

PERDAS E NITRIFICAÇÃO DO NITROGÊNIO EM UM VERTISSOLO DO MÉDIO SÃO FRANCISCO

José Ribamar Pereira*
Maria A. Amador Cavalcante**e
F. Lopes Filho***

INTRODUÇÃO

O comportamento dos fertilizantes nitrogenados amoniacais, em solos alcalinos, tem sido objeto de intensa pesquisa (8, 9, 10, 13, 17). Vários fatores com pH do solo, fonte e quantidade de fertilizantes aplicados, método de aplicação, capacidade de troca de cátions, umidade do solo e temperatura (1, 8, 9, 11, 12, 14, 15, 18), agindo isoladamente e em conjunto, determinam a intensidade dos processos de transformação do nitrogênio amoniacal e orgânico no solo em outras formas, influenciando assim, na quantidade de nitrogênio disponível para as plantas.

Resultados de pesquisas tem revelado que grande parte do nitrogênio adicionado à superfície de solos alcalinos na forma amoniacal e orgânica pode ser volatilizada na forma de NH_3 (3, 9, 10, 13, 20). Estas perdas podem alcançar valores significativos, diminuindo assim a eficiência do fertilizante como fonte de nitrogênio para as plantas. Valores superiores a 50% tem sido encontrados quando sulfato de amônio, uréia e amônia líquida foram colocados na superfície de solos calcários com pH alcalino (3, 9, 10). Há evidência de que perdas do nitrogênio de solos alcalinos também possam ocorrer através da redução do nitrato e nitrito a formas gasosas (2, 3, 5, 9).

Os fertilizantes amoniacais quando são adicionados ao solo, parte do NH_4^+ é transformado em nitrito e em seguida a nitrato, através da oxidação biológico (1, 2, 9). A maioria dos solos calcários tem uma flora nitrificante com grande capacidade para oxidar o NH_4^+ em nitrato, em um período relativamente curto (9). Contudo, amônio em alta concentração associado a pH alcalino, inibe a atividade das bactérias nitrificantes do gênero *Nitrobacter*, responsáveis pela transformação do nitrito em nitrato, mas não tem nenhum efeito sobre as bactérias do gênero *Nitrossomonas*, que transformam NH_4^+ em nitrito (1, 5, 9), em consequência poderá aparecer acúmulo de nitrito no solo.

O objetivo deste trabalho foi avaliar as perdas de nitrogênio e as percentagens de nitrificação em função de diferentes níveis e fontes de nitrogênio aplicado no solo.

MATERIAIS E MÉTODOS

Este experimento foi conduzido nas condições de laboratório com amostras de um vertissolo do Médio São Francisco, coletados à profundidade de 0-30cm. As características físicas e químicas do solo constam na Tabela 1.

As amostras de solo foram secas ao ar livre e passadas em peneiras de 2mm de diâmetro, em seguida foram colocadas em placas de Petri com área de 78 cm².

Os tratamentos consistiram de três fontes de nitrogênio: sulfato de amônio, uréia e amônia líquida com 20,5, 43 e 10% de N respectivamente, em seis níveis: 0, 25, 50, 100 e 125 mg de N/100 g de solo, aplicadas na superfície do solo.

Durante o período do experimento, o teor de umidade do solo foi mantido em torno da capacidade de campo através da adição de água quando 50% da umidade disponível havia sido evaporada.

No final de 20 dias foram determinados os teores de nitrogênio total, pelo método de Kjeldhal (4), e o nitrogênio pelo método do ácido fenoldissulfônico (4). O nitrogênio amoniacal foi extraído com KCl 2N e destilado em presença de óxido de magnésio (4). O nitrogênio perdido foi calculado através da diferença entre a soma do nitrogênio do solo e o adicionado, menos a quantidade total recuperada do solo.

O pH foi medido aos 10 e 20 dias após a aplicação do nitrogênio. A temperatura ambiente durante o período do experimento variou de 24o a 36°C.

*Eng. Agr. M. Sc., responsável pelo Laboratório de Solos da SUDENE, Petrolina, Pernambuco.

**Eng. Agr., Superintendência do Vale do São Francisco, Juazeiro, Bahia.

***Eng. Agr., Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido, EMBRAPA, Petrolina, Pernambuco.

Tabela 1. Propriedades físicas e químicas do solo do local do experimento.

