

Documentos

ISSN 0104-866X **193**
Maio, 2009

Manejo Agroecológico do Solo: os Benefícios da Adubação Verde



Embrapa

ISSN 0104-866X

Maio, 2009

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

Documentos 193

Manejo Agroecológico do Solo: os Benefícios da Adubação Verde

*Edvaldo Sagrilo
Luiz Fernando Carvalho Leite
Sandra Regina da Silva Galvão
Evanielle Fernandes Lima*

Embrapa Meio-Norte
Teresina, PI
2009

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Meio-Norte

Av. Duque de Caxias, 5.650, Bairro Buenos Aires

Caixa Postal 01

CEP 64006-220 Teresina, PI

Fone: (86) 3089-9100

Fax: (86) 3089-9130

Home page: www.cpamn.embrapa.br

E-mail: sac@cpamn.embrapa.br

Comitê de Publicações

Presidente: *Flávio Favaro Blanco,*

Secretária executiva: *Luísa Maria Resende Gonçalves*

Membros: *Paulo Sarmanho da Costa Lima, Fábio Mendonça Diniz, Cristina Arzabe, Eugênio Celso Emérito Araújo, Danielle Maria Machado Ribeiro Azevêdo, Carlos Antônio Ferreira de Sousa, José Almeida Pereira e Maria Teresa do Rêgo Lopes*

Supervisão editorial: *Lígia Maria Rolim Bandeira*

Revisão de texto: *Lígia Maria Rolim Bandeira*

Normalização bibliográfica: *Orlane da Silva Maia*

Editoração eletrônica: *Erlândio Santos de Resende*

Fotos da capa: *Edvaldo Sagrilo*

1ª edição

1ª impressão (2009): 300 exemplares

Todos os direitos reservados.

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

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Embrapa Meio-Norte**

Manejo agroecológico do solo : os benefícios da adubação verde /
Edvaldo Sagrilo ... [et al.]. - Teresina : Embrapa Meio-Norte,
2009.

24 p. ; 21 cm. - (Documentos / Embrapa Meio-Norte, ISSN 0104-
866X ; 193).

1. Manejo do solo. 2. Matéria orgânica. 3. Química do solo. 4.
Física do solo. 5. Biologia do solo. I. Sagrilo, Edvaldo. II. Embrapa
Meio-Norte. III. Série.

CDD 631.874 (21. ed.)

© Embrapa, 2009

Autores

Edvaldo Sagrilo

Engenheiro agrônomo, M.Sc. em Produção Vegetal,
pesquisador da Embrapa Meio-Norte, Teresina, PI
sagrilo@cpamn.embrapa.br

Luiz Fernando Carvalho Leite

Engenheiro agrônomo, D.Sc. em Solos e Nutrição de Plantas,
pesquisador da Embrapa Meio-Norte, Teresina, PI
luizf@cpamn.embrapa.br

Sandra Regina da Silva Galvão

Engenheira agrônoma, D.Sc. em Tecnologias Energéticas e
Nucleares, bolsista DTI/CNPq, Embrapa Meio-Norte, Teresina, PI
reginass@uol.com.br

Evanielle Fernandes Lima

Estudante de Agronomia da UEPI e estagiária da Embrapa Meio-
Norte (Sistema Agrícolas de Base Ecológica).
evanielle_fernandes@hotmail.com

Apresentação

A revolução verde nas décadas de 50 e 60 influenciou o aumento da produtividade dos alimentos no mundo. Entretanto, os fatores que contribuíram para o alcance de altas produções foram baseados unicamente na utilização de insumos modernos, que apesar de terem possibilitado a adequação de solos, com relação à correção de acidez e principalmente a fertilidade, baseou-se também no uso excessivo de grandes quantidades de agrotóxicos.

Embora essa revolução tenha alcançado êxito nos objetivos a que se propunha, alguns aspectos considerados decisivos para a preservação do ambiente não foram levados em consideração. Nos anos 70, a revolução verde começou a apresentar problemas da falta de adoção de práticas agrícolas sustentáveis, onde o custo de produção aliado à utilização intensiva de máquinas, adubos químicos e pesticidas não promoveu a sustentabilidade do modelo.

Neste documento são discutidos os benefícios da adubação verde para o aumento sustentável da produtividade das culturas a médio e longo prazo, permitindo uma redução dos custos de produção dos cultivos, com benefícios ao solo e ao meio ambiente em geral.

Hoston Tomás Santos do Nascimento
Chefe-Geral da Embrapa Meio-Norte

Sumário

Manejo Agroecológico do Solo: os Benefícios da Adubação Verde	9
Introdução	9
Principais benefícios da adubação verde	11
Aspectos químicos	12
Aspectos biológicos	14
Aspectos físicos	15
Controle de plantas daninhas	16
Produtividade das culturas	17
Algumas características das espécies	19
Considerações finais	21
Referências	21

Manejo Agroecológico do Solo: os Benefícios da Adubação Verde

Edvaldo Sagrilo

Luiz Fernando Carvalho Leite

Sandra Regina da Silva Galvão

Evanielle Fernandes Lima

Introdução

Ao longo de milhares de anos, diferentes povos têm realizado uma agricultura baseada no manejo dos materiais disponíveis nas propriedades rurais. Entre esses materiais, destacam-se aqueles de origem orgânica (ex. esterco, restos de cultura ou composto) que possibilitam a melhoria da qualidade do solo e aumento da produtividade vegetal (ESPÍNDOLA; GUERRA; ALMEIDA, 1997).

