

# FORMAS DE NITROGÊNIO E NÍVEIS DE POTÁSSIO SOBRE A ABSORÇÃO DE FÓSFORO POR MILHO<sup>2</sup>

MARCUS V.V. LUISI<sup>2</sup>, ROBERTO O.P. ROSSIELLO<sup>3</sup> e MANLIO S. FERNANDES<sup>4</sup>

**RESUMO** - Foi estudado o efeito de formas de N ( $N_1 = 100$  ppm N- $NO_3$  x  $N_2 = 100$  ppm N- $NH_4$ ) e doses de K (32 e 64 ppm) sobre a acumulação de matéria seca, volume de raízes, pH do rizocilindro ( $pH_r$ ) e absorção de fósforo (P) por milho (*Zea mays* L.) (cv. Centralmex), aos 15, 30 e 45 dias após a emergência. Houve um efeito inicial negativo do N- $NH_4$  sobre o crescimento. K corrige o efeito negativo do  $NH_4$ . Os efeitos negativos do N- $NH_4$  podem ter sido causados pelo acúmulo de N solúvel em detrimento do N protéico, ou pela formação de complexos  $NH_4$ -fosfato, reduzindo a disponibilidade de P na solução do solo. O efeito positivo do K seria através da formação de complexos K- $NH_4$ -fosfatos. Houve acidificação do rizocilindro ( $pH_r$ ) no período de 15 a 45 dias em todos os tratamentos, com menor pH nos tratamentos que receberam N- $NH_4$ . A queda de  $pH_r$  nos tratamentos sob  $NO_3$  explica-se pela relação N + P/K (0,8 para o tratamento  $N_1$  e 0,66 - 0,99 para os tratamentos  $N_1 K_1$ , aos 30 e 45 dias, respectivamente). Houve uma correlação negativa entre  $pH_r$  e acumulação de P na parte aérea (exceto para os tratamentos  $N_2$ ).

Termos para indexação: acidificação de rizosfera, toxidez de  $NH_4$ , rizocilindro.

## EFFECTS OF N-CARRIERS AND K-LEVELS, ON P-UPTAKE IN CORN

**ABSTRACT** - A study, was made on the effects of N-sources ( $N_1 = 100$  ppm  $NO_3$  x  $N_2 = 100$  ppm  $NH_4$ ) and K levels (32 and 64 ppm) on dry matter accumulation, P-uptake, root volume, and rhizocylinder pH ( $pH_r$ ) of corn (*Zea mays* L.). Plants (cv. Centralmex) were grown in 5 liter pots, and harvested at 15, 30 and 45 days after-emergence.  $NH_4$ -plants showed reduced growth at the first harvest, K overcame that effect. This effect of  $NH_4$  was attributed either to soluble-N accumulation in tissues or to  $NH_4$ -phosphate complexes in the soil. The beneficial effect of K on plant growth should then be due to development of K- $NH_4$ -phosphate complexes.  $NO_3$  and K affected positively root volume. There was a decrease in  $pH_r$  between 15 and 45 days, and  $NH_4$ -N pots had the lowest pH. In the  $NO_3$ -N treatments, decrease in  $pH_r$  could be attributed to the small N + P/K relationships (0,8 for  $N_1$  plants and 0,66 - 0,90 for  $N_1 K_1$  plants at 30 and 45 days). There was a negative relationship between pH and P-uptake (except for  $NH_4$ -only treatments).

Index terms: rhizosphere acidification,  $NH_4$ -toxicity, thizocylinder.

## INTRODUÇÃO

Depois do nitrogênio (N), o fósforo (P) é o principal fator nutricional limitante à produção vegetal na maioria dos solos tropicais. Isto justifica o grande volume de trabalhos que correntemente aparecem na literatura agrônômica, estudando os complexos aspectos do comportamento do elemento P no sistema solo-planta. Um dos elementos que estimulam em maior grau a absorção de P é o N (Grunes 1959).

Entretanto, tem-se observado, repetidamente, que das duas formas de N mineral passíveis de

absorção pelas plantas ( $NO_3^-$  ou  $NH_4^+$ ), a forma catiônica é a que exerce um efeito maior em termos de estimulação (Blair et al. 1970 e 1971, Riley & Barber 1971, Fernandes & Rossiello 1978, Ragab 1980). Os efeitos do N- $NO_3^-$  sobre a absorção de P parecem ser não-específicos, através de seu efeito sobre o crescimento e, portanto, sobre o aumento da demanda metabólica de nutrientes.

