



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Centro de Pesquisa Agropecuária de Clima Temperado
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

ISSN 1516-8840

Outubro, 2004

Documentos 127

Dinâmica de Adubos Verdes no Sistema Solo-Planta

Walkyria Bueno Scivittaro
Takashi Muraoka
Antonio Enedi Boaretto

Pelotas, RS
2004

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Clima Temperado

Endereço: BR 392 km 78

Caixa Postal 403 - Pelotas, RS

Fone: (53) 275 8199

Fax: (53) 275 8219 - 275 8221

Home page: www.cpact.embrapa.br

E-mail: sac@cpact.embrapa.br

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente: Walkyria Bueno Scivittaro

Secretária-Executiva: Joseane M. Lopes Garcia

Membros: Cláudio Alberto Souza da Silva, Lígia Margareth Cantarelli Pegoraro, Isabel Helena Vernetti Azambuja, Cláudio José da Silva Freire, Luís Antônio Suita de Castro, Sadi Macedo Sapper, Regina das Graças V. dos Santos

Suplentes: Daniela Lopes Leite e Luís Eduardo Corrêa Antunes

Revisor de texto: Sadi Macedo Sapper/Ana Luiza Barragana Viegas

Normalização bibliográfica: Regina das Graças Vasconcelos dos Santos

Editoração eletrônica: Oscar Castro

1ª edição

1ª impressão 2004: 50 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).

Scivittaro, Walkyria Bueno

Dinâmica de adubos verdes no sistema solo, planta / Walkyria Bueno

Scivittaro, Takashi Muraoka, Antonio Eneidi Boaretto. -- Pelotas: Embrapa

Clima Temperado, 2004.

33p. --(Embrapa Clima Temperado. Documentos, 127).

ISSN 1516-8840

1. Adubação verde - Adubação mineral - Solo - Cobertura - Nitrogênio.

I. Takashi, Muraoka. II. Boaretto, Antonio Eneidi. III. Título. IV. Série.

CDD 631.874

Autores

Walkyria Bueno Scivittaro

Eng. Agrôn., Dra. Pesquisadora da Embrapa
Clima Temperado
BR 392 km 78. Cx. Postal 403
CEP 96001-970 Pelotas, RS
E-mail: wbscivit@cpact.embrapa.br

Takashi Muraoka

Eng. Agrôn., Dr. Pesquisador do Centro de
Energia Nuclear na Agricultura
Av. Centenário, 300. Caixa Postal 96
CEP 13400-970 Piracicaba, SP
E-mail: muraoka@cena.usp.br

Antonio Enedi Boaretto

Eng. Agrôn., Dr. Pesquisador do Centro de
Energia Nuclear na Agricultura
Av. Centenário, 300. Cx. Postal 96
CEP 13400-970 Piracicaba, SP
E-mail: boaretto@cena.usp.br

Apresentação

A adubação verde é uma prática milenar de manejo de culturas, com benefícios comprovados na melhoria da qualidade do solo. Destaca-se, particularmente, por seu potencial de fornecimento de nutrientes para as culturas, em especial, nitrogênio oriundo da fixação biológica.

No Brasil, a partir da revolução verde, com a intensificação do uso de fertilizantes minerais, a adubação verde foi relegada a um plano secundário, principalmente devido à inadequação das práticas de manejo, ora disponíveis, e da deficiência de informações sobre a contribuição em nutrientes dos adubos verdes. Recentemente, entretanto, em razão da crescente preocupação com os riscos de poluição ambiental, decorrentes do uso indiscriminado de fertilizantes minerais, e do incremento na adoção de sistemas alternativos de produção, como o orgânico e o integrado, o interesse pelo uso de adubos verdes intensificou-se. Em decorrência, instituições de pesquisa nacionais e internacionais empreenderam estudos para adequar o manejo e determinar a viabilidade técnica e econômica da adubação verde nas mais diversas condições de cultivo.

Este trabalho apresenta, aos técnicos e produtores, informações importantes sobre a dinâmica e o potencial de fornecimento de nitrogênio de adubos verdes em sistemas de cultivos, visando contribuir para a inclusão e expansão da adubação verde no processo produtivo.

Waldyr Stumpf Júnior
Chefe de Pesquisa e Desenvolvimento
Embrapa Clima Temperado

Sumário

Introdução	11
Adubação verde: generalidades	12
Benefícios da adubação verde	14
Adubos verdes como fonte de nitrogênio para as culturas	15
Uso exclusivo de adubos verdes	16
Uso combinado de adubos verdes e minerais	20
Mineralização de nitrogênio de adubos verdes	22
Balanco do nitrogênio de adubos verdes no sistema solo-planta	25
Referências bibliográficas	26

Introdução

Desde a revolução verde, grande parte do nitrogênio requerido pelas culturas tem sido suprida por fertilizantes minerais. A elevação no custo desses insumos, aliada à crescente preocupação com a poluição das águas e atmosfera pelo uso indiscriminado e ineficiente de fertilizantes nitrogenados, têm estimulado, porém, a busca de sistemas de cultivo alternativos, que possibilitem a substituição integral ou parcial das fontes minerais.

O cultivo de leguminosas, como adubos verdes, tem se destacado como alternativa promissora para atender a demanda de nitrogênio das culturas, devido ao seu potencial de fixação biológica de N_2 . Adicionalmente, as leguminosas atuam na conservação do solo, promovendo alterações em alguns de seus atributos físicos, químicos e biológicos e em suas interações.

De modo geral, os benefícios da inclusão de adubos verdes em sistemas de culturas são constatados apenas a médio prazo, após alguns ciclos de cultivo. Por essa razão, a adubação verde ainda é vista com reserva por muitos agricultores, estando restrita a um número reduzido de propriedades. A expansão dessa prática de cultivo está vinculada à comprovação de sua viabilidade técnica e econômica.

Na última década, visando suprir a demanda de informações sobre o assunto, a pesquisa empreendeu numerosos estudos para avaliar os benefícios da adubação verde, com ênfase à determinação do potencial

de fornecimento de nitrogênio dos adubos verdes para culturas subseqüentes. Comparativamente às fontes minerais, a eficiência de utilização de nitrogênio dos adubos verdes, normalmente, mostra-se baixa, raramente ultrapassando 20% no primeiro cultivo. A principal implicação desse fraco desempenho é que, muitas vezes, a quantidade de nitrogênio fornecida pelos adubos verdes não é suficiente para suprir as necessidades das culturas e lhes garantir produtividades elevadas, fazendo-se necessária a suplementação com fontes minerais.

Em razão desse fato, atualmente, a combinação de adubos verdes com fertilizantes minerais desponta como uma alternativa de manejo mais viável, associando os efeitos imediatos e residuais das fontes orgânica e mineral. Independentemente da forma de utilização, para se obter maior recuperação do nitrogênio contido nos adubos verdes é preciso conhecer seu potencial de fornecimento do nutriente, bem como a dinâmica de sua liberação no ambiente.