Profundidade cm.	pH(H ₂ O) 1:1	CE _c mmhos/cm	Ca ⁺⁺ mg/100 g de solo	Mg ⁺⁺ g de solo	Na ⁺ g de solo	K ⁺ g de solo	P ppm	N	M.O.	CO ₃ ⁼	Arg. %	Silt %	Areia %	Unidade 0,30m 15cm
0 - 30	7,8	0,25	26,0	5,9	0,11	0,30	1,9	0,65	1,1	3,8	57	14	31	28
30 - 60	7,8	0,28	27,5	6,2	0,21	0,22	1,2	0,91	0,80	1,3	57	13	30	28
60 - 90	7,9	0,30	27,0	6,7	0,30	0,16	1,2	0,91	0,51	1,6	59	13	32	30

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da Figura 1 revelam que ocorreram perdas de parte do nitrogênio aplicado ao solo em todos os tratamentos, tanto em função da fonte, como da quantidade aplicada. Com relação às fontes de nitrogênio, observa-se que as perdas ocorreram na seguinte ordem decrescente: amônia líquida, uréia e sulfato de amônio. Os níveis crescentes de nitrogênio aplicados independente da fonte, incrementaram as perdas de nitrogênio do solo, contudo tiveram pouca influência sobre as percentagens de perdas. Resultados similares foram obtidos por Martin e Chapman (10).

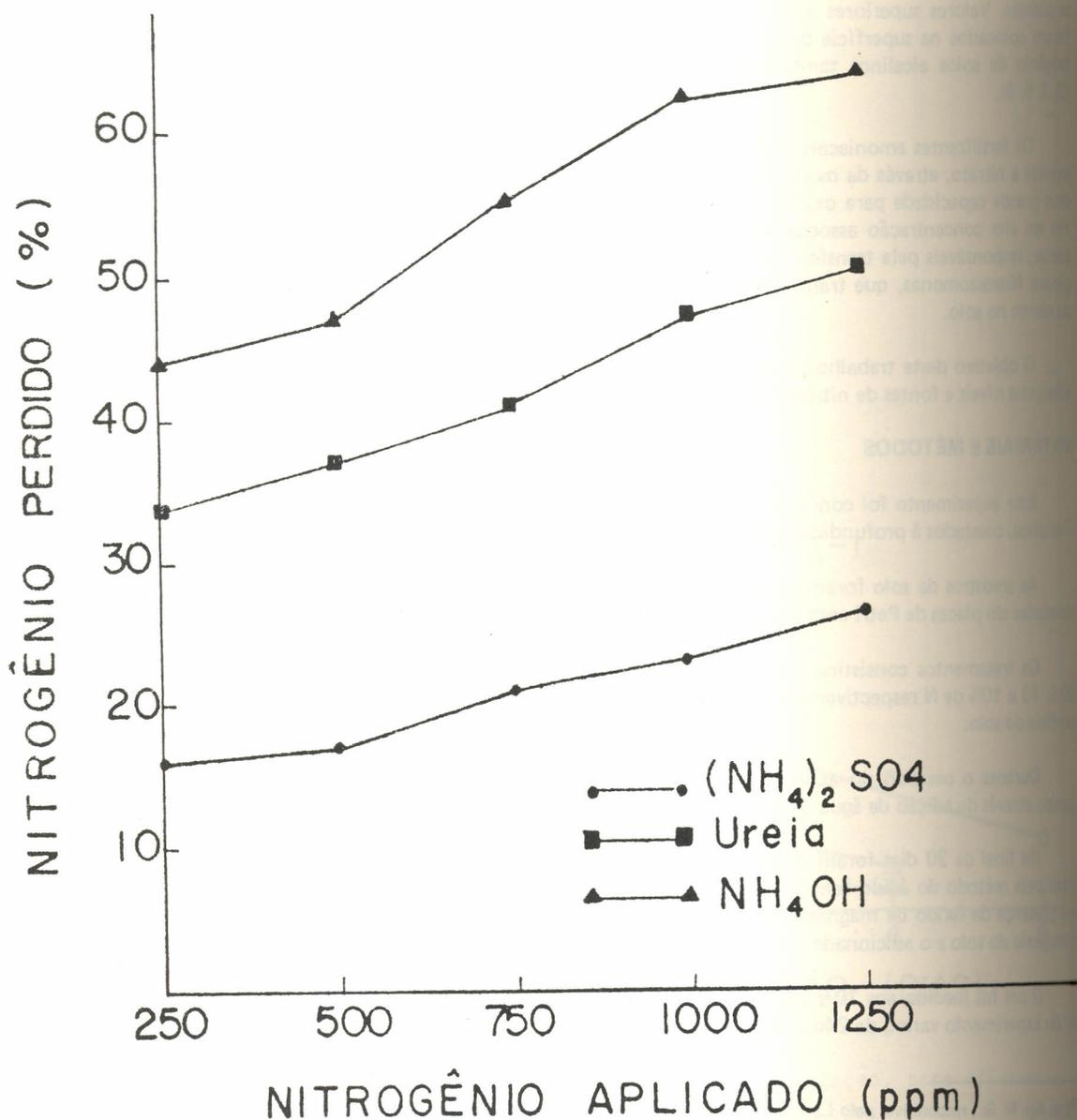


Figura 1. Nitrogênio perdido em um período de 20 dias, em função de diferentes níveis e fontes de nitrogênio aplicado ao solo.

