

LIXIVIAÇÃO DO NITROGÊNIO PROVENIENTE DO SOLO E DO FERTILIZANTE ($^{15}\text{NH}_4$) 2SO_4 DURANTE O CICLO DE UMA CULTURA DE FEIJÃO¹

SEGUNDO S. URQUIAGA CABALLERO², PAULO LEONEL LIBARDI³, KLAUS REICHARDT⁴,
SÉRGIO O. MORAES⁵ e REYNALDO L. VICTÓRIA⁶

RESUMO - Em um solo Paleudal óxico (Terra Roxa Estruturada), no município de Piracicaba, SP, estudou-se a dinâmica do N-total e do N proveniente do fertilizante (sulfato de amônio - ^{15}N) na solução do solo, para estimar as perdas de N por lixiviação, durante o desenvolvimento de uma cultura de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) 'Carioca', na época de outono (abril/julho). A cultura foi adubada com 42 kg/ha de N, usando sulfato de amônio altamente enriquecido em ^{15}N (56,111% de átomos de ^{15}N), aplicando-se o primeiro terço seis dias após a germinação (DAG), e o restante, 26 DAG. A solução do solo foi amostrada *in situ*, usando extratores instalados em triplicata, às profundidades de 45 cm, 75 cm, 105 cm e 135 cm do perfil. As amostras foram acumuladas em estágios de 20 dias 0-6, 6-26, 26-46, 46-66 e 66-86 DAG), nas quais foram feitas as análises de N-total e de ^{15}N , sendo este último para determinar a concentração (ppm) de nitrogênio proveniente do fertilizante, na solução do solo. Concluiu-se que: 1) durante o desenvolvimento da cultura, a concentração média de N-total e a do N proveniente do fertilizante diminuíram marcadamente com a profundidade do solo, sendo que no limite inferior (105/135 cm), as concentrações de N-total (15 ppm) e a do N proveniente do fertilizante (0,048 ppm) foram muito baixas, e 2) durante o ciclo da cultura, sob as condições de mínima drenagem apenas 3 g/ha de N-total e 3,04 mg/ha de N-fertilizante foram lixiviados abaixo dos 120 cm de profundidade.

Termos para indexação: *Phaseolus vulgaris*, solução do solo, sulfato de amônio, uso de ^{15}N .

LEACHING OF N DERIVED FROM THE SOIL AND FROM [$^{15}\text{NH}_4$] 2SO_4] FERTILIZER DURING THE GROWTH CYCLE OF BEAN PLANTS

ABSTRACT - In an Oxic Paleudalf ("Terra Roxa Estruturada") soil located in Piracicaba, São Paulo, the dynamics of soil total-N and N derived from fertilizer (ammonium sulphate - ^{15}N) in the soil solution during a bean (*Phaseolus vulgaris*, L.) crop 'Carioca' growth in the Autumn period (April-July), was studied. Nitrogen losses due to leaching beyond 120 cm of depth were estimated. The crop was fertilized with 42 kg/ha of N using ammonium sulphate, highly enriched with ^{15}N (56,111% ^{15}N atoms). The fertilization was made in two stages: 1/3 was applied six days after germination (DAG) and the rest 26 DAG. The soil solution was sampled *in situ*, using extractors placed in the following depths of profile: 45 cm, 75 cm, 105 cm and 135 cm. The samples were accumulated during each of five periods of 20 days (0-6, 6-26, 26-46, 46-66 and 66-86 DAG). In these samples the total-nitrogen was determined, and percentage ^{15}N atoms to determine the N derived from fertilizer. It was found that: 1) during the cropping period the average total-nitrogen concentration and N derived from fertilizer decreased markedly with soil depth, being very small (15 ppm and 0,048 ppm, respectively) at 105/135 cm of depth and, 2) during the crop development under minimal drainage conditions only 3 g/ha of total nitrogen and 3,04 mg/ha of N derived from fertilizer were leached beyond the 120 cm of depth.

Index terms: *Phaseolus vulgaris*, leaching of nitrogen, ammonium sulphate, use of ^{15}N .

