

MINERALIZAÇÃO DO NITROGÊNIO INCORPORADO COMO MATERIAL VEGETAL EM TRÊS SOLOS DA AMAZÔNIA CENTRAL⁽¹⁾

S.S. ALFAIA⁽²⁾

RESUMO

A mineralização do N proveniente do resíduo de feijão-caupi marcado com N foi estudada em condições de laboratório de setembro a dezembro de 1992. O material vegetal foi incorporado em amostras dos três principais solos da Amazônia Central: dois de *terra firme*, classificados como latossolo amarelo e podzólico vermelho-amarelo, e um de várzea, classificado como glei pouco húmico (GP). As variações nos teores e na forma de N mineral provenientes do resíduo de caupi foram relacionadas com as características químicas dos solos estudados. No latossolo e no podzólico, a incorporação do resíduo de caupi aumentou significativamente a mineralização do N, sendo a forma amoniacal predominante, enquanto, no GP, a forma nítrica preponderou. Nos solos de *terra firme*, a incorporação do resíduo de caupi aumentou a mineralização do N orgânico do solo, indicando a ocorrência do efeito "priming". Após 60 dias de incubação, cerca de 30 (podzólico) a 40% (latossolo) do N proveniente do caupi foi mineralizado nos solos de terra firme, enquanto no de várzea somente 18% foi mineralizado nesse período. Tais resultados mostram o potencial que essa leguminosa apresenta como fornecedora de N para as plantas nos solos de *terra firme* da Amazônia Central.

Termos de indexação: ¹⁵N, caupi, *Vigna unguiculata* L, mineralização, efeito "priming", latossolo, podzólico, glei pouco húmico, Amazônia Central.

SUMMARY: MINERALIZATION OF NITROGEN INCORPORATED AS GREEN MANURE IN THREE SOILS OF CENTRAL AMAZON, BRAZIL

*This study was carried out under laboratory conditions from September to December, 1992. The objective was to evaluate the mineralization of nitrogen in cowpea (*Vigna unguiculata* L.) green manure, using ¹⁵N as tracer, in three major soils of Central Amazon: an Oxisol, an Ultisol and a Low-Humic Gley. The variation in amount and form of the mineral N from cowpea residues was related to the chemical characteristics of each soil. In the Oxisol and Ultisol the incorporation of green manure increased N mineralization significantly, and the ammonium form was predominant in both soils, while in the Humic Gley it was the nitrate form. Cowpea incorporation increased the rate of organic nitrogen mineralization, suggesting the occurrence*

⁽¹⁾ Trabalho apresentado no XXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, em Viçosa (MG), de 23 a 29 de julho de 1995. Recebido para publicação em setembro de 1995 e aprovado em maio de 1997.

⁽²⁾ Pesquisadora do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Caixa Postal 478, CEP 69083-000 Manaus (AM).

of priming effects. After 60 days of incubation, approximately 30% (Ultisol) to 40% (Oxisol) of the N from green manure was mineralized, and in the Humic Gley 18%. The results demonstrated the good potential of cowpea as green manure for the Oxisol and Ultisol of Central Amazon.

Index terms: ^{15}N -labelled, cowpea (*Vigna unguiculata* L.), mineralization, priming effect, Oxisol, Ultisol, Low-Humic Gley (Inceptisol), Central Amazon.

INTRODUÇÃO

Os resíduos culturais de plantas leguminosas podem ser incorporados ao solo aumentando o teor de matéria orgânica e liberando nutrientes para o cultivo subsequente, constituindo, dessa maneira, importante fonte de N para as culturas, principalmente nas regiões onde o preço dos fertilizantes é elevado. A decomposição de diferentes constituintes vegetais no solo é um processo realizado pelos seus microrganismos heterotróficos. O nitrogênio necessário para o crescimento da biomassa microbiana é retirado da reserva de nitrogênio mineral do solo ou do nitrogênio orgânico contido no resíduo vegetal (Mary, 1987).