Esta publicação apresenta uma revisão dos resultados de pesquisas sobre dinâmica de adubos verdes no sistema solo planta, visando contribuir para a expansão e utilização racional dessa prática de manejo no processo produtivo.

Adubação verde: generalidades

A adubação verde é definida como a prática de adicionar ao solo massa vegetal não decomposta de plantas produzidas no próprio local de adição, ou fora dele, com a finalidade de preservar e/ou restaurar a fertilidade do solo (Mondardo, 1984).

Muito embora qualquer espécie vegetal, nativa ou cultivada, possa ser considerada adubo verde, tradicionalmente, as leguminosas são as plantas mais utilizadas para esse fim. Atribui-se tal preferência ao fato de as leguminosas serem grande produtoras de massa verde e, principalmente, por seu potencial de fixação biológica do nitrogênio atmosférico (Igue & Pavan, 1984; Mondardo, 1984; Tanaka, 1981). Essas características garantem às leguminosas grande capacidade de

assimilação de nutrientes que, com a decomposição, se tornam disponíveis às culturas subseqüentes (Miyasaka, 1984).

A prática de adubação verde há muito foi estabelecida. Existem indícios de seu emprego na antigüidade por suíços, chineses, egípcios, romanos (Montojos & Gargantini, 1963) e gregos (Kiehl, 1985).

No Brasil, segundo Miyasaka (1984), a adubação verde já era recomendada no início do século passado por D'utra¹. Nas décadas de 30 a 50, essa prática foi intensificada. Paralelamente, realizaram-se inúmeros estudos mostrando benefícios do uso de adubos verdes na produtividade de culturas como: algodão, arroz, café, amendoim, cana-de-açúcar, feijão, citros e milho. A partir dos anos 50, com o fomento ao uso da adubação mineral, o uso de adubos verdes foi relegado a um plano secundário, tendo as pesquisas sobre o assunto seguido a mesma tendência (Igue & Pavan, 1984; Mondardo, 1984). Esse panorama foi agravado pela resistência dos agricultores à adoção da adubação verde, uma vez que as técnicas, então disponíveis, exigiam a perda de uma safra agrícola para se proceder ao cultivo do adubo verde. Estudos posteriores demonstraram, no entanto, a viabilidade de se efetuar a adubação verde nos períodos de entressafra, superando-se tal inconveniente. Essa opção trouxe, ainda, como vantagens, a manutenção do solo coberto no período de pousio, minimizando os efeitos da erosão; a inibição do crescimento de plantas daninhas e a redução na ocorrência de pragas e doenças (Fundação Cargill, 1984).

A crise energética e a recessão econômica do País nas décadas de 70 e 80 (Igue & Pavan, 1984), associadas à crescente preocupação com os riscos advindos do uso indiscriminado de fertilizantes minerais para o ambiente, despertaram, novamente, o interesse pelo cultivo de adubos verdes como fonte alternativa de nutrientes para as culturas. Em conseqüência, a partir da década de 90, essa prática passou a receber maior atenção da pesquisa (Fancelli, 1991). Atualmente, com o incremento na adoção de sistemas alternativos de produção, como o orgânico e o integrado, a adubação verde tem se mostrado uma

¹ DÚTRA, G.R.D. **Adubos verdes**: sua produção e modo de emprego. Campinas: Instituto Agrônômico, 1919. 76p. (Relatório Técnico).

prática de manejo promissora para atender a demanda de nutrientes das culturas.

Benefícios da adubação verde

O principal benefício associado aos adubos verdes, em especial às leguminosas, refere-se ao fornecimento de nitrogênio para as culturas. No entanto, seus efeitos são bem mais amplos, estando, de forma geral, relacionados à melhoria da qualidade do solo, por meio de alterações em atributos físicos, químicos e biológicos.

A adubação verde promove, ao longo dos anos, aumento do conteúdo de matéria orgânica do solo (Ventura & Watanabe, 1993). A magnitude desse processo varia, no entanto, com a quantidade e qualidade do adubo verde, condições edafoclimáticas e práticas culturais.

A formação e estabilização de agregados representa um dos principais efeitos da adição de matéria orgânica ao solo, resultando em melhoria na aeração e aumento das capacidades de infiltração e retenção de água (Igue & Pavan, 1984). Adicionalmente, a matéria orgânica pode atuar sobre a amplitude de variação térmica do solo, reduzindo-a (Miyasaka et al., 1967).

Outro efeito físico importante da adubação verde refere-se à cobertura do solo, reduzindo o impacto da gota de chuva e o escoamento superficial, com conseqüente diminuição das perdas de solo por erosão (Atallah & Lopez-Real, 1991).

Com a decomposição e mineralização do material vegetal fornecido pelos adubos verdes, há a liberação de quantidades significativas de outros nutrientes essenciais às plantas, além do nitrogênio. Neste sentido, destaca-se a contribuição de adubos verdes ao fornecimento de fósforo (Atallah & Lopez-Real, 1991; Till & Blair, 1978), potássio (Hunter et al., 1997), cálcio e magnésio (Tian et al., 1992), enxofre (Dhillon & Dhillon, 1991; Till & Blair, 1978; Scivittaro et al., 2002), além de vários micronutrientes (Igue & Pavan, 1984).

A matéria orgânica possui, ainda, elevado poder tampão, reduzindo a possibilidade de alterações drásticas no pH do solo, causadas pela

adição de doses elevadas de fertilizantes minerais de reação ácida ou alcalina (Tanaka, 1981).

Com relação ao efeito da adubação verde sobre propriedades biológicas do solo, tem-se verificado que os resíduos orgânicos adicionados influenciam o crescimento e desenvolvimento de microrganismos, que atuam na ciclagem de nutrientes, fornecendo-lhes um meio físico-químico adequado e suprindo-os em energia e nutrientes (Yamoah et al., 1991).

Algumas leguminosas utilizadas como adubo verde atuam no controle da população de nematóides do solo (Fundação Cargill, 1984). Citam-se como vantagens do emprego de adubos verdes no controle desses fitoparasitas, seu efeito prolongado e a não poluição do solo (Tanaka, 1981).

Outro efeito importante da adubação verde diz respeito à diminuição de fontes de inóculos de doenças e pragas (Tanaka, 1981), uma vez que atua como uma rotação de cultura. Certos adubos verdes exercem, ainda, efeito alelopático pronunciado sobre grupos específicos de plantas daninhas, inibindo sua germinação ou desenvolvimento (Lorenzi, 1984).

