-1</sup> por animal e 541 kg ha<sup>-1</sup> por período, e 457 g dia<sup>-1</sup> por animal e 535 kg ha<sup>-1</sup> por período. A leucena como banco de proteína representou 25% da área de cada piquete.

Observa-se, na Figura 4, que, durante o período experimental, as diferenças nos ganhos diários de peso vivo proporcionaram animais mais pesados no tratamento com braquiária + leucena, com 615 kg contra 528 kg de peso vivo, no pasto de braquiária exclusiva (Lourenço et al., 1996).



**Figura 4.** Evolução do peso de bovinos tratados com braquiária exclusiva e braquiária + leucena (*Urochloa* + *Leucaena leucocephala*), em Nova Odessa, SP.

Fonte: Adaptado de Lourenço et al. (1996).

## Uso de estilosantes

Zoby e Kornelius (1994), em trabalho executado na Embrapa Cerrados, compararam a pastagem nativa com o banco de proteína com estilosantes. Os autores verificaram que houve redução de 30 para 20 meses, na idade de cobertura das fêmeas. O melhor desempenho dos



animais ocorreu nas taxas de lotação de 4,7 ou 3,2 cabeças por hectare de pastagem nativa, suplementada com 0,3 ha de banco de proteína (Tabela 6).

**Tabela 6.** Massa inicial e final, ganho médio diário e ganho total de massa, idade com 250 kg e ganho de massa por hectare em fêmeas aneloradas em recria, com a utilização de banco de proteína com estilosantes ‘Bandeirantes’ e complementação de pastagem nativa, com diferentes taxas de lotação animal.

Parâmetro	Relação de área de pastagem nativa para cada 0,3 ha de banco de proteína para cada animal			
	5,0/teste <sup>(1)</sup>	4,7/0,3	3,2/0,3	1,7/0,3
Massa inicial (kg animal <sup>-1</sup> )	118	113	115	116
Massa final (kg animal <sup>-1</sup> )	261	379	368	336
Ganho médio diário (g animal <sup>-1</sup> )	0,196	0,365	0,347	0,302
Total de ganho de massa (g animal <sup>-1</sup> )	142	266	253	220
Idade das fêmeas aos 250 kg	30	20	25	26
Ganho de massa por hectare	14,3	26,6	36,1	55

<sup>(1)</sup>Teste = testemunha, sem banco de proteína.

Fonte: Adaptado de Zoby e Kornelius (1994).

## Silagem

### Girassol

O girassol (*Helianthus annuus* L.), espécie bem adaptada aos climas temperado, tropical e subtropical, é uma cultura que tem características próprias que a diferenciam das tradicionais culturas de verão e de inverno: apresenta maior resistência ao frio e ao calor do que a maioria das culturas, tolera baixas precipitações pluviométricas, exceto durante a germinação e o florescimento, e produz grande quantidade de matéria seca nessas condições. O menor ciclo de produção, aliado à alta eficiência na utilização de água disponível no solo e à tolerância à ampla faixa de temperaturas, é um fator que faz do girassol uma boa alternativa para a produção de silagem. As silagens oriundas do girassol têm bom teor proteico e, em virtude do alto teor de óleo, apresentam elevado valor energético; contudo, a fração fibrosa normalmente apresenta maior proporção de lignina e menor digestibilidade do que as silagens de milho e de sorgo (*Sorghum vulgare* L.).

A produtividade de forragem de algumas cultivares de girassol está apresentada na Tabela 7, na qual são mostradas algumas características fermentativas das silagens. A produtividade varia conforme a cultivar; no entanto, segundo Evangelista e Lima (2001), a produção de matéria seca do girassol também é influenciada pela densidade de semeadura e pelo estágio de desenvolvimento fisiológico. Geralmente se observa aumento na produção de matéria seca dessa espécie quando ela é semeada em elevadas densidades.

**Tabela 7.** Produtividade (t ha<sup>-1</sup>) de forragem de algumas cultivares de girassol.

Cultivar	Matéria verde	Matéria seca
AS 2483 <sup>2</sup>	26,3	7,0
AS 603 <sup>2</sup>	23,9	5,8
Cargill 11 <sup>2</sup>	12,8	4,7
Contiflor 3 <sup>2</sup>	26,4	6,8
Contiflor 7 <sup>2</sup>	15,6	6,0
DK 180 <sup>2</sup>	19,2	5,3
M 734 <sup>2</sup>	22,1	6,4
M 737 <sup>2</sup>	29,1	6,7
M 738 <sup>2</sup>	17,9	5,6
M 742 <sup>2</sup>	24,7	6,5
Rumbosol 90 <sup>2</sup>	15,9	5,2
Rumbosol 91 <sup>2</sup>	29,1	7,7
V 2000 <sup>2</sup>	12,8	3,6
M92007 <sup>1</sup>	-	11,3
DK 4040 <sup>1</sup>	-	8,9
C - 11 <sup>1</sup>	-	8,9
<b>Média</b>	<b>21,2</b>	<b>6,7</b>

Fonte: Adaptado de Rezende (2001)<sup>1</sup> e Tomich (1999)<sup>2</sup>.

Os valores de pH (Tabela 8) das silagens de girassol podem ser considerados altos, quando comparados aos das silagens de milho e de sorgo, o que pode estar relacionado com o elevado teor proteico dessa espécie. Os teores de N amoniacal, cujo valor médio foi inferior a 10%, indicam a não ocorrência de degradação excessiva da proteína bruta durante o processo fermentativo. A DIVMS, com valor médio de 50,23%, pode ser incluída no mesmo patamar das silagens de gramíneas tropicais. Por sua vez, os teores de ácido lático (média de 7,1%) são adequados para se alcançar uma fermentação desejável.

As silagens de girassol geralmente apresentam teores mais elevados de proteína bruta, minerais e extrato etéreo, do que as silagens de milho e sorgo (Tabela 9). Dessa forma, quando usadas em dietas balanceadas, poderão reduzir o custo com suplementação de proteína bruta e minerais, uma vez que o nutriente, suprido aos animais pelo girassol, poderá ser reduzido no concentrado ou na mistura mineral.

## Valor nutritivo e desempenho de animais alimentados com silagem de girassol

O consumo, a digestibilidade e a eficiência na utilização dos nutrientes da silagem são parâmetros que retratam o valor nutritivo do girassol. Um dos principais critérios utilizados para

**Tabela 8.** Valores de pH, teores de nitrogênio amoniacal como porcentagem do nitrogênio total (N-NH<sub>3</sub>), digestibilidade in vitro da matéria seca (DIVMS) e ácidos orgânicos nas silagens de algumas cultivares de girassol.

