

APROVEITAMENTO DO NITROGÊNIO RESIDUAL DE ADUBOS VERDES E DA URÉIA E DO FÓSFORO DO SUPERFOSFATO TRIPLO PELO FEIJOEIRO

EDSON CABRAL DA SILVA¹, TAKASHI MURAOKA², SALATIÉR BUZETTI³,
VINÍCIUS IDE FRANZINI⁴

INTRODUÇÃO: Geralmente, grande parte do nitrogênio (N) e do fósforo (P) de fontes orgânicas ou minerais não é aproveitada pelo cultivo imediato à aplicação, podendo ser absorvido pelas culturas subsequentes. Neste aspecto, o conhecimento da dinâmica e recuperação dos nutrientes no sistema solo-planta pode auxiliar na tomada de decisão sobre a adoção práticas de manejo e na recomendação mais coerente de fertilizantes. A maior parte do N disponível às culturas provém da interação entre a mineralização do N dos resíduos culturais e da matéria orgânica do solo (MOS) e a fertilização nitrogenada (CANTARELLA, 2007). A eficiência de aproveitamento do N e principalmente do P de fertilizantes minerais é, muitas vezes, baixa. Estimativas com o uso da técnica isotópica indicam valores menores 50% e 20%, respectivamente, para o N de fontes minerais e orgânicas (SCIVITTARO et al., 2000) e menores que 10% para o P (FRANZINI et al., 2009), contrariando a eficiência obtida por outros métodos, o que pode ser por causa das interações que podem ocorrer com o P do solo (efeito *priming*) (CHIEN et al., 1996). A combinação de adubos verdes a fontes minerais de N é uma alternativa de manejo recente, que tenta conciliar a preservação e qualidade ambiental sem prescindir de produtividade elevada para as culturas. Tal prática tem se demonstrado bem promissora, por haver indícios de que a associação entre fontes orgânicas e inorgânicas promove aumento na produtividade das culturas comparado ao uso exclusivo (SCIVITTARO et al., 2000). A influência do N no incremento de P acumulado pela planta é muito alta, principalmente por proporcionar maior desenvolvimento e crescimento do sistema radicular das plantas, compensando assim o baixo fluxo difusivo do P no solo (MARSCHNER, 1995). O objetivo deste trabalho foi avaliar o aproveitamento, pelo feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.), do nitrogênio residual da crotalária (*Crotalaria juncea* L.), do milho (*Pennisetum glaucum* L.) e da uréia, e do fósforo residual do superfosfato triplo (STF), aplicados sob diferentes doses no cultivo anterior (milho), com uso dos isótopos ¹⁵N e ³²P.

MATERIAL E MÉTODOS: O experimento foi conduzido em casa de vegetação, no Centro de Energia Nuclear na Agricultura, em Piracicaba, SP, em vasos com 5 kg de terra, coletada na camada de 0,0–0,2 m de um Latossolo Vermelho distroférrico, argiloso (440 g kg⁻¹ de argila), fase cerrado. As amostras de solo tiveram os seguintes resultados: pH (CaCl₂), 4,8; N total, 1 g kg⁻¹; MOS, 12,7 g dm⁻³; P (resina), 11,7 mg dm⁻³; Ca, 20 mmol_c dm⁻³; Mg, 10,6 mmol_c dm⁻³; K, 2 mmol_c dm⁻³; H+Al, 26,1 mmol_c dm⁻³; S, 7,5 mg dm⁻³. O estudo compreendeu três fases: Na primeira, produziram-se crotalária e milho, com e sem marcação isotópica com ¹⁵N. Na segunda, cultivou-se milho, combinando-se adubação verde sem marcação isotópica com uréia marcada com ¹⁵N e vice-versa, além de diferentes doses de P, na forma de superfosfato triplo-³²P. Na terceira fase, nos mesmos vasos, foi cultivado feijão. A produção de crotalária e milho marcados com ¹⁵N foi realizada, aplicando-se ao solo de cada vaso uma solução que continha 1,0 g de ¹⁵N-uréia, enriquecida com 10% átomos de ¹⁵N. A colheita foi realizada aos 70 dias após a emergência (DAE) e, após a secagem, o material foi fragmentado em pedaços de aproximadamente 0,02 m e misturado ao solo, dez dias antes da semeadura do milho, numa proporção de 4:1 de parte aérea e raiz. No cultivo do milho, utilizaram-se vasos com 5 kg de solo, dispostos num delineamento experimental inteiramente casualizado, com 32 tratamentos e quatro repetições, dispostos em esquema fatorial 4x4x2. Os tratamentos compreenderam quatro doses de N, na forma de uréia-¹⁵N: 0; 0,75; 1,50 e 2,25 g N vaso⁻¹, quatro doses de P, na forma de superfosfato triplo, marcado com ³²P (80 kBq ³²P mg⁻¹ de P): 0; 0,175, 0,35 e 0,700 g P vaso⁻¹; e