Assim como essas formas de manejo, a adubação verde é uma prática milenar, conhecida por gregos, romanos e chineses desde antes da era Cristã. Há mais de 3 mil anos, os gregos já se beneficiavam dos efeitos proporcionados ao solo, pelo cultivo de lentilhas, espécies de fava e outras leguminosas. Na China, por volta de 1200 a.C., já eram usadas como fertilizante. Outros relatos dão conta do uso de adubação verde por povos da Macedônia e Tessália, por volta de 400 a.C. (AMABILE; CARVALHO, 2006),

No final do século XIX, essa forma de fazer agricultura foi transformada por descobertas científicas que abriram caminho para o uso de fertilizantes minerais. Os aumentos de produtividade decorrentes da utilização de tais produtos fizeram com que vários agricultores abandonassem as práticas de adubação orgânica, criando um modelo de agricultura cada vez mais dependente de insumos externos às propriedades rurais (ESPÍNDOLA; GUERRA; ALMEIDA, 1997). A introdução de novas técnicas como o uso de agrotóxicos, variedades geneticamente melhoradas e excesso de maquinário, ao longo do século XX, aumentou cada vez mais essa tendência. Convencionou-se chamar o avanço das indústrias química, mecânica e do melhoramento genético na área agrícola como “Revolução Verde” (Jesus, 1985).

Nas décadas de 50 e 60, a “Revolução Verde” atingiu os países do Terceiro Mundo. Os governos locais criaram linhas de crédito atreladas à compra de insumos agropecuários, enquanto as principais escolas de agronomia desses países reformularam seus currículos, valorizando as técnicas associadas ao novo modelo agrícola (ESPÍNDOLA; GUERRA; ALMEIDA, 1997).

A partir da década de 70, começaram a surgir sérios problemas decorrentes da adoção de práticas agrícolas relacionadas à “Revolução Verde”. A degradação da capacidade produtiva dos solos, associada à proliferação de pragas e doenças, causou um empobrecimento dos agricultores, por causa do aumento dos custos de produção. Além disso, observou-se menor qualidade dos alimentos produzidos. Desta forma, diversos grupos de agricultores e profissionais da área rural passaram a propor a adoção de práticas que favorecessem os processos biológicos, como a otimização da ciclagem de nutrientes e o aumento da fixação biológica de nitrogênio, encontrados nos agroecossistemas, como uma alternativa ao modelo agrícola da “Revolução Verde”.

Todavia, somente com o agravamento da crise mundial do petróleo, que resultou num aumento considerável no custo do nitrogênio, aliado à aceleração do processo de degradação das terras agrícolas, observou-se novamente o aumento do interesse pelo resgate e intensificação do aporte de nitrogênio por meio de fontes orgânicas, destacando-se o emprego das leguminosas e a valorização da sua capacidade de fixar o nitrogênio atmosférico, em simbiose com bactérias.

Nesse contexto, a adubação verde reassume um papel de destaque na mitigação, ou mesmo reversão dos problemas associados ao modelo de agricultura convencional predominante. A adubação verde, sobretudo com leguminosas, proporciona vantagens como a economia com fertilizantes nitrogenados, grande rendimento por área e sistema radicular profundo, que auxilia na descompactação do solo. A capacidade de simbiose com bactérias fixadoras de nitrogênio é o principal benefício decorrente do uso de espécies leguminosas como adubação verde.

Os principais efeitos da adubação verde para melhoria da qualidade do solo estão associados ao aumento do teor de matéria orgânica, a maior disponibilidade de nutrientes e capacidade de troca de cátions (CTC) efetiva do solo, o favorecimento da formação de ácidos orgânicos,

fundamentais à solubilização de nutrientes minerais; a diminuição dos teores de alumínio trocáveis, mediante sua complexação e o incremento da capacidade de reciclagem e mobilização de nutrientes lixiviados ou pouco solúveis que estejam nas camadas mais profundas do perfil do solo.

Dentro de um contexto que evoca benefícios de ordem social, o uso da adubação verde, como prática agroecológica, busca uma agricultura sustentável calcada na manutenção em longo prazo dos recursos naturais e da produtividade agrícola, com mínimo de impacto adverso ao meio ambiente, uma melhor compatibilização entre as atividades produtivas com o potencial dos agroecossistemas, uma redução no uso de insumos externos e não renováveis, com potencial danoso à saúde ambiental e humana, satisfação das necessidades humanas de alimentos e renda e atendimento das necessidades sociais das famílias e das comunidades rurais (CAPORAL; COSTABEBER, 2002).

