

PLANTAS DE COBERTURA DE SOLO COMO FONTE DE NITROGÊNIO AO MILHO⁽¹⁾

C. AITA⁽²⁾, C. J. BASSO⁽³⁾, C. A. CERETTA⁽²⁾,
C. N. GONÇALVES⁽⁴⁾ & C. O. DA ROS⁽⁵⁾

RESUMO

Durante o período de 1990/94, foi realizado um trabalho na área experimental do Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria (RS), num Argissolo Vermelho distrófico arênico, para avaliar o potencial de algumas plantas de cobertura de solo no fornecimento de N ao milho no sistema plantio direto. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, com parcelas subdivididas e quatro repetições. Nas parcelas principais, foram utilizadas, em cada inverno, as leguminosas ervilhaca comum (*Vicia sativa* L.), ervilha forrageira (*Pisum sativum* var. arvense (L.) Poir), chícharo (*Lathyrus sativus* L.) e tremoço azul (*Lupinus angustifolius* L.), a gramínea aveia preta (*Avena strigosa* Schieb.), além de um tratamento com pousio invernal (plantas invasoras). Nas subparcelas, foram aplicadas as doses de 0, 80 e 160 kg ha⁻¹ de N no milho, na forma de uréia. Na média dos quatro anos, as duas espécies que produziram maior quantidade de matéria seca pela parte aérea foram o tremoço azul (5.228 kg ha⁻¹) e a aveia preta (4.417 kg ha⁻¹), seguidas do chícharo (3.047 kg ha⁻¹), ervilha forrageira (2.754 kg ha⁻¹), ervilhaca comum (2.527 kg ha⁻¹) e plantas invasoras do pousio invernal (1.197 kg ha⁻¹). Dentre as leguminosas, a espécie tremoço azul acumulou a maior quantidade de N na parte aérea (113,7 kg ha⁻¹ de N). Os tratamentos que adicionaram menor quantidade de N ao solo pela fitomassa foram a aveia preta (41,7 kg ha⁻¹ de N) e o pousio invernal (20,5 kg ha⁻¹ de N). Aproximadamente, 60% do N acumulado na parte aérea das leguminosas foi liberado durante os primeiros 30 dias após o seu manejo. Na ausência de adubação nitrogenada, o rendimento de grãos de milho foi maior após as leguminosas do que após a aveia e o pousio invernal. As leguminosas diferiram entre si quanto ao potencial de fornecimento de N ao milho. Os maiores valores de equivalência em N mineral (EqN) foram obtidos com a ervilhaca (137 kg ha⁻¹ de N) e com o tremoço (122 kg ha⁻¹ de N), evidenciando a possibilidade de redução das quantidades de N mineral por aplicar no milho quando ele for cultivado em sucessão a estas duas leguminosas.

Termos de indexação: leguminosas, plantio direto, adubação verde, decomposição.

⁽¹⁾ Recebido para publicação em janeiro de 2000 e aprovado em setembro de 2000.

⁽²⁾ Professor do Departamento de Solos, Universidade Federal de Santa Maria – UFSM. CEP 97105-900 Santa Maria (RS).

⁽³⁾ Doutorando do Programa de Pós-graduação em Agronomia, UFSM. E-mail: a9760358@alunop.ufsm.br

⁽⁴⁾ Doutorando do Curso de Pós-graduação da Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS. CEP 90001-970 Porto Alegre (RS). E-mail: cristiano@hotmail.com.br

⁽⁵⁾ Professor da Universidade de Cruz Alta - UNICRUZ. Caixa Postal 858, CEP 98025-810 Cruz Alta (RS).

SUMMARY: COVER CROPS AS A SOURCE OF NITROGEN TO CORN

A field experiment was carried out from 1990 to 1994 in the experimental area of the Soil Department at the Federal University of Santa Maria, State of Rio Grande do Sul, Brazil, on an Hapludalf to evaluate the potential of some winter legumes as N suppliers to no-tillage corn. A completely randomized block design with split-plots was used, with the winter crops in the main plots and the N rates for corn in the split-plots. In the main plots, the legumes common vetch (*Vicia sativa* L.), field pea (*Pisum sativum* var. *arvense* (L.) Poir), wild winter pea (*Lathyrus sativus* L.) and blue lupine (*Lupinus angustifolius* L.) and the graminea black oat (*Avena strigosa* Schieb.) were implanted every winter. A treatment with fallow was used as a reference. The rates of N for corn were 0, 80 and 160 kg ha⁻¹, applied as urea. On average for the four years, the two specie that produced the greatest amounts of dry matter were blue lupine (5,228 kg ha⁻¹) and black oat (4,417 kg ha⁻¹), followed by wild winter pea (3,047 kg ha⁻¹), field pea (2,754 kg ha⁻¹), common vetch (2,527 kg ha⁻¹), and winter fallow (1,197 kg ha⁻¹). Among the legumes, the blue lupine was the specie that accumulated the largest amount of N in the aerial part (113.7 kg ha⁻¹ of N). The treatments that added the smallest amounts of N to the soil for the phytomass were black oat (41.7 kg ha⁻¹ of N) and weeds under fallow conditions (20.5 kg ha⁻¹ of N). Aproximately, 60% of the N accumulated by the above ground legume biomass was decomposed during the first 30 days after legume management. When N fertilization was not used, corn grain yield was greatest after legumes than after oat or winter fallow. The legumes differed in their potential as N suppliers to corn. The largest values of equivalent mineral N were obtained with common vetch (137 kg ha⁻¹ of N) and blue lupine (122 kg ha⁻¹ of N), evidencing the possibility of reduction of the amounts of mineral N to be applied to corn when cultivated in succession to these two legumes.