¹ Aceito para publicação em 10 de julho de 1985. Contribuição do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), com o Apoio da Com. Nacional de Energia Nuclear, Agência Internacional de Energia Atômica e Fundação Cargill. Trabalho apresentado no Seminário sobre o Uso de Técnicas Nucleares em Estudos de Fertilidade do Solo e Fertilizantes, Piracicaba, maio de 1983.

² Eng. - Agr., Ph.D., Prof. visitante, Inst. Tecnol. e Cient.

(INTEC) - Fundação Educacional de Barretos. Atualmente Consultor do IICA/EMBRAPA-UAPNPBS, CEP 23851, Seropédica, km 47 Rio de Janeiro, RJ.

³ Eng. - Agr., Ph.D., Prof.-Adjunto, DFM/ESALQ/USP; CENA/USP e bolsista do CNPq.

⁴ Eng. - Agr., Ph.D., Prof.-Titular, DFM/ESALQ/USP; CENA/USP.

⁵ Lic. Física, M.Sc., CENA/USP.

⁶ Eng. - Agr., Ph.D. CENA/USP.

INTRODUÇÃO

Existem poucas informações acerca das perdas de nutrientes por lixiviação nos solos tropicais. Em muitos casos, as baixas respostas à adubação nitrogenada são atribuídas à lixiviação, a qual nem sempre ocorre.

No solo, o nitrogênio sofre uma série de transformações. Das formas minerais, o $N-NO_3$ é a mais aproveitada pelas plantas. Este ânion (e às vezes $N-NH_4$ e $N-NO_2$) é, no entanto, normalmente pouco retido pelos colóides do solo, ficando livre na fase líquida e sujeito ao movimento da água no perfil. Desta maneira, pode-se perder com a água de drenagem (lixiviação), diminuindo a fertilidade do solo - aumentando, conseqüentemente, os custos de produção, pelo maior uso de adubos -, e poluindo as águas naturais, cada vez mais limitadas. As quantidades de $N-NO_3$ no perfil, susceptíveis à perda, são muito variáveis no espaço e no tempo, dependendo da quantidade de N adicionado, do tipo de adubo, da taxa de mineralização do N-nativo, da remoção pelas colheitas, do tipo de cultura e do volume de água drenada, fatores, estes, afetados significativamente pelas propriedades do solo (capacidade de troca iônica, pH, textura, estrutura, matéria orgânica, C/N, etc.) e pelo clima (precipitação, principalmente) (Bartholomew 1971, Biggar 1978, Kinjo & Pratt 1971, Ludwick et al. 1976, 1977, Nielsen et al. 1973).

Para os estudos do movimento de nutrientes no perfil do solo, alguns pesquisadores têm realizado amostragem e análise de material orgânico tirado do solo (Terra Fina Seca ao Ar, TFSA), e outros, da solução ou água de drenagem, sendo que nesta última metodologia o uso de cápsulas porosas é mais recomendável, pela facilidade na obtenção da amostra *in situ*, sem destruição da estrutura do solo e das raízes, e por poder ser de uso permanente (Alberts et al. 1977, Espinoza & Reis 1982, Libardi & Reichardt 1978, Meirelles et al. 1980, Reeve & Doering 1965, Reichardt et al. 1979).

No que diz respeito aos estudos da lixiviação de $N-NO_3$, em nosso meio, Libardi & Reichardt (1978), estudando o destino da uréia ^{15}N (120 kg/ha de N) na cultura de feijão e num solo Paleudalf óxico, encontraram que durante a cultura foram perdidos (a mais de 90 cm) 6,72 kg/ha de N (5,6%). Porém,

no mesmo solo, Meirelles et al. (1980), aplicando sulfato de amônio ^{15}N (100 kg/ha de N) à cultura de feijão, encontraram que as perdas por lixiviação (a mais de 120 cm) foram, no total, de 15 kg/ha de N/ano (15%), sendo 1,35 kg de N (1,35%) provenientes do fertilizante. Reichardt et al. (1979), também em Piracicaba, aplicaram 80 kg/ha de N ($^{15}NH_4$)₂ SO₄ à cultura de milho num Latossolo Vermelho-Escuro fase arenosa, encontrando que durante a cultura as perdas por lixiviação do N-fertilizante, a mais de 120 cm, foram de 9,2 kg/ha de N (11,5%). Todos estes estudos foram feitos por meio de amostragem da solução do solo.