Cultivar	pH	N-NH <sub>3</sub>	DIVMS	Ácidos orgânicos	
				Ácido lático	Ácido butírico
(% MS)					
AS 2483 <sup>2</sup>	4,47	10,04	47,09	7,78	0,00
AS 603 <sup>2</sup>	4,37	7,97	51,13	9,65	0,00
Cargill 11 <sup>2</sup>	5,50	9,20	48,96	4,97	0,00
Contiflor 3 <sup>2</sup>	4,50	8,11	48,90	8,41	0,00
Contiflor 7 <sup>2</sup>	5,30	8,33	46,91	2,77	0,00
DK 180 <sup>2</sup>	4,53	6,80	49,66	7,88	0,05
M 734 <sup>2</sup>	4,53	7,25	51,43	5,50	0,00
M 737 <sup>2</sup>	4,07	8,51	56,68	12,04	0,00
M 738 <sup>2</sup>	4,53	7,50	49,38	7,40	0,09
M 742 <sup>2</sup>	4,37	8,96	51,45	7,53	0,00
Rumbosol 90 <sup>2</sup>	5,17	10,14	48,59	4,60	0,23
Rumbosol 91 <sup>2</sup>	4,13	5,89	47,89	7,99	0,00
V 2000 <sup>2</sup>	5,23	14,62	48,86	5,33	0,28
M92007 <sup>1</sup>	4,69	-	48,18	-	-
DK 4040 <sup>1</sup>	4,67	-	55,32	-	-
C - 11 <sup>1</sup>	4,80	-	53,23	-	-
<b>Média</b>	<b>4,70</b>	<b>8,70</b>	<b>50,23</b>	<b>7,1</b>	<b>0,05</b>

Fonte: Adaptado de Rezende (2001)<sup>1</sup> e Tomich (1999)<sup>2</sup>.

**Tabela 9.** Algumas características bromatológicas das silagens de girassol, milho e sorgo.

Parâmetro	Girassol	Milho	Sorgo
	% na matéria seca		
Proteína bruta	11,6	8,6	8,2
Fibra em detergente neutro	46,6	57,2	50,2
Fibra em detergente ácido	35,5	31,0	27,3
Hemicelulose	7,1	24,1	22,9
Lignina	9,0	6,1	-
Extrato etéreo	11,8	2,6	1,4
Matéria mineral	12,4	5,2	-
Cálcio	1,39	0,52	-
Fósforo	0,26	0,15	-
<b>DIVMS<sup>(1)</sup></b>	<b>50,42</b>	<b>67,92</b>	<b>61,82</b>

<sup>(1)</sup> DIVMS = Digestibilidade in vitro da matéria seca.

Fonte: Adaptado de Almeida et al. (1995), Henrique et al. (1998a, 1998b) e Valdez et al. (1988a, 1988b).

avaliar a qualidade e o valor nutritivo da silagem é o desempenho animal. Na Tabela 10, podem-se observar os valores relativos ao consumo e à digestibilidade de silagens de girassol.

**Tabela 10.** Valores médios de consumo de matéria seca, digestibilidade aparente da matéria seca e consumo de matéria seca digestível das silagens de girassol.

Parâmetro	Valor médio
Consumo de matéria seca (g dia <sup>-1</sup> )	1.103,3
Consumo de matéria seca (g dia <sup>-1</sup> de UTM) <sup>(1)</sup>	69,0
Digestibilidade aparente da matéria seca (%)	51,6
Consumo de matéria seca digestível (g dia <sup>-1</sup> de UTM)	36,0

<sup>(1)</sup>UTM = unidade de tamanho metabólico.

Fonte: Adaptado de Teixeira et al. (2007).

Em estudos com vacas em lactação, nos quais se comparou a silagem de girassol com as silagens de outras espécies forrageiras, observaram-se produções semelhantes para os grupos de vacas alimentadas com silagem de girassol, silagem de milho ou silagem de alfafa (*Medicago sativa* L.) (Tabela 11). Para bovinos de corte, observou-se também que os animais alimentados com silagem de girassol tiveram o mesmo desempenho dos animais alimentados com silagem de alfafa (Tabela 12).

**Tabela 11.** Produtividade e composição do leite de vacas alimentadas com silagem de girassol ou de outras espécies forrageiras.

Silagem	Produtividade de leite (kg dia <sup>-1</sup> por animal)	Teor de gordura no leite (%)	Teor de proteína do leite (%)
Alfafa <sup>2</sup>	17,5	3,6a	3,0
Girassol <sup>2</sup>	17,7	3,2b	2,9
Milho <sup>1</sup>	13,6	4,5	-
Girassol <sup>1</sup>	15,8	4,4	-
Milho <sup>3</sup>	29,3b	3,4a	3,0
Girassol <sup>3</sup>	30,0ab	3,0b	3,0
Girassol + milho <sup>3</sup>	30,1 <sup>a</sup>	3,3a	3,0

Médias referentes ao mesmo autor, com letras diferentes, na mesma coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Fonte: Adaptado de Hubbel et al. (1985)<sup>1</sup>, Thomas et al. (1982)<sup>2</sup> e Valdez et al. (1988a)<sup>3</sup>.

Almeida (1992) comparou a silagem de girassol com as silagens de sorgo e de milho por meio do consumo voluntário, da digestibilidade aparente, do balanço de N e de alguns parâmetros sanguíneos (Tabela 13). A silagem de girassol não diferiu da silagem de milho quanto ao consumo de matéria seca, à energia bruta e à energia digestível, mas foi superior à silagem de milho em relação ao consumo de proteína bruta e de proteína digestível. Com relação à silagem de sorgo, a silagem de girassol foi superior em todos os parâmetros avaliados; o maior consumo

de proteína bruta e de proteína digestível observado para a silagem de girassol certamente está associado ao maior teor de proteína bruta, ou seja, 11,7% para a silagem de girassol, 8,9% para a silagem de sorgo e 8,65% para a silagem de milho.

**Tabela 12.** Desempenho de novilhos alimentados com dietas baseadas em silagens de alfafa ou de girassol.

Parâmetro	Silagem	
	Alfafa	Girassol
Número de novilhos	12	12
Peso inicial (kg)	276,8	278,9
Peso final (kg)	347,2	351,2
Ganho diário (kg)	1,16	1,20
Consumo de matéria seca (kg dia <sup>-1</sup> por animal)	6,60	7,07
Conversão alimentar (kg MS por kg de ganho)	5,72	5,84

Fonte: Adaptado de Thomas et al. (1982).

**Tabela 13.** Consumo voluntário, digestibilidade, balanço de nitrogênio e parâmetros sanguíneos observados em ovinos alimentados com silagens de girassol, sorgo ou milho.

Alimento	Silagem		
	Girassol	Sorgo	Milho
<b>Consumo voluntário (g de UTM dia<sup>-1</sup>)<sup>(1)</sup></b>			
Matéria seca	61,00a	56,73b	61,03a
Proteína bruta	7,07a	4,76b	5,08b
Proteína digestível	4,43a	2,79b	2,75b
Energia bruta	298,64a	279,28b	297,92a
Energia digestível	198,89a	178,34b	199,72a
<b>Digestibilidade aparente (%)</b>			
Matéria seca	63,11b	63,53b	65,88a
Proteína bruta	62,69a	58,51b	53,02c
Fibra em detergente neutro	61,98b	67,68a	66,95a
Fibra em detergente ácido	56,26a	46,89b	53,97b
Energia bruta	66,65ab	65,90b	67,43a
<b>Balanço de nitrogênio (g de UTM dia<sup>-1</sup>)</b>			
	4,82 a	3,04 b	3,46 b
<b>Parâmetros sanguíneos (mg por 100 mL)</b>			
Glicose	57,49	57,62	57,57
Ureia	21,66	18,15	19,43

<sup>(1)</sup>UTM = unidade de tamanho metabólico.