Index terms: legumes, no-tillage, green manure, decomposition.

INTRODUÇÃO

No Rio Grande do Sul, a maior parte da área cultivada com espécies comerciais no verão permanece em pousio durante o inverno. Nesse período do ano, ocorrem as maiores precipitações pluviométricas, resultando em perdas expressivas de solo e de nutrientes por erosão, já que a cobertura do solo proporcionada pelas plantas invasoras durante o inverno é normalmente deficiente. O nitrogênio é o nutriente mais afetado nesse processo, provocando sérias limitações na produtividade das culturas. Isto porque a principal fonte desse nutriente é a matéria orgânica que se encontra na camada superficial do solo e sofre uma perda seletiva durante a erosão hídrica (Da Ros, 1993).

Uma das alternativas mais promissoras para enfrentar essa situação consiste na utilização de plantas de cobertura de solo durante o inverno. Dentre as espécies avaliadas, as leguminosas têm recebido atenção especial, pois, além de propiciarem cobertura do solo, apresentam potencial de fixação do N₂ atmosférico em simbiose com *Rhizobium*. Com a decomposição de seus resíduos, o N orgânico será mineralizado e absorvido pela cultura em sucessão, reduzindo, assim, as quantidades de N mineral por utilizar nas culturas comerciais de verão (Muzilli, 1978; Derpsch et al., 1985; Heinzmann, 1985;

Pavinato et al., 1994; Da Ros & Aita, 1996). Para o milho, isto é relevante, uma vez que a fertilização nitrogenada é um componente importante do custo de produção da cultura.

Uma das maneiras de avaliar o potencial das leguminosas em fornecer N às culturas comerciais é pela determinação da equivalência em N mineral (EqN) das leguminosas (Smith et al., 1987). Embora tal característica seja fundamental à seleção daquelas leguminosas de inverno mais promissoras como fonte de N ao milho, poucos estudos têm sido realizados nesta área no Brasil, especialmente no sistema plantio direto.

Este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar o desempenho de plantas de cobertura de solos de inverno num Argissolo Vermelho distrófico arênico da Depressão Central do Rio Grande do Sul, bem como sua capacidade em fornecer nitrogênio para o milho em plantio direto.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado, durante quatro anos agrícolas (1990/91 a 1993/94), em área experimental do Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria, região fisiográfica da Depressão

Central do Rio Grande do Sul, num Argissolo Vermelho distrófico arênico (Hapludalf) (EMBRAPA, 1999), com textura superficial franco-arenosa. Na camada de 0-20 cm, o solo apresentou as seguintes características iniciais: 590 g kg⁻¹ de areia, 210 de silte, 150 de argila; pH em água = 5,5; índice SMP = 6,0; 8,4 mg L⁻¹ de P, 108 de K; 3,7 mmol_c L⁻¹ de Al³⁺; 3,2 de Ca²⁺ + Mg²⁺ e 7,5 g kg⁻¹ de MO. A declividade média da área experimental é de 5%.

A precipitação pluviométrica mensal para o período de 1990 a 1994 é mostrada no quadro 1.

Anteriormente à instalação do experimento, a área foi cultivada com as seqüências aveia preta/soja (1988/89) e ervilhaca comum + aveia preta/milho (1989/90), com aplicação de fertilizantes minerais nas culturas de verão. Por ocasião da instalação do experimento (1990/91), o solo foi preparado pelo sistema convencional (aração e gradagem), com incorporação de 3,0 Mg ha⁻¹ de calcário dolomítico. A partir de 1990, as espécies de inverno foram sempre semeadas a lanço, sem adubação mineral, e as sementes incorporadas ao solo por meio de grade niveladora com pequeno ângulo de corte para a cobertura das sementes, com mínima mobilização do solo. As sementes das leguminosas foram inoculadas com rizóbio específico.

Utilizou-se o delineamento experimental de blocos ao acaso, com parcelas subdivididas e quatro repetições. Nas parcelas principais (15 x 5 m), utilizaram-se cinco plantas de cobertura de inverno: ervilhaca comum (*Vicia sativa* L.), ervilha forrageira (*Pisum sativum* var. *arvense* (L.) Poir), chícharo (*Lathyrus sativus* L.), tremoço azul (*Lupinus angustifolius* L.) e aveia preta (*Avena strigosa*

Schieb.), além de um tratamento com pousio invernal (plantas invasoras). Nas subparcelas (5 x 5 m), foram aplicadas três doses de nitrogênio (0, 80 e 160 kg ha⁻¹) na cultura do milho, na forma de uréia.

As plantas de cobertura foram manejadas na fase de florescimento pleno, com uma grade niveladora com pequeno ângulo de corte, visando à interrupção do ciclo vegetativo e o acamamento dessas plantas. No tratamento com pousio invernal, o manejo da vegetação espontânea foi efetuado com o uso de herbicida à base de *glyphosate* (1,92 kg ha⁻¹ de i.a.).

Considerando que as condições edafoclimáticas exercem grande influência sobre o desempenho das culturas, optou-se por fazer uma análise conjunta dos resultados de quatro anos (1990 a 1994) das variáveis matéria seca e nitrogênio acumulado nas plantas de cobertura de solo de inverno. Por esse motivo, foram considerados os dados destas variáveis dos anos de 1990 e 1991, que foram apresentados em Da Ros & Aita (1996).