A presente pesquisa teve por objetivo estudar as variações das concentrações (ppm), da solução do solo em N-total e em N proveniente do fertilizante, no perfil do solo, e estimar as perdas deste nutriente durante o desenvolvimento da cultura de feijão (*Phaseolus vulgaris*, L.) cultivar Carioca.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida em área representativa do município de Piracicaba, São Paulo, no campus da Escola Superior de Agricultura "Luis de Queiroz" da Universidade de São Paulo. O solo corresponde a um Paleudalf óxico (Terra Roxa Estruturada), cujas principais características físicas e químicas são apresentadas na Tabela 1.

No presente estudo, instalaram-se doze amostradores da solução do solo em diferentes profundidades do perfil, numa cultura de feijão (*Phaseolus vulgaris*, L) cultivar Carioca. A cultura foi adubada, de acordo com as análises do solo, com 42 kg/ha de N, usando sulfato de amônio enriquecido em ^{15}N (56,111% de átomos de ^{15}N) aplicado em duas épocas: o primeiro terço, seis dias após a germinação (DAG) e o restante, 26 DAG. Assim mesmo, foram aplicados 150 kg/ha de P₂O₅, usando superfosfato simples na semeadura (03.04.1981). A densidade de plantio foi ajustada a 250.000 plantas/ha.

Os amostradores da solução do solo foram colocados em triplicata às profundidades de 45 cm, 75 cm, 105 cm e 135 cm. Na instalação, retirou-se a camada superficial de 25 cm do solo, da parcela experimental e, após, voltou-se o solo à sua posição original; com isto, evitou-se a infiltração preferencial da água pela interfase da parede dos tubos-solo e facilitaram-se as operações culturais. Maiores detalhes do sistema de amostradores são apresentados na Fig. 1. Na amostragem, o sistema foi submetido a um vácuo de -750 milibar, durante duas horas, em cada cinco ou oito dias (dependendo da umidade do solo), segundo a metodologia descrita por Meirelles et al. (1980), Biggar

TABELA 1. Resultados das análises de algumas características físicas e químicas do perfil do solo em estudo.

Prof. (cm)	Text.		Dg. (g.cm ⁻³)	pH (1:1)	C-org. (%)	Nt. (%)	C/N	Íons trocáveis (meq/100 g)					P. disp. (ppm)	
	Arg.	Silte %						Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³		CTC
0 - 15	46,5	26,2	1,43	5,6	0,78	0,108	7,1	2,65	1,66	0,68	0,10	0,12	5,21	13
15 - 30	53,1	21,8	1,38	4,7	0,66	0,112	5,9	1,20	0,65	0,76	0,07	0,60	3,28	9
30 - 45	57,8	20,4	1,34	5,1	0,42	0,094	4,5	2,36	0,99	0,48	0,05	0,09	3,97	8
45 - 60	59,6	18,3	1,31	5,4	0,27	0,036	4,8	2,40	0,99	0,40	0,05	0,09	3,93	8
60 - 75	59,4	18,7	1,20	5,6	0,33	0,056	5,4	2,65	1,02	0,28	0,04	0,08	4,07	6
75 - 90	59,2	17,8	1,20	5,7	0,28	0,056	5,2	2,80	1,04	0,20	0,04	0,09	4,17	4
90 - 105	58,0	19,3	1,16	5,4	0,30	0,056	5,4	3,04	0,96	0,16	0,02	0,08	4,26	7
105 - 120	58,0	19,5	1,10	5,4	0,24	0,053	4,5	2,96	1,04	0,14	0,02	0,08	4,24	6

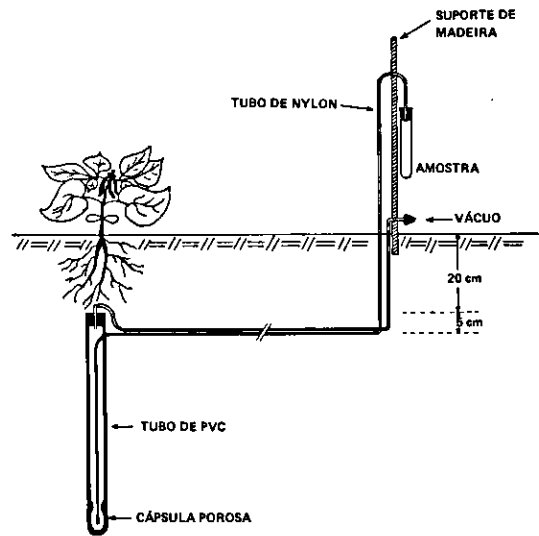


FIG. 1. Sistema de amostragem da solução do solo.