Estudos desenvolvidos nos principais solos da Amazônia Central, utilizando uréia e sulfato de amônio enriquecidos com ^{15}N , mostraram que o uso do N proveniente dos fertilizantes pelas culturas é bastante baixo (Alfaia, 1993). Nos latossolos e podzólicos, estudos de campo indicam que a lixiviação pode ser a principal causa da baixa eficiência do emprego do N pelas culturas (Sanchez et al., 1983; Cahn et al., 1993; Alfaia, 1993). Uma alternativa para suprir a deficiência de N nesses solos é a utilização de adubos verdes, pois uma das vantagens do uso do N das leguminosas é que estas propiciam uma liberação mais lenta que a oferecida pelos fertilizantes solúveis, havendo, assim, menores perdas por lixiviação.

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L) é a principal leguminosa de grão na Amazônia, onde é cultivado como cultura de subsistência em rotação ou consorciado com as de cereais (Oliveira & Dantas, 1988). Estudos em condições de trópico úmido com incorporação de resíduo de caupi têm mostrado que essa leguminosa pode constituir importante fonte de N para as culturas subsequentes (Smyth et al., 1987; Sisworo et al., 1990).

O interesse da utilização de um material vegetal como adubo verde depende, em grande parte, da rapidez de sua mineralização e liberação de seus nutrientes. Vários fatores influenciam os processos de mineralização do nitrogênio, em particular o tipo de resíduo vegetal (Weeraratna, 1979; Guiraud, 1984). Com a técnica isotópica, mediante a marcação dos vegetais com isótopos ^{15}N , os mecanismos que regulam o processo de mineralização de um material vegetal incorporado ao solo podem ser mais bem pesquisados.

O presente trabalho teve como objetivo estudar a mineralização do N proveniente de resíduo vegetal de feijão-caupi marcado com ^{15}N , nos três principais tipos de solos da Amazônia Central, classificados como latossolo amarelo, podzólico vermelho-amarelo e glei pouco húmico (GP).

MATERIAL E MÉTODOS

Utilizaram-se amostras coletadas na profundidade de 0-30 cm de dois solos de terra firme da região de Manaus, classificados como latossolo amarelo textura muito argilosa e podzólico vermelho-amarelo textura arenosa/argilosa, e de um solo de várzea classificado como glei pouco húmico do Careiro, uma ilha situada após a confluência do rio Solimões e rio Negro na Amazônia Central. Coletaram-se os solos de terra firme em áreas de floresta com vegetação de capoeira e o glei pouco húmico em uma área constituída de solo típico de várzea alta cultivada com plantas perenes. Segundo Falesi (1967), situada a um nível topográfico mais alto, a zona de várzea alta na Amazônia normalmente fica protegida da ação das enchentes periódicas; nela, as partículas mais grossas sedimentam primeiro, sendo, por isso, mais bem drenada. As amostras de solo foram secas ao ar e, em seguida, passadas na peneira de 2 mm. As principais características físico-químicas desses solos encontram-se no quadro 1.

O experimento foi desenvolvido no Laboratório de Ciência do Solo da "École Nationale Supérieure d'Agriculture et des Industries Alimentaire", Nancy (França), em setembro-dezembro de 1992. Os tratamentos empregados constaram da incorporação de material vegetal de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L) marcado com ^{15}N , numa quantidade para fornecer o equivalente a 60 mg kg^{-1} de N e do controle (solo). O material vegetal foi incorporado em amostras de 100 gramas de solo, as quais foram incubadas em frascos de polietileno a uma temperatura média de 28°C por 0, 30 e 60 dias. Durante o período de incubação, a umidade do solo foi mantida diariamente a 80% da capacidade de campo, mediante pesagem e adição de água desionizada.

O material vegetal marcado, composto somente da parte aérea, foi obtido a partir de um ensaio de campo, coletado no final do ciclo da cultura. A parte aérea do caupi, com um teor em N de 30 g kg^{-1} , enriquecimento isotópico médio de 0,642% de ^{15}N , relação C/N de 14,3, foi seca em estufa a 65°C , moída e passada em peneira de 20 mesh antes de sua incorporação.