Com relação ao efeito de  $NH_4^+$ , duas linhas de interpretação foram elaboradas: as que sustentam efeitos específicos sobre a absorção de P, através de uma estimulação metabólica direta do  $NH_4^+$  (Leonce & Miller 1966) e/ou de um produto de seu metabolismo radicular (Thien & McFee 1970), ou de um efeito não-específico, ligado à acidificação que a absorção de  $NH_4^+$  propicia à interfase raiz-solo (Blair et al. 1971, Riley & Barber 1971, Fernandes & Rossiello 1978). Embora as explicações baseadas em efeitos específicos (ligadas exclusivamente ao metabolismo vegetal) sejam oca-

<sup>1</sup> Aceito para publicação em 25 de janeiro de 1983.

Contribuição ao Dep. de Solos da Univ. Fed. Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), km 47 antiga rodovia Rio-São Paulo, CEP 23460 - Seropédica, RJ.

<sup>2</sup> Eng<sup>o</sup> - Agr<sup>o</sup> M.Sc., Cia. Souza Cruz, Av. Suburbana, 2066, CEP 21050 - Rio de Janeiro, RJ.

<sup>3</sup> Eng<sup>o</sup> - Agr<sup>o</sup>, M.Sc., UFRRJ, Seropédica, RJ.

<sup>4</sup> Eng<sup>o</sup> - Agr<sup>o</sup>, Ph.D., UFRRJ, Seropédica, RJ.

sionalmente aventadas, as evidências atuais parecem favorecer a idéia do efeito inespecífico.

Assim, Ragab (1980), estudando o efeito despolinizante que a adição de  $\text{NH}_4^+$  ocasionou sobre o potencial transradicular de girassol, concluiu que, provavelmente, o  $\text{H}^+$  extrudido pelas raízes, em resposta à absorção de  $\text{N-NH}_4^+$ , fosse razão para o aumento de  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  no exsudado radicular. Este efeito é claramente não-específico, na medida em que reduz a exclusão aniônica no espaço livre radicular (Ragab 1980). Concordantemente, a acidificação da rizosfera (por excesso de absorção de cátions sobre ânions) produz um aumento na absorção de  $\text{SO}_4^{2-}$  em milho (Blair et al. 1970).

Um aumento na concentração de  $\text{H}^+$  na rizosfera exerce também efeitos colaterais tanto sobre a planta, como no ambiente edáfico imediato às raízes (Nye 1981). Um desses efeitos é o estímulo ao alongamento radicular, o qual é, aparentemente, dependente do pH (Gabella & Pilet 1978), e que poderia, adicionalmente, explicar diferenças em absorção de P entre plantas cultivadas em  $\text{N-NH}_4^+$  ou  $\text{N-NO}_3^-$  (Riley & Barber 1971). Embora, pelas razões vistas, pudesse ser preferível usar  $\text{N-NH}_4^+$  a  $\text{N-NO}_3^-$ , em termos de aumento da eficiência da absorção do P aplicado no solo, deve-se destacar que a maioria destes efeitos têm sido demonstrados em solução nutritiva.

Sob essas condições, fatores tais, como a relação cátion/ânion da solução, pH do meio e taxas de aplicação de  $\text{N-NH}_4^+$ , podem ser satisfatoriamente controlados (Ragab 1980). No solo, entretanto, existe a possibilidade de que a absorção de um excesso de  $\text{NH}_4^+$  exerça efeitos tóxicos diretos (nos casos em que a nitrificação é inibida), ou origine reações secundárias desfavoráveis ao crescimento vegetal. Neste sentido é especialmente importante observar a evolução do pH na interfase raiz: solução (ou na sua proximidade), porque essa região é a mais importante em termos de absorção de P pelas plantas, em vista do baixo coeficiente de difusão de P na massa do solo (Riley & Barber 1971, Nye 1981).

Neste experimento, estuda-se a marcha de absorção de N e P, a partir da aplicação de duas formas de N e de dois níveis de K, no primeiro terço do ciclo da cultura do milho. Os efeitos observados são relacionados com a produção de

matéria seca e sua distribuição entre raiz e parte aérea, volume de raízes, pH do rizocilindro e percentagem de saturação por alumínio.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em casa de vegetação. Foi usada a camada superficial (0-20 cm) de um solo Podzólico Vermelho-Amarelo, coletado na região de Campos, RJ. A análise inicial revelou as seguintes características químicas no solo: pH: 4,9; Al: 0,3 meq/100  $\text{cm}^3$ ; Ca: 1,6 meq/100  $\text{cm}^3$ ; Mg: 0,9 meq/100  $\text{cm}^3$ ; P: 12 ppm; K: 72 ppm;  $\text{N-NH}_4^+$ : 6,8 ppm; e  $\text{N-NO}_3^-$ : 20,4 ppm. Volumens de 5.000  $\text{cm}^3$  de solo (fração terra fina) foram homogeneizados com uma mistura de MgO: CaO (1:1,4; 1,7 g/vaso), e incubados à capacidade de campo, durante 13 dias. No final desse período, o solo usado no experimento tinha um pH de 5,4. Cada vaso recebeu uma aplicação de 100 ppm de P na forma de  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  e 5 ml de uma solução de micronutrientes (Fernandes & Freire 1976).