Adubos verdes como fonte de nitrogênio para as culturas

Um dos efeitos mais importantes da utilização de leguminosas em sistemas de rotação de cultura é sua contribuição à melhoria da fertilidade do solo, por meio do fornecimento de nitrogênio fixado biologicamente (Badaruddin & Meyer, 1990; Janzen & Radder, 1989; Janzen & Schaalje, 1992; Oliveira, 1994; Ventura & Watanabe, 1993). Porém existe um consenso junto ao meio científico de que apenas mediante um manejo adequado, baseado no conhecimento da capacidade e padrão de fornecimento de nitrogênio dos adubos verdes, é possível obter máximo benefício dessa prática, de forma que os adubos verdes supram, integral ou parcialmente, as necessidades de nitrogênio das culturas e sustentem produções elevadas.

A necessidade de se definirem sistemas de manejo adaptados às condições de diferentes regiões, associada à busca de sistemas

agrícolas menos dependentes de fertilizantes minerais, têm estimulado o interesse de instituições de pesquisa de todo o mundo pela avaliação do uso de adubos verdes, em substituição ou suplementação da adubação mineral, e de seu efeito sobre a produtividade das culturas. Em razão desse fato, nos últimos anos, os estudos sobre o assunto têm sido intensificados.

De maneira geral, as estimativas da contribuição de adubos verdes ao fornecimento de nitrogênio para culturas são feitas de forma indireta, calculando-se seu efeito fertilizante pela diferença entre parcelas que receberam ou não adubo verde ou pela comparação com uma fonte mineral de nitrogênio. A desvantagem desse método reside no fato de desconsiderar os efeitos indiretos da adubação verde, ou seja, da adição de uma fonte de matéria orgânica ao solo. Uma outra forma de avaliação, que contempla os efeitos indiretos e residuais da adubação verde, é a preconizada pela técnica de diluição isotópica, que fornece uma estimativa direta da contribuição em nitrogênio dos adubos verdes para o sistema solo-planta, conferindo maior confiabilidade às avaliações realizadas.

Uso exclusivo de adubos verdes

O uso de adubos verdes como fonte exclusiva de nitrogênio para os sistemas agrícolas é uma prática aplicada, principalmente, à agricultura de baixos insumos que, por questões econômicas ou ambientais, visa substituir as fontes minerais de N por insumos de origem orgânica. Porém, sua contribuição em N para as culturas é bastante variável.

Ladd et al. (1981) verificaram que a incorporação de resíduos de *Medicago littoralis* a solos com conteúdo de N variando de 0,9 a 1,4 g kg⁻¹ contribuíram com apenas 5% a 10% do nitrogênio absorvido por plantas de trigo, que produziram de 1,1 a 4,9 t ha⁻¹ de grãos. Complementando esse estudo, Ladd et al. (1983) estudaram os efeitos imediato e residual da aplicação de quantidades crescentes do mesmo adubo verde a diferentes solos, verificando que, no primeiro cultivo, a contribuição de *M. littoralis* ao fornecimento de N para o trigo variou de 6% a 11%. No cultivo seguinte, o fornecimento de N da leguminosa foi ainda menor, não atingindo 5% do total adicionado. Em

ambos os cultivos, a absorção de N do adubo verde foi proporcional à quantidade do nutriente incorporada ao solo. Os autores destacaram, como principal benefício desse adubo verde, a manutenção das

Segundo Badaruddin & Meyer (1990), o uso de leguminosas forrageiras aumentou a absorção de nitrogênio e o rendimento de grãos de trigo, em relação ao solo mantido em pousio ou à incorporação de palha de trigo. O efeito da rotação com leguminosas foi comparável ao da adição de 150 kg ha^{-1} de N, como nitrato de amônio. Por outro lado, Yamoah et al. (1991), trabalhando com *Vicia* spp. em solo ácido, constataram que esse adubo verde provocou redução no rendimento e absorção de N pela cultura de trigo. Este efeito foi atribuído à acidificação do solo, bem como à elevação do conteúdo de Al trocável e redução nos teores de Ca e Mg trocáveis e de P do solo pelo adubo verde. O efeito residual do adubo verde não afetou a produção de outros dois outros cultivos de trigo relativamente ao pousio.

Bremer & Kessel (1992) avaliaram a capacidade de fornecimento de N de *Lens culinaris* para o trigo, comparando-o ao sulfato de amônio. Segundo os autores, embora a assimilação de N do fertilizante mineral (34%) tenha sido maior que a do adubo verde (19%), a contribuição de ambas as fontes foi pequena, não representando 10% do total do nutriente absorvido pelo trigo. Por sua vez, Rees et al. (1993) estudaram o efeito da adição de quantidades crescentes de *Pisum arvense* sobre o aproveitamento de N pelo trigo, que variou de 15% a 23% do total de N adicionado pelo adubo verde. Não se verificou efeito da leguminosa sobre o rendimento e absorção de N pelo trigo, o que se deveu ao elevado teor de N do solo. Dos resultados verificou-se, ainda, que a quantidade de N fornecida pelo adubo verde esteve diretamente relacionada à quantidade do nutriente incorporada ao solo.

De maneira geral, os resultados do uso de adubos verdes na cultura do arroz irrigado são promissores: os adubos verdes fornecem uma fração representativa do N requerido pela cultura. Bhardwaj & Dev (1985), ao avaliarem o efeito fertilizante de *Sesbania cannabina* para essa cultura, determinaram rendimento de grãos equivalente ao obtido com a aplicação de 100 a 120 kg ha^{-1} de N (uréia). Segundo os autores, as

fontes orgânica e mineral forneceram quantidades semelhantes de nitrogênio para as plantas.

De acordo com Manguiat et al. (1992), a aplicação de resíduos de *Sesbania rostrata*, contendo o equivalente a 160 kg ha⁻¹ de N, promoveu aumento de 1,8 t ha⁻¹ na produção de arroz irrigado em relação à omissão do nutriente. O efeito do adubo verde foi equivalente à aplicação de 90 kg ha⁻¹ de N, como uréia. Para os autores, a combinação de adubos verde e mineral é dispensável em solos férteis cultivados com arroz irrigado, uma vez que o N fornecido pela leguminosa é suficiente para suprir a demanda da cultura.

A eficiência de quatro espécies do gênero *Azolla*, utilizadas como adubos verdes para o arroz irrigado, foi avaliada por Ventura et al. (1992), os quais verificaram benefício do nitrogênio contido nos adubos verdes sobre o rendimento de grãos. O conteúdo de N do adubo verde foi fator preponderante na determinação de sua eficiência, sendo necessário um conteúdo mínimo de 3,2% de N para que *Azolla* spp. apresentassem um desempenho comparável ao da uréia. Tais resultados foram confirmados por Ventura & Watanabe (1993), que observaram aumentos na produção de grãos de arroz variando de 1,8 a 3,9 t ha⁻¹, em resposta a repetidas aplicações de *Sesbania rostrata* e *Azolla microphylla*. O efeito desses adubos verdes foi comparável ou superior ao da aplicação de 60 kg ha⁻¹ de N como uréia. Por sua vez, Diekmann et al. (1996), ao trabalharem com *Sesbania rostrata* e *Aeschynomene afraspera*, obtiveram aumentos no rendimento de grãos de arroz variando de 1,3 a 1,7 t ha⁻¹ em relação à ausência de adubação nitrogenada. A eficiência no fornecimento de N desses adubos verdes foi semelhante a da aplicação de 60 kg ha⁻¹ de N (uréia).