Principais benefícios da adubação verde

A qualidade do solo se relaciona com sua capacidade em desempenhar funções que interferem na produtividade de plantas e animais e no ambiente, podendo mudar com o passar do tempo em decorrência de eventos naturais ou uso humano. Sistemas de cultivo orgânico reduzem o revolvimento do solo, favorecendo a recuperação das propriedades físicas e químicas, antes deterioradas pelo sistema de cultivo intensivo ou convencional (LIMA et al., 2007). Na recuperação de um solo degradado, a adição e balanço de matéria orgânica são fundamentais, pois a melhoria e a manutenção das condições físicas internas e externas do solo só poderão ser alcançadas e mantidas, via biológica; isto é, por meio da ação de raízes, da atividade macro e microbiológica e decomposição do material orgânico (ALVES, 2006). É comprovada a eficácia da prática da adubação verde, com o uso de plantas condicionadoras do solo e de cobertura, na reabilitação de solos degradados, com resultados positivos nos aspectos físicos, químicos e biológicos.

Há vários efeitos benéficos das plantas de cobertura nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, como por exemplo: acúmulo de

matéria orgânica; maior disponibilidade de macro e micronutrientes; contribuição para o aumento da CTC; diminuição dos efeitos tóxicos do alumínio; incremento na mobilização dos nutrientes lixiviados; melhoria na estrutura do solo por meio da ação cimentante da matéria orgânica; aumento da capacidade de retenção de água; aumento da porosidade do solo; e diminuição da densidade do solo pelo efeito microbiótico da matéria orgânica (CALEGARI, 2006).

Aspectos químicos

O nitrogênio é o nutriente que mais tem sido estudado com relação ao efeito da adubação verde nas culturas de interesse econômico. Em virtude da capacidade das leguminosas de fixarem nitrogênio atmosférico em associação com bactérias dos gêneros *Rhizobium* e *Bradyrhizobium*, essas plantas podem substituir os adubos minerais no fornecimento de N para várias culturas de interesse comercial. A adubação verde permite ainda o aporte de quantidades expressivas de fitomassa, possibilitando elevação no teor de matéria orgânica do solo ao longo dos anos. Como resultado, obtém-se aumento da CTC, o que traz maior retenção de nutrientes junto às partículas do solo, reduzindo perdas por lixiviação. A partir da decomposição dos resíduos vegetais, pode ocorrer diminuição na acidez do solo. Isso porque durante a decomposição dos resíduos, são produzidos ácidos orgânicos capazes de complexar íons Al^{+++} presentes na solução, reduzindo dessa forma o alumínio tóxico do solo (LIU; HUE, 1996).

Além disso, a adição de material orgânico ao solo pode resultar em incrementos potenciais de nutrientes, que são disponibilizados às plantas após sua mineralização. Alcântara et al. (2000) observaram que a adubação verde com leguminosas pode retornar ao solo, de 226 a 353 kg ha⁻¹ de N, 18 a 27 kg ha⁻¹ de P, 85 a 131 kg ha⁻¹ de K e 15 a 27 kg ha⁻¹ de Mg. Neste trabalho, o feijão-guandu apresentou maior potencial do que a *Crotalaria juncea* e braquiária, tanto para produção de massa seca (13,2 t ha⁻¹ para o guandu e 6,5 t ha⁻¹ para a crotalária), quanto para fornecimento ao solo de macro e micronutrientes. O guandu retornou ao solo 314,6 kg ha⁻¹ de N 25,9 kg ha⁻¹ de P e 98,4 kg ha⁻¹ de K. Todavia, devido à menor relação C:N do guandu (16,8) em relação à crotalária (19,2), a contribuição do guandu nas propriedades químicas do solo

ocorreu num menor espaço de tempo, uma vez que aos 150 dias após o manejo dos adubos verdes, não se observou mais efeito algum decorrente do seu uso. Por outro lado, Cáceres e Alcarde (1995) observaram maiores contribuições em volume de nutrientes ao solo sob cultivo de cana-de-açúcar, da *Crotalaria juncea* em relação ao guandu e diversas outras espécies, sendo que a crotalária retornou ao solo 235 kg ha⁻¹ de N 18,5 kg ha⁻¹ de P e 101,5 kg ha⁻¹ de K. Da mesma forma, os autores verificaram efeito significativo da adubação verde na produtividade da cana-de-açúcar apenas no primeiro corte, ao passo que no segundo corte as vantagens foram sutis, e desapareceram por completo a partir do terceiro corte.

Ainda com relação aos benefícios químicos, algumas espécies de adubos verdes possuem a capacidade de solubilizar nutrientes minerais imobilizados no solo. O padrão de absorção de nutrientes e a geração de acidez na rizosfera de plantas leguminosas, associadas a bactérias diazotróficas, contribuem para a solubilização do P, causando alterações na sua quantidade absorvida. Além disso, as leguminosas utilizam o N fixado simbioticamente, absorvendo mais nutrientes catiônicos do que aniônicos, causando acidificação do meio, e solubilizando o P oriundo de fosfatos de rocha.