Após cada período de incubação, o nitrogênio mineral foi estabelecido por extração com uma solução de KCl 1 mol L^{-1} seguida de uma destilação em presença de MgO para determinação do íon NH_4^+ seguida de outra destilação com liga de Devarda para determinação do íon NO_3^- (Bremner, 1965). A extração no tempo zero teve por objetivo quantificar o nitrogênio mineral presente nos solos.

As análises isotópicas de ^{15}N das amostras de solos foram efetuadas pela espectrometria de massa e óptica

Quadro 1. Principais características físicas e químicas de amostras superficiais (0-30 cm) de três solos da Amazônia Central

Solo	pH H ₂ O	Argila	Silte	Areia	C	N
Latossolo	4,6	840	50	110	17,8	1,4
Podzólico	4,7	300	60	640	10,9	0,71
GPH	6,4	110	390	500	8,9	0,58

após a transformação do nitrogênio amoniacal em N₂ pelo método de DUMAS (Fiedler & Proksch, 1975; Martin et al., 1981).

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado com três repetições, e as comparações entre as médias dos tratamentos foram feitas pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os teores de nitrogênio mineral, após cada período de incubação, encontram-se na figura 1. O latossolo e o podzólico apresentaram uma taxa de mineralização mais elevada que a do solo GP. A incorporação do resíduo de caupi nesses solos incrementou, significativamente, a mineralização do N, sendo as maiores taxas obtidas aos 60 dias de incubação. Por outro lado, no solo GP, a incorporação do caupi provocou, nos primeiros 30 dias, um pequeno decréscimo no teor de N em relação ao solo testemunha. Com o avanço do período de incubação, a liberação de N apresentou leve acréscimo, atingindo, no final de 60 dias, resultados semelhantes aos do solo testemunha.

O quadro 2 apresenta os teores de nitrogênio mineralizado, presentes na forma de nitrato e amônio. Nos solos de terra firme, os teores de N mineral produzidos foram, principalmente, na forma amoniacal. Esses resultados estão de acordo com os de outros trabalhos desenvolvidos na região, onde tem sido observado que a forma de N mineral predominante nesses solos é a amoniacal (Jordan et al., 1979; Luizão, 1988; Piccolo, 1989; Alfaia et al., 1995). Segundo Jordan et al. (1979), a acidez dos solos da Amazônia seria o fator limitante para o desenvolvimento de bactérias nitrificadoras.

A análise isotópica efetuada após 30 dias de incubação (Quadro 2) mostra que, nos três solos, o N mineralizado proveniente do caupi apresentou-se somente na forma amoniacal. Nesse período, a mineralização do N do caupi, nos solos podzólico e latossolo, foi, respectivamente, de 20,5 e 27,5%. Aos 60 dias de incubação, a mineralização do N do caupi aumentou para 28% no podzólico e para 38,2% no latossolo. A nitrificação foi praticamente inexistente

no podzólico, enquanto, no latossolo, com o avanço do período de incubação, observou-se um aumento do teor de nitrato, sendo a maior parte do NO₃⁻ liberado nos 60 dias de incubação devida à mineralização do N orgânico do solo, pois somente pequena porcentagem (2,6%) foi proveniente do caupi.

O solo GP, ao contrário dos de *terra firme*, apresentou, nos primeiros 30 dias, mineralização do N na forma amoniacal, sendo proveniente do caupi somente 7,7% do teor de NH₄⁺ produzido. Em seguida, as quantidades de NH₄⁺ decresceram e, aos 60 dias de incubação, o N mineral predominante passou a ser na forma nítrica. Nesse período, cerca de 18% do N incorporado com o resíduo do caupi foi reencontrado na forma de NO₃⁻. Esses resultados evidenciam a presença de microrganismos nitrificadores nesse tipo de solo, uma vez que, praticamente, todo o íon amônio produzido na decomposição passou rapidamente a nitrato. Outros trabalhos também têm demonstrado declínio na produção de NH₄⁺ em solos de várzea, nas primeiras semanas, após incorporação de material vegetal (Piccolo, 1978; Alfaia, 1996). É possível que a nitrificação do amônio seja a principal causa da redução de NH₄⁺ observada nesse tipo de solo (Weeraratna, 1979).