Devido às características do solo (Tabela 1) e as temperaturas elevadas, as perdas do nitrogênio devem ter ocorrido principalmente por volatilização do NH_3 (3, 9, 10). Perdas através do processo de desnitrificação é provável que também tenha ocorrido, mas em menor escala (3, 5).

As diferenças entre as quantidades de nitrogênio perdido das três fontes pode ser explicado através das reações de cada produto no solo. Desse modo a aplicação de amônia líquida, resultou em uma brusca elevação no pH do solo, tornando-o ainda mais alcalino, e nestas condições esse produto é instável e se decompõe em H_2O e NH_3 (3, 9). Volatilização do NH_3 , oriundo da aplicação superficial da uréia e sulfato de amônio, ocorrem principalmente em consequência da formação de $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ que em meio alcalino se decompõe rapidamente, liberando nitrogênio na forma de NH_3 (3, 7, 9, 13).

A natureza das reações que dão formação ao $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$, em consequência da aplicação de uréia e sulfato de amônio são diferentes, daí as diferenças nas quantidades de nitrogênio volatilizado. A uréia quando colocada em solos alcalinos, se hidroliza rapidamente, através da ação enzimática da urease, formando $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ (3, 13). O sulfato de amônio em solos calcários reage com o CaCO_3 livre, dando como produtos da reação CaSO_4 e $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ (3, 7, 8, 13). A razão da maior perda de NH_3 da uréia comparada com o sulfato de amônio, foi provavelmente consequência de uma maior reatividade no solo e uma brusca elevação do pH devido à rápida transformação da ureia, imediatamente após ter sido colocado no solo (1, 7, 19, 20). A reação do sulfato de amônio com o CaCO_3 livre, não se dá de maneira tão rápida, por esse motivo não produz alto pH, logo após a adição no solo, comparado com uréia (3, 9, 10). De acordo com diversos pesquisadores (6, 10), perdas de nitrogênio da uréia em solos alcalinos, contendo CaCO_3 são mais intensas do que $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$.

O pH do solo (Tabela 2), determinado aos 10 e 20 dias após a aplicação do nitrogênio, revela que nos tratamentos com sulfato de amônio ocorreu um abaixamento do pH, enquanto que nos tratamentos com uréia e amônia líquida aumentou ligeiramente. Estas diferenças no pH estão associadas às perdas do nitrogênio do solo por volatilização (3, 13).

Tabela 2. Variação do pH em função dos tratamentos com sulfato de amônio, ureia e amônia líquida, após 10 e 20 dias de incubação

Tabela 2. Variação do pH em função dos tratamentos com sulfato de amônio, ureia e amônia líquida, após 10 e 20 dias de incubação.

N aplicado ppm	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$		Uréia		NH_4OH	
	10 dias	20 dias	10 dias	20 dias	10 dias	20 dias
	pH (1:1)					
0	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8
250	7.7	7.7	7.9	7.9	8.0	7.8
500	7.6	7.5	8.0	7.9	7.9	7.9
750	7.6	7.5	8.0	8.0	8.1	8.1
1000	7.4	7.4	8.1	8.1	8.2	8.1
1250	7.4	7.4	8.2	8.1	8.3	8.1

Além do processo de volatilização do NH_3 , é provável conforme já foi visto, que também tenha ocorrido perdas através de desnitrificação, se bem que em menor escala (3, 5). Estas perdas, parecem especialmente pronunciadas em solos onde se tem verificado acumulação de nitrito, devido as condições desfavoráveis à nitrificação, como no caso de alta concentração de amônio que inibe a atividade das bactérias do gênero *Nitrobacter*, responsáveis pela transformação do NO_2^- em NO_3^- (1, 6, 9, 17).

Dos dados da Figura 2, nota-se que as quantidades de nitrogênio amoniacal recuperado do solo no final do experimento, foram mais altos nos tratamentos com sulfato de amônio, seguindo-se os tratamentos com uréia e amônia. As quantidades encontradas estão estreitamente relacionadas com as percentagens de perdas do nitrogênio e a variação do pH do solo determinado aos 10 e 20 dias.

Os produtos usados neste experimento comportaram-se diferentemente em relação ao processo de nitrificação (Figura 3). No nível correspondente a 250 ppm de nitrogênio aplicado, independente da fonte, observou-se um aumento na ordem de 100% nas quantidades de nitrato do solo. Nos tratamentos com sulfato de amônio o teor de nitrato permaneceu praticamente constante, independente da quantidade de nitrogênio adicionada ao solo, contudo no caso da uréia e amônia líquida, a nitrificação decresceu acentuadamente com o incremento dos níveis de nitrogênio no solo a partir de 250 ppm.