As variáveis consideradas foram: formas de nitrogênio (N), níveis de potássio (K) e datas de colheitas. Como formas de N (aplicado à dose única de 100 ppm) foi usado  $\text{N-NO}_3^-$ , aplicado como  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  (tratamento  $\text{N}_1$ ), e  $\text{N-NH}_4^+$ , na forma de  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  (tratamento  $\text{N}_2$ ). Neste último caso, o N foi aplicado junto com 20 ppm do inibidor de nitrificação 2-cloro-6- (triclorometil) -piridina. O K foi aplicado às doses de 32 a 64 ppm, como  $\text{K}_2\text{SO}_4$ , em combinação com as formas de N ( $\text{N}_1\text{K}_1$ ,  $\text{N}_1\text{K}_2$  e  $\text{N}_2\text{K}_1$ ,  $\text{N}_2\text{K}_2$ , respectivamente). Um tratamento adicional, a testemunha (T), foi constituído por vasos que receberam apenas P e micronutrientes. Foram usadas três datas de colheitas: 15, 30 e 45 dias após a emergência das plantas.

Oito sementes de milho (cv. Centralmex) foram semeadas em cada vaso. A emergência das plântulas foi relativamente uniforme. Três dias após, foram deixadas duas plantas por vaso. Em cada data de colheita, cada planta era separada em raiz e parte aérea. Uma porção do sistema radicular foi destacado para determinação do pH do rizocilindro ( $\text{pH}_r$ ). Entende-se por  $\text{pH}_r$ , o pH de uma suspensão de raízes + solo firmemente aderente (aproximadamente 2 mm em torno de raízes) (Riley & Barber 1971). A determinação do pH foi feita numa relação 1:2,5 (material: água) para tornar seu valor comparável ao do pH da massa do solo livre de raízes ( $\text{pH}_s$ ). O restante do material foi preparado convenientemente e determinado o seu peso fresco. O peso fresco total de raízes foi considerado igual ao seu volume, assumindo uma densidade radicular de 1  $\text{g}/\text{cm}^3$  (Russell 1977). Raízes e parte aérea foram secadas durante 48 horas, a 60°C, em estufa com circulação de ar.

Após determinação do peso seco, a parte aérea foi moída (moinho tipo Wiley, 40 mesh), realizando-se as seguintes determinações: N total, por microkjehldhal (Bremner & Keeney 1965); P total (Jackson 1958) e K total, por fotometria de chama. Amostras de solo, livre

de raízes, foram retiradas de cada pote e conservadas a 4°C até o momento das determinações, com adição de 1-2 gotas de tolueno. Nessas amostras foram determinados os teores de Ca, Mg, K, Al e P (Vettori 1969) e N-NH<sub>4</sub> e N-NO<sub>3</sub> (Bremner & Keeney 1965).

Durante todo o período experimental, foram medidas diariamente a temperatura, a umidade relativa e a radiação global incidente na casa de vegetação, segundo critérios descritos anteriormente (Rossiello et al. 1981a). As estimativas dos valores médios de tais parâmetros ambientais, sobre uma base quinzenal, são mostradas na Tabela 1.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Matéria seca

A produção de matéria seca total (raiz + parte aérea) e de raízes, é mostrada na Tabela 2. Existe uma acentuada resposta à aplicação de N, independentemente de fontes, aos 30 e 45 dias. Em termos de biomassa total, as plantas que receberam N-NO<sub>3</sub> responderam, de forma similar, nos dois níveis de aplicação de K. Já dentro do grupo que recebeu

N-NH<sub>4</sub> a resposta é afetada pela presença de K, particularmente no período de 15 a 30 dias após a emergência. Neste período, as plantas que receberam somente NH<sub>4</sub> com o inibidor (N<sub>2</sub>) resultaram menores, tanto em peso seco total, como em peso ou volume de raízes (Tabelas 2 e 3).

Este menor desenvolvimento no período inicial de crescimento sugere um efeito detrimental da absorção excessiva de N reduzido, que favoreceu, nessas plantas, uma rápida acumulação de N na parte aérea (Fig. 1). Isto não foi acompanhado por uma absorção proporcional de P. Assim, aos 30 dias, a relação de acumulação N/P na parte aérea das plantas foi 11,6 para os tratamentos N<sub>1</sub> (com ou sem K); 11,8 para N<sub>2</sub>K; e 16,8 para o tratamento N<sub>2</sub>, respectivamente.