¹ Engenheiro Agrônomo, Pós-doutorando (bolsista da FAPESP), Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA/USP), Piracicaba, SP, eccsilva@cena.usp.br

² Engenheiro Agrônomo, Professor, Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Piracicaba, muraoka@cena.usp.br, pcotrive@cena.usp.br

³ Engenheiro Agrônomo, Professor, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, SP, sbuzeti@agr.feis.unesp.br

⁴ Engenheiro Agrônomo, Pesquisador, Embrapa Amazônia Oriental, Belém, PA, vifranzi@esalq.usp.br

dois adubos verdes: crotalária juncea e milheto, na quantidade de matéria seca para fornecer 1,0 g N vaso⁻¹. A colheita do milho foi realizada aos 120 DAE. Detalhamento do experimento com a cultura do milho pode ser obtidos em Silva et al. (2009). A seguir, os vasos foram mantidos isolados por quatro meses, para o decaimento da atividade ³²P-SFT, que possui meia-vida de 14,28 dias. Em seguida, o solo de cada vaso foi marcado com ³²P, aplicando-se uma solução para suprir 11,2 MBq de ³²P e 50 mg P, e semeadas quatro sementes de feijão (Cultivar Pérola) por vaso, mantendo duas plantas por vaso após o desbaste. As adubações de semeadura e de cobertura foram semelhantes em todos os vasos, para avaliar o P residual do SFT e o N residual da uréia e dos adubos verdes aplicado ao milho no cultivo anterior. Aos 75 DAE, a parte aérea das plantas de feijão foi cortada, secadas em estufa a 60°C, pesadas e moídas e realizadas as análises de N e P total e da concentração isotópica de ¹⁵N, em espectrômetro de massa. A atividade do ³²P foi determinada em contador de cintilação líquida e os cálculos conforme descritos em Chien et al. (1996) e Franzini et al. (2009). Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F a 5% e comparação de médias pelo teste Tukey, a 5%.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Os adubos verdes produziram uma proporção de matéria seca de parte aérea em relação ao sistema radicular de aproximadamente 4:1 (Tabela 1). A parte aérea das plantas de milheto apresentou maiores teores de N e P do que suas respectivas raízes. Já as plantas de crotalária apresentaram a mesma concentração de N na parte aérea e raízes; no entanto, maior concentração de P na parte aérea em relação às raízes. Em comparação ao milheto, a crotalária apresentou maior concentração de N tanto na parte aérea como nas raízes, mas uma concentração de P semelhante nas respectivas partes. A relação C/N foi semelhante entre a parte aérea e as raízes das respectivas espécies (Tabela 2). A relação C/N para ambas as partes da crotalária foi menor que a do milheto. Já a relação C/P, para ambas as espécies foi maior nas raízes que na parte aérea. Houve uma maior relação C/P da parte aérea em milheto do que em crotalária, e não houve diferença para a raiz.