Pypers et al. (2005) observaram um aumento gradual dos teores de P e N em solos submetidos à adubação verde com *Tithonia diversifolia* (flor do mel). A espécie foi responsável pelo aumento do pH do solo e redução significativa dos teores de Al⁺⁺⁺, sendo que a redução desse último se deu em parte pelo aumento do pH, mas também, provavelmente, pela complexação do Al⁺⁺⁺ por compostos orgânicos. Os autores ressaltam dados de trabalhos que reforçam a capacidade dos adubos verdes em obter P a partir de frações pouco lábeis do solo, e disponibilizá-los para cultivos posteriores. Associado ao P disponibilizado, são também liberados ácidos orgânicos aniônicos, que competem com ortofostato pelos sítios de adsorção, prevenindo a rápida re-fixação do P disponibilizado e permitindo sua melhor utilização pelas culturas posteriores. Além disso, a toxicidade do alumínio pode ser significativamente reduzida, por meio de reações de precipitação, além da complexação com compostos orgânicos, permitindo assim reduções substanciais na aplicação de fertilizantes e calcário.

Aspectos biológicos

A presença de material orgânico fornecido pelos adubos verdes favorece a atividade dos organismos do solo, uma vez que seus resíduos servem como fonte de energia e nutrientes. Além disso, a manutenção da cobertura vegetal permite reduzir as oscilações térmicas e de umidade, criando condições que favorecem o desenvolvimento dos organismos do solo. Por sua vez, a maior atividade biológica do solo aumenta a reciclagem de nutrientes, o que permite melhor aproveitamento dos fertilizantes aplicados.

A adição de adubos verdes estimula o crescimento e a atividade biológica do solo, com conseqüente mineralização dos nutrientes presentes na biomassa vegetal. Tal fato foi comprovado por Elfstrand, Bath e Martensson (2007), quando observaram que a incorporação ao solo de adubos verdes aumentou a biomassa microbiana do solo e a atividade enzimática decorrente da atividade microbiana. Tanto a biomassa microbiana do solo quanto a atividade enzimática são componentes importantes da fertilidade dos solos.

A adubação verde disponibiliza não apenas nutrientes para o crescimento das plantas, como também carbono orgânico que serve como fonte de energia para microrganismos heterotróficos do solo (ELFSTRAND; HEDLUND; MARTENSSON, 2007). Estes autores observaram em experimento de longa duração, que a adubação verde promoveu profundas alterações na abundância de diferentes grupos microbianos do solo, além de influenciar a composição da comunidade microbiana e a atividade enzimática do solo. A atividade de enzimas como fosfatases, proteases e arilsulfatases foi significativamente maior nos tratamentos com adubação verde.

Tejada et al. (2008) observaram aumento da biomassa microbiana e da respiração do solo com a adição de diferentes fontes de adubos verdes. Os autores atribuem esses aumentos ao fornecimento de materiais vegetais facilmente decomponíveis, cuja matéria orgânica é degradada pelos microrganismos através da produção de diversas enzimas extracelulares, o que explica o aumento da atividade enzimática observada nos solos. Como conseqüência da maior atividade enzimática no solo, foram observados maiores teores foliares de P, N e K, além dos teores de

clorofila e carboidratos solúveis em plantas de milho, com consequente aumento de produtividade de grãos da cultura.

Aspectos físicos

A adubação verde interfere positivamente nas propriedades físicas do solo principalmente pela permanente adição de matéria orgânica. Entre as alterações no solo, destacam-se a estabilidade de agregados, a densidade, a porosidade, a taxa de infiltração de água e a retenção de umidade.

Os constituintes orgânicos podem influenciar a agregação do solo, atuando como agentes ligantes, juntamente com os minerais de argila, contribuindo para a formação de agregados estáveis à ação da água e evitando o escoamento superficial decorrente da formação de crostas e a erosão (ESPÍNDOLA; GUERRA; ALMEIDA, 1997). A proteção mecânica promovida pela cobertura vegetal também atua amenizando o impacto direto das gotas de chuva, que causam a desagregação das partículas do solo. Sousa Neto et al. (2008) observaram que o uso de adubos verdes em cobertura no sistema de plantio direto aumenta a estabilidade de agregados, aumentando o conteúdo de água disponível às plantas. Da mesma forma, Hernani et al. (1995) relatam que o efeito mais importante da adubação verde está relacionado à melhor estruturação do solo, resultando em melhor relação solo/ar, melhor infiltração e retenção de água e nutrientes, protegendo o solo contra erosão.

Outro efeito sobre os aspectos físicos do solo submetido ao cultivo com adubos verdes está relacionado à compactação promovida pelo manejo inadequado. A ocorrência de camadas compactadas promovidas pelo uso de implementos agrícolas pesados reduz a infiltração de água no solo. Contudo, esse efeito negativo pode ser atenuado por meio do cultivo de adubos verdes que apresentam um sistema radicular bem desenvolvido, como o guandu, tornando possível um rompimento dessas camadas.

Controle de plantas daninhas

A agricultura de base ecológica utiliza sistemas que incrementam a diversidade de espécies vegetais no ambiente, como também elimina a utilização de fertilizantes, principalmente os nitrogenados e o controle químico de plantas invasoras, pragas e doenças. Nesses sistemas, o controle de plantas invasoras vem sendo efetuado com sucesso por meio de cobertura do solo, dos efeitos alelopáticos exercidos por várias espécies de adubos verdes ou por competição, afetando qualitativa e quantitativamente distintas infestações de espécies daninhas.