Médias com letras diferentes, na linha, diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Fonte: Adaptado de Almeida (1992).

A silagem de girassol propiciou maiores valores para digestibilidade da proteína bruta e da fibra em detergente ácido. Os animais que receberam silagem de girassol tiveram maior quantidade de N retido, o que pode ser explicado pelo maior consumo de proteína bruta e pelo maior valor energético da silagem de girassol, ou seja, pela energia metabolizável de 2.548,19 kcal kg<sup>-1</sup>, em comparação com as silagens de sorgo (2.226,18 kcal kg<sup>-1</sup>) e de milho (2.390,23 kcal kg<sup>-1</sup>). O maior teor proteico da silagem de girassol, em relação às demais, é outra justificativa para a maior retenção de N observada, uma vez que a eficiência de utilização da proteína pode ser aumentada pelo suprimento de energia.

Ribeiro et al. (2001) compararam silagens de girassol, sorgo e milho fornecidas a ovinos confinados e observaram que o uso da silagem de girassol como fonte única de volumoso pode ser ótima opção para a engorda de ovinos, pelo fato de ser superior às silagens de milho e de sorgo, visto que é possível obter maiores rendimentos de abate e de carcaça (Tabela 14).

**Tabela 14.** Peso de abate e de carcaça e porcentagem dos componentes do peso vivo para ovelhas confinadas que receberam silagens de girassol, sorgo ou milho.

Parâmetro	Silagem		
	Girassol	Sorgo	Milho
Peso de abate (kg)	59,44	49,28	53,46
Carcaça quente (kg)	31,56	23,70	27,76
Carcaça quente (%)	53,14	48,13	46,36
Pele (%)	5,96	5,85	5,80
Cabeça (%)	4,45	4,96	5,06
Canela-patas (%)	1,65	1,92	1,99
Aparelho digestivo (%)	6,68	7,75	7,70
Gordura cavitária (%)	6,09	4,64	4,97
Rins (%)	0,24	0,23	0,59
Coração (%)	0,38	0,38	0,44
Pulmão-traqueia (%)	1,21	1,15	1,39
Fígado (%)	1,87	1,46	1,47
Baço (%)	0,18	0,15	0,26

Fonte: Adaptado de Ribeiro et al. (2001).

## Uso de forrageiras de inverno na produção animal

A capacidade de os ruminantes obterem energia e proteína de modo eficiente depende, entre outros fatores, de uma pastagem bem formada e bem manejada, tanto no que se refere a espécies tropicais quanto a espécies temperadas. Porém, como a produção de forragem oriunda das espécies tropicais fica comprometida na época seca e sob baixas temperaturas, uma alternativa para preencher essa lacuna é utilizar espécies de clima temperado.

As gramíneas de clima temperado apresentam vários empregos, podendo ser utilizadas tanto para corte quanto para fornecimento no cocho, em pastejo, sob lotação contínua ou rotacionada. Também é possível armazená-las nas formas de feno ou silagem. Uma das vantagens da sua utilização é a qualidade das forrageiras, bem superior às das espécies tropicais. Essa superioridade se deve à sua maior digestibilidade, principalmente das folhas, que são facilmente degradadas do rúmen.

Várias gramíneas temperadas podem ser utilizadas durante o período outono/inverno para reduzir o déficit de volumoso, que é comum nessa época do ano (Tabela 15). Essas gramíneas podem ser cultivadas isoladamente ou em consórcio. Seu cultivo deve ser incentivado para que o setor pecuário tenha mais uma alternativa de suplementação volumosa de boa qualidade na época de baixas temperaturas, dando, assim, sustentação ao sistema produtivo.

**Tabela 15.** Principais gramíneas forrageiras de inverno cultivadas no Brasil.

Nome científico	Nome comum
<i>Avena strigosa</i>	Aveia-preta
<i>Avena byzantina</i>	Aveia-amarela
<i>Avena sativa</i>	Aveia-branca
<i>Lolium multiflorum</i>	Azevém
<i>Secale cereale</i>	Centeio
<i>X triticosecale</i>	Triticale

Fonte: Adaptado de Moraes e Lustosa (1999).

## Aveia

A aveia (*Avena* sp.) é uma excelente alternativa para cultivo na entressafra, pois aproveita o preparo do solo que foi feito para o cultivo dos cereais. A variedade mais recomendada como forrageira é a aveia-preta, indicada pelos seguintes aspectos: rusticidade, abundante perfilhamento, colmos finos, macios e flexíveis, resistência a doenças, relativa tolerância a solos ácidos e de baixa fertilidade e crescimento rápido. Nesse sentido, vale ressaltar que, dentro de um sistema de produção, a precocidade é uma importante característica, pois permite rápida desocupação da área para o cultivo de outras espécies. Além disso, essa espécie proporciona forragem tenra, palatável e nutritiva para animais de qualquer idade. A época de semeadura da aveia para a produção de forragem deve ser de abril a maio. Para a produção de grãos, pode ser semeada de março até junho; quanto mais cedo melhor, pois aproveita as últimas chuvas. Além disso, com a semeadura tardia, há riscos de redução na produção de grãos, visto que o fotoperíodo pode induzir o florescimento antes de a planta ter completado o desenvolvimento vegetativo.



A aveia-preta é cultivada para a produção de forragem nas regiões Sudeste e Sul, graças, principalmente, ao seu alto rendimento de forragem (de 30 t ha<sup>-1</sup> a 35 t ha<sup>-1</sup> de massa verde), ao bom valor nutritivo, à resistência ao pisoteio e ao fato de ser muito apreciada pelos animais. É a espécie de adubo verde de inverno mais cultivada em condições de clima subtropical.

Genótipos de aveia-branca forrageira apresentam rendimentos iguais ou superiores aos da aveia-preta, além de apresentarem resistência a doenças e ao pisoteio, e produção de forragem mais estável ao longo do período de crescimento. Comparada à aveia-preta, as aveias branca e amarela apresentam maior rendimento no segundo pastejo, uma vez que, com o primeiro pastejo, ocorre quebra da dominância apical, o que permite o aumento do número de perfilhos. Já a aveia-preta apresenta comportamento inverso, ou seja, tem um rápido crescimento inicial e permite altos rendimentos no primeiro pastejo, e redução da produção nos ciclos seguintes.

Vale ressaltar ainda que as aveias são muito mais utilizadas do que o azevém em áreas de integração lavoura-pecuária, pelo fato de seu ciclo de produção ser mais precoce, não interferindo, assim, no cultivo dos cereais de verão.

## Azevém

O azevém (*Lolium multiflorum*) é uma gramínea anual, cespitosa, que possui folhas finas e tenras, e pode atingir até 1,2 m de altura. Essa forrageira consagrou-se como uma grande opção de pastagem de inverno no Sul do País, graças a vários fatores: facilidade de ressemeadura natural, resistência a doenças, produção de sementes e versatilidade em associações com outras gramíneas e com leguminosas. É rústica, agressiva e apresenta grande perfilhamento. Tem produção de forragem mais tardia do que a aveia. Sua maior produção ocorre nos meses de agosto e setembro, podendo chegar a produzir 70% de forragem nesse período.