Em cada ano agrícola, a semeadura do milho (Cargill 511 A) foi efetuada diretamente sobre os resíduos culturais das plantas de cobertura de inverno, aproximadamente 20 dias após o manejo das plantas por meio de semeadora equipada com mecanismo sulcador tipo facão para a distribuição do adubo e duplo disco defasado para as sementes. O período de 20 dias entre o manejo das espécies e a semeadura do milho foi estabelecido na tentativa de se evitarem os problemas relacionados com a ação de produtos com efeito alelopático para o milho, liberados na fase inicial de decomposição das culturas de cobertura, conforme constataram Guenzi & McCalla (1962). O espaçamento utilizado foi de um metro entrelinhas com sete sementes por metro linear. Após o desbaste, foram deixadas cinco plantas por metro linear, perfazendo uma população final de 50.000 plantas ha⁻¹.

A partir da análise do solo do experimento, foram aplicados, anualmente, em todos os tratamentos, 45 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 53 de K₂O nas formas de superfosfato triplo e cloreto de potássio, respectivamente. A quantidade de N (na forma de uréia) aplicada por ocasião da semeadura do milho foi de 15 kg ha⁻¹ nos tratamentos com 80 e 160 de N e o restante em cobertura, em duas parcelas iguais, aproximadamente aos 45 e 70 dias da semeadura.

Por ocasião do florescimento pleno das espécies de cobertura, foi avaliada a sua produção de fitomassa, coletando-se, aleatoriamente, uma área de 0,8 m² por parcela. A matéria seca foi determinada após a secagem em estufa a 65°C, até massa constante. No tecido vegetal, seco e moído, determinaram-se a concentração de N por digestão úmida e a destilação por meio de destilador de arraste de vapor semimicro-Kjeldahl (Tedesco et al., 1985). O teor de carbono orgânico do tecido vegetal foi analisado pelo método Walkley & Black, descrito por Tedesco et al. (1985), em uma única amostra de

Quadro 1. Precipitação pluviométrica ocorrida nos anos agrícolas de condução do experimento e precipitação normal (média dos últimos trinta anos)⁽¹⁾

Mês	Normal	1990	1991	1992	1993	1994
Janeiro	144	109	48	82	366	47
Fevereiro	140	164	36	253	87	256
Março	129	188	100	134	109	111
Abril	157	253	330	271	66	192
Maio	191	123	54	157	237	283
Junho	163	86	178	142	168	177
Julho	135	92	131	127	227	294
Agosto	145	19	57	83	13	154
Setembro	163	226	59	152	98	130
Outubro	152	163	47	134	192	224
Novembro	121	278	25	77	253	138
Dezembro	129	117	322	67	204	120

⁽¹⁾ Informações obtidas na Estação Meteorológica da Universidade Federal de Santa Maria.

tecido vegetal de cada espécie. Essa amostra composta foi constituída por quatro subamostras, cuja massa foi proporcional à produção de matéria seca em cada uma das quatro repetições.

Nos dois primeiros anos do experimento (1990 e 1991), avaliou-se a liberação de nitrogênio dos resíduos culturais após o manejo das plantas de cobertura, pela coleta de uma área de 0,8 m² entre as linhas de milho, nas subparcelas que não receberam nitrogênio mineral. No campo, as amostras foram pesadas, submostrando-se, aproximadamente, 1/3 do material, tendo sido o restante devolvido ao respectivo local de amostragem. Nas subamostras, secas em estufa a 65°C até peso constante e moídas, analisou-se o teor de N, conforme descrito anteriormente para o tecido vegetal das plantas de cobertura.

As coletas de resíduos culturais foram realizadas até 180 dias após o manejo das espécies, tendo sido, em 1990, o intervalo entre coletas de 30 dias e, em 1991, de 10 dias, no primeiro mês, e de 30 dias, até o final do período. Cada coleta foi realizada em uma área distinta dentro das subparcelas amostradas. Para estimar a liberação de N dos resíduos culturais, consideraram-se as quantidades remanescentes de N (matéria seca x concentração em N) em cada amostragem ao longo do período de avaliação.

O rendimento de grãos de milho foi avaliado em uma área de 16 m², coletando-se as quatro linhas centrais, desprezando-se 0,5 m nas extremidades de cada subparcela. Os valores foram ajustados para 13% de umidade.

A estimativa da equivalência em N mineral (EqN) das leguminosas baseou-se em Smith et al. (1987), os quais definiram a EqN como sendo a quantidade de N mineral por aplicar na cultura comercial, após pousio, para se obter rendimento equivalente ao tratamento com leguminosa, sem aplicação de N. Por exemplo, um valor de EqN de 70 kg ha⁻¹ de N de uma leguminosa significa ser necessária a aplicação de 70 kg ha⁻¹ de N no milho após pousio para atingir uma produção de grãos equivalente àquela obtida com o uso exclusivo da leguminosa (sem o uso de N mineral).