Tabela 1. Produção de matéria seca, teores de N e de P da parte aérea ou raiz da crotalária e do milheto, na fase de florescimento.

Adubo verde	Matéria secar g planta ⁻¹		Teor de N g kg ⁻¹		Teor de P g kg ⁻¹	
	P. aérea	Raiz	P. aérea	Raiz	P. aérea	Raiz
Crotalária	52.4 Aa	13.0 Ab	23.9 Aa	19.5 Aa	3.4 Aa	1.8 Ab
Milheto	45.5 Ba	11.6 Ab	17.5 Ba	11.9 Bb	3.2 Aa	1.7 Ab

Médias seguidas de mesmas letras (maiúsculas nas colunas entre os adubos verdes, e letra minúscula na linha entre a parte aérea ou raiz), não diferem entre si (p <0,05) pelo teste de Tukey.

Tabela 2. Relação C/N e C/P da parte aérea e raiz da crotalária e do milheto, na fase de florescimento.

Adubo verde	Relação C/N		Relação C/P	
	P. aérea	Raiz	P. aérea	Raiz
Crotalária	18/1 Ba	22/1 Ba	126/1 Bb	238/1 Aa
Milheto	35/1 Aa	33/1 Aa	191/1 Ab	231/1 Aa

Médias seguidas de mesmas letras (maiúsculas nas colunas entre os adubos verdes, e letra minúscula na linha entre a parte aérea ou raiz), não diferem entre si (p <0,05) pelo teste de Tukey.

A análise de variância evidenciou efeito significativo das doses de N aplicadas ao milho no cultivo precedente sobre a produtividade do feijoeiro. No entanto, não houve efeito significativo dos diferentes resíduos usados (crotalária e milheto), das doses de P e nem da interação destes com doses de N. A produtividade de matéria seca (MS) de parte aérea do feijoeiro aumentou de forma linear ($Y = 19,466 + 1,4189N$) em relação às doses de N aplicadas ao milho, com valores de 19,74; 20,21; 21,43 e 22,88 g de MS por vaso, respectivamente, para as doses de 0; 0,75; 1,5 e 2,25 g por vaso de N. Tal fato demonstra que parte do N residual da uréia e do N e outros nutrientes concomitantemente mineralizados dos adubos verdes, proporcionaram condições mais favoráveis ao acúmulo de MS pelo feijoeiro, haja vista que todos os vasos com feijão receberam as mesmas quantidades de fertilizantes, para possibilitar distinguir o efeito residual. Verifica-se, pela Tabela 3, que as maiores doses de N aplicadas no cultivo precedente de milho proporcionaram maior quantidade de nitrogênio residual proveniente do fertilizante (Nrppf), assim como maior aproveitamento (Aprov) do N residual pela planta de feijão, independentemente do uso de crotalária ou milheto. No entanto, de maneira geral, o

aproveitamento, a exceção do tratamento que recebeu crotalária e maior dose de N, foi, em média, inferior a 4% do N aplicado ao milho no cultivo precedente. Quanto à recuperação do nitrogênio residual dos adubos verdes (Nrppav), as doses de N e de P aplicadas no cultivo precedente de milho não influenciaram a quantidade e nem o aproveitamento deste nutriente pelo feijoeiro (Tabela 3), independentemente do uso de crotalária ou milheto. Em média, o aproveitamento do N residual da crotalária foi de 2,52% e do N do milheto de 3,25% da quantidade aplicada ao milho no cultivo anterior. Essa baixa recuperação do N aplicado sob a forma orgânica ou mineral, provavelmente foi em virtude da maior parte do N residual ter interagido com formas orgânicas e, assim, apenas lentamente ser mineralizado, tornando-se disponível à absorção, semelhantemente ao observado em outros estudos (HARRIS et al., 1994; SCIVITTARO et al., 2000; SILVA et al., 2006).