Favero et al. (2001), analisando as modificações nas populações de plantas espontâneas na presença dos adubos verdes feijão-de-porco, feijão-bravo-do-ceará, mucuna-preta, lab-lab e guandu, observaram que a mucuna-preta destacou-se das demais quanto à capacidade de recobrir o solo e abafar as plantas espontâneas, atingindo 100% de cobertura de solo aos 84 dias após a emergência. O feijão-bravo-do-ceará, depois do crescimento inicial lento, tornou-se agressivo após seu estabelecimento, sendo capaz de abafar até mesmo as plantas espontâneas já estabelecidas, reprimindo-as. O crescimento indeterminado, rasteiro ou herbáceo prostrado dessas plantas, à exceção do guandu, confere maior capacidade aos seus ramos e folhas de se distribuírem melhor e mais próximos ao solo. Por essa razão, há maior pressão de controle sobre as plantas espontâneas, uma vez que apresentam maior capacidade de abafamento e agressividade, diminuindo suas populações em razão da competição por fatores de crescimento, especialmente luz.

Acompanhando o desenvolvimento do banco de sementes de plantas daninhas em solo cultivado com adubos verdes, Severino e Christoffoleti (2001) constataram que o cultivo das leguminosas *Crotalaria juncea* (crotalária) e *Cajanus cajan* (L.) (guandu) resultou numa redução significativa da infestação de plantas daninhas nos agroecossistemas, sobretudo de *Brachiaria decumbens*, *Panicum maximum* e *Bidens pilosa*. Analisando o efeito da rotação de culturas utilizando adubos verdes, Chikoye et al. (2007) verificaram uma expressiva diminuição da densidade de plantas daninhas, quando comparadas com o número de espécies ocorridas na área de pousio.

Após uma colheita de verão, o período chuvoso que se segue propicia o estabelecimento de plantas daninhas interferindo na cultura comercial seguinte. O uso de adubos verdes como culturas de sucessão na entressafra reduz o potencial de infestação do banco de sementes entre anos consecutivos (SODRÉ FILHO et al., 2008). Os autores verificaram que aveia-preta, feijão-bravo-do-ceará, girassol, guandu e mucuna, cultivadas em sucessão ao milho, reduzem a matéria seca das plantas daninhas, com destaque para a mucuna, que reduziu a população de plantas daninhas durante o seu crescimento vegetativo. Verificaram também que a adubação verde associada ao sistema plantio direto proporciona uma maior redução no banco de sementes de plantas daninhas no solo.

Produtividade das culturas

A falta de acesso às tecnologias e os altos preços dos fertilizantes são fatores altamente limitantes a uma produtividade satisfatoriamente rentável, sobretudo para a agricultura familiar. A partir de tal constatação, o baixo custo da prática da adubação verde torna-se uma alternativa viável para o incremento da produtividade. Nesse contexto, diversos são os trabalhos na literatura que ressaltam os benefícios da adubação verde no aumento da produtividade das culturas.

Nogueira et al. (1992), associando adubos verdes ao fosfato natural e ao gesso em cultivo de mandioca, obtiveram maior produção de raízes, maior índice de colheita, maior produção de ramas e maior altura das plantas, além de uma melhoria nas condições químicas do solo notadas pelo acúmulo de nutrientes no limbo e no pecíolo das plantas. Testando o efeito combinado da adubação verde com o uso de fosfatos naturais na cultura do milho, Araújo e Almeida (1993) obtiveram aumento de produtividade da cultura equivalente à adição de 80 kg ha⁻¹ de uréia ao solo com o cultivo de feijão-de-porco, além de verificarem o aumento dos teores de K no solo. Cáceres e Alcarde (1995) obtiveram produtividade de cana-de-açúcar 15 Mg ha⁻¹ superior no tratamento com pré-cultivo de *Crotalaria juncea*, quando comparado aos piores tratamentos, que foram o pousio e mucuna-preta.

Arf et al. (1999a) compararam o efeito da incorporação de mucuna, lab-lab e resíduos de milho na produtividade de feijão-comum e observaram que a incorporação de palhada de mucuna praticamente dobrou a produtividade da cultura em relação à incorporação de resíduos de milho. Da mesma forma, Arf et al. (1999b) observaram que a adubação verde com mucuna e lab-lab aumentou a produtividade da cultura do trigo em 54 % e 45 %, respectivamente.

O plantio do feijão em sucessão a leguminosas diminui gastos com adubação, como foi verificado por Bordin et al. (2003), onde o feijão apresentou produtividades superiores a 1.990 kg ha⁻¹ quando cultivado na ausência de adubação nitrogenada e em sucessão a *Crotalaria juncea*.