Tabela 1. Propriedades físicas e químicas do solo do local do experimento.

Profundidade cm.	pH(H ₂ O)	CE _c mmhos/cm	Ca ⁺⁺ mg/100 g de solo	Mg ⁺⁺ mg/100 g de solo	Na ⁺ mg/100 g de solo	K ⁺ mg/100 g de solo	P ppm	N	M.O. CO ₃ ⁼	Arg.	Silt	Areia	Unidade 0,3cm 15cm	
0 - 30	7,8	0,25	26,0	5,9	0,11	0,30	1,9	0,05	1,1	3,8	57	14	31	28 16
30 - 60	7,8	0,28	27,5	6,2	0,21	0,22	1,2	0,04	0,80	1,3	57	13	30	28 17
60 - 90	7,9	0,40	27,0	6,7	0,30	0,16	1,2	0,04	0,51	1,0	59	13	32	30 18

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da Figura 1 revelam que ocorreram perdas de parte do nitrogênio aplicado ao solo em todos os tratamentos, tanto em função da fonte, como da quantidade aplicada. Com relação às fontes de nitrogênio, observa-se que as perdas ocorreram na seguinte ordem decrescente: amônia líquida, uréia e sulfato de amônio. Os níveis crescentes de nitrogênio aplicados independente da fonte, incrementaram as perdas de nitrogênio do solo, contudo tiveram pouca influência sobre as percentagens de perdas. Resultados similares foram obtidos por Martin e Chapman (10).