Fernandes et al. (1980) mostraram que a absorção de N amoniacal, a baixos níveis de absorção de P, conduz a um aumento significativo do teor de N solúvel em milho. Altos níveis de N solúvel invariavelmente se relacionam com baixos níveis

TABELA 1. Condições médias de temperatura, umidade relativa do ar e radiação global incidente na casa de vegetação durante o período experimental.

Período (dias)	Temperatura (°C)		Umidade relativa (%)		Radiação global (W.m <sup>-2</sup> )
	Diurna	Noturna	Diurna	Noturna	
0 - 15	25,7	19,4	59,7	87,3	308,5
15 - 30	26,5	21,3	64,1	85,6	294,6
30 - 45	28,0	23,4	64,2	82,7	351,1

TABELA 2. Peso seco total e peso seco de raízes de milho, em resposta a duas formas de N e dois níveis de K.

Tratamentos	Peso seco total (g)			Peso seco de raízes (g)		
	15	30	45	15	30	45
T	3,69 ab	15,55 c	25,49 b	0,93 ab	4,22 c	5,71 b
N <sub>1</sub>	3,97 ab	29,30 ab	56,03 a	0,86 ab	6,33 ab	11,67 a
N <sub>1</sub> K <sub>1</sub>	4,40 a	30,14 ab	59,13 a	1,06 a	6,24 ab	12,05 a
N <sub>1</sub> K <sub>2</sub>	3,56 ab	30,97 ab	58,94 a	0,64 b	5,25 bc	9,59 a
N <sub>2</sub>	3,07 b	28,36 b	56,92 a	0,79 ab	6,30 ab	10,87 a
N <sub>2</sub> K <sub>1</sub>	4,06 ab	33,19 ab	61,27 a	0,71 b	7,71 a	10,28 a
N <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	3,49 ab	34,48 a	61,78 a	0,80 ab	6,13 ab	12,27 a

Médias seguidas da mesma letra, dentro de colunas, não diferem significativamente, pelo teste de Tukey a 5%.

TABELA 3. Volume de raízes de milho, em resposta a duas formas de N e dois níveis de K.

Tratamentos	Dias após a emergência		
	15	30	45
	— cm <sup>3</sup> raiz/cm <sup>3</sup> solo x 10 <sup>-2</sup> —		
T	0,30	0,82	0,83
N <sub>1</sub>	0,35	0,97	1,73
N <sub>1</sub> K <sub>1</sub>	0,37	1,03	1,67
N <sub>1</sub> K <sub>2</sub>	0,36	1,14	1,64
N <sub>2</sub>	0,22	0,95	1,40
N <sub>2</sub> K <sub>1</sub>	0,31	1,08	1,59
N <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	0,25	1,17	1,70

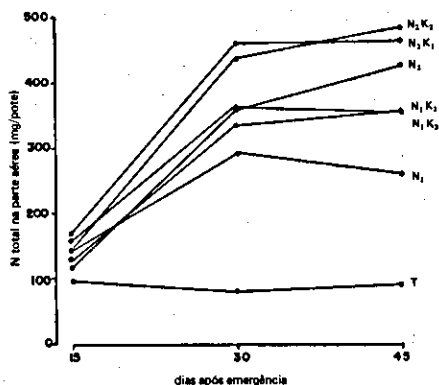


FIG. 1. Acumulação de N na parte aérea de milho, aos 15, 30 e 45 dias após a emergência, em resposta a duas formas de N e dois níveis de K.

de N protéico (Fernandes & Freire 1976, Rossiello et al. 1981b), sendo essa uma das razões para o menor desenvolvimento inicial das plantas tratadas com 100 ppm de N-NH<sub>4</sub> com um inibidor de nitrificação. Contudo, na segunda quinzena (30-45 dias), nota-se uma recuperação dessas plantas, conforme o teor de NH<sub>4</sub> no solo é reduzido (dados não apresentados) por absorção direta ou por progressiva nitrificação, indicando uma redução na efetividade do inibidor após os 30 dias.