A influência dos adubos verdes consorciados com outras culturas tem-se mostrado relevante quando se trata da produtividade. Heinrichs et al. (2005) verificaram que no primeiro ano de cultivo consorciado de milho com adubos verdes o rendimento de grãos de milho não foi influenciado. No entanto, no segundo ano, o rendimento de milho foi beneficiado pelo cultivo consorciado com feijão-de-porco, passando de 5.657 kg ha⁻¹ no primeiro ano para 7.548 kg ha⁻¹ no segundo. O efeito da cobertura vegetal também se apresenta como fator determinante da produtividade de grãos. Cazetta et al. (2005) observaram efeito positivo da cobertura vegetal na produtividade do milho utilizando tanto a crotalaria (9660 kg ha⁻¹) quanto o milheto (9806 kg ha⁻¹). O mesmo resultado positivo para a produtividade do milho cultivado em sucessão a crotalaria (7532 kg ha⁻¹) já havia sido verificado por Carvalho et al. (2004) quando comparado ao pousio, tanto em plantio direto, quanto no sistema de preparo convencional do solo, em ano com precipitação pluvial normal.

Em outro estudo recente conduzido na Espanha, Tejada et al. (2008) demonstraram que o uso de adubos verdes aplicados ao solo promoveu uma melhor nutrição das plantas, aumento de produtividade e da qualidade da produção de milho. Os autores ressaltaram que esses resultados dependem da composição química dos adubos verdes. Materiais com uma relação C:N próxima de 20 facilitam a degradação da matéria orgânica e o incremento da atividade microbiana do solo, levando à melhoria da produtividade e qualidade do milho produzido.

Algumas características das espécies

As leguminosas representam a forma mais viável de incorporação de nitrogênio do solo, por apresentarem capacidade de fixação do nitrogênio mediante associação simbiótica com bactérias do gênero *Rhizobium*, além de auxiliarem no processo de descompactação do solo em razão do seu sistema radicular profundo (AMABILE; CARVALHO, 2006). Por outro lado, espécies da família das gramíneas também são recomendadas para a adubação verde, principalmente se o objetivo é a manutenção da cobertura do solo e não a incorporação de resíduos no solo, pois as gramíneas possuem maior volume de raiz, melhorando a porosidade e agregação do solo, além de representarem a melhor alternativa na associação com leguminosas comerciais (MENEZES; LEANDRO, 2004). A relação C/N mais elevada dessa família implica em maior permanência dos resíduos no solo, favorecendo o estabelecimento da cobertura.

As condições edafoclimáticas do ambiente estão intimamente relacionadas com a escolha das espécies utilizadas como adubos verdes. Geralmente, espécies de verão usadas em locais com períodos bem distintos entre estiagem e chuva, como o Nordeste, apresentam características comuns, como por exemplo: a não tolerância a encharcamentos (designando plantas de ambientes secos); a rusticidade fisiológica; bom suporte às condições de estresse hídrico; pouco exigentes em relação à fertilidade do solo; desenvolvimento rápido, competindo com plantas daninhas (AMABILE; CARVALHO, 2006).

Algumas espécies de gramíneas e leguminosas são destacadas como adubos verdes, na cobertura de solo e em outros fins, como rotação, sucessão, consórcio e integração agricultura-pecuária, tais como: crotalária (*Crotalaria juncea*), milheto (*Pennisetum americanum*), guandu (*Cajanus cajan*), sorgo (*Sorghum bicolor*), capim pé-de-galinha (*Eleusine coracana*), mucuna (*Mucuna pruriens*), feijão-bravo-do-ceará (*Canavalia brasiliensis*), feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*) (AMABILE; CARVALHO, 2006; CALEGARI, 2006; CALEGARI et al., 1993).

São vários os trabalhos que avaliam a eficiência da produção de fitomassa, matéria seca e teores de nutrientes (principalmente nitrogênio, fósforo, potássio e cálcio) das espécies utilizadas como adubos verdes. Bôer et al.

(2007) destacam o milho e o capim-pé-de-galinha como culturas recicladoras, com elevado acúmulo de nutrientes na biomassa das palhadas, com 112,6 kg N ha⁻¹ e 102,1 kg K ha⁻¹ no milho e 102,4 kg N ha⁻¹ e 77,8 kg K ha⁻¹ no capim-pé-de-galinha, até 30 dias após o manejo. Nesse mesmo trabalho também foi verificado o maior acúmulo de N e Mg na palhada do capim-pé-de-galinha e de K, na palhada do milho. Menezes e Leandro (2004), avaliando a produção de fitomassa seca de espécies de cobertura vegetal, verificaram que a crotalária, aos 300 dias após a emergência, superou a fitomassa residual do feijão-de-porco, e que a crotalária, o milho e o feijão-de-porco apresentaram níveis de fitomassa superiores a 9,0 t ha⁻¹ aos 90 dias após a emergência. Bôer et al. (2007) obtiveram resultado semelhante para a produção de fitomassa de milho (10,8 t ha⁻¹). A comprovada superioridade da produção de massa verde e seca da crotalária e do milho, em relação às demais espécies de adubos verdes, também foi observada por Suzuki e Alves (2006) e por Silva et al., (2006), que verificaram que a produtividade de matéria seca da parte aérea da crotalária (9.770 kg ha⁻¹) foi superior à do milho (7.370 kg ha⁻¹) e que este, por sua vez, foi superior à da vegetação espontânea (2.490 kg ha⁻¹).