A predominância de NO₃⁻ no solo de várzea pode estar relacionada com suas características físico-químicas, tais como pH menos ácido, alta capacidade de troca de cátions, alto teor em fósforo e presença de argila tipo 2:1 (Alfaia & Falcão, 1993), as quais podem favorecer a presença de bactérias nitrificadoras nessas condições. Tais características, além do baixo teor em C e N total, também podem ter influenciado a menor taxa de mineralização apresentada por esse solo. A relação C/N atua de forma diferente em solos ácidos e naqueles com alto teor em base. Em solos com baixos valores de pH, o C tende a mineralizar-se mais rapidamente que o N, diminuindo a relação C/N, resultando num incremento da mineralização do N.

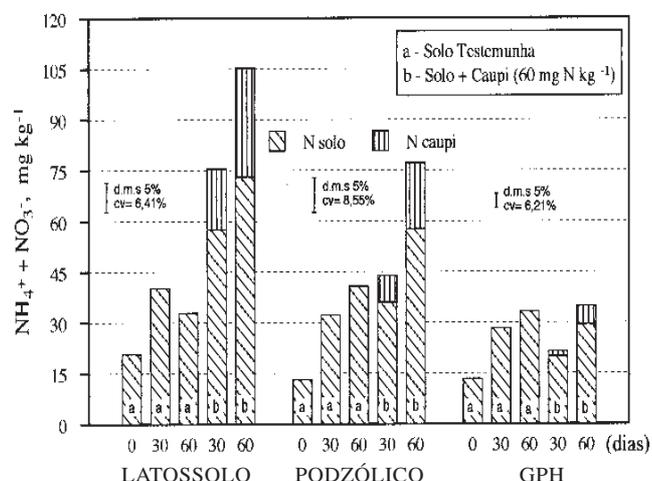


Figura 1. Distribuição de N mineral proveniente do resíduo de caupi e do solo, após 30 e 60 dias de incubação, em três solos da Amazônia Central. Média de três repetições.

Quadro 2. Distribuição das formas de nitrogênio mineral, após 0, 30 e 60 dias de incubação, em três solos da Amazônia Central. Média de três repetições

Tratamento	Tempo	Forma N	Quantidade	Átomos de ¹⁵ N-excesso	Q ¹⁵ N ⁽²⁾	N proveniente do caupi ⁽³⁾
	d		mg kg ⁻¹	%	mg kg ⁻¹	%
Latossolo						
Testemunha	0	NH ₄ ⁺	15,6	-	-	-
		NO ₃ ⁻	5,03	-	-	-
	30	NH ₄ ⁺	34,26	-	-	-
		NO ₃ ⁻	5,87	-	-	-
	60	NH ₄ ⁺	26,57	-	-	-
		NO ₃ ⁻	6,23	-	-	-
Caupi ⁽¹⁾	30	NH ₄ ⁺	65,0	0,163	0,106	27,5
		NO ₃ ⁻	10,47	...	...	...
	60	NH ₄ ⁺	82,60	0,178	0,147	38,2
		NO ₃ ⁻	22,67	0,044	0,01	2,6
Podzólico						
Testemunha	0	NH ₄ ⁺	9,16	-	-	-
		NO ₃ ⁻	3,90	-	-	-
	30	NH ₄ ⁺	28,7	-	-	-
		NO ₃ ⁻	3,43	-	-	-
	60	NH ₄ ⁺	36,16	-	-	-
		NO ₃ ⁻	4,53	-	-	-
Caupi	30	NH ₄ ⁺	38,83	0,203	0,08	20,5
		NO ₃ ⁻	5,13	...	...	...
	60	NH ₄ ⁺	69,0	0,160	0,11	28,7
		NO ₃ ⁻	8,23	...	...	...
Glei pouco húmico						
Testemunha	0	NH ₄ ⁺	7,16	-	-	-
		NO ₃ ⁻	6,23	-	-	-
	30	NH ₄ ⁺	20,66	-	-	-
		NO ₃ ⁻	7,63	-	-	-
	60	NH ₄ ⁺	12,93	-	-	-
		NO ₃ ⁻	20,17	-	-	-
Caupi	30	NH ₄ ⁺	17,5	0,170	0,03	7,7
		NO ₃ ⁻	3,9	...	...	...
	60	NH ₄ ⁺	5,0	...	...	...
		NO ₃ ⁻	29,8	0,235	0,07	18,2