Para a análise estatística das características avaliadas, calculou-se a média dos valores obtidos nos quatro anos de experimentação, considerando cada ano uma repetição. As médias provenientes da variável de natureza qualitativa (plantas de cobertura) foram submetidas à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Duncan a 5%. O efeito das doses de N sobre o rendimento de grãos de milho foi avaliado pela análise de regressão. Como foram consideradas somente três doses de N no milho, utilizou-se o modelo linear, ajustado pelas médias das observações dos quatro anos. As curvas relativas à liberação de N dos resíduos culturais foram ajustadas aos valores observados por meio de modelos lineares.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Rendimento de matéria seca e acúmulo de N pelas plantas de cobertura

Pode-se observar que, na média dos quatro anos, tanto o rendimento de matéria seca como a quantidade de nitrogênio acumulado no tecido vegetal da parte aérea diferiram entre as espécies avaliadas (Quadro 2). As duas espécies que produziram a maior quantidade de matéria seca foram o tremoço azul (5.228 kg ha⁻¹) e a aveia preta (4.417 kg ha⁻¹), seguidas do chícharo, ervilha forrageira e ervilhaca comum, que não diferiram entre si. O tratamento em que o solo permaneceu em pousio durante o inverno foi aquele que contribuiu com a menor quantidade de fitomassa.

Em experimento realizado no planalto do Rio Grande do Sul em um Brunizém Avermelhado com 3,2% de matéria orgânica (MO) e 25% de argila, Pavinato et al. (1994) encontraram produções de matéria seca para aveia preta, ervilha forrageira, ervilhaca comum e chícharo de 5.710, 4.950, 2.960 e 2.920 kg ha⁻¹, respectivamente. Já Calegari (1987), trabalhando com estas mesmas espécies e mais o tremoço azul em um Latossolo do estado do Paraná, encontrou produções de 4.150, 5.490, 3.322, 3.924 e 4.429 kg ha⁻¹, para aveia preta, ervilha forrageira, ervilhaca comum, chícharo e tremoço azul, respectivamente.

No presente experimento (Quadro 2), a ervilhaca comum e, principalmente, a ervilha forrageira foram as espécies que apresentaram menor produção de matéria seca em relação às obtidas por Pavinato et al. (1994) e Calegari (1987). É provável que tais espécies sejam mais exigentes em fertilidade de solo

Quadro 2. Produção de matéria seca, nitrogênio acumulado e relação C/N das plantas de cobertura de solo que antecederam o milho, nos anos agrícolas de 1990/91 a 1993/94

Planta de cobertura no inverno	Matéria seca	Nitrogênio acumulado	Relação C/N
	———— kg ha ⁻¹ ————		
Ervilhaca comum	2.527 bc ⁽¹⁾	76,7 b	10,5 ⁽²⁾
Ervilha forrageira	2.754 b	69,2 b	13,1
Chícharo	3.047 b	83,5 b	12,4
Tremoço azul	5.228 a	113,7 a	15,4
Aveia preta	4.417 a	41,7 c	34,9
Pousio	1.197 c	20,5 c	17,6

⁽¹⁾ Médias seguidas de mesma letra, na coluna (média dos quatro anos) não diferem entre si (Duncan a 5 %). ⁽²⁾ Não foi feita a análise estatística da relação C/N porque o teor de C foi avaliado a partir de uma mostra composta, constituída pelas quatro repetições.

do que as demais, razão por que produziram mais fitomassa no Latossolo e no Brunizém Avermelhado do que no Argissolo Vermelho distrófico arênico deste trabalho que apresentava um teor inicial de MO no solo de apenas 0,75%. Tais resultados mostram que o uso de plantas de cobertura de solo durante o inverno deve ser precedido da avaliação do seu desempenho nas condições edafoclimáticas em que se pretende utilizá-las.

Pode-se observar que o tremoço azul foi a leguminosa que acumulou a maior quantidade de nitrogênio na parte aérea ($113,7 \text{ kg ha}^{-1}$) (Quadro 2). A análise estatística indicou que não houve diferença para a quantidade de N acumulado pelas leguminosas chícharo, ervilhaca comum e ervilha forrageira. O fato de o tremoço ter acumulado aproximadamente 50% mais nitrogênio do que a média das outras três leguminosas deve estar relacionado com sua maior produção de fitomassa, que foi 88% superior à das demais leguminosas.

No caso das leguminosas, é importante destacar que boa parte do N incorporado ao tecido vegetal foi obtida via fixação simbiótica do N_2 atmosférico. A proporção do N acumulado que é fixado biologicamente varia de acordo com a disponibilidade de N mineral no solo, com a eficiência fixadora de N por parte das estirpes de bactérias introduzidas via inoculação das sementes e, ou, com a população de bactérias presentes originalmente no solo (Aita, 1997). A melhoria do balanço de N no solo por meio da introdução de leguminosa é particularmente importante em solos pobres em matéria orgânica como o do presente experimento, onde a disponibilidade de N constitui fator limitante à produção daqueles cereais mais exigentes em N, como o milho.

A aveia preta foi a espécie que apresentou a segunda maior produção de matéria seca entre as plantas de cobertura, embora a quantidade de N acumulado tenha sido apenas a metade daquela encontrada na média das quatro leguminosas. Tais resultados confirmam os relatados por Aita et al. (1994), que trabalharam no mesmo tipo de solo deste estudo, e mostraram a importância do cultivo das leguminosas de inverno quando o objetivo for o de aumentar o aporte de N ao solo. Todavia, a aveia pode ser uma alternativa interessante para aquelas situações em que a necessidade maior seja a adição ao solo de fitomassa e carbono. Além disso, o fato de a aveia ter acumulado 104% mais N do que as plantas invasoras do pousio invernal (Quadro 2) demonstra que esta espécie pode contribuir também para a diminuição das perdas de N por lixiviação de nitrato no perfil do solo durante o inverno, mantendo o nutriente no tecido vegetal.