O azevém tem baixa resistência ao calor, mas é muito bem adaptado a baixas temperaturas. Desenvolve-se somente durante o inverno e a primavera. Prefere os solos argilosos, mas desenvolve-se bem em qualquer tipo de solo, desde que tenha boa fertilidade e umidade. Apresenta bom desenvolvimento em solos ácidos e com umidade excessiva. A época de plantio é entre os meses de março e abril, e são necessários de 25 kg a 30 kg de sementes por hectare. O tempo de formação da pastagem é de 90 a 120 dias, e o primeiro pastejo deve ser feito quando as plantas atingirem 75 cm de altura. A produção média de forragem do azevém é de 35 t ha<sup>-1</sup> de massa verde, com teor proteico de 23% a 24%, e tem ótima aceitabilidade pelos animais.

## Centeio

O centeio (*Secale cereale*) destaca-se pelo crescimento inicial vigoroso, pela rusticidade e pela resistência ao frio, à seca e à acidez do solo. Adapta-se bem a solos pobres, especialmente os arenosos, e possui sistema radicular profundo e abundante, característica que lhe permite

absorver água e nutrientes indisponíveis a outras espécies. Essas características, em especial a capacidade de produzir excelente volume de forragem verde palatável, permitem o uso de centeio em sistemas integrados de manejo, rotação, preservação e produção, ajudando, assim, a diversificar e economizar.

A aceitabilidade do centeio é muito boa. É recomendável consorciá-lo com outras forrageiras verdes, pois a adaptação a temperaturas baixas e o rápido crescimento vegetativo tornam o centeio uma ótima opção de cultivo, principalmente quando usado com outras gramíneas e leguminosas de inverno. No caso de colheita precoce de culturas de verão, o centeio pode ser considerado uma opção de cultivo subsequente se a semeadura for realizada próximo ao fim de março, em regiões subtropicais.

Os grãos de centeio possuem valor energético semelhante ao de outros cereais de inverno, com valor nutritivo em torno de 85% a 90% do grão de milho; e contém mais proteína e nutrientes digestíveis do que os encontrados na aveia ou na cevada (*Hordeum vulgare*).

Para a produção de forragem, a semeadura deve ser feita de março a maio, nas regiões Sul e Sudeste do Brasil, e são necessários 70 kg de sementes por hectare.

## Triticale

O triticale (*X Triticosecale*) é obtido pelo cruzamento artificial do trigo com o centeio e tem hábito de crescimento semiprostrado. É tolerante ao déficit hídrico e apresenta grande vigor vegetativo. Destaca-se pela sua rusticidade, em razão da resistência a doenças foliares e à acidez do solo, pelo grande potencial de adaptação às condições brasileiras e pelos rendimentos de biomassa e produção animal, principalmente na formação de pastagem em mistura com o azevém. Dependendo da fertilidade do solo, as plantas podem atingir de 1,0 m a 1,2 m de altura.

A época de semeadura do triticale é de março a abril, com espaçamento de 20 cm entre linhas. Recomenda-se o emprego de 80 sementes viáveis por metro linear de sulco, o equivalente a 400 sementes por metro quadrado.

Na Tabela 16, apresenta-se o rendimento de matéria seca ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) de algumas forrageiras de inverno cultivadas com duplo propósito (forragem/grão) e submetidas a um e a dois cortes. Na Tabela 17, são apresentadas algumas características bromatológicas da aveia, do centeio e do triticale.

O efeito do pastejo restrito em aveia-preta (cultivar São Carlos de *Avena byzantina* K. Koch) sobre a produção de leite de vacas mestiças Holandês-Zebu foi estudado por Rodrigues e Godoy (2000), que avaliaram dois tratamentos: pastejo restrito em aveia (três horas por dia mais 10 kg de silagem de milho) e silagem de milho à vontade, como único volumoso. Todos os animais receberam 5,0 kg de concentrado animal por dia, com 19% de proteína bruta e 75% de nutrientes

digestíveis totais. Não houve diferença entre os tratamentos na produção média de leite, e os animais que pastejaram aveia tiveram maior ganho de peso (Tabela 18).

**Tabela 16.** Rendimento de matéria seca ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) de algumas forrageiras de inverno cultivadas com duplo propósito (forragens e/ou grãos).

Gramínea	Primeiro corte	Segundo corte	Total
Aveia-branca ( <i>Avena sativa</i> )	1.160,6	2.166,0	3.326,6
Aveia-preta ( <i>Avena strigosa</i> )	1.190,8	1.298,5	2.489,3
Centeio ( <i>Secale cereale</i> )	1.970,8	767,8	2.738,6
Triticale ( <i>X triticosecale</i> )	1.276,6	1.886,2	3.162,8

Fonte: Adaptado de Bertolini et al. (2004).

**Tabela 17.** Algumas características bromatológicas da aveia, do azevém e do triticale.

Característica	Aveia	Azevém	Triticale
Proteína bruta (%)	16,8	17,1	14,4
Fibra em detergente neutro (%)	60,7	-	65,3
Fibra em detergente ácido (%)	35,6	-	37,8
Celulose (%)	30,6	-	32,7
Lignina (%)	4,4	-	4,3
Matéria mineral (%)	7,3	14,0	6,5
Extrativo não nitrogenado (%)	29,8	32,2	-
Digestibilidade in vitro da matéria seca (%)	66,7	-	71,0
Cálcio ( $\text{g kg}^{-1}$ )	4,4	8,2	-
Fósforo ( $\text{g kg}^{-1}$ )	2,4	3,7	-

As misturas das espécies anuais de inverno visam combinar os picos de produção de matéria seca atingidos em diferentes épocas, de acordo com a espécie, resultando em aumento da produção e do período de utilização da pastagem. As aveias tendem a concentrar grande parte de sua produção no primeiro crescimento (outono), enquanto o azevém apresenta produção em época mais tardia.

**Tabela 18.** Produtividade de leite e ganho de massa de vacas mestiças submetidas ao pastejo restrito em aveia-preta (*Avena byzantina*) e silagem de milho.

Parâmetro	Pastejo restrito	Silagem de milho
Produtividade de leite ( $\text{kg dia}^{-1}$ por animal)	14,60a	13,30a
Ganho de massa ( $\text{kg dia}^{-1}$ por animal)	0,53a	0,25b

Médias com letras diferentes, na linha, diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Fonte: Adaptado de Rodrigues e Godoy (2000).

É importante ressaltar que o cultivo da aveia e do azevém na região central do Brasil tem permitido a obtenção de forragem de alta qualidade durante o inverno e proporcionado boa produtividade animal nessa época. Porém, para se obterem boas produções de forragem na época seca e sob baixas temperaturas, o cultivo deverá ser feito em solos com boa fertilidade e com condições adequadas para irrigação.

Pesquisas com aveia-preta mais azevém, em pastejo, demonstram o elevado potencial de produção de forragem e o valor nutritivo dessas espécies, com maior potencial de acumulação de massa de forragem durante a primavera (Tabela 19). Essas forrageiras de inverno mantêm, durante o período de crescimento vegetativo, excelentes qualidades nutricionais (Tabela 20), o que resulta em bons índices de desempenho animal sob regime de pastejo no período crítico de pastagens. Na Tabela 21, pode-se observar o ganho por animal por dia e o ganho por área de animais mantidos em pastagens mistas, formadas com gramíneas temperadas.