Observa-se que a adição de K nos tratamentos N<sub>2</sub> permite corrigir a toxidez inicial do íon NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, em termos tanto de produção de matéria seca (Tabela 2), como de um melhor balanceamento na absorção de N e P (Fig. 1 e 2). Este resultado é explicável pelos efeitos de competição iônica do par NH<sub>4</sub>/K no processo de absorção e, principal-

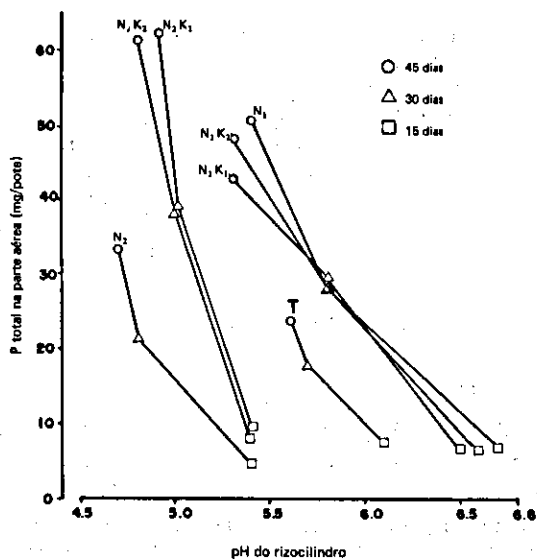


FIG. 2. Acumulação de P na parte aérea de milho, sob duas formas de N e dois níveis de K, em função do pH do rizocilindro, aos 15, 30 e 45 dias após a emergência.

mente, pelo efeito benéfico do K no processo de assimilação do NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (Ajayi et al. 1970).

Em adição a esse efeito direto do alto teor de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> do solo sobre a acumulação inicial de peso seco no tratamento N<sub>2</sub>, um outro efeito sobre a disponibilidade e absorção de P é aparente neste experimento. A Fig. 3 mostra a relação entre o P acumulado na parte aérea e o P extraível do solo em ácido diluído (HCl 0,05 N + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,025 N), após cada período de colheita. Uma quantidade muito menor de P do que a prevista pela reta de regressão, foi extraída do solo correspondente ao tratamento N<sub>2</sub> nas três épocas de colheita (Fig. 3).

A dissolução de Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> - a fonte de P usada no solo desses tratamentos -, em presença de um suprimento abundante de íons NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, junto com uma marcada queda no pH do solo, deve ter propiciado a formação de complexos NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-fosfato, que podem ter reduzido a disponibilidade de P em solução. A adição de íons K<sup>+</sup> permite supor a formação de complexos K, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-fosfato que podem, aparentemente, ter sido mais eficientes na manutenção de níveis mais elevados de P em solução e, em consequência poderiam susten-

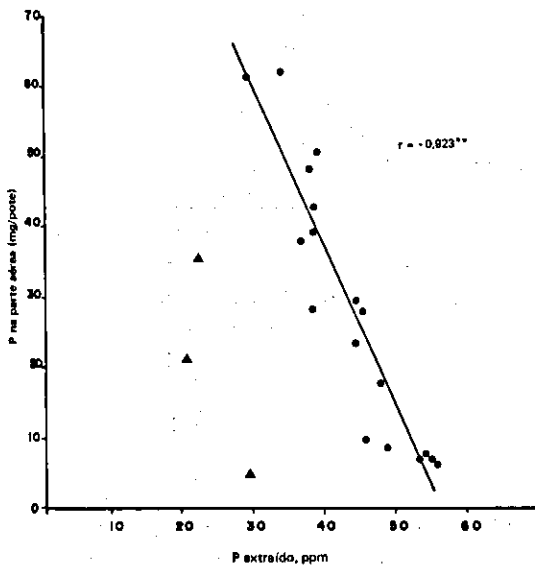


FIG. 3. Relação entre o P acumulado na parte aérea e o P extraído com 0,05 N HCl + 0,025 N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, em cada época de colheita (os tratamentos que receberam N-NH<sub>4</sub> isoladamente ( $\Delta$ ) não foram incluídos na correlação).

tar uma taxa maior de difusão de P à rizosfera das plantas.

Esta idéia é coerente com a demonstração de que plantas de milho absorvem mais P a partir de compostos similares às taranaquitas de potássio do que de amônio (Taylor & Gurney 1961). Contudo, é difícil decidir, no presente caso, se a menor absorção de P no tratamento N<sub>2</sub> (Fig. 2) é devida principalmente a uma menor demanda metabólica geral, menor volume radicular (Tabela 3), ou menor disponibilidade de P na rizosfera, embora todos esses fatores possam ter interagido na expressão desta resposta.