Liberação de N dos resíduos culturais

A liberação de N dos resíduos culturais, nos dois anos de experimentação, foi mais rápida na fase inicial da decomposição (Figura 1). Considerando a

média das quatro leguminosas, 57% do N presente inicialmente na fitomassa foi liberado nos primeiros 30 dias após o manejo em 1990/91 (Figura 1a) e 60% em 1991/92 (Figura 1b). Aos 120 dias, esses valores aumentaram para 80%, no primeiro ano, e 85%, no segundo. Na média dos dois anos, a quantidade de N liberado da palha da aveia foi de 38%, aos 30 dias, e de 54%, aos 120 dias, caracterizando a menor taxa de liberação de N da gramínea em relação às leguminosas.

Observa-se que a liberação de N dos resíduos culturais nos primeiros 30 dias após o manejo foi diretamente relacionada com a quantidade de N acumulado pelas espécies na fase de florescimento pleno (Figura 2).

O fato de o N das leguminosas avaliadas ser rapidamente liberado após o seu manejo poderá ter conseqüências importantes do ponto de vista de fornecimento de N à cultura em sucessão, já que o N liberado poderá ser perdido no solo principalmente por lixiviação de nitrato, se ocorrerem chuvas intensas e não houver uma cultura capaz de absorver o N liberado. Assim, para maximizar o aproveitamento deste N, deve-se efetuar o plantio da cultura comercial logo após o manejo das leguminosas de inverno, conforme recomenda Heinzmann (1985), ou deve-se promover a seleção de plantas de cobertura cuja taxa de mineralização do N dos resíduos culturais ocorra com maior sincronia possível em relação à demanda de N da cultura em sucessão.

Rendimento de grãos de milho

O efeito das plantas de cobertura sobre o rendimento de grãos em cada dose de N é mostrado no quadro 3. Os dados obtidos indicam a interação significativa a 5% de plantas de cobertura e doses de N. Observa-se que, na ausência de adubação nitrogenada, o rendimento médio de grãos de milho em sucessão às leguminosas foi superior em 89 e 43% nos tratamentos com aveia preta e pousio invernal, respectivamente. Os aumentos proporcionados pelas leguminosas são da mesma magnitude daqueles encontrados por Aita et al. (1994) e por Pavinato et al. (1994), ao trabalharem com estas mesmas espécies, e por Frye et al. (1985), ao compararem o rendimento do milho após ervilhaca peluda (*Vicia villosa*) ao obtido após centeio, em experimento realizado durante cinco anos no sistema plantio direto. Tais resultados mostram que a utilização de leguminosas no inverno constitui uma fonte alternativa de N para o milho cultivado em sucessão.

O comportamento diferenciado entre leguminosas e gramíneas no fornecimento de N ao milho pode ser explicado pela capacidade das primeiras em fixar o N_2 atmosférico e pelas diferenças na relação C/N e na composição bioquímica dessas espécies, que são as principais características inerentes ao tecido vegetal com reflexos diretos sobre a sua velocidade