& Nielsen (1976), Reeve & Doering (1965) e Reichardt et al. (1977). A amostragem foi feita quando tensiômetros auxiliares indicaram que o potencial matricial da água era superior a -0,75 bar. Com a aplicação do vácuo, a solução do solo penetra na cápsula de cerâmica (tipo Apager), ao mesmo tempo em que o tubo de ensaio também é evacuado. Desconectando-se a fonte de vácuo, a solução do solo acumulada na cápsula fica sujeita à pressão atmosférica, deslocando-se para o tubo-de-ensaio coletor, em virtude da diferença de pressão entre a solução na cápsula e o tubo de ensaio no momento da desconexão. As amostras foram acumuladas em estágios de 20 dias (0-6, 6-26, 26-46, 46-66 e 66-86 DAG), nos quais foram determinadas as concentrações (ppm) de N-total na solução do solo (NTSS) pelo método semi-microKjeldahl (Bremner 1965) e, a partir disto, determinou-se o N, na solução do solo, proveniente do fertilizante (NSSPF), analisando-se o ¹⁵N pelo método de Rittenberg, empregando espectrômetro de massa Atlas-variant, CH-4. Cálculos sobre a composição isotópica de amostras de N podem ser vistos em Trivelin et al. (1973) e Vose (1980).

A irrigação foi aplicada a cada vez que tensiômetros instalados a 15 cm de profundidade indicaram um potencial matricial da água do solo em torno de -700 mbar.

Na Tabela 2 são apresentados os valores da precipitação pluvial, irrigação e drenagem acumulados durante as cinco épocas de desenvolvimento da cultura. Deve-se salientar que na E₂ (6-26 DAG) o alto valor de água que a cultura recebeu foi consequência das fortes chuvas que caíram no final deste período.

TABELA 2. Valores de precipitação pluvial, irrigação e drenagem, acumulados durante cinco épocas de desenvolvimento da cultura de feijão.

Épocas (DAG)	Precipitação	mm	Irrigação	Total	Drenagem (mm). 10 ⁻⁵
E ₁ 0-6	55,9		8,2	64,1	1013,64
E ₂ 6-26	54,7		115,2	169,9	822,78
E ₃ 26-46	1,1		97,5	98,6	39,56
E ₄ 46-66	68,5		22,3	90,8	132,34
E ₅ 66-86	0,1		0,0	0,1	14,17
Total	180,3		243,2	423,5	2022,49

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 3 são apresentados os dados dos teores médios, em ppm ($\mu\text{g/ml}$), de nitrogênio-total (NTSS) e de nitrogênio proveniente do fertilizante (NSSPF) na solução do solo, em quatro profundidades do perfil e em cinco épocas do desenvolvimento da cultura de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.).

Os resultados são de análise de amostras coletadas a partir de 45 cm, inclusive.

Observa-se, em primeiro lugar, que as concentrações de N-total, na solução do solo, são baixas e diminuem sensivelmente a partir dos 75 cm de profundidade, o que está relacionado com o baixo teor de N-total (ou matéria orgânica) nestas camadas (Tabela 1), não obstante o enriquecimento em nitrogênio-total nas camadas superficiais do solo. Deduz-se, então, que nas condições de inverno, em que foi desenvolvido o trabalho, o solo apresentou baixo nível de perdas de N por lixiviação, o que está relacionado com a baixa precipitação pluvial e drenagem durante o ciclo da cultura (Tabela 2), e com a alta capacidade de armazenamento de água do solo ligado à sua textura argilosa.