#### Volume de raízes

Os volumes de raízes por unidade de volume de solo, estimados a partir dos respectivos pesos frescos, são mostrados na Tabela 3. As plantas que levaram N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (tratamentos N<sub>1</sub>) mostraram volumes superiores, aos 15 dias, mas, na colheita final (45 dias), as diferenças entre ambas as fontes de N foram pequenas, exceção feita ao tratamento N<sub>2</sub>. Aos 30 dias, a relação peso seco/peso fresco de raízes foi de 0,124 para os tratamentos N<sub>1</sub> e 0,110 para os tratamentos N<sub>2</sub>. Aos 45 dias, essa relação

oscilou entre 0,135 e 0,145 para os tratamentos N<sub>1</sub> e 0,129 para os tratamentos N<sub>2</sub>. Isto indica que, em média, as raízes das plantas dos tratamentos que levaram N-NH<sub>4</sub> foram mais suculentas que as correspondentes aos tratamentos com N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Resultados semelhantes foram obtidos, para caules de milho, por Fernandes & Rossiello (1979). Possivelmente, uma maior proporção de raízes mais finas, com maior eficiência na absorção de água, nos tratamentos N<sub>2</sub>, possa explicar este resultado. Embora, em relação ao peso seco, os sistemas radiculares não difiram marcadamente entre tratamentos (Tabela 2), é possível que a forma de N afete a distribuição da matéria seca acumulada nas raízes. Comparando os comprimentos radiculares em soja, por unidade de peso seco, Riley & Barber (1971) encontraram uma diferença de 29% a favor de plantas que receberam NH<sub>4</sub><sup>+</sup> sobre as tratadas com NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Como, no presente caso, o P foi distribuído homogeneamente em todo o volume do solo, é possível que um maior volume de solo explorado pelas raízes dos tratamentos N<sub>2</sub>K possa explicar, parcialmente, a maior absorção de P (e também de N) (Fig. 1 e 2).

#### pH do rizocilindro

Foi observada uma marcada acidificação em todos os tratamentos (Fig. 2). A máxima variação estacional de pH<sub>r</sub> (15-45 dias) correspondeu ao tratamento N<sub>1</sub> (de 6,7 para 5,4) e a mínima, aos tratamentos N<sub>2</sub>K (de 5,4 para 4,8). O valor mínimo de pH<sub>r</sub> foi atingido aos 45 dias pelo tratamento N<sub>2</sub> (Fig. 2). A razão desta acidificação nos tratamentos que levaram N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, foi o excesso de absorção de K sobre N e P. Assim, a razão de acumulação N + P/K na parte aérea foi de 0,8 para o tratamento N<sub>1</sub>, aos 30 e 45 dias, e oscilou entre 0,66 e 0,9 para os tratamentos N<sub>1</sub>K, nas mesmas datas. Já nos tratamentos que levaram N-NH<sub>4</sub>, o N deve ter sido absorvido principalmente sob essa forma; a acidificação do rizocilindro é, portanto, um resultado esperado (Fernandes & Rossiello 1978).

A adição de K<sup>+</sup> nesses tratamentos sustenta esse efeito, como esperado (Fig. 2). O pH<sub>r</sub> se correlaciona significativamente com o total de P acumulado na parte aérea das plantas (tratamento N<sub>2</sub> excluído), aos 15, 30 e 45 dias, e com a concentra-

ção de P, aos 15 e 30 dias (Tabela 4). Como as plantas que receberam  $\text{NH}_4\text{-K}$  tiveram peso seco de parte aérea similares ou superiores aos das plantas tratadas com  $\text{NO}_3$ , o seu maior percentual de P reflete realmente um aumento de teor e não meramente um efeito de concentração.

A maior acidificação do rizocilindro nos tratamentos  $\text{N}_2\text{K}$  pode aumentar a absorção de P por via de efeitos diretos e indiretos. De forma direta, aumentando a quantidade de P em solução e controlando a relação  $\text{H}_2\text{PO}_4^-/\text{HPO}_4^{2-}$ . Isto favorece, então, a absorção de P sob a forma monovalente, que é preferida à divalente (Riley & Barber 1971, Blair et al. 1971). Embora a quantidade de P na solução rizosférica não tenha sido determinada, as quantidades de P extraídas do solo com ácido diluído, após cada colheita, foram menores à medida que aumentou a acumulação de P na parte aérea (Fig. 3). Isto sugere que esse efeito direto do  $\text{pH}_r$  sobre a disponibilidade de fósforo está envolvido na explicação das diferenças em absorção.

Cumprido destacar que o P do solo, determinado com o extrator usado neste experimento, correlaciona com o P absorvido pelas plantas tão bem quanto o P solúvel, numa ampla gama de concentração de P no solo (Galvão & Volkweiss 1981). Com relação aos efeitos indiretos do  $\text{pH}_r$  sobre a absorção de P, eles se ligam principalmente com a disponibilidade de outros nutrientes (particularmente cálcio e microelementos) e com seu efeito sobre o alongamento radicular.