O uso de *Leucaena leucocephala*, como adubo verde para a cultura do arroz irrigado, promoveu aumento na absorção de N e produtividade de grãos em relação à ausência do adubo verde. O efeito da leguminosa foi comparável ao da aplicação de 88 kg ha⁻¹ de N mineral (Zoyza et al., 1990), mostrando ser uma fonte promissora de N para o arroz irrigado.

Em cultivo de arroz de sequeiro, John et al. (1992) avaliaram o efeito do adubo verde caupi (*Vigna unguiculata*), verificando aumento na produção de grãos da ordem de 0,7 t ha⁻¹ em relação ao pousio. Tal efeito equivaleu à aplicação de 66 kg ha⁻¹ de N (uréia). A adição do adubo verde aumentou a absorção de nitrogênio pela parte aérea das plantas de arroz em 12 kg ha⁻¹, o que correspondeu a recuperação de 13% do N aplicado.

Hesterman et al. (1986) relataram resultados de estudo com a cultura do milho mostrando que a rotação de culturas com alfafa (*Medicago sativa*) ou soja (*Glycine max*) proporcionou, respectivamente, produções de grãos de 6,8 e 5,1 t ha⁻¹, que representaram aumentos de 84% e 61% em relação ao cultivo contínuo de milho. Por sua vez, Harris & Hesterman (1990), também estudando o efeito de alfafa na cultura do milho, obtiveram recuperação média de N para dois locais de 21% e, como efeito residual, foi determinada recuperação de 1% do N desse adubo verde pela cevada.

De-Polli & Chada (1989) observaram benefício da adubação verde com mucuna-preta, crotalária juncea e feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*) sobre a produção de milho. A adubação verde propiciou rendimentos superiores ou comparáveis aos da adubação mineral com 80 ou 100 kg ha⁻¹ de N na forma de uréia.

Smyth et al. (1991) observaram que o efeito fertilizante de mucuna-preta ou de *Indigofera tinctoria* e caupi para a cultura do milho correspondeu à aplicação de 74 e 26 kg ha⁻¹ de N-uréia, respectivamente. Já Ambrosano (1995) constatou, como média para dois solos, que 52% e 41% do N contido na parte aérea de plantas de milho foi fornecido, respectivamente, pelos adubos verdes mucuna-preta (¹⁵N) e crotalária juncea (¹⁵N). Apesar da significativa contribuição de N dessas leguminosas, seus efeitos sobre a produção do milho foram irrelevantes.

Uso combinado de adubos verdes e minerais

A combinação de adubos verdes a fertilizantes minerais é uma alternativa de manejo mais recente, que tenta conciliar a preservação da qualidade ambiental sem prescindir de produtividade elevada para as culturas. Tal prática tem se mostrado bastante promissora, especialmente pelo fato de a associação entre fontes orgânicas e minerais promover aumento no rendimento das culturas comparativamente ao uso exclusivo destas (Frye et al., 1985; Peterson & Varvel, 1989 e Rekhi & Bajwa, 1993).

Westcott & Mikkelsen (1987) verificaram aumentos na produtividade de arroz irrigado, em relação à testemunha, ao fazerem uso exclusivo de *Vicia benghalensis* ou de sulfato de amônio, sobressaindo-se o desempenho da fonte mineral, que apresentou eficiência de fornecimento de N cerca de duas vezes maior que *V. benghalensis*. A combinação dos adubos verde e mineral, na dose de 180 kg ha⁻¹ de N, absorvido pela cultura no primeiro, segundo e terceiro cultivos, respectivamente. A associação com sulfato de amônio aumentou a disponibilidade do N da alfafa; porém, a utilização de N do sulfato de amônio (34%) não foi influenciada pela presença da alfafa. Por sua vez, Janzen & Schaalje (1992), ao avaliarem a eficiência de utilização de N da lentilha, acompanhada ou não de uréia, determinaram aproveitamentos de 24% e 32% do N do adubo verde por plantas de cevada cultivadas por 45 dias ou até a maturação dos grãos. A presença de uréia não influenciou a recuperação de nitrogênio da lentilha; o mesmo tendo sido verificado para o efeito da lentilha sobre a uréia. Ambas as fontes de N favoreceram a absorção de nitrogênio pela cevada.

Kang et al. (1981), trabalhando em solo pobre em N, obtiveram produtividade máxima de milho com a incorporação de 10 t ha⁻¹ de resíduos frescos de *Leucaena leucocephala* ou pela associação de 5 t ha⁻¹ desse adubo verde a 50 kg ha⁻¹ de N mineral; não encontraram, no entanto, resposta em produtividade à aplicação exclusiva de fertilizante mineral.

Um estudo de Muzilli et al. (1983) mostrou que a adubação verde de inverno com tremoço (*Lupinus albus*) reduziu a necessidade de

adubação nitrogenada de quatro cultivares de milho e promoveu aumento médio de 26% na produtividade da cultura. Efeitos ainda melhores do adubo verde foram relatados por Kanthack et al. (1991), que não obtiveram resposta à aplicação de até 120 kg ha⁻¹ de N mineral na produção de milho, cultivado após tremoço.

Frye et al. (1985), ao compararem os efeitos de combinações de *Vicia villosa*, *Vicia grandiflora* e *Trifolium incarnatum* com três doses de fertilizante mineral (0, 50 e 100 kg ha⁻¹ de N) na cultura do milho produzido em sistema de plantio direto, observaram que a combinação de *Vicia villosa* a 100 kg ha⁻¹ de N propiciou os maiores rendimentos de grãos e que o uso exclusivo de adubos verde ou mineral não supriu a necessidade de N do milho.

Sob condições controladas, Azam et al. (1985) verificaram que a utilização de nitrogênio do sulfato de amônio por plantas de milho foi de 20%; na presença de *Sesbania aculeata*, esse valor diminuiu para 14%. Apenas 5% do N da sesbania foi absorvido pelo milho, não havendo influência da fonte mineral sobre a disponibilidade de N do adubo verde. Posteriormente, Azam et al. (1986) avaliaram o efeito residual dessas fontes de N e constataram recuperações por plantas de trigo de 22,5% e 23,3% do N da sesbania, na presença ou não de sulfato de amônio. Mais de 64% do N residual do fertilizante mineral foram utilizados pelas plantas de trigo, tendo esse valor diminuído para 49% quando combinado ao adubo verde.