**Tabela 19.** Produtividade de forragem seca e verde de pastagem de aveia-preta + azevém consumida por novilhos de corte em diferentes períodos, no inverno/primavera.

Produção (kg ha <sup>-1</sup> )	Período					Média
	13/7–4/8	5/8–23/8	24/8–13/9	14/9–4/10	5/10–1/11	
Matéria seca	1.173,0b	1.190,0b	1.336,7b	2.112,7a	2.126,4a	1.587,8
Forragem verde	1.079,4b	935,3b	1.074,6b	1.676,6a	1.448,2a	1.248,8

Médias com letras diferentes, na linha, diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Fonte: Adaptado de Freitas et al. (2005).

**Tabela 20.** Teor de proteína bruta (PB), digestibilidade in vitro da matéria orgânica (DIVMO), nutrientes digestíveis totais (NDT) e fibra em detergente neutro (FDN) de forragem de aveia-preta + azevém consumida por novilhos de corte em diferentes períodos, no inverno/primavera.

Período	PB	DIVMO	NDT	FDN
13/7–4/8	26,3	60,0	54,0	31,4
5/8–23/8	26,6	61,4	56,0	41,9
24/8–13/9	32,3	64,0	58,2	38,8
14/9–4/10	22,5	69,7	63,6	41,4
5/10–1/11	12,8	61,4	57,2	54,4
<b>Média</b>	<b>24,1</b>	<b>63,3</b>	<b>57,8</b>	<b>41,6</b>

Fonte: Adaptado de Freitas et al. (2005).

Rodrigues et al. (1995) observaram que, com duas horas e trinta minutos de pastejo em aveia mais azevém, foi possível obter um ganho diário de 1,26 kg em novilhos alimentados com cana-de-açúcar e concentrado, e 0,90 kg em animais que não tiveram acesso à pastagem mista de aveia mais azevém, o que indica que a inclusão do pastejo em forrageira de inverno, embora por um curto período diário de pastejo, contribui para a obtenção de nível elevado de produção animal.

**Tabela 21.** Ganho de massa por animal por dia e por área de animais mantidos em pastagens mistas de inverno.

Pastagem	(g dia <sup>-1</sup> por animal)	(kg ha <sup>-1</sup> )	Fonte
Aveia-preta + azevém + trevo-vesiculoso	0,70	495,0	Quadros e Maraschin (1987)
Azevém + trevo-branco + cornichão	1,02	531,0	Quadros e Maraschin (1987)
Azevém + trevo-vesiculoso	0,88	602,0	Quadros e Maraschin (1987)
Aveia-preta + centeio	-	87,0	Formigheri et al. (1994)
Cevada-forrageira	-	154,0	Formigheri et al. (1994)
Aveia-preta	-	159,0	Formigheri et al. (1994)
Trevo-branco + aveia-preta + azevém	-	341,0	Formigheri et al. (1994)
Aveia + azevém	0,68	726,0	Roso e Restle (1998)
Triticale + azevém	0,80	1.153,0	Roso e Restle (1998)
Centeio + azevém	0,77	1.074,0	Roso e Restle (1998)
Azevém	0,76	317,0	Silva et al. (1998)
Azevém + trevo-vesiculoso	0,57	204,0	Silva et al. (1998)
Azevém + trevo-vesiculoso + cornichão	0,67	171,0	Silva et al. (1998)
Azevém + trevo-vermelho	0,85	206,0	Silva et al. (1998)

## Formas de minimizar o impacto ambiental e produtivo do gás metano na produção animal

Os ruminantes são apontados erroneamente como os grandes vilões que contribuem para o aquecimento global e a deterioração da camada de ozônio. Do processo de ruminação – característica dos animais com estômago compartimentado, tais como bovinos, caprinos e ovinos –, resulta a produção de gases que são liberados para a atmosfera, entre eles o gás carbônico (CO<sub>2</sub>) e o metano (CH<sub>4</sub>). Quando os ruminantes eructam, liberam o metano, um gás que é, em relação ao efeito estufa, 23 vezes mais nocivo que o dióxido de carbono; em média, um boi libera de 50 kg a 60 kg de metano por ano (Paulino; Teixeira, 2009). Esse valor corresponde a aproximadamente 30 g por dia. Os bovinos são responsáveis por 10% a 15% das emissões globais de metano, o qual representa de 20% a 25% das emissões totais de gases de efeito estufa. Calcula-se, portanto, que o ruminante contribua com apenas 3% a 5% dessas emissões (Paulino; Teixeira, 2009).

O controle da dieta alimentar dos animais pode minimizar a produção de metano e reduzir as perdas energéticas do animal. O sistema de produção animal com maior sustentabilidade provê alimento de melhor qualidade, com consumo e taxa de passagem mais elevados, aspectos relacionados com menores emissões de metano por quilograma de matéria seca ingerida (Zotti; Paulino, 2009). Em países tropicais, onde os ruminantes são alimentados com dietas de baixa qualidade (pouca digestibilidade e baixo teor de nutrientes: proteína e carboidratos solúveis), as

emissões de  $\text{CH}_4$  por ano são de, em média, 55 kg por animal. Por sua vez, em países mais desenvolvidos, em que frequentemente os animais são alimentados com dietas de melhor qualidade, tais emissões são menores – 33 kg de  $\text{CH}_4$  por ano por animal (Kinsman et al., 1995). As leguminosas com altos níveis de proteína e menores porcentagens de fibra têm comportamento similar ao da adição de um concentrado a uma dieta de baixa qualidade, o que reduz a emissão de metano.

Presume-se que a produção mais alta de metano em forrageiras tropicais esteja relacionada aos altos níveis de fibra e de lignina, bem como a baixos níveis de carboidratos solúveis e sua baixa digestibilidade. A magnitude da emissão do metano varia conforme a espécie forrageira oferecida na dieta. Sabe-se que, com o aumento da idade da planta, os conteúdos de material lignocelulósico aumentam a emissão de metano. Assim, as leguminosas mantêm, durante o ano, seu valor nutritivo de modo mais estável do que as gramíneas forrageiras, o que resulta em eficiência mais elevada no uso dos nutrientes no ambiente ruminal.

Benchaar et al. (2001) utilizaram modelagem matemática para avaliar a eficiência de diferentes estratégias nutricionais, para reduzir a produção de  $\text{CH}_4$ . Os autores constataram que o aumento do consumo de matéria seca e da proporção de concentrado na dieta reduz a produção de  $\text{CH}_4$  de 7% a 40%; a produção de  $\text{CH}_4$  também diminuiu (22%) com a substituição de alimento fibroso por alimentos com maiores teores de amido e com a utilização de menos amido degradável no rúmen (17%). A utilização de forragem mais digestível resultou em redução da produção de  $\text{CH}_4$  de 15% para 21%. A produção de  $\text{CH}_4$  foi menor com leguminosas forrageiras do que com gramíneas (28%) e com a silagem em comparação ao feno (20%).

Possenti (2006), trabalhando com altos níveis de leucena em dietas de bovinos, observou que a adição de 50% de leucena à dieta melhorou o padrão de fermentação ruminal, com aumento na produção de ácido propiônico e redução na emissão de metano.