Tabela 3. Quantidade de nitrogênio residual no feijoeiro (parte aérea+grãos) proveniente dos adubos verdes crotalária e milheto (Nrppav) e da uréia (Nrppf) e aproveitamento (Aprov) do N pelo feijoeiro, em função de doses de N e adubos verdes aplicados ao milho no cultivo anterior.

Adubo verde	Dose de N	Adubo verde		N-uréia	
		Nrppav	Aprov	Nrppf	Aprov
	g/vaso	g/vaso	%	g/vaso	%
Crotalária*	0	0,023	2,29		
	0,75*	0,021	2,07	0,022 c	2,93 c
	1,50*	0,022	2,08	0,068 b	4,53 b
	2,25*	0,037	3,67	0,123 a	5,47 a
Média		0,026	2,52	0,071	4,31
Milheto*	0	0,039	3,93		
	0,75*	0,027	2,68	0,016 c	2,13 b
	1,50*	0,026	2,58	0,034 b	2,26 b
	2,25*	0,038	3,82	0,096 a	4,27 a
Média		0,033	3,25	0,049	2,89

*Fonte de N marcada com ¹⁵N. Médias seguidas por letras distintas minúscula na coluna diferem pelo teste de Tukey (p≤ 0,05).

A porcentagem e a quantidade de fósforo (residual) na planta de feijão (Prppf) proveniente do fertilizante SFT foram proporcionais à dose aplicada inicialmente na cultura de milho (Tabela 4). O aproveitamento do P residual do SFT pelo feijão, à exceção dos tratamentos que receberam a dose de 0,175 mg P por vaso, foi semelhante entre os tratamentos que receberam os adubos verdes crotalária ou milheto, considerando-se as respectivas doses de P, sendo, em média de 4,57% da quantidade aplicado inicialmente ao milho. Portanto, as distintas composições iniciais dos resíduos não influenciaram absorção de P remanescente no solo pelo segundo cultivo após sua aplicação.

Tabela 4. Percentagem (%Prppf), quantidade (Prppf) e aproveitamento do fósforo residual do superfosfato triplo pelo feijoeiro (parte aérea+grãos), em função de doses de P e adubos verdes crotalária e milheto, aplicados ao milho no cultivo anterior.

Dose de P	Prppf		Prppf		Aprov. P residual	
	%		mg/vaso		%	
mg/vaso	Crotalária	Milheto	Crotalária	Milheto	Crotalária	Milheto
0,175	14,08 c	15,69 c	6,56 c	8,14 c	3,75 b	4,65 a
0,350	27,57 b	30,43 b	16,25 b	17,50 b	4,64 a	5,00 a
0,700	48,87 a	47,82 a	34,28 a	31,31 a	4,90 a	4,47 a
Média	30,17 A	31,31 A	19,03 A	18,99 A	4,43A	4,71 A

Médias seguidas por letras distintas, minúscula na coluna e maiúscula na linha, diferem pelo teste de Tukey (p≤ 0,05).

Vale ressaltar que a estimativa dos valores N e P residual recuperado pela planta de feijão foram baseadas na quantidade de fertilizante aplicado no cultivo anterior, ou seja, não foi considerado o aproveitamento pelo milho, em média, de 55,6% para o N (SILVA et al., 2009) e 13,12% para o P (MURAOKA et al., 2009). Assim, considerando-se o aproveitamento do N e do P residual pelo feijoeiro no segundo cultivo, grande parte destes nutrientes ainda permaneceu no solo. Tal fato é indicativo de que uma considerável fração do N e, sobretudo de P aplicado teve interação com P do solo, por processos de adsorção e fixação, que são de ocorrência comum, principalmente em solos