As concentrações médias de N-total na solução do solo, nas profundidades de 105 cm e 135 cm (15 ppm) são similares às encontradas por Libardi & Reichardt (1978) e Meirelles et al. (1980) trabalhando com feijoeiro, no mesmo tipo de solo (Terra Roxa Estruturada, TRE). Estes resultados, porém, são muito altos em relação aos encontrados por Reichardt et al. (1979), que, trabalhando num Latossolo Vermelho-Escuro, fase arenosa, em boas condições hídricas, obtiveram uma concentração

média de 2,9 ppm de N na profundidade de 120 cm. Na realidade, a composição da solução do solo sofre grandes variações, inclusive dentro de um mesmo solo, o que, segundo diversos autores (Biggar & Nielsen 1976, Raij & Peach 1972, Sidle & Kardos 1979, Starr et al. 1978), pode dever-se a diversos fenômenos de interação entre os solutos com as partículas minerais do solo, à estratificação mineral e textural do solo, à variação na distribuição do tamanho dos poros ou à umidade do solo, fatores, estes, que afetam os fluxos de drenagem e a difusão de solutos dentro do perfil.

No que diz respeito às concentrações (ppm) de nitrogênio na solução do solo proveniente do fertilizante (NSSPF), pode-se notar (Tabela 3) que, em todas as épocas, esta também foi muito baixa, observando-se que aos 105/135 cm do perfil a concentração média foi de 0,048 ppm. Desta forma, pode-se também deduzir que o potencial de lixiviação de N proveniente do fertilizante foi muito baixa, provavelmente por causa das boas condições hídricas e do baixo fluxo de drenagem durante o desenvolvimento da cultura (Tabela 2). Nas condições do presente trabalho, a imobilização do N aplicado por ação da matéria orgânica do solo não pode ser considerada na retenção do N fornecido, uma vez que as relações C/N, em todas as camadas do perfil, não foram maiores que sete e, nessa situação, de acordo com Malavolta (1976), a mineralização é o processo dominante na dinâmica da matéria orgânica do solo.

Na Fig. 2 pode-se visualizar melhor o que se acaba de discutir. Além disso, podem ser observados claramente as grandes variações na concentra-

LIXIVIAÇÃO DO NITROGÊNIO PROVENIENTE DO SOLO

TABELA 3. Teor de N-total (NTSS) e de N proveniente do fertilizante (NSSPF) na solução do solo, em quatro profundidades do perfil e em cinco períodos de desenvolvimento da cultura de feijão (*Phaseolus vulgaris*, L.).

Prof. (cm)	Épocas										Média	
	E1 (0 - 6 DAG)		E2 ^a (6 - 26 DAG)		E3 ^b (26 - 46 DAG)		E4 (46 - 66 DAG)		E5 (66 - 86 DAG)			
	NTSS	NSSPF	NTSS	NSSPF	NTSS	NSSPF	NTSS	NSSPF	NTSS	NSSPF	NTSS	NSSPF
	μg N/ml											
45	72,36	-	81,69	2,430	4,250	0,006	28,6	0,600	18,18	0,957	41,02	0,998
75	59,69	-	40,09	0,005	4,502	0,036	34,2	0,069	38,00	0,159	35,30	0,067
105	10,39	-	15,54	0,005	4,430	0,190	24,2	0,024	29,00	0,043	16,71	0,066
135	19,05	-	10,57	0,050	1,356	0,014	17,3	0,031	18,32	0,024	13,32	0,030

NTSS = nitrogênio total na solução do solo.

NSSPF = nitrogênio na solução do solo proveniente do fertilizante.

a = após aplicação de 1/3 de N (14 kg/ha de N).

b = após aplicação dos 2/3 restantes de N.