Nos sistemas sustentáveis, o uso de leguminosas é uma boa opção para minimizar os efeitos ambientais das condições tropicais, caracterizadas pela baixa produtividade, pelas condições edáficas e pela disponibilidade de recursos alimentícios de boa qualidade.

## Considerações finais

A sustentabilidade da pecuária nacional deve fundamentar-se no uso de forrageiras de melhor qualidade nutricional. Entre as alternativas estratégicas figuram o manejo adequado e o uso de adubos verdes, que melhoram a fertilidade do solo e promovem um sistema de produção animal sustentável, com altos índices de produção. Ademais, por meio dessas práticas, é possível reduzir as emissões de gases de efeito estufa. Confirmam-se, então, os motivos para a adoção de tecnologias que possibilitem ao setor produtivo manter sua expansão, gerando, consequentemente, benefícios socioeconômicos e ambientais à pecuária.

## Referências

- ALMEIDA, M. F. **Composição química, digestibilidade e consumo voluntário das silagens de sorgo (*Sorghum vulgare* L.) em dois momentos de corte, girassol (*Helianthus annuus* L.) e milho (*Zea mays* L.) para ruminantes.** 1992. 100 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- ALMEIDA, M. F.; TIESENHAUSEN, I. M. E. V. von; AQUINO, L. H. de; CARVALHO, V. D. de; ROCHA, G. P. Composição química e consumo voluntário das silagens de sorgo em dois estádios de corte, girassol e milho para ruminantes. **Ciência e Prática**, v. 19, n. 3, p. 315-321, 1995.
- APORI, S. O.; LONG, R. J.; CASTRO, F. B.; ORSKOV, E. R. Chemical composition and nutritive value of leaves and stems of tropical weed *Chromolaena odorata*. **Grass and Forage Science**, v. 55, n. 1, p. 77-81, Mar. 2000. DOI: [10.1046/j.1365-2494.2000.00191.x](https://doi.org/10.1046/j.1365-2494.2000.00191.x).
- BARCELLOS, A. O.; VILELA, L. Leguminosas forrageiras tropicais: estado de arte e perspectivas futuras. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE FORRAGICULTURA, 1994, Maringá. **Anais...** Maringá: Eduem, 1994. p. 1-56.
- BENCHAAR, C.; POMAR, C.; CHIQUETTE, J. Evaluation of dietary strategies to reduce methane production in ruminants: a modeling approach. **Canadian Journal of Animal Science**, v. 81, n. 4, p. 563- 574, Dec. 2001. DOI: [10.4141/A00-119](https://doi.org/10.4141/A00-119).
- BERTOLINI, P. C.; SANDINI, I.; CARVALHO, P. C. F.; MORAES, A. Cereais de inverno submetidos ao corte no sistema de duplo propósito. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 33, n. 1, p. 45-50, jan./fev. 2004.
- CALEGARI, A. Uso de rotação de cultura em recuperação de pastagens. In: PAULINO, V. T.; FERREIRA, L. G. (ed.). **Recuperação de pastagens**. 2. ed. Nova Odessa: Instituto de Zootecnia, 1999. 106 p.
- CARVALHO, M. M. Fixação biológica como fonte de nitrogênio para pastagens. In: SIMPÓSIO SOBRE CALAGEM E ADUBAÇÃO DE PASTAGENS, 1., 1985, Nova Odessa. **Calagem e adubação de pastagens: anais**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1986. p. 125-143.
- CASTILLO, E.; RUIZ, T. E.; PUENTES, R.; LUCAS, E. Producción de carne bovina en area marginal con guinea (*Panicum maximum*, Jacq.) y leucena (*Leucaena leucocephala*). I Comportamiento animal. **Revista Cubana de Ciencia Agrícola**, v. 23, p. 137-142, 1989.
- EVANGELISTA, A. R.; LIMA, J. A. Utilização de silagem de girassol na alimentação animal. In: SIMPÓSIO SOBRE PRODUÇÃO E UTILIZAÇÃO DE FORRAGENS CONSERVADAS, 2001, Maringá. **Anais...** Maringá: UEM: CCA: DZO, 2001. p. 177-217.
- FAVORETTO, V.; RODRIGUES, L. R.; CHIARELLI, A. G.; SAMPAIO, A. A. M.; VIEIRA, P. E.; MALHEIROS, E. B. Beef production in guineagrass pastures with nitrogen or legumes. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 16., 1989, Nice. **Proceedings...** [S.l.: s.n.], 1989. p. 1203-1204.
- FORMIGHIERI, L.; FONTANELI, R. S.; FORMIGHIERI, L. Avaliação do desempenho de bovinos de corte em pastagens de estação fria. In: REUNIÃO CENTRO-SUL DE ADUBAÇÃO VERDE E ROTAÇÃO DE CULTURAS, 4., 1993, Passo Fundo. **Anais...** Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT, 1994. p. 102-105. (EMBRAPA-CNPT. Documentos, 14).
- FREITAS, F. K.; ROCHA, M. G.; BRONDANI, I. L.; RESTLE, J.; NEVES, F.P. ROSA, D; COSTA, W. G. Suplementação energética na recria de fêmeas de corte em pastagem cultivada de inverno. Dinâmica da pastagem. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 34, n. 6, p. 2029-2038, 2005.
- HENRIQUE, W.; ANDRADE, J. B.; SAMPAIO, A. A. M. Silagem de milho, sorgo, girassol e suas comparações. II. Composição bromatológica. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 35., 1998, Botucatu. **Anais...** Botucatu: SBZ, 1998a. p. 379-381.
- HENRIQUE, W.; ANDRADE, J. B.; SAMPAIO, A. A. M. Silagem de milho, sorgo, girassol e suas comparações. III. Coeficiente de digestibilidade. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 35., 1998, Botucatu. **Anais...** Botucatu: SBZ, 1998b. p. 382-384.
- HUBBEL, D. S.; HARRISON, K. F.; DANIEL, L. B.; STALLAP, O. T. A comparison of corn silage and sunflower silage for lactating Jersey cows. **Arkansas Farm Research**, v. 34, n. 1, p. 7, 1985.
- JONES, R. J. The value of *Leucaena leucocephala* as feed for ruminants in the tropics. **World Animal Review**, v. 31, p. 13-23, 1979.



KAMATALI, P.; TELER, E.; VANBELLE, M.; COLLIGNON, G.; FOULON, M. In situ degradability of organic matter, crude protein and cell wall of various tree forages. **Animal Production**, v. 55, p. 29-34, 1992. DOI: [10.1017/S0003356100037235](https://doi.org/10.1017/S0003356100037235).

KINSMAN, R.; SAUER, F. D.; JACKSON, H. A. WOLYNETZ, M. S. Methane and carbon dioxide emissions from cows in full lactation monitored over a six-month period. **Journal of Dairy Science**, v. 78, n. 12, p. 2760-2766, Dec. 1995. DOI: [10.3168/jds.S0022-0302\(95\)76907-7](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(95)76907-7).

LOURENÇO, A. J.; BOIN, C.; MATSUI, E.; ABRAMIDES, P. L. G. Utilização de área de reserva de guandu completando pasto de capim-jaraguá no período das "secas". **Zootecnia**, v. 22, n. 2, p. 83-103, 1984.