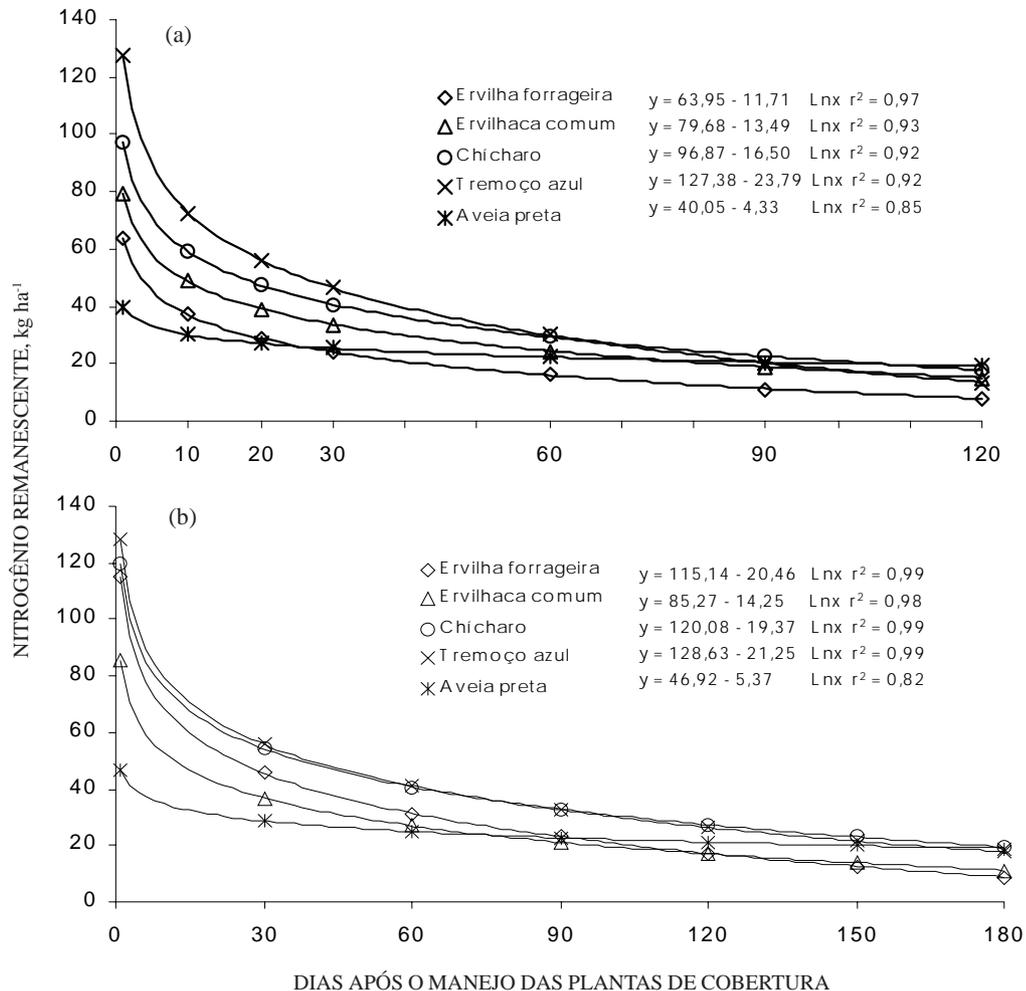


Figura 1. Quantidade de nitrogênio liberado pelos resíduos das espécies de inverno no ano agrícola 1990/91 (a) e 1991/92 (b).

Quadro 3. Rendimento de grãos de milho cultivado em sucessão a plantas para cobertura de solo no inverno, em três níveis de adubação nitrogenada mineral. Médias dos anos agrícolas 1990/91 a 1993/94

Planta de cobertura no inverno	Dose de nitrogênio no milho (kg ha ⁻¹)		
	0	80	160
	kg ha ⁻¹		
Ervilhaca comum	4.548 a ⁽¹⁾	4.900 ab	5.089 a
Ervilha forrageira	3.635 ab	4.569 abc	4.832 a
Chicharo	3.969 a	4.564 abc	4.675 a
Tremoço azul	4.379 a	5.014 a	4.991 a
Aveia preta	2.188 c	4.047 c	4.500 a
Pousio ⁽²⁾	2.887 bc	4.172 bc	4.667 a

⁽¹⁾ Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem significativamente entre si (Duncan a 5%). ⁽²⁾ No tratamento em pousio, cresceram plantas invasoras durante o inverno.

de decomposição e, conseqüentemente, sobre a disponibilidade de N no solo (Recoux et al., 1995). Observa-se, no quadro 3, que a relação C/N média das leguminosas é de 12,8, enquanto na aveia ela é de 34,9, valor superior àquele considerado como sendo de equilíbrio entre os processos microbianos de imobilização e mineralização de N que é de aproximadamente 25 (Paul & Clark, 1989).

Para utilizar o carbono da palha de aveia na biossíntese e como fonte de energia, os microrganismos imobilizam N mineral do solo, diminuindo a sua disponibilidade para o milho. Isto fica evidenciado nos resultados do quadro 2, onde, na ausência de adubação nitrogenada mineral, o rendimento de grãos após a aveia foi inferior em 32% em relação ao do pousio invernal.

Analisando a resposta do milho à adubação nitrogenada mineral, em sucessão às plantas de cobertura, observa-se que, com a aplicação de 160 kg ha⁻¹ de N, o rendimento de grãos foi

semelhante entre as diferentes espécies de cobertura (Quadro 3). Como foram usadas apenas três doses de N, utilizou-se a regressão linear para ajustar o rendimento de grãos de milho de acordo com a adubação nitrogenada após cada cultura de cobertura (Figura 3).

Equivalência em N mineral (EqN) das leguminosas

Para estimar a equivalência em N mineral das leguminosas, utilizou-se a equação de regressão entre doses de N e rendimento de grãos para o sistema pousio/milho (Figura 3) ($Y = 3.019 + 11,13X$).

Substituindo Y pelos rendimentos de grãos de milho obtidos em sucessão aos tratamentos com leguminosas, na ausência de adubação nitrogenada mineral (3.635, 3.969, 4.379 e 4.548 kg ha⁻¹, para ervilha forrageira, chícharo, tremoço e ervilhaca, respectivamente), é possível estimar X, que representa a EqN de cada leguminosa. Os valores de EqN encontrados foram de 55, 85, 122 e 137 kg ha⁻¹ de N, para ervilha forrageira, chícharo, tremoço azul e ervilhaca comum, respectivamente. Com exceção da ervilha forrageira, estes valores são próximos daqueles encontrados por Mitchell & Tell (1977), para ervilhaca peluda e trevo encarnado, e por

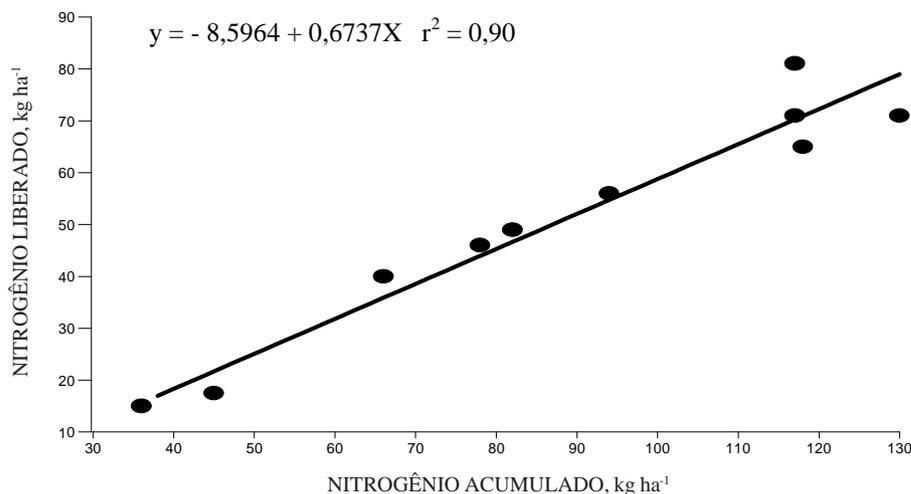


Figura 2. Relação entre o N acumulado na fitomassa das espécies de inverno na fase de florescimento pleno e o N liberado até 30 dias após o manejo nos anos agrícolas 1990/91 e 1991/92.