A acidificação do meio favorece a extensão radicular em milho, com ótimos entre pH 4 e 5 (Gabella & Pilet 1978). É possível então que com

valores de  $\text{pH}_r$  menores que 5 este último efeito se torne de importância, porque com esse pH, virtualmente todo o P da solução já deve estar na forma de  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ; portanto, a acidificação não explica as diferenças entre absorção, como ocorreria em solos de pH mais elevado, onde a proporção de  $\text{HPO}_4^{2-}$  seria maior (Blair et al. 1971). É possível que diferenças em comprimento ou superfície radicular expliquem, em parte, as diferenças de absorção entre os tratamentos  $\text{N}_2\text{K}$  e  $\text{N}_1$  neste experimento, como parece ser o caso em outros trabalhos (Riley & Barber 1971, Blair et al. 1971, Fernandes et al. 1980).

É de interesse salientar que Fernandes et al. (1980) mostraram que uma quantidade significativamente maior de P é acumulada em raízes de milho sob  $\text{NH}_4$  do que sob  $\text{NO}_3$ , de tal forma que a não-determinação do P nas raízes, neste trabalho, pode significar que, em termos de planta inteira, as diferenças a favor dos tratamentos  $\text{N}_2\text{K}$  sejam de maior magnitude que as determinadas a partir da parte aérea apenas (Fig. 2).

#### Saturação de alumínio

Como esperado, a variação em  $\text{pH}_r$  e  $\text{pH}_s$  no sentido da acidificação (Fig. 2) produz alterações correlatas na percentagem de saturação de alumínio no solo (Tabela 5). Acima de 1% de saturação existe uma relação linear inversa entre esse parâmetro e o  $\text{pH}_r$  ( $r = -0,928^{**}$ ). Os valores relativos aos tratamentos  $\text{N}_1$  foram pequenos, entre 0,5 e 1,5% devido a seus maiores valores de  $\text{pH}_s$  e maior teor em Ca (resultante do uso de  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  como forma de N). Aparentemente, não afetaram per se a produção de matéria seca nem interferiram marcadamente com a absorção de P.

TABELA 4. Coeficiente de correlação linear entre P total, P% da parte aérea e pH do rizocilindro ( $\text{pH}_r$ ) de plantas de milho, 15, 30 e 45 dias após a emergência.

	P total (mg/pote)			P (%)		
	15	30	45	15	30	45
$\text{pH}_r$	-0,826*	-0,998**	-0,906*	-0,887*	-0,921*	-0,658 n.s.

\* significativo a 5%

\*\* significativo a 1%

n.s. = não significativo

TABELA 5. Percentagem de saturação de alumínio no solo, aos 15, 30 e 45 dias após emergência de plantas de milho, em resposta a duas formas de N e duas doses de K.

Tratamentos	Dias		
	15	30	45
	% saturação Al		
T	0,5	0,8	0,8
N <sub>1</sub>	0,7	0,7	1,5
N <sub>1</sub> K <sub>1</sub>	0,2	0,5	1,4
N <sub>1</sub> K <sub>2</sub>	0,4	0,7	1,3
N <sub>2</sub>	1,8	0,8	7,6
N <sub>2</sub> K <sub>1</sub>	2,1	3,5	4,8
N <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	1,6	2,9	4,2

Nos tratamentos N<sub>2</sub> a elevação foi mais drástica, principalmente aos 45 dias. A maior percentagem (7,6%) correspondeu ao tratamento N<sub>2</sub> (22 ppm de Al extraível, aos 45 dias). A tendência de evolução estacional da saturação de alumínio neste tratamento indica que, aparentemente, Al não foi envolvido na depressão inicial de crescimento, já discutida, reforçando a idéia de que o efeito deveu-se à toxidez do NH<sub>4</sub>. Nos tratamentos N<sub>2</sub>K o aumento estacional da saturação de Al foi mais gradativo, mas os valores finais são menores, em concordância com seus maiores pH<sub>r</sub> finais (Fig. 2). Aparentemente, esses níveis não interferiram com a absorção de P (Fig. 2). Já no caso do tratamento N<sub>2</sub> essa hipótese não pode ser excluída, em vista da brusca alteração da saturação entre 30 e 45 dias (Tabela 5).

Deve ser observado que a extração de cátions, no final do período, (e portanto o cálculo da percentagem de saturação) foi feita ao valor pH<sub>s</sub>, que para o tratamento N<sub>2</sub> resultou 0,3 unidades maior que o valor pH<sub>r</sub>. Isto sugere que a concentração efetiva de Al na rizosfera dessas plantas pode ter sido mais elevada que a prevista a partir da massa do solo.