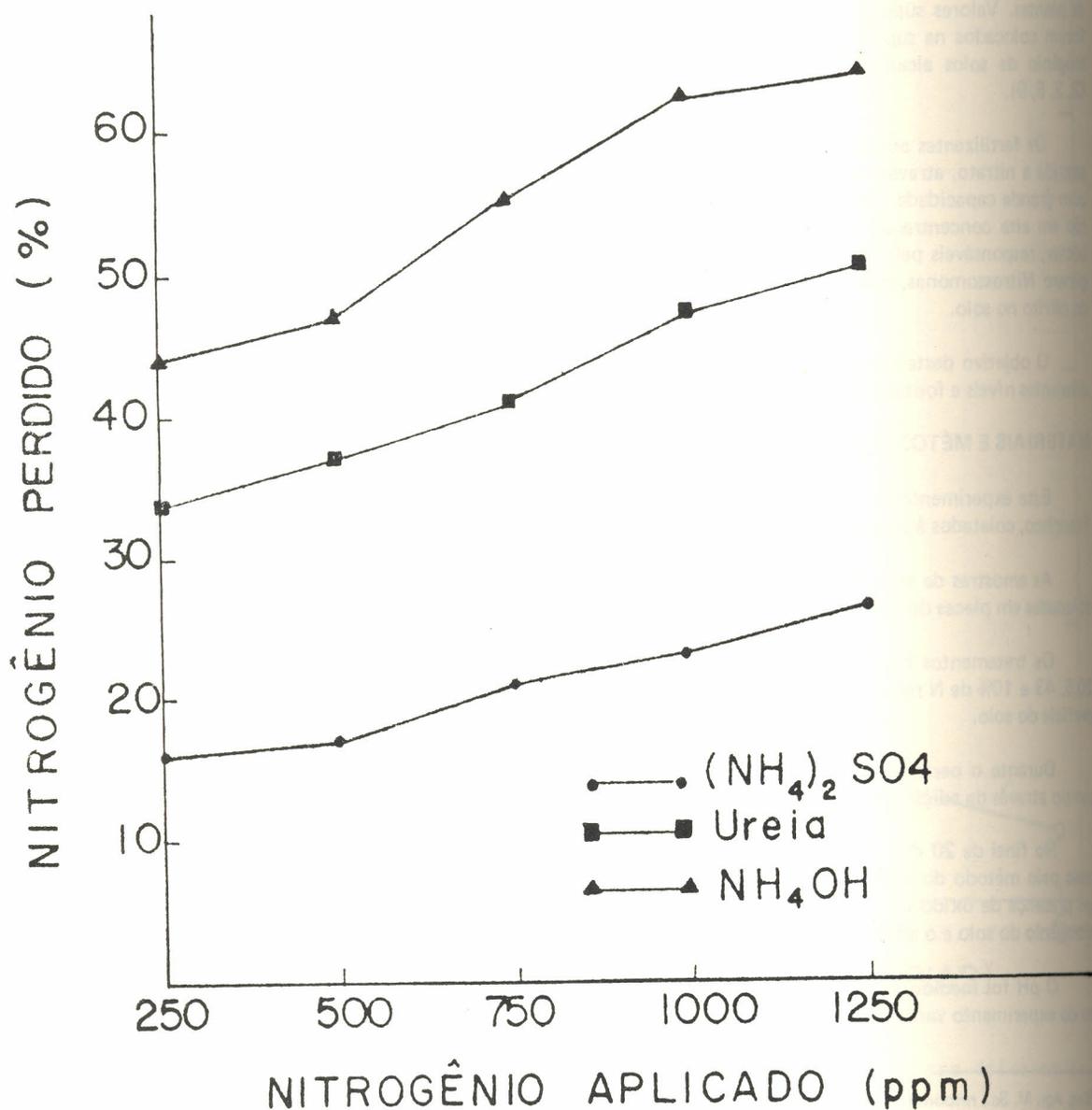


Figura 1. Nitrogênio perdido em um período de 20 dias, em função de diferentes níveis e fontes de nitrogênio aplicado ao solo.

Devido às características do solo (Tabela 1) e as temperaturas elevadas, as perdas do nitrogênio devem ter ocorrido principalmente por volatilização do NH_3 (3, 9, 10). Perdas através do processo de desnitrificação é provável que também tenha ocorrido, mas em menor escala (3, 5).

As diferenças entre as quantidades de nitrogênio perdido das três fontes pode ser explicado através das reações de cada produto no solo. Desse modo a aplicação de amônia líquida, resultou em uma brusca elevação no pH do solo, tornando-o ainda mais alcalino, e nestas condições esse produto é instável e se decompõe em H_2O e NH_3 (3, 9). Volatilização do NH_3 , oriundo da aplicação superficial da uréia e sulfato de amônio, ocorrem principalmente em consequência da formação de $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ que em meio alcalino se decompõe rapidamente, liberando nitrogênio na forma de NH_3 (3, 7, 9, 13).

A natureza das reações que dão formação ao $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$, em consequência da aplicação de uréia e sulfato de amônio são diferentes, daí as diferenças nas quantidades de nitrogênio volatilizado. A uréia quando colocada em solos alcalinos, se hidroliza rapidamente, através da ação enzimática da urease, formando $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ (3, 13). O sulfato de amônio em solos calcários reage com o CaCO_3 livre, dando como produtos da reação CaSO_4 e $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ (3, 7, 8, 13). A razão da maior perda de NH_3 da uréia comparada com o sulfato de amônio, foi provavelmente consequência de uma maior reatividade no solo e uma brusca elevação do pH devido à rápida transformação da ureia, imediatamente após ter sido colocado no solo (1, 7, 19, 20). A reação do sulfato de amônio com o CaCO_3 livre, não se dá de maneira tão rápida, por esse motivo não produz alto pH, logo após a adição no solo, comparado com uréia (3, 9, 10). De acordo com diversos pesquisadores (6, 10), perdas de nitrogênio da uréia em solos alcalinos, contendo CaCO_3 são mais intensas do que $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$.

O pH do solo (Tabela 2), determinado aos 10 e 20 dias após a aplicação do nitrogênio, revela que nos tratamentos com sulfato de amônio ocorreu um abaixamento do pH, enquanto que nos tratamentos com uréia e amônia líquida aumentou ligeiramente. Estas diferenças no pH estão associadas às perdas do nitrogênio do solo por volatilização (3, 13).

Tabela 2. Variação do pH em função dos tratamentos com sulfato de amônio, uréia e amônia líquida, após 10 e 20 dias de incubação

Tabela 2. Variação do pH em função dos tratamentos com sulfato de amônio, uréia e amônia líquida, após 10 e 20 dias de incubação.

N aplicado ppm	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$		Uréia		NH_4OH	
	10 dias	20 dias	10 dias	20 dias	10 dias	20 dias
	pH(1:1)					
0	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8
250	7.7	7.7	7.9	7.9	8.0	7.8
500	7.6	7.5	8.0	7.9	7.9	7.9
750	7.6	7.5	8.0	8.0	8.1	8.1
1000	7.4	7.4	8.1	8.1	8.2	8.1
1250	7.4	7.4	8.2	8.1	8.3	8.1

Além do processo de volatilização do NH_3 , é provável conforme já foi visto, que também tenha ocorrido perdas através de desnitrificação, se bem que em menor escala (3, 5). Estas perdas, parecem especialmente pronunciadas em solos onde se tem verificado acumulação de nitrato, devido as condições desfavoráveis à nitrificação, como no caso de alta concentração de amônio que inibe a atividade das bactérias do gênero *Nitrobacter*, responsáveis pela transformação do NO_2^- em NO_3^- (1, 6, 9, 17).

Dos dados da Figura 2, nota-se que as quantidades de nitrogênio amoniacal recuperado do solo no final do experimento, foram mais altos nos tratamentos com sulfato de amônio, seguindo-se os tratamentos com uréia e amônia. As quantidades encontradas estão estreitamente relacionadas com as percentagens de perdas do nitrogênio e a variação do pH do solo determinado aos 10 e 20 dias.