De acordo com Hesterman et al. (1987), quando associadas a 56 kg ha⁻¹ de N mineral, as leguminosas alfafa e soja forneceram, em média, 44% do N absorvido por plantas de milho cultivadas em rotação. Mas, com a elevação da dose de N mineral para 168 kg ha⁻¹, a proporção de N no milho derivado das leguminosas diminuiu para 19%. Por outro lado, Peterson & Varvel (1989) verificaram que a rotação com leguminosas associada à fertilização mineral com 90 kg ha⁻¹ de N proporcionou máxima produtividade de milho, superando o efeito do uso exclusivo de leguminosas ou fertilizante mineral. O aproveitamento de N da fonte mineral foi de 51%, desempenho esse que não sofreu a influência da rotação com leguminosas.

Corak et al. (1992), ao avaliarem o efeito do uso exclusivo e combinado de *Vicia villosa* e sulfato de amônio em cultivo de azevém, observaram que a produção de matéria seca proporcionada pela fonte mineral foi cerca de duas vezes maior que a obtida com o adubo verde, correspondendo a uma recuperação de nitrogênio 44% maior que a da leguminosa. A associação com *V. villosa* reduziu a utilização de N do sulfato de amônio, não tendo sido observada, porém, influência da presença desse fertilizante sobre a utilização de N do adubo verde.

Mineralização de nitrogênio de adubos verdes

A decomposição e mineralização dos adubos verdes são condições fundamentais para que os nutrientes neles contidos passem a formas disponíveis às plantas. Fatores externos, como condições ambientais, tipo de solo e forma de manejo, e inerentes aos adubos verdes, exercem grande influência sobre tais processos, devendo ser compreendidos e, na medida do possível, controlados para que otimizem os efeitos da adubação verde.

A temperatura e umidade são fatores ambientais que exercem grande influência sobre a mineralização de N de materiais orgânicos aplicados ao solo e, por conseguinte, sobre sua utilização pelas culturas (Cogle et al., 1987; Fu et al., 1987; Janzen & Radder, 1989; Stanford & Smith; 1972; Ta & Faris, 1990; Tanaka, 1981). De maneira geral, a elevação da temperatura acelera a liberação de nitrogênio mineral de resíduos orgânicos. Em razão desse fato, o período de permanência no solo do N de adubos verdes é maior em regiões de clima temperado; por outro lado, na agricultura tropical, os benefícios da adubação verde são, freqüentemente, de curta duração, com menor efeito residual (Cornforth & Davis, 1968). Quanto à influência da umidade, Cassman & Munns (1980) reportaram dados de vários estudos indicando que a taxa de mineralização de N varia proporcionalmente ao conteúdo de água do solo, atingindo valores máximos quando a umidade do solo está próxima da capacidade de campo.

Outros fatores relacionados ao ambiente afetam a mineralização do N orgânico do solo, entre eles aeração e pH. Weeraratna (1979)

observou maiores taxas de mineralização de N de vários adubos verdes sob condições de aerobiose, quando comparada à anaerobiose. Por sua vez, Fu et al. (1987) constataram menor fornecimento de N por resíduos vegetais em solos sob pH 4, comparativamente ao obtido com pH 6 ou 8; esse efeito foi atribuído à menor atividade microbiana sob condições de elevada acidez.

Com relação às características do solo, a textura (Azam et al., 1989; Ladd et al., 1981; Jans-Hammermeister et al., 1994b e Wagger et al., 1985), os conteúdos de matéria orgânica e de nitrogênio (Azam et al., 1989; Ladd et al., 1983 e Ta & Faris, 1990) e o nível de outros nutrientes (Stanford & Smith, 1972) têm sido, freqüentemente, associados a variações na intensidade de mineralização de N de resíduos vegetais adicionados aos solos. Jans-Hammermeister et al. (1994b) constataram menor mineralização de N de resíduos vegetais em solos de textura fina. Azam et al. (1989) relacionaram variações na mineralização de N de diferentes solos aos teores de argila e de matéria orgânica. Segundo esses autores, a intensidade do processo é maior em solos com menores teores de argila e matéria orgânica. Por sua vez, Ladd et al. (1983) verificaram que a liberação de N por resíduos de *Medicago littoralis* foi maior em um solo com baixo teor de N, comparativamente a outro com elevado conteúdo do nutriente.

A aplicação de fontes inorgânicas de nitrogênio também influencia a liberação de N de adubos verdes. Azam et al. (1995) verificaram, em experimento de incubação, que a adição dos íons amônio e nitrato aumentou significativamente a mineralização de nitrogênio de *Vicia villosa*; o melhor efeito foi constatado com o íon amônio.

As práticas de manejo de solo anteriores à adubação verde e o histórico de cultivo, por determinarem a qualidade da matéria orgânica do solo, influenciam sobremaneira a mineralização de N (Janzen & Radder, 1989). Wilson & Hargrove (1986) constataram maior liberação de N de resíduos de *Trifolium incarnatum* submetido à decomposição em solo preparado por sistema convencional em relação ao sistema de plantio direto. Esse comportamento foi confirmado pelos resultados de Varco et al. (1989), que observaram estímulo a mineralização de N de *Vicia villosa* pela introdução de preparo convencional de solo em sistema estabelecido de plantio direto. Da mesma forma, a

mineralização total de N (solo + adubo verde) é influenciada pelo manejo posterior à adubação verde. Janzen & Radder (1989) verificaram menor mineralização de nitrogênio quando o cultivo foi iniciado imediatamente após a incorporação do adubo verde, em comparação a um período de pousio precedendo o cultivo.

A qualidade do resíduo é fator preponderante para sua mineralização (Smith & Sharpley, 1993). Vários atributos, especialmente a composição química, determinam a qualidade dos adubos verdes. Estudos sobre a decomposição de resíduos vegetais têm mostrado que as concentrações de N, celulose, hemicelulose, lignina e polifenol e as relações C:N, lignina:N, polifenol:N e (lignina + polifenol):N do material vegetal são características importantes na determinação da taxa de mineralização de nitrogênio. Quando as concentrações de lignina (Herman et al., 1977; Müller et al., 1988), hemicelulose (Müller et al., 1988) e as relações C:N, lignina:N (Constantinides & Fownes, 1994), polifenol:N (Oglesby & Fownes, 1992 e Palm & Sanchez, 1991) e (lignina + polifenol):N (Fox et al., 1990) aumentam, ou as concentrações de N (Frankenberger Junior & Abdelmagid, 1985 e Herman et al., 1977) e celulose (Müller et al., 1988) diminuem, as taxas de decomposição dos resíduos orgânicos e de mineralização de N decrescem. Há grande diversidade de resultados quanto à variável que melhor se correlaciona com a mineralização de N, o que, em parte, se deve à variabilidade dos materiais comparados (Constantinides & Fownes, 1994) e a diferenças metodológicas na execução dos estudos (De Neve & Hofman, 1996).