⁽¹⁾ Aplicados 60 mg kg⁻¹ de N na forma de resíduo de feijão-caupi marcado a 0,642% de ¹⁵N. No tempo zero de incubação (0 dia), o teor de N na forma de NH₄⁺ e NO₃⁻ é igual ao da testemunha. ⁽²⁾ Q¹⁵N = (NH₄⁺ ou NO₃⁻ x átomos % de ¹⁵N em excesso na amostra)/100, onde Q¹⁵N é a quantidade de ¹⁵N na amostra. ⁽³⁾ N proveniente do caupi = (Q¹⁵N/Q¹⁵N do caupi) x 100.

... Dado não determinado, pela pequena quantidade de íon produzido; - fenômeno não ocorre.

No latossolo e no podzólico, a disponibilidade de NH₄⁺ liberado com incorporação do caupi corresponde a, aproximadamente, 90% do teor em NH₄⁺, obtido com a aplicação de 60 mg kg⁻¹ de N na forma de uréia (Alfaia et al., 1995). Em condições tropicais úmidas, outros trabalhos também têm mostrado o potencial que essa leguminosa apresenta como fornecedora de N para as plantas. Smyth et al. (1987) estudaram o emprego de 32 kg ha⁻¹ de N de resíduo de caupi como fonte de N. A produção de grãos de milho desse tratamento não diferiu significativamente do tratamento com 120 kg ha⁻¹ de N na forma de uréia. Sisworo et al. (1990) mostraram que, no período de alta pluviosidade, o N incorporado com o resíduo do caupi foi mais eficientemente utilizado pela cultura do arroz do que o N aplicado como fertilizante.

A figura 1 mostra que a incorporação do resíduo de caupi no latossolo e no podzólico contribuiu para

aumentar a mineralização do N orgânico do solo. Aumento da mineralização do N orgânico causado pela adição de substratos orgânicos e fertilizantes nitrogenados tem sido relatado por outros autores como sendo um fenômeno denominado efeito "priming" ou "Added Nitrogen Interaction" (ANI) (Westerman & Tucker, 1974; Jansson & Person, 1982; Wickramasinghe et al., 1985; Hart et al., 1986; Azam et al., 1993). As explicações para esse fenômeno foram bem descritas por Jenkinson et al. (1985).

O efeito "priming" depende do solo e do tipo de substrato orgânico adicionado. A intensidade desse efeito foi mais elevada no latossolo e praticamente nula no GP. Esse efeito, calculado no latossolo por meio da concentração de íon NH₄⁺ e NO₃⁻, aumentou 123% a taxa de mineralização do N orgânico em 60 dias, enquanto, no podzólico, tal efeito, calculado pelo íon NH₄⁺ foi bem menor (36%). Esses resultados

estão de acordo com os de alguns trabalhos que têm demonstrado aumentos da mineralização do N orgânico do solo causado pela aplicação de fertilizantes nitrogenados e material vegetal de plantas leguminosas em solos de terra firme da Amazônia Central (Alfaia, 1994; Alfaia et al., 1995; Ribeiro, 1996). Provavelmente, o efeito "priming" justifique, em parte, a maior taxa de mineralização nos solos de terra firme do que nos solos de várzea, o que pode estar relacionado com o maior estoque de carbono e nitrogênio (Hart et al., 1986) neles encontrado do que no GP.