Os produtos usados neste experimento comportaram-se diferentemente em relação ao processo de nitrificação (Figura 3). No nível correspondente a 250 ppm de nitrogênio aplicado, independente da fonte, observou-se um aumento na ordem de 100% nas quantidades de nitrato do solo. Nos tratamentos com sulfato de amônio o teor de nitrato permaneceu praticamente constante, independente da quantidade de nitrogênio adicionada ao solo, contudo no caso da uréia e amônia líquida, a nitrificação decresceu acentuadamente com o incremento dos níveis de nitrogênio no solo a partir de 250 ppm.

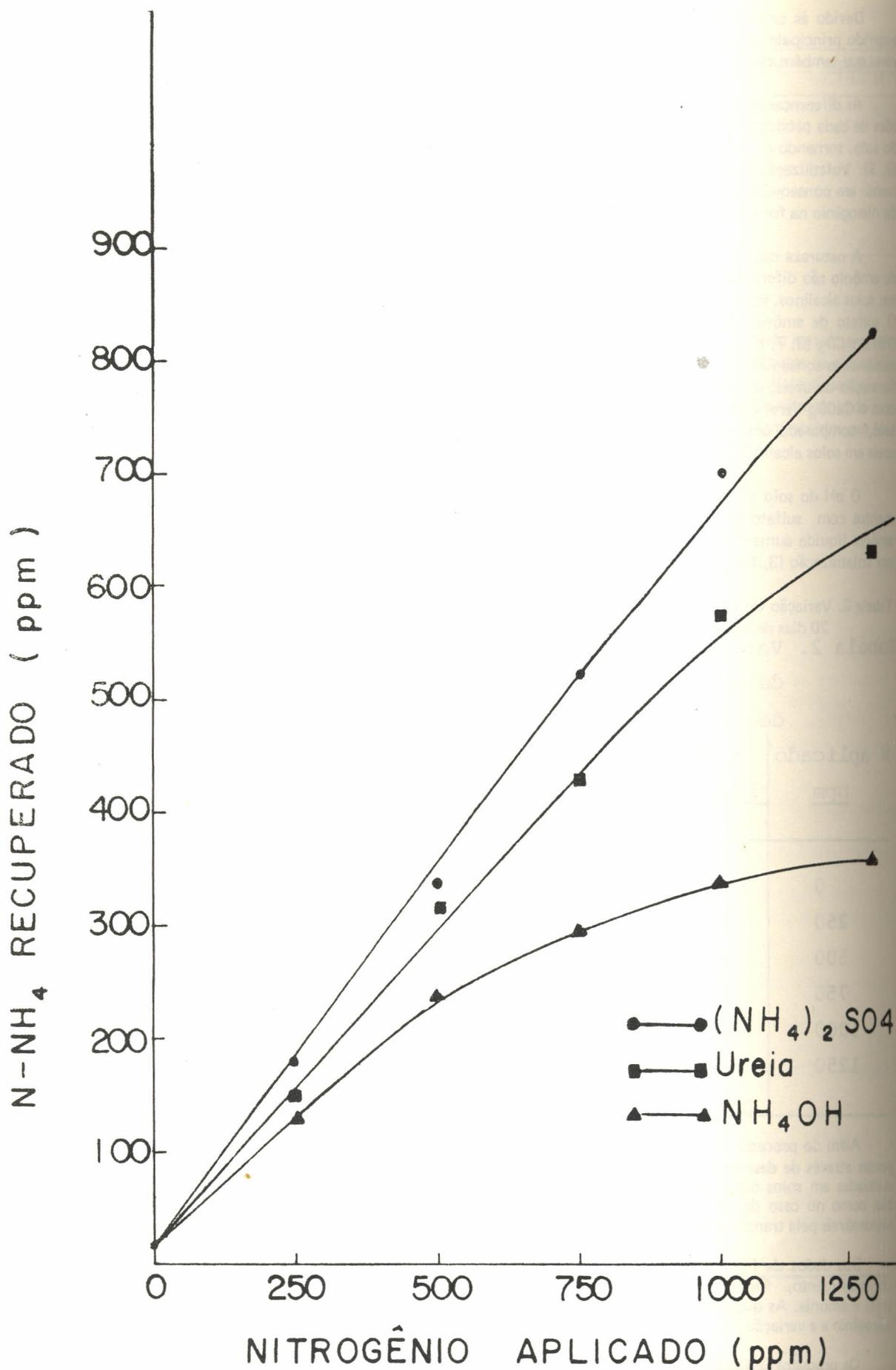


Figura 2. Nitrogênio amoniaco recuperado do solo após 20 dias de incubação, em função de diferentes níveis e fontes de nitrogênio.