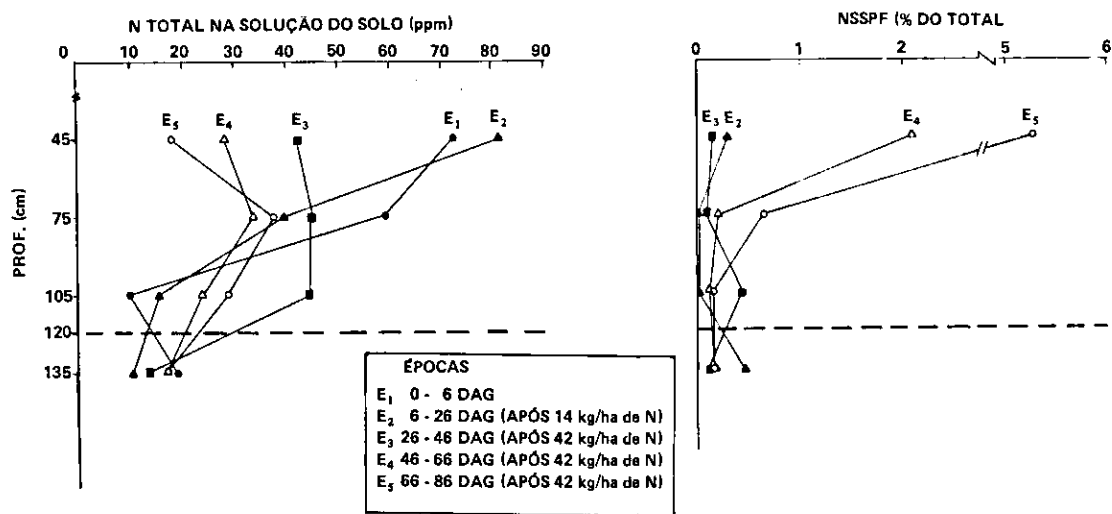


FIG. 2. Variação da concentração do N total (NTSS) e da porcentagem de N proveniente do fertilizante na solução do solo, ao longo do perfil do solo, em cinco épocas do desenvolvimento da cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*, L.).

ção de nitrogênio-total e do proveniente do fertilizante entre os diferentes períodos de amostragem. Isto está muito relacionado com o fracionamento da adubação efetuada e com as variações na absorção de nitrogênio pela cultura durante seu desenvolvimento. Deve-se dar ênfase ao fato de que, ao final da cultura, na profundidade de 45 cm, houve um incremento visível na concentração de

NSSPF, o que dá uma idéia da demora do caminhamento do N fornecido.

Finalmente, observando os resultados da Tabela 4, pode-se determinar que durante o ciclo da cultura apenas 3 g/ha de N-total e 3,04 mg/ha de N-fertilizante foram lixiviados abaixo dos 120 cm de profundidade, sendo estes valores muito baixos, uma vez que, também em condições similares, ou-

TABELA 4. Valores médios da concentração de N-total e proveniente do fertilizante na água de drenagem e as quantidades médias de N lixiviadas abaixo de 120 cm de profundidade durante o desenvolvimento da cultura de feijão.

Épocas (DAG)	Drenagem (mm).10 ⁻⁵	N-solução solo		Lixiviação de N	
		N-total µg/ml	N-fertil.	N-total g/ha	N-fertil. mg/ha
E ₁ 0-6	1013,64	14,72	-	1,49	-
E ₂ 6-26	822,78	13,05	0,027	1,07	2,22
E ₃ 26-46	39,56	28,93	0,102	0,14	0,40
E ₄ 46-66	132,34	20,73	0,028	0,27	0,37
E ₅ 66-86	14,17	23,65	0,034	0,03	0,05
Total	2022,49	-	-	3,00	3,04

tros pesquisadores (Libardi & Reichardt 1978, Meirelles et al. 1980, Reichardt et al. 1979) encontraram perdas de N-total da ordem de 6 kg/ha de N, dos quais apenas 0,4 a 0,8 kg/ha de N provinha do fertilizante aplicado (80 - 120 kg/ha de N).

CONCLUSÕES

1. A concentração média de N-total e de N proveniente do fertilizante diminuíram marcadamente com a profundidade do solo, sendo que no limite inferior do perfil (105/135 cm), a concentração de N-total (15 ppm) e a do N proveniente do fertilizante (0,048 ppm), foram muito baixas.

2. Durante o ciclo da cultura, sob as condições de mínima drenagem, apenas 3 g/ha de N-total e 3,04 mg/ha de N-fertilizante foram lixiviados abaixo dos 120 cm de profundidade.