É possível que o efeito "priming" possa também explicar a ausência de resposta à aplicação de doses crescentes de fertilizantes nitrogenados encontrada nos latossolos por alguns autores (Smyth et al., 1987; Alfaia, 1994), onde tem sido relatado que pequenas doses de N podem elevar os rendimentos a 90% do rendimento máximo (van Wambeke, 1992). Esses resultados mostram a importância de considerar o efeito "priming" nos estudos sobre a disponibilidade de N nesses solos.

CONCLUSÕES

1. As variações nos teores e forma de N mineral proveniente do resíduo de caupi incorporado estão relacionadas com as características químicas dos solos estudados.

2. Os solos de terra firme apresentaram uma taxa de mineralização mais elevada que o de várzea.

3. No latossolo e no podzólico, o N mineral encontrado foi principalmente na forma de NH_4^+ , enquanto no GP o N mineral se apresentou na forma de NO_3^- .

4. Nos solos de terra firme, a incorporação do resíduo de caupi aumentou a mineralização do N orgânico do solo (efeito "priming").

5. Após 60 dias de incubação, cerca de 30% (podzólico) a 40% (latossolo) do N proveniente do caupi foi mineralizado nos solos de terra firme, enquanto, no de várzea, somente 18% do N proveniente do caupi foi mineralizado nesse período.