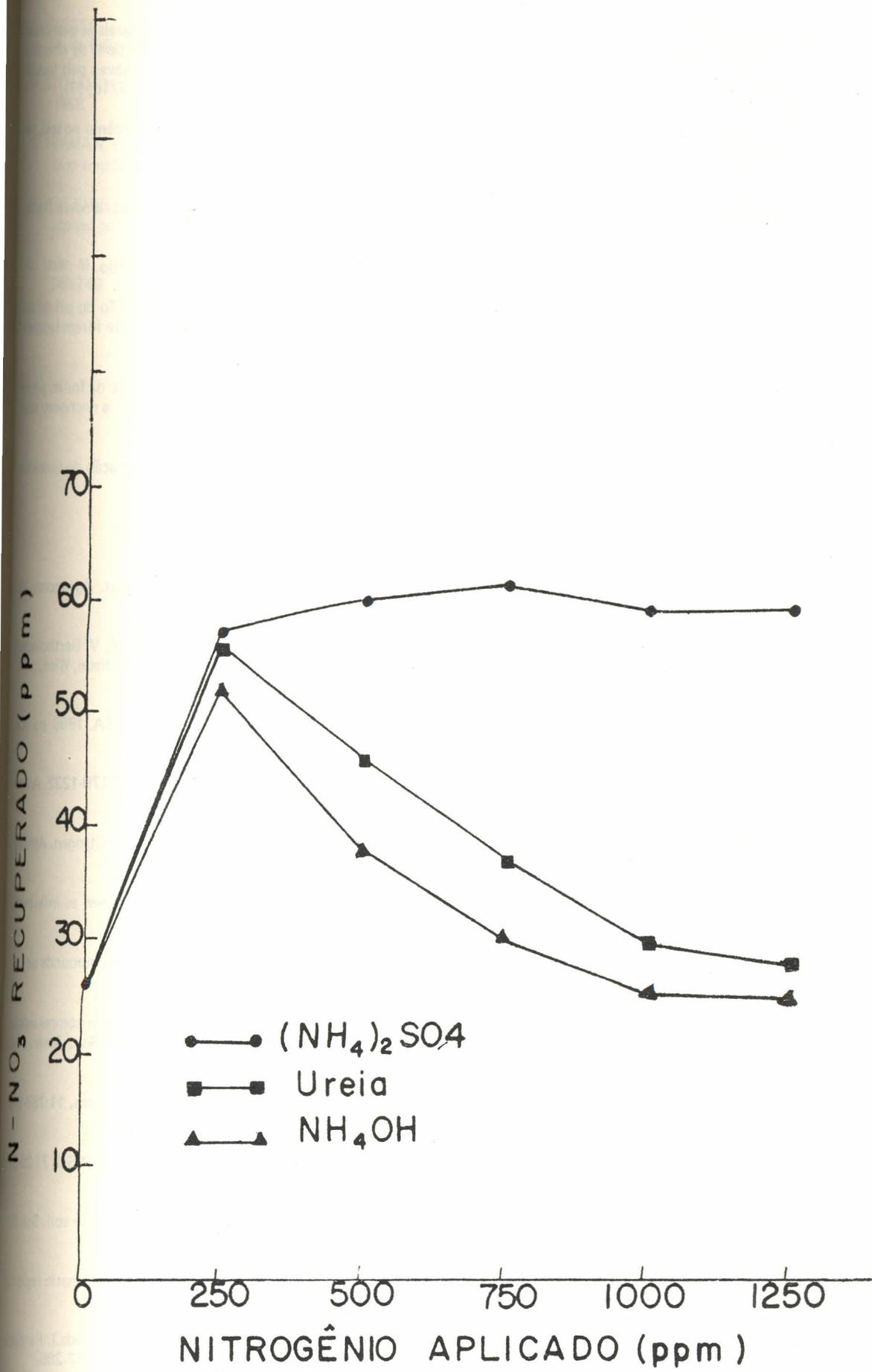


Figura 3. Nitrogênio nítrico recuperado do solo após 20 dias de incubação, em função de diferentes níveis e fonte de nitrogênio.

No caso dos últimos níveis com amônia líquida os valores obtidos para nitrato foram iguais às quantidades originais. A provável razão para o decréscimo na taxa de nitrificação a partir do nível 250 ppm de nitrogênio aplicado ao solo decorreu da inibição da atividade das bactérias do gênero *Nitrobacter*, responsáveis pela transformação do nitrito, ocasionada pela concentração elevada de amônio associado a pH alcalino (3, 6, 16, 17).