REFERÊNCIAS

- ALBERTS, E.E.; BURWELL, R.E. & SCHUMAN, G.E. Soil nitrate-nitrogen determined by coring and solution extraction techniques. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 41: 90-2, 1977.
- BARTHOLOMEW, W.V. ¹⁵N in research on the availability and crop use of nitrogen. In: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Viena, Austria. Nitrogen - ¹⁵N in soil plant studies. Viena, 1971. p.1-19.
- BIGGAR, J.W. Spatial variability of nitrogen in soils. In: NIELSEN, D.R. & MACDONALD, J.G., ed. *Nitrogen in the environment*. New York, Academic Press, 1978. p.201-21.
- BIGGAR, J.W. & NIELSEN, D.R. The spatial variability of the leaching characteristics of a field soil. *Water Resour. Res.*, 12:78-84, 1976.
- BREMNER, J.M. Total nitrogen. In: BLACK, C.A.; EVANS, D.D.; WHITE, J.L.; ENSMINGER, L.E. & CLARK, F.E., ed. *Methods of soil analysis*. Madison, Am. Soc. Agron., 1965. pt. 2, p.1149-78.
- ESPINOZA, W. & REIS, A.E.G. dos. Lixiviação de Ca, K e Mg em um Latossolo Vermelho-Escuro (LE) de Cerrados. I. Magnitude e variabilidade do fenômeno na época chuvosa. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, 17(2):299-317, fev. 1982.
- KINJO, T. & PRATT, P.F. Nitrate adsorption. I. In some arid soils of Mexico and South America. II. In competition with chloride, sulphate and phosphate. III. Desorption, movement and distribution in Andepts. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 35:722-32, 1971.
- LIBARDI, P.L. & REICHARDT, K. Destino da uréia aplicada a um solo tropical. *R. bras. Ci. Solo*, 2:40-4, 1978.
- LUDWICK, A.E.; REUSS, J.O. & LANGIN, E.J. Soil nitrates following four-year continuous corn and as surveyed in irrigated farm fields of Central and Eastern Colorado. *J. Environ. Qual.*, 5(1):82-6, 1976.
- LUDWICK, A.E.; SOLTANPOUR, P.N. & REUS, J.O. Nitrate distribution and variability in irrigated fields of Northeastern Colorado. *Agron. J.*, 69:710-3, 1977.
- MALAVOLTA, E. Manual de química agrícola; nutrição de plantas e fertilidade do solo. São Paulo, Ceres, 1976. p.203-52.
- MEIRELLES, N.M.F.; LIBARDI, P.L. & REICHARDT, K. Absorção e lixiviação de nitrogênio em cultura de feijão (*Phaseolus vulgaris*, L.). *R. bras. Ci. Solo*, 4:83-8, 1980.

LIXIVIAÇÃO DO NITROGÊNIO PROVENIENTE DO SOLO

- NIELSEN, D.R.; BIGGAR, J.W. & ERH, K.T. Spatial variability of field-measured soil-water properties. *Hilgardia*, 45:125-59, 1973.
- RAIJ, B. van & PEACH, M. Electrochemical properties of some Oxisols and Alfisols in the tropics. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 36:587-93, 1972.
- REEVE, R.C. & DOERING, E.J. Sampling the soil solution for salinity appraisal. *Soil Sci.*, 99(5):339-44, 1965.
- REICHARDT, K.; LIBARDI, P.L.; MEIRELLES, N.M.F.; FERREYRA, H.F.E.; ZAGATTO, E.A.G. & MATSUI, E. Extração e análise de nitratos em solução do solo. *R. bras. Ci. Solo*, 1:130-2, 1977.
- REICHARDT, K.; LIBARDI, P.L.; VICTÓRIA, R.L. & VIEGAS, G.P. Dinâmica do nitrogênio num solo cultivado com milho. *R. bras. Ci. Solo*, 3:17-20, 1979.
- SIDLE, R.C. & KARDOS, L.T. Nitrate leaching in a sludge treated forest soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 43:278-82, 1979.
- STARR, J.L.; DELOO, H.C.; FRINK, C.R. & PARLANGE, J.Y. Leaching characteristics of a layered soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 42:386-91, 1978.
- TRIVELIN, P.C.O.; SALATI, E. & MATSUI, E. Preparo de amostras para análise de ^{15}N por espectrometria de massa. Piracicaba, CENA, 1973. 41p. (Boletim Técnico, 2).
- VOSE, P.B. Introduction to nuclear technique in agronomy and plant biology. Oxford, Pergamon Press, 1980. p.338-60.