Menezes e Leandro (2004) relataram que as leguminosas mucuna-rajada, mucuna-cinza e o sistema de plantio direto no mato resultaram em produções finais de fitomassa superiores a 5,0 t ha⁻¹, corroborando com os resultados obtidos por Calegari (2006), (de 2 a 5 t ha⁻¹ para a mucuna-cinza). A época do plantio influi diretamente na produção de matéria seca. Para feijão-bravo-do-ceará e guandu, semeados na estação seca, Amabile e Carvalho (2006) obtiveram os seguintes resultados de matéria seca: 5,1 t ha⁻¹ para feijão-bravo-do-ceará e 4,0 t ha⁻¹ para o guandu, aos 90 dias de floração. A maioria dos trabalhos aponta a *Crotalaria juncea* e o guandu como as plantas de cobertura de maior produção de fitomassa. Tal produtividade também foi verificada por Amabile e Carvalho (2006), que ainda constataram que o atraso da semeadura reduz as fitomassas verde e seca produzidas pelas leguminosas, exceto no caso da mucuna-preta.

Considerações finais

A adubação verde compõe uma prática a ser utilizada de forma agregada a outras formas de manejo agrícola. Apresenta potencial tanto para o aumento da produtividade das culturas, quanto para a melhoria da qualidade química, física e biológica do solo. Do ponto de vista químico, atua permitindo um aporte de matéria orgânica ao solo, juntamente com diversos nutrientes essenciais ao desenvolvimento das culturas. Além disso, o cultivo dos adubos verdes pode causar alterações químicas na rizosfera, permitindo a solubilização de nutrientes de frações menos lábeis do solo disponibilizando-os para os cultivos seguintes. A adição de material orgânico e carbono ao solo atua como fonte de energia para o crescimento da biomassa e atividade microbiana, responsável pela decomposição e mineralização dos nutrientes, tornando-os disponíveis para as plantas. Além disso, secretam uma gama variada de enzimas que auxiliam no processo de solubilização e disponibilização de diversos elementos químicos. O cultivo de adubos verdes apresenta também como vantagem a melhoria na estruturação do solo facilitando a infiltração e retenção de água e nutrientes, protegendo o solo contra a erosão.

Como consequência da diversidade de benefícios promovidos pela adubação verde, são comumente observados aumentos sustentáveis de produtividade das culturas, mantendo o solo sob condições favoráveis de cultivo a médio e longo prazo, permitindo a redução substancial dos custos de produção das culturas.

Referências

ALCANTARA, 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*, Brasília, DF, v. 35, n. 2, p. 277-288, fev. 2000.

ALVES, M. C. Recuperação dos solos degradados pela agricultura. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE EDUCAÇÃO AMBIENTAL NA AGRICULTURA, 5., 2006, Campinas. *Recuperando o meio ambiente: anais*. Campinas: Instituto Agrônomo: UNESP, 2006. 1 CD-ROM.

AMABILE, R. F.; CARVALHO, A. M. Histórico da adubação verde. In: CARVALHO, A. M. de; AMABILE, R. F. (Ed.). **Cerrado: adubação verde**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2006. p. 23-40.

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

ARF, O.; SILVA, L. S.; BUZZETTI, S.; ALVES, M. C.; SÁ, M. E.; RODRIGUES, R. A. F.; HERNANDEZ, F. B. T. Efeito da rotação de culturas, adubação verde e nitrogenada sobre o rendimento do feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 34, n. 11, p. 2029-2036, nov. 1999a.

ARF, O.; SILVA, L. S.; BUZZETTI, S.; ALVES, M. C.; SÁ, M. E.; RODRIGUES, R. A. F.; HERNANDEZ, F. B. T. Efeitos na cultura do trigo da rotação com milho e adubos verdes, na presença e na ausência de adubação nitrogenada. **Bragantia**, Campinas, v. 58, n. 2, p. 323-334, 1999b.

BOER, C. A.; ASSIS, R. L. de; SILVA, G. P.; BRAZ, A. J. B. P.; BARROSO, A. L. de L.; CARGNELUTTI FILHO, A.; PIRES, F. R. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura na entressafra em um solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 42, n. 9, p. 1269-1276, set. 2007.

BORDIN, L.; FARINELLI, R.; PENARIOL, F. G.; FORNASIERI FILHO, D. Sucessão de cultivo feijão-arroz com doses de adubação nitrogenada após adubação verde, em semeadura direta. **Bragantia**, Campinas, v. 62, n. 3, p. 417-428, 2003.

CÁCERES, N. T.; ALCARDE, J. C. Adubação verde com leguminosas em rotação com cana-de-açúcar. **Revista STAB**, Piracicaba, v. 13, n. 5, p. 16-20, 1995.

CALEGARI, A. Plantas de cobertura. In: CASÃO JUNIOR, R.; SIQUEIRA, R.; MEHTA, Y. R.; PASSINI, J. J. (Ed.). **Sistema plantio direto com qualidade**. Londrina: IAPAR, 2006. p. 55-73.

CAPORAL, F. R.; COSTABEBER, J. A. Agroecologia. Enfoque científico e estratégico. **Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável**, Porto Alegre, v. 3, n. 2, p. 13-16, abr./jun. 2002.