A análise dos resultados obtidos em relação ao comportamento das três fontes de nitrogênio no solo, permite as seguintes conclusões:

- a. Perdas de nitrogênio ocorreram na seguinte ordem decrescente em função das fontes: amônia líquida, uréia e sulfato de amônio.
- b. Os níveis de nitrogênio tiveram pouca influência nas percentagens de perdas de nitrogênio.
- c. As maiores quantidades de nitrogênio perdido estão estreitamente associadas à elevação do pH do solo após 10 e 20 dias do início do experimento, e menores quantidades de nitrogênio que foram recuperadas, na forma amoniacal e na forma nítrica.
- d. A nitrificação aumentou em 100% no nível correspondente a 250 ppm, independente da fonte, permanecendo praticamente inalterada para os demais níveis no caso do sulfato de amônio, e decresceu acentuadamente nos tratamentos com uréia e amônia líquida.
- e. Observou-se uma inibição do processo de nitrificação do NH_4^+ associado com aplicação de crescentes níveis de nitrogênio.

BIBLIOGRAFIA

1. ALEXANDER, Martin. Nitrification. In W. V. Bartholomew et al. (eds.). Soil Nitrogen. Agronomy 10: 309-335. American Society of Agronomy. Madison Wisc., USA. 1965.
2. ALLISON, F. E. Evaluation of incoming and outgoing process that affect soil nitrogen. In W. V. Bartholomew et al. (eds.). Soil Nitrogen. Agronomy 10:573-606. American Society of Agronomy. Madison, Wisc., USA. 1965.
3. BLACK, C.A. Soil Plant Relationships, 2ª ed. John Wiley & Sons, Inc. New York, N. Y., USA. 1968. pp 405-557.
4. BREMMER, J. M. Inorganic forms of nitrogen. In C. A. Black (ed.). Part 2. Agronomy 9:1179-1232. American Society of Agronomy. Madison, Wisc., USA. 1965.
5. BORADMENT, F. E. e F. Clarck. Denitrification. In W. V. Bartholomew et al. (eds.). Soil Nitrogen. Agronomy 10:347-359. American Society of Agronomy. Madison, Wisc., USA. 1965.
6. DANCER, W. S., L. A. Peterson e G. Chesters. Ammonification and nitrification of nitrogen as influenced by soil pH and previous nitrogen treatments. Soil Sci. Soc. Amer., Proc. 37:67-69. 1973.
7. FEN, L. B. e D. E. Kissel. Ammonia volatilization from surface applications of ammonium compounds on calcareous soils. I: General theory. Soil Sci. Soc. Amer. Process 37:855-859. 1975.
8. FEN, L. B. e D. E. Kissel. Ammonia volatilization from surface applications of ammonium compounds on calcareous soils. II: Effects of temperature and rate of NH_4^{+} -N application. Soils Sci. Soc. Amer. Proc. 38:606-610. 1973.
9. FULLER, W. H. Reactions of nitrogenous fertilizers in calcareous soils. Agric. and Food chem. 11:188-193. 1963.
10. MARTIN, J. P. e H. D. Chapman. Volatilization of ammonia from surface fertilized soils. Soil Sci. 71:25-34. 1951.
11. OVERREIN, L. N. e P. G. Moe. Factores affecting urea hydrolysis and ammonia volatilization in soil. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 31:57-61. 1967.
12. MAHENDRAPPA, M. K., R. L. Smith e A. T. Christiansen. Nitrifying organisms affected by climatic region in Western United States. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 30:60-62. 1966.
13. PRESSEK, J., G. Stanford e N. L. Case. Nitrogen production and use. In R. A. Olsen et al. (eds.). Fertilizer technology and use. Soil Science Society of America, Inc. Madison, Wisc., USA. 1971. pp. 217-266.
14. POWER, J. F., J. Alessi, G. A. Reichman e D. L. Grunes. Effect of nitrogen source on corn and bromegrass production, soil pH, and inorganic soil nitrogen. Agron. J. 64: 341-344. 1972.
15. POWER, J. F. et al. Recovery, residual effects and rate of nitrogen fertilizer sources, in a semiarid region. Agron. J. 65: 769-772. 1973.

16. RUSSEL, J. E., e E. Walter Russel. Las condiciones del Suelo y el desarrollo de las plantas. 8a. Ed. Aguilar, S. A. de Ediciones. Madrid, Espanha. 1964. pp. 527-570.
17. STOJANOVIC, B. T. e M. Alexander. Effect of inorganic nitrogen on nitrification. *Soil Science* 86:208-215. 1958.
18. TERMAN, G. L. e C. M. Hunt. Volatilization losses of nitrogen from surface applied fertilizer, as measured by crop response. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 28:667-672. 1964.
19. WATKINS, S. H., R. F. Strand, D. S. DeBell e J. Esch, Jr. Factores influencing ammonia losses from urea applied to northwestern forest soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 36:354-357. 1972.
20. Volk, M. G. Volatile loss of ammonia following surface application of urea to turf or bare soils. *Agron. J.* 51: 746-749. 1959.