LOURENÇO, A. J.; CARRIEL, J. M.; BEISMAN, D. A. Desempenho de bovinos Nelore em pastagem de *Brachiaria brizantha* associada a *Leucaena leucocephala*. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 33., 1996, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 1996. p. 10-12.

LOURENÇO, A. J.; DELISTOIANOV, J. Desempenho de bovinos em pastagem de capim-colonião com acesso ao banco de proteína de guandu. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v. 22, n. 6, p. 902-911, 1993.

LOURENÇO, A. J.; DELISTOIANOV, J.; BORTOLETO, O.; BOIN, C. Desempenho de bovinos em pastagens de capim-colonião exclusivo e consorciado com soja-perene, complementadas com banco de proteína. **Boletim da Indústria Animal**, v. 49, n. 1, p. 1-20, jan./jun. 1992a.

LOURENÇO, A. J.; MATSUI, E.; DELISTOIANOV, J.; BORTOLETO, O.; BOIN, C. Composição botânica da forragem disponível e da selecionada por bovinos em pastos de colonião + soja perene, com acesso aos bancos de proteína nas "secas". **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v. 21, n. 4, p. 703-717, 1992b.

LUZ, P. H. C.; HERLING, V. R.; SANCHEZ, J. M. D.; OLIVEIRA, F. C. L.; PERES, C. E. B. Calagem e adubação no estabelecimento, manutenção e produtividade dos pastos. In: SIMPÓSIO DE PRODUÇÃO ANIMAL A PASTO, 2011, Maringá. **Anais...** Maringá: UEM: CCA: DZO, 2011. p. 79-116.

MANZANO, A.; NOVAES, N. J.; ESTEVES, S. V.; VITTI, G. C. Desempenho de novilhos canchim alimentados com guandu em confinamento. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v. 17, n. 2, p. 165-171, 1988.

MORAES, A., LUSTOSA, S. B. C. Forrageiras de inverno como alternativas na alimentação animal em períodos críticos. In: SIMPÓSIO SOBRE NUTRIÇÃO DE BOVINOS, 7., 1999, Piracicaba. **Alimentação suplementar: anais**. Piracicaba: Fealq, 1999. p. 147-166.

NOZELLA, F. E.; BUENO, I.; CABRAL, S.; CASTILHO, L.; CASTRO, J. A.; ABDALLA, A. L.; VITTI, D. M. S. S. Degradabilidade ruminal in situ de plantas contendo taninos em ovinos da raça Santa Inês. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 38., 2001, Piracicaba. **A produção animal na visão dos brasileiros: anais**. Piracicaba: SBZ, 2001. 1 CD-ROM.

OSPINA, H.; PRATES, E. R. Efeito de quatro níveis de oferta de feno sobre o consumo de nutrientes digestíveis por bezerras. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 27, n. 4, p. 809-814, 1998.

PARTRIDGE, I. J.; RAWACOU, E. The effects of supplemental *Leucaena leucocephala* browse on the steers grazing *Dichanthium caricosum* in Fiji. **Tropical Grasslands**, v. 8, n. 2, p. 107-112, 1974.

PAULINO, V. T.; COLOZZA, M. T.; COSTA, N. L.; OTZUK, I. Respostas de *Stylosanthes capitata* Vogel à aplicação de nutrientes e doses de calcário em solo de cerrado. In: CONGRESSO DE ZOOTECNIA, 16., 2006, Castelo Branco, Portugal. **Actas...** Castelo Branco: Escola Superior de Agricultura de Castelo Branco, 2006. p. 1-5.

PAULINO, V. T.; GERDES, L.; VALARINI, M. J.; FERRARI JUNIOR, E. Retrospectiva do uso de leguminosas forrageiras. In: ENCONTRO TÉCNICO SOBRE LEGUMINOSAS FORRAGEIRAS, 2006, Nova Odessa. **Soluções tecnológicas para o século XXI: anais**. São Paulo: APTA: Nova Odessa: Instituto de Zootecnia, 2006b. p. 203.

PAULINO, V. T.; TEIXEIRA, E. M. C. **Sustentabilidade de pastagens – manejo adequado como medida redutora da emissão de gases de efeito estufa**. [Nova Odessa]: Instituto de Zootecnia, 2009. Disponível em: <http://www.iz.sp.gov.br>. Acesso em: 14 dez. 2009.

PEREIRA, J. M.; MORENO, R. M. A.; CANTARUTTI, R. B. Crescimento e produtividade estacional de germoplasma forrageiro. In: INFORME de pesquisas 1987/1990. Ilhéus: Ceplac, 1995. p. 307-309.

PILLON, C. N.; SCIVITTARO, W. B.; POTES, M. L.; MORAES, C. S.; MICHELS, G. H.; PEREIRA, J. S. Acúmulo de carbono orgânico por sistemas de cultura sob plantio direto em terras baixas. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 2, n. 1, p. 1040-1041, fev. 2007.

POSSENTI, R. A. **Efeitos de dietas com *Leucaena leucocephala* com ou sem adição de *Sacharomyces cerevisiae* na digestão, fermentação, protozoários e produção de metano no rúmen de bovinos.** 2006. 100 f. Tese (Doutorado em Qualidade e Produtividade Animal) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, São Paulo. Disponível em: <http://www.teses.usp.br>. Acesso em: 20 abr. 2009.

QUADROS, F. L. F.; MARASCHIN, G. E. Desempenho animal em misturas de espécies forrageiras de estação fria. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 22, n. 5, p. 535-541, maio 1987.

QUEIROZ, A. C. de; BARBOSA, M. A.; RESENDE, F. D. de; PEREIRA, J. C.; DUTRA, A. R. Suplementação da palhada de milho na alimentação de bovinos. 2. Concentração de amônia ruminal e pH ruminal. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 27, n. 2, p. 390-396, mar./abr. 1998.

REZENDE, A. V. **Avaliação do potencial do girassol (*Helianthus annuus* L.) como planta forrageira para silagem e para associar ao capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, Schum) na ensilagem.** 2001. 116 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

RIBEIRO, E. L. A.; SILVA, L. D. E.; MIZUBUTI, I. Y.; ROCHA, M. A. Componentes do peso vivo em ovelhas Hampshire Down confinadas e alimentadas com diferentes silagens. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 38., 2001, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: SBZ, 2001. p. 1002-1003.

RIBEIRO, I. R. **Consumo, produção e composição do leite e parâmetros sanguíneos de cabras leiteiras alimentadas com dietas contendo diferentes fontes de volumosos.** 2000. 29 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá.

RODRIGUES, A. A.; GODOY, R. Efeito do pastejo restringido em aveia sobre a produção de leite. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 3, p. 551-556, mar. 2000.

RODRIGUES, A. A.; GODOY, R.; ESTEVES, S. N. Efeito do pastejo em aveia entre a 1ª e 2ª ordenha sobre a produção de leite. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v. 24, n. 4, p. 623-632, 1995.

ROSO, G.; RESTLE, J. Produtividade animal em pastagem cultivada com gramíneas anuais de estação fria. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 35., 1998, Botucatu. **Anais...** Botucatu: SBZ, 1998. 1 CD ROM.