A parte da planta dentro de uma mesma espécie, sua maturidade e pré-tratamentos também influenciam a qualidade dos adubos verdes e, portanto, sua decomposição e mineralização. De Neve & Hofman (1996) e Frankenberger Junior & Abdelmagid (1985) observaram ampla variação nas taxas de mineralização de N de resíduos de diferentes partes de plantas. A intensidade do processo de mineralização é favorecida, ainda, pelo uso de materiais em estádios iniciais de desenvolvimento, que contém maior quantidade de compostos facilmente decomponíveis (Azam et al., 1989; Jans-Hammermeister et al., 1994a e Müller et al., 1988). Müller & Sundman (1988) e Wilson & Hargrove (1986) relataram que a secagem de resíduos vegetais, anteriormente à incorporação, retarda a

decomposição química, enquanto que o efeito da moagem é contrário, acelerando o processo (Oglesby & Fownes, 1992).

Balanco do nitrogênio de adubos verdes no sistema solo-planta

O nitrogênio aplicado ao solo sob a forma de adubos verdes segue diferentes caminhos: uma parte é absorvida pelas plantas, outra, é perdida do sistema solo-planta e o restante permanece no solo, como resíduos ainda não decompostos ou imobilizado por microrganismos, sendo gradualmente convertido a formas estáveis. A magnitude dessas transformações varia amplamente em função das condições experimentais (Azam et al., 1985).

Resultados de trabalhos que utilizam resíduos de vegetais, como adubos verdes, têm mostrado que, sob condições de campo, a maior parte do nitrogênio dos resíduos permanece no solo, principalmente na forma orgânica (Bremer & Kessel, 1992; Harris & Hesterman, 1990; Harris et al., 1994; Ladd et al., 1981, 1983; Müller & Sundman, 1988; Wagger et al., 1985 e Xu et al., 1993a,b). Em geral, a recuperação de N de adubos verdes pela cultura subsequente é baixa, variando de 5% a 30%. Em experimentos de vaso, este valor atinge valores maiores, de até 55% (Azam et al., 1985; 1986; Janzen & Schaalje, 1992 e Patil & Sarkar, 1991), o que se deve à presença de condições mais favoráveis à decomposição dos resíduos (Janzen & Schaalje, 1992) e ao controle de perdas por lixiviação. Quanto ao fornecimento de N residual para um segundo cultivo, esse é muito pequeno, raramente, superior a 5% do total aplicado (Harris & Hesterman, 1990; Ladd et al., 1983; Müller & Sundman, 1988 e Ta & Faris, 1990).

A variabilidade dos resultados de recuperação e de perdas de nitrogênio dos adubos verdes no sistema solo-planta, após um ou dois cultivos, é considerável, oscilando, respectivamente, de 66% a 102% e de 6% a 41% (Azam et al., 1985; Diekmann et al., 1993; Harris & Hesterman, 1990; Ladd et al., 1981).

As principais vias de perdas de nitrogênio do sistema solo-planta são: lixiviação, desnitrificação e volatilização de amônia (Azam et al., 1985; Cogle et al., 1987; Xu et al., 1993a,b; Harris & Hesterman, 1990 e

Ladd et al., 1981). Nos solos de textura grosseira, especialmente, sob condições de precipitação elevada, a lixiviação de nitrato é o principal mecanismo de perda de N do sistema; por outro lado, atribui-se à desnitrificação grande parte das perdas de N em solos de textura fina e drenagem pobre, em períodos de grande precipitação (Harris & Hesterman, 1990 e Ladd et al., 1981), ou em solos inundados (Xu et al., 1993a). Existem ainda referências a perdas de N por escoamento superficial e através de trocas gasosas pela parte aérea das plantas (Bremer & Kessel, 1992 e Janzen & McGinn, 1991). Segundo Bremer & Kessel (1992), o potencial de perdas de N-NH₃ de resíduos de plantas imaturas em decomposição na superfície do solo é considerável, mas, com a incorporação, as perdas de N-NH₃ se tornam desprezíveis (Janzen & McGinn, 1991).

Referências bibliográficas

AMBROSANO, E.J. **Dinâmica do nitrogênio dos adubos verdes, crotalaria juncea (*Crotalaria juncea*) e mucuna-preta (*Mucuna aterrima*), em dois solos cultivados com milho**. 1995. 83 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995.

ATALLAH, T.; LOPEZ-REAL, J.M. Potential of green manure species in recycling nitrogen, phosphorus and potassium. **Biological Agriculture and Horticulture**, Husbandry, v.8, n.1, p. 53-65, 1991.

AZAM, F.; MALIK, K.A.; SAJJAD, M.I. Transformations in soil and availability to plants of ¹⁵N applied as inorganic fertilizer and legume residues. **Plant and Soil**, The Hague, v.86, n.1, p. 3-13, 1985.

AZAM, F.; MALIK, K.A.; SAJJAD, M.I. Uptake by wheat plants and turnover within soil fractions of residual N from leguminous plant material and inorganic fertilizer. **Plant and Soil**, The Hague, v.95, n.1, p. 97-108, 1986.

AZAM, F.; MULVANEY, R.L.; SIMMONS, F.W. Effects of ammonium and nitrate on mineralization of nitrogen from leguminous residues. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v.20, n.1, p. 49-52, 1995.

- AZAM, F.; MULVANEY, R.L.; STEVENSON, F.J. Transformation of ^{15}N -labelled leguminous plant material in three contrasting soils. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v.8, n.1, p. 54-60, 1989.
- BADARUDDIN, M.; MEYER, D.W. Green-manure legume effects on soil nitrogen, grain yield, and nitrogen nutrition of wheat. **Crop Science**, Madison, v.30, n.4, p. 819-825, 1990.
- BHARDWAJ, K.K.R.; DEV, S.P. Production and decomposition of *Sesbania cannabina* (Retz.) Pers. in relation to its effect on the yield of wetland rice. **Tropical Agriculture**, London, v.62, n.3, p. 233-236, 1985.
- BREMER, E.; KESSEL, C. van. Plant-available nitrogen from lentil and wheat residues during a subsequent growing season. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.56, n.4, p. 1155-1160, 1992.
- CASSMAN, K.G.; MUNNS, D.N. Nitrogen mineralization as affected by soil moisture, temperature, and depth. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.44, n.6, p. 1233-1237, 1980.
- COGLE, A.L.; STRONG, W.M.; SAFFIGNA, P.G.; LADD, J.N.; AMATO, M. Wheat straw decomposition in Subtropical Australia. II. Effect of straw placement on decomposition and recovery of added ^{15}N -urea. **Australian Journal of Soil Research**, Victoria, v.25, n.4, p. 481-490, 1987.
- CONSTANTINIDES, M.; FOWNES, J.H. Nitrogen mineralization from leaves and litter of tropical plants: Relationship to nitrogen, lignin and soluble polyphenol concentrations. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.26, n.1, p. 49-55, 1994.
- CORAK, S.J.; SMITH, M.S.; MacKOWN, C.T. Fate of ^{15}N labeled legume and ammonium nitrogen sources in a soil-plant system. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.23, n.5/6, p. 631-642, 1992.
- DE NEVE, S.; HOFMAN, G. Modelling N mineralization of vegetable crop residues during laboratory incubations. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.28, n.10/11, p. 1451-1457, 1996.