Do ponto de vista prático, o uso de um indicador indireto como pH<sub>r</sub> não oferece vantagens sobre extratores convencionais de P que operam a valores de pH<sub>s</sub>; entretanto, nas condições deste experimento permite uma explicação mais lógica da nutrição fosfatada do milho.

## REFERÊNCIAS

- AJAYI, O.; MAYNARD, D.N. & BARKER, A.V. The effects of potassium on ammonium nutrition of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Agron. J.*, 62:818-21, 1970.
- BLAIR, G.J.; MAMARIL, C.P. & MILLER, M.H. Influence of nitrogen source on phosphorus uptake by corn from soils differing in pH. *Agron. J.*, 63:235-8, 1971.
- BLAIR, G.J.; MILLER, M.H. & MITCHELL, W.A. Nitrate and ammonium as sources of nitrogen for corn and their influence on the uptake of other ions. *Agron. J.*, 62:530-2, 1970.
- BREMNER, J.M. & KEENEY, D.R. Steam distillation methods for determination of ammonium, nitrate and nitrite. *Anal. Chim. Acta*, 32:485-95, 1965.
- FERNANDES, M.S.; ARRELLAGA, L.E. & SANTOS, G.A. Fontes de nitrogênio, absorção e distribuição de fósforo em milho. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, 15(1):79-84, 1980.
- FERNANDES, M.S. & FREIRE, L.R. Efeitos de nitrogênio nítrico aplicado ao solo na atividade de nitrato-reductase e na acumulação de N solúvel em *Brachiaria* sp. *Turrialba*, 26:268-73, 1976.
- FERNANDES, M.S. & ROSSIELLO, R.O.P. Effects of NH<sub>4</sub> and a nitrification inhibitor on soil pH and phosphorus uptake by corn (*Zea mays* L.). *Cereal Res. Comm.*, 6:183-91, 1978.
- FERNANDES, M.S. & ROSSIELLO, R.O.P. Uso de NH<sub>4</sub> e de um inibidor de nitrificação na adubação nitrogenada do milho (*Zea mays* L.). *R. bras. Ci. Solo*, 3:77-82, 1979.
- GABELLA, M. & PILET, P. Effects of pH on georeaction and elongation of maize root segments. *Physiol. Plant.*, 44:157-60, 1978.
- GALRÃO, E.Z. & VOLKWEISS, S.J. Disponibilidade de fósforo do solo para as plantas. *R. bras. Ci. Solo*, 5:114-8, 1981.
- GRUNES, D.L. Effect of nitrogen on the availability of soil and fertilizer phosphorus to plants. *Adv. Agron.*, 11:369-96, 1959.
- JACKSON, M.L. *Soil chemical analysis*. Englewood Cliffs, N.J. Prentice Hall Inc., 1958. 498p.
- LEONCE, F.S. & MILLER, M.H. A physiological effect of nitrogen on phosphorus absorption by corn. *Agron. J.*, 58:245-9, 1966.
- NYE, P.H. Changes of pH across the rizosphere induced by roots. *Plant. Soil*, 61:7-26, 1981.
- RAGAB, S.M. Effect of ammonium on anion uptake and trans-root potential in sunflower roots. *J. Agric. Sci. Camb.*, 94:479-82, 1980.
- RILEY, D. & BARBER, S.A. Effect of ammonium and nitrate fertilization on phosphorus uptake as related to root-induced pH changes at the root soil interface. *Soil. Sci. Soc. Am. Proc.*, 35:301-6, 1971.
- ROSSIELLO, R.O.P.; FERNANDES, M.S. & FLORES, J. P.O. Efeitos da deficiência hídrica sobre o crescimento e acumulação de carboidratos solúveis de milho. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, 16(4):561-6, 1981a.

- ROSSIELLO, R.O.P.; FERNANDES, M.S. & MAZUR, N. Effects del desecamiento del suelo sobre el metabolismo de nitrógeno en tres cultivares de maiz (*Zea mays* L.). Turrialba, 31:227-35, 1981b.
- RUSSELL, R.S. Plant root systems: their function and interaction with the soil. London Mc Graw - Hill Book Company Limited, 1977. 298p.
- TAYLOR, A.W. & GURNEY, E.L. Solubilities of potassium and ammonium taranakites. *J. Phys. Chem.*, 65: 1613-6, 1961.
- THIEN, S.J. & MCFEE, W.W. Influence of nitrogen on phosphorus absorption and translocation in *Zea mays*. *Soil Sci. Am. Proc.*, 34:87-90, 1970.
- VETTORI, L. Métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, EDFS, Ministério da Agricultura. 1969. 24p. (Boletim Técnico, 7).