ROSOLEM, C. A.; NAKAGANA, J.; MARCONDES, D. Efeito da trifluralina na nodulação e absorção de nitrogênio pela soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 20, n. 11, p. 1265-71, nov. 1985.

SANCHEZ, A. R.; CARRETE, F. O. C.; EQUIARTE, J. A. Crescimento de bezerros F1 zebu/europeu em pastoreio de zacote estrela-leucaena e estrela solo em clima Aw. **Técnica Pecuária em México**, v. 50, p. 69-82, 1986.

SEIFFERT, N. F. Manejo de leguminosas forrageiras arbustivas de clima tropical. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 9., 1988, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Fealq, 1988. p. 285-314.

SILVA, J. L. S.; SAIBRO, J. C.; COSTA, A. G. M. Produtividade animal em pastagens de inverno sobre planossolo no litoral norte do Rio Grande do Sul. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 35., 1998, Botucatu. **Anais...** Botucatu: SBZ, 1998. 1 CD ROM.

SKHAFHAUSEN, R. Weight murease of zebu cattle grazing on the legumes *Dolichos cablas* and *Cajanus indicus*. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE PASTAGENS, 9., 1965, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Secretaria de Agricultura, 1966.

TANGENDJAJA, B.; LOWRY, J. B.; WILLS, R. B. H. Changes in mimosine, phenol, protein and fibre content of *Leucaena leucocephala* leaf during growth and development. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v. 26, n. 3, p. 315-317, 1986.

TEIXEIRA, A. M.; GONÇALVES, L. C.; RODRIGUES, J. A. S.; LOBATO, F. C. L.; MACHADO, F. S. Consumo voluntário e digestibilidade aparente da matéria seca, energia digestível e energia metabolizável das silagens de quatro genótipos de girassol (*Helianthus annuus* L.) (Rumbosol 91, Victoria 627, Victoria 807 e Mycogen 9338). In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 44., 2007, Jaboticabal. **Anais...** Jaboticabal: SBZ, 2007. 1 CD ROM.

TEIXEIRA, R.; DOMINGOS, T.; CANAVEIRA, P.; AVELAR, T.; BASCH, G.; BELO, C. C.; CALOURO, F.; CRESPO, D.; FERREIRA, V. G.; MARTINS, C. Carbon sequestration in biodiverse sown grasslands. **Options Méditerranées: sustainable mediterranean grasslands and their multi-functions: series A**, n. 79, p. 123-126, 2008.

TERGAS, L. E.; URREA, G. A. Selección de especies forrajeras para corte adaptadas a suelos ácidos de baja fertilidad en ultisol de Colombia. **Turrialba**, v. 35, n. 2, p. 179-186, 1985.

THOMAS, V. M.; SNEDDON, D. N.; ROFFLER, R. E.; MURRAY, G. A. Digestibility and feeding value of sunflower silage for beef steers. **Journal of Animal Science**, v. 54, n. 5, p. 933-937, 1982.

TOMICH, T. R. **Avaliação do potencial forrageiro e das silagens de treze cultivares de girassol (*Helianthus annuus* L.)**. 1999. 131 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Escola de Veterinária da UFMG, Belo Horizonte.

VALARINI, M. J.; POSSENTI, R. A. Nutritive value of a range of tropical forage legumes. **Tropical Grasslands**, v. 40, n. 3, p. 183-187, Sept. 2006.

VALDEZ, F. R.; HARRISON, J. H.; DEETZ, D.; FRASEN, S. C. In vivo digestibility of corn and sunflower intercropped as a silage crop. **Journal of Dairy Science**, v. 71, n. 7, p. 1860-1867, July 1988b.

VALDEZ, F. R.; HARRISON, J. H.; FRASEN, S. C. Effect of feeding sunflower silage on milk composition, and rumen fermentation of lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v. 71, n. 9, p. 2462-2469, Sept. 1988a.

WILDIN, J. H. Adaption of *Leucaena* for cattle grazing in Australia In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 14., 1981, Lexington. **Proceedings...** Bowder: 1983. p. 801-803.

ZOBY, J. L. F.; KORNELIUS, E. Sistema integrado de utilização de pastagem nativa de Cerrado sob diferentes cargas, complementada com banco de proteína na recria de fêmeas. In: EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados **Relatório Técnico Anual do Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados, 1987/1990**. Planaltina, 1994. p. 297-300.

ZOTTI, C. A.; PAULINO, V. T. O metano na produção animal: emissão e minimização de seu impacto. **Pubvet**, v. 3, n. 28, p. 23, Art. 641, 2009. Disponível em: [http://pubvet.com.br/artigos\\_det.asp?artigo=514](http://pubvet.com.br/artigos_det.asp?artigo=514). Acesso em: 14 dez. 2009.



## Agropecuária Oeste

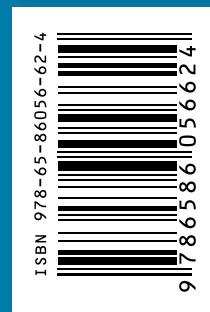
A preservação da produtividade dos solos agrícolas é uma necessidade constatada ao longo da história, pois o solo, como recurso natural e dinâmico, é limitado. Essa conscientização tem levado à implementação de técnicas mais racionais de conservação, fertilização e manejo do solo, o que faz da adubação verde um marco importante para os sistemas agrícolas. O enfoque em uma agricultura mais sustentável passa, necessariamente, pelo estudo e pela disponibilização ao agricultor de tecnologias que possibilitem a produção de alimentos de maneira econômica, com a preservação do meio ambiente, mantendo ou incrementando a qualidade dos solos cultivados.

Em virtude do sucesso da 1ª edição, a Embrapa lança *Adubação Verde e Plantas de Cobertura no Brasil: Fundamentos e Prática, 2ª edição revista e atualizada*. Esta obra, em seus volumes 1 e 2, é fartamente ilustrada e traz, entre seus temas, a história do uso da adubação verde no Brasil, a situação atual e perspectivas futuras da técnica, os cuidados com as espécies, os exemplos de rotação de culturas, o melhoramento genético e os aspectos ecofisiológicos. Apresenta, ainda, informações técnicas e práticas sobre semeadura e manejo da biomassa de adubos verdes.

Assuntos como a evolução do conceito da adubação verde e suas modalidades, o ciclo das espécies, os sistemas de cultivo e a recuperação de áreas degradadas também são abordados. Aspectos nutricionais e fatores químicos, físicos e biológicos, que condicionam a fertilidade do solo e o crescimento vegetal, são tratados de forma bastante abrangente. Há capítulos específicos sobre fitossanidade, incluindo pragas, doenças, fitonematoides e plantas daninhas.

São abordados, ainda, o manejo e processos envolvidos na adubação de culturas e os sistemas agrícolas específicos: grãos e sistema plantio direto, café, cana-de-açúcar, fruteiras tropicais, hortaliças, integração lavoura-pecuária, restauração florestal, agricultura orgânica. Também é considerada a prática da adubação verde em ecossistemas como a Amazônia, a região dos Tabuleiros Costeiros e o Cerrado.

Por meio desta obra atual e abrangente, a Embrapa oferece ao leitor um conjunto de informações de elevada qualidade técnica e de grande importância para a agricultura nacional.



CGPE 017869