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**, Campinas, v.13, n.3, p. 287-293, 1989.

DHILLON, K.S.; DHILLON, S.K. Relative contribution of green manures in sulphur nutrition of toria (*Brassica campestris*). **Journal of Nuclear Agriculture and Biology**, New Delhi, v.20, n.2, p. 128-133, 1991.

DIEKMANN, K.H.; DE DATTA, S.K.; OTTOW, J.C.G. Nitrogen uptake and recovery from urea green manure in lowland rice measured by ¹⁵N and non-isotope techniques. **Plant and Soil**, The Hague, v.148, n.1, p. 91-99, 1993.

DIEKMANN, K.H.; OTTOW, J.C.G.; DE DATTA, S.K. Yield and nitrogen response of lowland rice (*Oryza sativa* L.) to *Sesbania rostrata* and *Aeschynomene afraaspera* green manure in different marginally productive soils in the ulegume-corn rotations. **Agronomy Journal**, Madison, v.78, n.1, p. 19-23, 1986.

HUNTER, D.J.; YAPA, L.G.G.; HUE, N.V. Effects of green manure and coral lime on corn growth and chemical properties of an acid Oxisol in Western Samoa. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v.24, n.3, p. 266-273, 1997.

IGUE, K.; PAVAN, M.A. Uso eficiente de adubos orgânicos. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIZANTES NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 1984. Brasília. **Anais...** Brasília: Embrapa, 1984. p.383-418.

JANS-HAMMERMEISTER, D.C.; MCGILL, W.B.; JENSEN, T.L. Dynamics of ¹⁵N in two soil-plant systems following incorporation of 10% bloom and full bloom field pea. **Canadian Journal of Soil Science**, v.74, n.1, p. 99-107, 1994a.

JANS-HAMMERMEISTER, D.C.; MCGILL, W.B.; JENSEN, T.L. Nitrogen accumulations and relative rates of mineralization in two soils following legume green manuring. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v.74, n.1, p. 23-28, 1994b.

JANZEN, H.H.; MCGINN, S.M. Volatile loss of nitrogen during decomposition of legume green manure. **Soil Biology and Biochemistry**, Berlin, v.23, n.3, p. 291-297, 1991.

JANZEN, H.H.; RADDER, G.D. Nitrogen mineralization in a green manure-amended soil as influenced by cropping history and subsequent crop. **Plant and Soil**, The Hague, v.120, n.1, p. 125-131, 1989.

JANZEN, H.H.; SCHAALJE, G.B. Barley response to nitrogen and non-nutritional benefits of legume green manure. **Plant and Soil**, The Hague, v.142, n.1, p. 19-30, 1992.

JOHN, P.S.; PANDEY, R.K.; BURESH, R.J.; PRASAD, R. Nitrogen contribution of cowpea green manure and residue to upland rice. **Plant and Soil**, The Hague, v.142, n.1, p. 53-61, 1992.

KANG, B.T.; SIPKENS, L.; WILSON, G.F.; NANGJU, D. *Leucaena (Leucaena leucocephala (Lam) d Wit)* prunings as nitrogen source for maize (*Zea mays L.*). **Fertilizer Research**, Hague, v.2, n.4, p. 279-287, 1981.

KANTHACK, R.A.D.; MASCARENHAS, H.A.A.; CASTRO, O.M. de; TANAKA, R.T. Nitrogênio aplicado em cobertura no milho após tremoço. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.26, n.1, p. 99-104, 1991.

KIEHL, E.J. **Fertilizantes orgânicos**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1985. 492 p.

LADD, J.N.; OADES, J.M.; AMATO, M. Distribution and recovery of nitrogen from legume residues decomposing in soils sown to wheat in field. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.13, n.4, p. 251-256, 1981.

LADD, J.N.; AMATO, M.; JACKSON, R.B.; BUTLER, J.H.A. Utilization by wheat crops of nitrogen from legume residues decomposing in soils in the field. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.15, n.3, p. 231-238, 1983.

- LORENZI, H. Considerações sobre plantas daninhas no plantio direto. In: VIDAL TORRADO, P.; ALOISI, R.R. (Ed.). **Plantio direto no Brasil**. Campinas: Fundação Cargill, 1984. p. 13-46.
- MANGUIAT, I.J.; GUINTO, D.F.; PEREZ, A.S.; PINTOR, R.M. Response of rainfed lowland rice to green manuring with *Sesbania rostrata*. **Tropical Agriculture**, London, v.69, n.1, p. 73-77, 1992.
- MIYASAKA, S. Histórico de estudos de adubação verde, leguminosas viáveis e suas características. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE ADUBAÇÃO VERDE, 1., 1983, Rio de Janeiro. **Anais...** Campinas: Fundação Cargill, 1984. p. 64-123.
- MIYASAKA, S.; FREIRE, E.S.; IGUE, T.; TEÓFILO SOBRINHO, J.; ALMEIDA, L.D. Respostas do feijoeiro à aplicação de diversos tipos de matéria orgânica não decomposta, na presença de adubações minerais com P, PK, NP, ou NPK. **Bragantia**, Campinas, v.26, p. 335-344, 1967.
- MIYASAKA, S.; FREIRE, E.S.; MASCARENHAS, H.A.A.; NERY, C.; CAMPANA, M.P.; SORDI, G. de. Efeitos da adubação verde com uma gramínea e quatro leguminosas sobre a produção de feijoeiro "da seca" em terra-roxa-misturada. **Bragantia**, Campinas, v.25, t.1, p. 277-289, 1966.
- MONDARDO, A. Manejo e conservação do solo. In: VIDAL TORRADO, P.; ALOISI, R.R. (Ed.). **Plantio direto no Brasil**. Campinas: Fundação Cargill, 1984. p. 53-78.
- MONTOJOS, J.C.; GARGANTINI, H. Fixação do nitrogênio do ar pelas bactérias que vivem em simbiose com as raízes de centrosema. **Bragantia**, Campinas, v.22, t.2, p. 731-739, 1963.
- MÜLLER, M.M.; SUNDMAN, V. The fate of nitrogen (¹⁵N) released from different plant materials during decomposition under field conditions. **Plant and Soil**, The Hague, v.105, n.1, p. 133-139, 1988.
- MÜLLER, M.M.; SUNDMAN, V.; SOININVAARA, O.; MERILÄINEN, A. Effect of chemical composition on the release of nitrogen from agricultural plant materials decomposing in soil under field conditions. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v.6, n.1, p. 78-83, 1988.