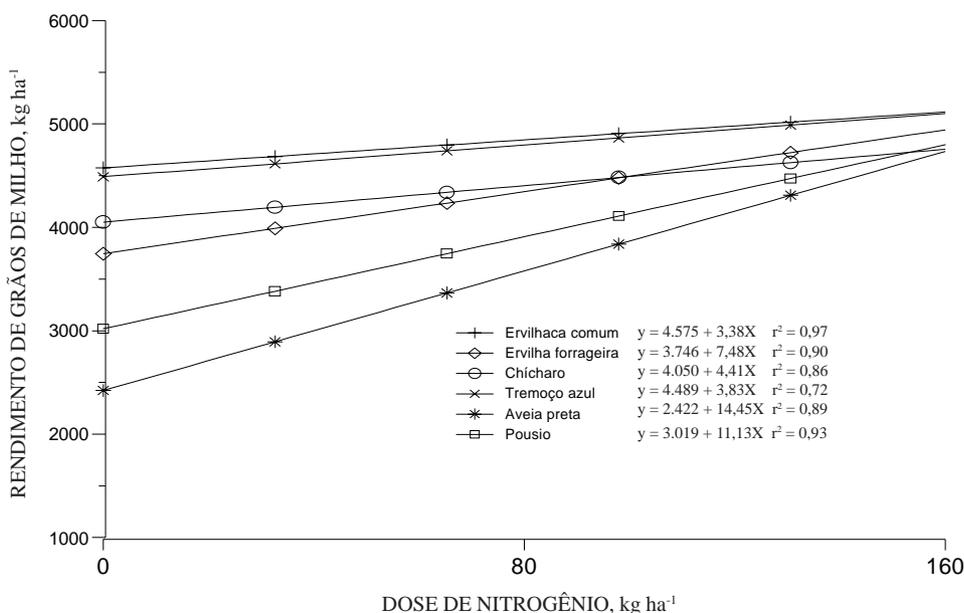


Figura 3. Relação entre dose de nitrogênio e rendimento de grãos de milho cultivado em sucessão a plantas de cobertura de solo.

Bruulsema & Christie (1987), para alfafa e trevo vermelho. Nesses trabalhos, o fornecimento de N pelas leguminosas foi equivalente a uma aplicação de 90-125 kg ha⁻¹ de N mineral.

Trabalhando em um Latossolo do Paraná, Muzilli (1978) verificou que o milho em sucessão à ervilhaca comum produziu o equivalente à dose de 80 kg ha⁻¹ de N mineral no tratamento em pousio invernal, valor este inferior à EqN desta mesma espécie neste trabalho.

O fato de a ervilhaca comum ter apresentado maior EqN, embora tenham sido adicionadas pela parte aérea quantidades de N inferiores às do tremoço azul e próximas às do chícharo e ervilha forrageira (Quadro 2), deve estar relacionado com a liberação diferenciada de N dos resíduos culturais das plantas durante a sua decomposição no solo. Na figura 1, observa-se que, na média dos dois primeiros anos, as quantidades de N liberado nos primeiros 30 dias após o manejo do tremoço e da ervilhaca foram de aproximadamente 71 kg ha⁻¹ de N (57%) e 43 kg ha⁻¹ de N (53%), respectivamente. É provável que a quantidade de N liberado pelo tremoço nesse período tenha excedido a capacidade de assimilação de N pelo milho nos estádios iniciais de desenvolvimento desta cultura.

Acredita-se que as diferenças na taxa de liberação de nutrientes dos resíduos culturais de plantas de cobertura de solo, relatadas por Heinzmann (1985) e Oliveira (1994), sejam devidas às características intrínsecas de cada espécie, as quais condicionam sua velocidade de decomposição pela população microbiana do solo, como, por exemplo, a relação C/N, a proporção entre talos e folhas e a composição bioquímica do tecido vegetal (De-Polli & Chada, 1989).

Para que o aproveitamento do N das plantas de cobertura seja maximizado pelo milho, é fundamental que a liberação de N dos resíduos culturais ocorra em sincronia com a demanda de N do milho (Stute & Posner, 1995). A ervilhaca foi a espécie que melhor atendeu a este pré-requisito, em oposição à ervilha forrageira. Estudos que relacionem características das plantas de cobertura e liberação de N devem ser intensificados, já que as informações de pesquisa nesta área são escassas. Elas são fundamentais para a melhor compreensão da dinâmica do N no solo durante a decomposição das plantas de cobertura e, portanto, para a recomendação dessas plantas como fonte de N ao milho.

Os resultados obtidos em quatro anos de experimentação no campo indicam que a capacidade de fornecimento de N ao milho pelas leguminosas de inverno diferiu entre as espécies. A demanda de N do milho foi parcialmente atendida, como no caso do chícharo e da ervilha forrageira, e, totalmente, quando a cultura foi estabelecida em sucessão ao tremoço azul e à ervilhaca comum. Todavia, deve-se considerar que a magnitude de substituição da

adubação nitrogenada mineral do milho pelas leguminosas de inverno depende de diversos fatores, dentre os quais se podem destacar a quantidade de N acumulado pelas leguminosas, a velocidade com que o nutriente é liberado dos resíduos culturais, a disponibilidade de N do solo, o potencial de rendimento do milho e o nível tecnológico empregado na cultura.