CARVALHO, M. A. C. de; SORATTO, R. P.; ATHAYDE, M. L. F.; ARF, O.; SÁ, M. E. de. Produtividade do milho em sucessão a adubos verdes no sistema de plantio direto e convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 39, n. 1, p. 47-53, jan. 2004.

CAZETTA, D. A.; FORNASIERI FILHO, D.; GIROTTO, F. Composição, produção de matéria seca e cobertura do solo em cultivo exclusivo e consorciado de milho e crotalária. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 27, n. 4, p. 575-580, 2005.

CHIKOYE, D.; EKELEME, F.; LUM, A. F.; SCHULZ, S. Legume–maize rotation and nitrogen effects on weed performance in the humid and subhumid tropics of West Africa. **Crop Protection**, Surrey, v. 27, n. 3-5, p. 638-647, Mar./May 2008.

ELFSTRAND, S.; BATH, B.; MARTENSSON, A. Influence of various forms of green manure amendment on soil microbial community composition, enzyme activity and nutrient levels in leek. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 36, n. 1, p. 70-82, May 2007.

ELFSTRAND, S.; HEDLUND, K.; MARTENSSON, A. Soil enzyme activities, microbial community composition and function after 47 years of continuous green manuring. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 35, n. 3, p. 610-621, Mar. 2007.

ESPÍNDOLA, 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).

FAVERO, C.; JUCKSCH, I.; ALVARENGA, R. C.; COSTA, L. M. da. Modificações na população de plantas espontâneas na presença de adubos verdes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 36, n. 11, p. 1355-1362, nov. 2001.

HEINRICHS, R.; VITTI, G. C.; MOREIRA, A.; FIGUEIREDO, P. A. M.; FANCELLI, A. L.; CORAZZA, E. J. Características químicas de solo e rendimento de fitomassa de adubos verdes de grãos de milho, decorrente do cultivo consorciado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 29, n. 1, p. 71-79, jan./fev. 2005.

HERNANI, L. C.; ENDRES, V. C.; PITOL, C.; SALTON, J. C. **Adubos verdes de outono/inverno no Mato Grosso do Sul**. Dourados: EMBRAPA-CPAO, 1995. 93 p. (EMBRAPA-CPAO. Documentos, 4).

JESUS, E. L. de. Histórico e filosofia da agricultura alternativa. **Revista Proposta**, Rio de Janeiro, v. 27, p. 34-40, ago. 1985.

LIMA, H. V.; OLIVEIRA, T. S.; OLIVEIRA, M. M.; MENDONÇA, E. S.; LIMA, P. J. B. F. Indicadores de qualidade do solo em sistemas de cultivo orgânico e convencional no semi-árido cearense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, n. 5, p. 1085-1098, 2007.

- LIU, J.; HUE, N. V. Ameliorating subsoil acidity by surface application of calcium fulvates derived from common organic materials. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 21, n. 4, p. 264-270, Mar. 1996.
- MENEZES, L. A. S.; LEANDRO, W. M. Avaliação de espécies de coberturas do solo com potencial de uso em sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 34, n. 3, p. 173-180, 2004.
- NOGUEIRA, F. D.; PAULA, M. B. de; GUIMARAES, P. T. G.; TANAKA, T. Adubação verde, fosfato natural e gesso para a cultura da mandioca em Latossolo Roxo textura argilosa. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 27, n. 3, p. 357-372, mar. 1992.
- PYPERS, P.; VERSTRAETE, S.; THI, C. P.; MERCKX, R. Changes in mineral nitrogen, phosphorus availability and salt-extractable aluminium following the application of green manure residues in two weathered soils of South Vietnam. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 37, n. 1, p. 163-172, Jan. 2005.
- SEVERINO, J. F.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Banco de sementes de plantas daninhas em solo cultivado com adubos verdes. **Bragantia**, Campinas, v. 60, n. 3, p. 201-204, 2001.
- SILVA, E. C. da; MURAOKA, T.; BUZZETTI, S.; TRIVELIN, P. C. O. Manejo de nitrogênio no milho sob plantio direto com diferentes plantas de cobertura, em Latossolo Vermelho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 41, n. 3, p. 477-486, mar. 2006.
- SODRÉ FILHO, J.; CARMONA, R.; CARDOSO, A. N.; CARVALHO, A. M. de. Culturas de sucessão ao milho na dinâmica populacional de plantas daninhas. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 9, n. 1, p. 7-14, jan./mar. 2008.
- SOUSA NETO, E. L. de; ANDRIOLI, I.; BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F. Atributos físicos do solo e produtividade de milho em resposta a culturas de pré-safra. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 43, n. 2, p. 255-260, fev. 2008.
- SUZUKI, L. E. A. S.; ALVES, M. C. Fitomassa de plantas de cobertura em diferentes sucessões de culturas e sistemas de cultivo. **Bragantia**, Campinas, v. 65, n. 1, p. 121-127, 2006.
- TEJADA, M.; GONZALEZ, J. L.; GARCÍA-MARTÍNEZ, A. M.; PARRADO, J. Effects of different green manures on soil biological properties and maize yield. **Bioresource Technology**, Essex, v. 99, n. 6, p. 1758-1767, Apr. 2008.