MUZILLI, O.; OLIVEIRA, E.L.; GERAGE, A.C.; TORNERO, M.T. Adubação nitrogenada em milho no Paraná. III. Influência da recuperação do solo com adubação verde de inverno nas respostas à adubação nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.18, n.1, p. 23-27, 1983.

OGLESBY, K.A.; FOWNES, J.H. Effects of chemical composition on nitrogen mineralization from green manures of seven tropical leguminous trees. **Plant and Soil**, The Hague, v.143, n.1, p. 127-132, 1992.

OLIVEIRA, E.L. de. Coberturas verdes de inverno e adubação nitrogenada em algodoeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.18, n.2, p. 235-241, 1994.

PALM, C.A.; SANCHEZ, P.A. Nitrogen release from the leaves of some tropical legumes as affected by their lignin and polyphenolic contents. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.23, n.1, p. 83-88, 1991.

PATIL, R.G.; SARKAR, M.C. Influence of urea and green manure on uptake of labelled N and total N by rice grown on soil previously amended with wheat straw. **Journal of Nuclear Agriculture and Biology**, New Delhi, v.20, n.3, p. 190-198, 1991.

PETERSON, T.A.; VARVEL, G.E. Crop yield as affected by rotation and nitrogen rate. III. Corn. **Agronomy Journal**, Madison, v.81, n.5, p. 735-738, 1989.

REES, R.M.; YAN, L.; FERGUSON, M. The release and plant uptake of nitrogen from some plant and animal manures. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v.15, n.4, p. 285-293, 1993.

REKHI, R.S.; BAJWA, M.S. Effect of green manure on the yield, N uptake and floodwater properties of a flooded rice, wheat rotation receiving ¹⁵N urea on a highly permeable soil. **Fertilizer Research**, Hague, v.34, n.1, p. 15-22, 1993.

SCIVITTARO, W.B.; SILVA, C.A.S. da; ANDRES, A.; REIS, J.C.L.; MATTOS, M.L.T.; TRIVELIN, P.C.O.; MURAOKA, T. **Potencial de utilização de leguminosas de inverno como fonte alternativa de nitrogênio para a cultura do arroz irrigado**. Pelotas: Embrapa Clima

Temperado, 2002. 6 p. (Embrapa Clima Temperado. Comunicado Técnico, 81).

SMITH, S.J.; SHARPLEY, A.N. Nitrogen availability from surface-applied and soil-incorporated crop residues. **Agronomy Journal**, Madison, v.85, n.3, p. 776-778, 1993.

SMYTH, T.J.; CRAVO, M.S.; MELGAR, R.J. Nitrogen supplied to corn by legumes in a central amazon oxisol. **Tropical Agriculture**, London, v.68, n.4, p. 366-372, 1991.

STANFORD, G.; SMITH, S.J. Nitrogen mineralization potentials of soils. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v.36, n.3, p. 465-472, 1972.

TA, T.C.; FARIS, M.A. Availability of N from ¹⁵N-labeled alfafa residues to three succeeding barley crops under field conditions. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.23, n.6, p. 835-838, 1990.

TANAKA, R.T. A adubação verde. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.7, n.81, p. 62-67, 1981.

TIAN, G.; KANG, B.T.; BRUSSAARD, L. Effects of chemical composition on N, Ca, and Mg release during incubation of leaves from selected agroforestry and fallow plant species. **Biogeochemistry**, Oxford, v.16, n.2, p. 103-119, 1992.

TILL, A.R.; BLAIR, G.J. The utilization by grass of sulphur and phosphorus from clover litter. **Australian Journal of Agricultural Research**, Victoria, v.29, n.1, p. 235-242, 1978.

VARCO, J.J.; FRYE, W.W.; SMITH, M.S.; MacKOWN, C.T. Tillage effects on nitrogen recovery by corn from a nitrogen-15 labeled legume cover crop. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.53, n.3, p. 822-827, 1989.

VENTURA, W.; WATANABE, I. Green manure production of *Azolla microphylla* and *Sesbania rostrata* and their long-term effects on rice yields and soil fertility. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v.15, n.4, p. 241-248, 1993.

WAGGER, M.G.; KISSEL, D.E.; SMITH, S.J. Mineralization of nitrogen from nitrogen-15 labeled crop residues under field conditions. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.49, n.5, p. 1220-1226, 1985.

WEERARATNA, C.S. Pattern of nitrogen release during decomposition of some green manures in a tropical alluvial soil. **Plant and Soil**, The Hague, v.53, n.3, p. 287-294, 1979.

WESTCOTT, M.P.; MIKKELSEN, D.S. Comparison of organic and inorganic nitrogen sources for rice. **Agronomy Journal**, Madison, v.79, n.5, p. 937-943, 1987.

WILSON, D.O.; HARGROVE, W.L. Release of nitrogen from crimson clover residue under two tillage systems. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.50, n.5, p. 1251-1254, 1986.

XU, Z.H.; MYERS, R.J.K.; SAFFIGNA, P.G.; CHAPMAN, A.L. Nitrogen cycling in leucaena (*Leucaena leucocephala*) alley cropping in semi-arid tropics. II. Response of maize growth to addition of nitrogen fertilizer and plant residues. **Plant and Soil**, The Hague, v.148, n.1, p. 73-82, 1993a.

XU, Z.H.; SAFFIGNA, P.G.; MYERS, R.J.K.; CHAPMAN, A.L. Nitrogen cycling in leucaena (*Leucaena leucocephala*) alley cropping in semi-arid tropics. I. Mineralization of nitrogen from leucaena residues. **Plant and Soil**, The Hague, v.148, n.1, p. 63-72, 1993b.

YAMOAH, C.F.; EYLANDS, V.J.; BURLEIGH, J.B. Green manuring with vetch on acid soil in the highland region of Rwanda. **Biological Agriculture and Horticulture**, Husbandry, v.7, n.3, p. 303-316, 1991.

ZOYSA, A.K.N.; KEERTHISINGHE, G.; UPASENA, S.H. Effect of *Leucaena leucocephala* (Lam) de Wit, as a green manure on nitrogen uptake and yield of rice. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v.9, n.1, p. 68-70, 1990.