LITERATURA CITADA

- ALFAIA, S.S. Étude de la dynamique de l'azote en utilisant ^{15}N dans les sols cultivés de l'Amazonie brésilienne. Nancy, INPL/ENSAIA, 1993. 200p. (Tese de Doutorado)
- ALFAIA, S.S. Destino de fertilizantes nitrogenados marcados com ^{15}N em dois solos da região da Amazônia Central. In: Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, 21., Petrolina, 1994. Anais. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1994. p.260-261.
- ALFAIA, S.S. & FALCÃO, N.P. Estudo da dinâmica de nutrientes em solos de várzea da ilha do Careiro no Estado do Amazonas. Amazoniana, Kiel, 12:1-9, 1993.
- ALFAIA, S.S.; JACQUIN, F. & GUIRAUD, G. Transformation of nitrogen fertilizers in Brazilian Amazonia soils. ASRR, New York, 9:335-340, 1995.
- AZAM, F.; SIMMONS, F.W. & MULVANEY, R.L. Immobilization of ammonium and nitrate and their interaction with native N in three Illinois Mollisols. Biol. Fertil. Soils, Oxford, 15:50-54, 1993.
- BREMNER, J.M. Inorganic forms of nitrogen. In: Black, C.A., ed. Methods of soil analysis. Part 2. Madison, American Society of Agronomy, 1965. p.1179-1237.
- CAHN, M.D.; BOULDIN, D.R.; CRAVO, M.S. & BOWEN, W.T. Cation and nitrate leaching in an Oxisol of the Brazilian Amazon. Agro. J., 85:334-340, 1993.
- FALESI, I.C. O estado atual dos conhecimentos sobre os solos da amazônia Brasileira. Geociência, São Paulo, 1:151-168, 1967.
- FIEDLER, R. & PROKSCH, G. The determination of nitrogen 15 by emission and mass spectrometry in biochemical analysis: a review. Anal. Chem. Acta, Amsterdam, 78:1-62, 1975.
- GUIRAUD, G. Contribution du marquage isotopique a l'évaluation des transferts d'azote entre les compartiments organique et minéraux dans les systèmes sol-plante. Paris, Université Pierre et Marie Curie, 1984. 335p. (Tese de Doutorado)
- HART, P.B.S.; RAYNER, J.H. & JENKINSON, D.S. Influence of pool substitution on the interpretation of fertilizer experiments with ^{15}N . J. Soil Sci., London, 37:389-403, 1986.
- JANSSON, S.L. & PERSON, J. Mineralisation and immobilization of soil nitrogen. In: Stevenson, F. J., ed. Nitrogen in agricultural soils. Madison, ASA/CSSA/SSA, 1982. p.229-252.
- JENKINSON, D.S.; FOX, R.H. & RAYNER, J.H. Interaction between fertilizer nitrogen and soil nitrogen. The so-called "priming" effect. J. Soil Sci., London, 36:425-444, 1985.
- JORDAN, C.F.; TODD, R. L. & ESCALANTE, G. Nitrogen conservation in a tropical rain forest. Oecologia, Berlin, 39:123-128, 1979.
- LUIZÃO, R.C.C. Estimativas de biomassa microbiana e transformações de nitrogênio em solos da Amazônia Central pelo método fumigação-incubação (FI). Manaus, Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia, 1988. 87p. (Dissertação de Mestrado)
- MARTIN, F.; MAUDINAS, B.; CHEMARDIN, M. & GADAL, P. Preparation of submicrogram nitrogen samples for isotope analysis by GS1 emission spectrometer. IARI, Londres, 32:215-217, 1981.
- MARY, B. Effets du precedent cultural sur la disponibilité du sol en azote minéral. C.R. Acad. Agric. Fr., Paris, 73:57-69. 1987.
- OLIVEIRA, I.P. & DANTAS, J.P. Nutrição mineral do caupi. In: ARAÚJO, J.P.P. & WATT, E.E., eds. O caupi no Brasil, IICA/EMBRAPA/CNPAP, Brasília, 1988. p.407-430.
- PICCOLO, M.C. Dinâmica do nitrogênio incorporado na forma orgânica em solos de várzea e terra firme na Amazônia Central. Piracicaba, ESALQ/USP, Piracicaba, 1989. 169p. (Dissertação de Mestrado)
- RIBEIRO, G.A. Efeito de período de incubação de adubos verdes (mucuna e puerária) na liberação de nitrogênio (^{15}N) e enxofre (^{35}S) para o arroz. CENA/USP, Piracicaba, 1996. 82p. (Dissertação de Mestrado)

- SANCHEZ, P.A.; VILLACHICA, J.H. & BAND, D.E. Soil fertility dynamics after clearing a tropical rainforest in Peru. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, 47:1171-1178, 1983.
- SISWORO, W.H.; MITROSUHARDJO, M.N.; RASJID, H. & MYERS, R.J.K. The relative roles of N fixation, fertiliser, crop residues and soil in supplying N in multiple cropping systems in a humid tropical upland cropping system. *Plant Soil*, The Hague, 121:73-82, 1990.
- SMYTH, T.J.; CRAVO, M.S. & BASTOS, J.B. Soil nutrient dynamics and fertility management for sustained crop production on LAs in the Brazilian Amazon. In: CAUDLE, N. & McCANTS, C.B., eds. Raleigh, North Carolina State University, 1987. p.88-94. (Trop Soils technical report 1985-1986)
- van WAMBEKE, A. *Soils of the tropics: properties and appraisal*. 1.ed. New York, McGraw-Hill, 1992. 333p.
- Weeraratna, C.S. Pattern of nitrogen release during decomposition of some green manures in a tropical alluvial soil. *Plant Soil*, The Hague, 53:287-294, 1979.
- WESTERMAN, R.L. & TUCKER T.C. Effect of salts and salts plus nitrogen-15-labelled ammonium chloride on mineralization of soil nitrogen, nitrification and immobilization. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, 38:602-605, 1974.
- WICKRAMASINGHE, G.A.; RODGERS, G.A. & JENKINSON, D.S. *Transformations of nitrogen fertilizers in soil*. *Soil Biol. Biochem.*, Oxford, 17:625-630, 1985.