CONCLUSÕES

1. Com exceção da ervilhaca comum, a produção de fitomassa das plantas de cobertura de solo foi significativamente maior do que aquela da vegetação espontânea que se desenvolveu no pousio invernal.
2. Aproximadamente, 60% do N acumulado na parte aérea das leguminosas foi liberado dos resíduos culturais durante os primeiros 30 dias após o manejo das espécies.
3. O N acumulado na parte aérea das espécies foi maior nas leguminosas do que na aveia e na vegetação espontânea, destacando-se o tremoço com os maiores valores.
4. Não houve resposta à adubação nitrogenada do milho, quando cultivado em sucessão à ervilhaca comum e tremoço azul.
5. A equivalência em N mineral para ervilhaca, tremoço, chícharo e ervilha forrageira, em relação ao pousio invernal, foi de, respectivamente, 137, 122, 85 e 55 kg ha⁻¹ de N.

LITERATURA CITADA

- AITA, C.; CERETTA, C.A.; THOMAS, A.L.; PAVINATO, A. & BAYER, C. Espécies de inverno como fonte de nitrogênio para o milho no sistema de cultivo mínimo e feijão em plantio direto. R. Bras. Ci. Solo, 18:101-108, 1994.
- AITA, C. Dinâmica do nitrogênio no solo durante a decomposição de plantas de cobertura: efeito sobre a disponibilidade de nitrogênio para a cultura em sucessão. In: FRIES, M.R. & DALMOLIN, R.S.D., eds. Atualização em recomendação de adubação e calagem: ênfase em plantio direto. Santa Maria, Pallotti, 1997. p.76-111.
- BRUULSEMA, T.W. & CHRISTIE, B.R. Nitrogen contribution to succeeding corn from alfalfa and red clover. Agron. J., 79:96-100, 1987.
- CALEGARI, A. Adubação verde e rotação de culturas no sudoeste do Paraná. In: REUNIÃO DE ROTAÇÃO DE CULTURAS, Ponta Grossa, 1987. Anais. Ponta Grossa, 1987. p.1-16.
- DA ROS, C.O. Plantas de inverno para cobertura do solo e fornecimento de nitrogênio ao milho em plantio direto. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 1993. 85p. (Tese de Mestrado)

- DA ROS, C.O. & AITA, C. Efeito de espécies de inverno na cobertura do solo e fornecimento de nitrogênio ao milho em plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, 20:135-140, 1996.
- DE-POLLI, H. & CHADA, S.S. Adubação verde incorporada ou em cobertura na produção de milho em solo de baixo potencial de produtividade. *Pesq. Agropec. Bras.*, 13:287-293, 1989.
- DERPSCH, R.; SIDIRAS, N. & HEINZNANN, F.X. Manejo do solo com coberturas verdes de inverno. *Pesq. Agropec. Bras.*, 20:761-773, 1985.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília, 1999. 412p.
- FRYE, W.W.; SMITH, W.G. & WILLIAMS, R.J. Economics of winter cover crops as a source of nitrogen for no-till corn. *J. Soil Water Conser.*, 40:246-249, 1985.
- GUENZI, W.D. & McCALLA, T.M. Inhibition of germination and seedling development by crop residues. *Soil Sci. Soc. Proc.*, 26:456-458, 1962.
- HEINZMANN, F.X. Resíduos culturais de inverno e assimilação de nitrogênio por culturas de inverno. *Pesq. Agropec. Bras.*, 20:1021-1030, 1985.
- MITCHELL, W.H. & TEEL, M.R. Winter-annual cover crops for no-tillage corn production. *Agron. J.*, 69:569-573, 1977.
- MUZILLI, O. O manejo da fertilidade do solo: a prática da adubação verde. In: FUNDAÇÃO INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ, Manual agropecuário para o Paraná. Londrina, 1978. p.57-58.
- OLIVEIRA, E.L. Coberturas verdes de inverno e adubação nitrogenada em algodoeiro. *Pesq. Agropec. Bras.*, 18:235-241, 1994.
- PAVINATO, A.; AITA, C.; CERETTA, C.A. & BEVILAQUA, G.P. Resíduos culturais de espécies de inverno e o rendimento de grãos de milho no sistema de cultivo mínimo. *Pesq. Agropec. Bras.*, 29:427-432, 1994.
- PAUL, E.A. & CLARK, F.E. Soil microbiology and biochemistry. San Diego, Academic Press, 1989. 273p.
- RECOUS, S.; ROBIN, D.; DARWIS, D. & MARY, B. Soil inorganic N availability: effect on maize residue decomposition. *Soil Biol. Biochem.*, 27:1529-1538, 1995.
- SMITH, M.S.; FRYE, W.W. & VARCO, J.J. Legume winter cover crops. In: STEWART, B.A., ed. *Advances in soil science*. New York, Springer-Verlag, 1987. p.95-139.
- STUTE, J.K. & POSNER, J.L. Synchrony between legume nitrogen release and corn demand in the Upper Midwest. *Agro. J.*, 87:1063-1069, 1995.
- TEDESCO, M.J.; VOLKWEISS, S.J. & BOHNEN, H. Análise de solo, plantas e outros materiais. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1985. 188p. (Boletim Técnico de Solos, 5)