como o usado no presente estudo (Latossolo Vermelho, distroférico argiloso, fase cerrado). Isto sugere a necessidade de enfatizar a adoção de práticas de manejo que favoreçam a reciclagem e mantenham o N e o P remanescente sob formas lábeis. Neste sentido, tem sido evidenciado que o uso de adubos verdes é muito importante para a reciclagem de P, N e outros nutrientes essenciais que se encontram em formas não prontamente disponíveis ou em camadas mais profundas do solo, fora da área de absorção das raízes das culturas comerciais (ALCÂNTARA et al., 2000; SILVA et al., 2009), para o aumento do potencial produtivo do solo a longo prazo. Vale lembrar também que os valores obtidos neste estudo de aproveitamento pelo feijão do N residual da uréia e dos adubos verdes, bem como aqueles de P residual do superfosfato triplo, não foram considerada a fração contida no sistema radicular desta cultura, representando, assim, subestimativa do total recuperados.

CONCLUSÕES: O aproveitamento do N residual dos adubos verdes e da uréia pelo feijoeiro foi, em média, inferior a 3% e 4%, respectivamente, da quantidade adicionada inicialmente. Os diferentes resíduos de adubos verdes e as doses de N, aplicados no cultivo precedente, não influenciaram significativamente a absorção do P residual do superfosfato triplo pelo feijoeiro. A recuperação do P residual do SFT pelo feijoeiro foi proporcional à dose de P aplicada no cultivo anterior (milho) e foi em média de 4,57%. De maneira geral, a maior parte do N do milho e da crotalaria e do fósforo do superfosfato triplo permaneceu no solo após o segundo cultivo da aplicação.

AGRADECIMENTOS: À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pela concessão de bolsa ao primeiro autor; à IAEA pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

- ALCÂNTARA, F. A.; FERREIRA NETO, A. E.; PAULA, M. B.; MESQUITA, H. A.; 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, 2000.
- CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do Solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. Cap. 7, p. 375-470.
- CHIEN, S. H.; MENON, R. G.; BILLINGHAM, K. S. Phosphorus availability from phosphate rock as enhanced by water-soluble phosphorus. **Soil Science American Journal**, Madison, v. 60, p.1173-1177, 1996.
- FRANZINI, V. I., MURAOKA, T., MENDES, F. L. Ratio and rate effects of ³²P-triple superphosphate and phosphate rock mixtures on corn growth. **Scientia Agricola**, Piracicaba, SP, v.66, p.71-76, 2009.
- HARRIS, G. H.; HESTERMAN, O. B.; PAUL, E. A.; PETERS, S.; E.JANKE, R. R. Fate of legume and fertilizer nitrogen-15 in a long term cropping systems experiment. **Agronomy Journal**, Madison, v.86, p.910-915, 1994.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London: Academic Press, 1995. 889p.
- MURAOKA, T.; SILVA, E. C. da; BUZETTI, S; VILLANUEVA, F. C. A.; FRANZINI, V. I. Phosphorus utilization from ³²P-triple superphosphate by corn plants, as affected by green manures and nitrogen and phosphate fertilizer rates in cerrado (savannah) soil. In: **XVI International Plant Nutrition Colloquium, 2009**, Sacramento - California. The Proceedings of the International Plant Nutrition Colloquium XVI, 2009.
- SCIVITTARO, W. B.; MURAOKA, T.; BOARETTO, A. E.; TRIVELIN, P. C. O. Utilização de nitrogênio de adubos verdes e mineral pelo milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.24, n. 4, p. 917-926, 2000.

SILVA, E. C. da; MURAOKA, T.; ALVAREZ VILLANUEVA, F. C.; CONTRERAS ESPINAL, F. S. Aproveitamento de nitrogênio pelo milho, em razão da adubação verde, nitrogenada e fosfatada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 44, n. 2, p. 118-127, fev. 2009.

SILVA, E. C. da; MURAOKA, T.; BUZETTI, S.; GUIMARÃES, G. L.; TRIVELIN, P. C. O.; VELOSO, M. E. da C. Utilização do nitrogênio (^{15}N) residual de plantas de cobertura de solo e da uréia pela cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 30, n. 6, p. 966-974, 2006.