

ESTUDOS SOBRE A NUTRIÇÃO MINERAL DO MILHO.
II. EFEITO DE DOSES CRESCENTES DE N, P E K NO
CRESCIMENTO, PRODUÇÃO E COMPOSIÇÃO MINERAL
DA VARIEDADE PIRANÃO EM CONDIÇÕES
CONTROLADAS *

E. MALAVOLTA, L. C. BASSO E G. D. OLIVEIRA **
C. A. VASCONCELLOS, Z. G. SANTOS, J. M. FORTES,
J. FERNANDES, N.P. STAMFORD, J.O. LORENZI,
N. F. SAMPAIO, F. J. HASS, J. C. FREIRE, M.
SOUZA, N. VENTORIM, R. VICTORIA F.º, C.A.
ROSALÉN, E.A. ZAGO, M.T. MIRANDA, S.A. LIMA,
A.M.G. CASTRO, A.P. SOUZA, E.S. LOPES, L.F.
SOBRAL, L.A. LOVATO, M. MENEZES E O. TIS-
SELLI F.º ***

RESUMO

O milho, var. Piranão, foi cultivado em solução nutritiva com níveis crescentes de N, P e K. Houve resposta linear à adição de N e assintótica às doses de P e de K. A determinação da atividade da reductase de nitrato se correlacionou melhor com a produção da matéria seca que a do N total nas folhas. O teor de potássio total nas folhas, por sua vez refletiu melhor o estado nutricional que a determinação de putrescina nas folhas.

INTRODUÇÃO

1.1. Revisões sobre a nutrição mineral e a adubação do milho foram feitas por NELSON (1956), PIERRE et al. (1966), MALAVOLTA & GARGANTINI (1966, pp. 381-428), T.V.A. (1971), MALAVOLTA et al. (1977, pp. 371-418), ARNON (1975) e ANDRADE (1975) não cabendo aqui repetí-la, exceto nas partes mais pertinentes.

1.2. O nitrogênio (N) pode ser absorvido pela cultura tanto na forma amoniacal como nítrica, a segunda devendo predominar nas

* Com ajuda da EMBRAPA, BNDE (contrato FUNTEC 293), CNEN e FAPESP — Entregue para publicação em 15/12/1976

** Departamento de Química, ESALQ — USP

*** Estudantes pós graduados de Solos & Nutrição de Plantas

condições de solo; o contacto entre o iônio nitrato e a raiz se faz predominantemente por fluxo de massa. A acumulação do elemento na planta é linear em função do tempo no período que vai de 20 a 60 ou 90 dias, depois da germinação, dependendo da variedade. O N se redistribui na planta em condições de carência, os sintomas aparecendo em primeiro lugar nas folhas mais velhas. As quantidades dos macronutrientes acumuladas e exportadas são funções das condições do solo, do clima e da variedade considerada; uma população de 50.000 plantas/ha dando uma colheita da ordem de 6.000 kg/ha contém 20-29 kg de N no colmo + folhas e 108-141 na espiga.

1.3. Os teores de N nas folhas considerados como adequados dependem, para as mesmas condições de solo e de clima, da época da amostragem e da posição da mesma na planta. No caso da folha (+4) aos 60 dias depois da semeadura os níveis vão de 2,75 a 3,10 em função da variedade; na 1.^a folha abaixo da espiga variam, de acordo com a variedade, entre 2,35 e 2,68%.

1.4. A reductase de nitrato (RNO_3) é enzima induzida pelo substrato (BEEVERS & HAGEMAN, 1966). A possibilidade de utilizar a determinação da atividade da enzima para avaliar o estado nutricional da planta com respeito ao N foi explorada com êxito por BAR AKIVA & STERNBAUM (1965), BAR AKIVA et al. (1967) e BAR AKIVA (1970, pp. 24-220), EILRICH & HAGEMAN (1973) observaram que a manutenção de alta atividade da RNO_3 durante a fase reprodutiva do trigo torna possível aumentar o teor de proteína do grão e prevenir sua diminuição quando as produções são altas; ECK & HAGEMAN (1974), trabalhando com pasto sudão mostraram que a determinação da atividade de RNO_3 em plântulas permite a seleção de variedade e de híbridos facilitando a manipulação genética. DECKARD et al. (1973) estudaram a RNO_3 em 6 variedades de milho encontrando alta correlação entre a atividade da enzima no estadio inicial de formação da espiga, a produção de grãos e o teor de proteína nos mesmos.

1.5. O fósforo (P) é absorvido pelo milho como $H_2PO_4^-$ a espécie iônica predominante em solos com pH 4,0 - 8,0, tal como acontece com as culturas de modo geral; o contacto entre o iônio e a raiz se faz essencialmente por difusão. Devido à imobilidade do P no solo somente 10 - 20% do elemento adicionado como adubo é usado pela cultura; parte do restante aplicado serve para elevar a reserva do solo que poderá ser usada pela cultura seguinte. A mobilidade do P no floema faz com que os sintomas de carência apareçam em primeiro lugar nas folhas mais velhas. Há diferenças entre as variedades e híbridos no que tange à absorção, à translocação e à utilização do P para a formação dos grãos. As quantidades acumuladas e exportadas variam com os mesmos fatores que influenciaram a acumulação e a exportação do N; 50.000 plantas dando cerca de 6 t de grãos por hectare contém as seguintes quantidades de P: colmo + folha — 4 a 5, espigas — 21 a 25.

1.6. Os teores de P nas folhas são sujeitas às mesmas fontes de variação apontadas no caso do N; pelo menos seis fatores genéticos, além disso, regulam o acúmulo relativo do elemento na folha. Consideram-se adequados, dependendo da variedade, os seguintes teores de P na folha (+4) aos 60 dias depois da sementeira: 0,19-0,24%; em se tratando a 1.^a folha abaixo da espiga na época do aparecimento do estilete-estigma os valores são 0,22 e 0,28.

1.7. O potássio (K) é absorvido como K^+ de solução do solo da fase sólida (troca por contacto). Considerando-se a quantidade total do elemento contido no milho, o contacto do mesmo com a raiz é o seguinte: Intercepção radicular - 2,2%, fluxo de massa - 20,0%, difusão - 99,8%. Um excesso relativo de cálcio (Ca) e de magnésio (Mg) no substrato diminui a absorção do K; um excesso deste, entretanto, pode provocar diminuição mais acentuada na absorção dos catiões bivalentes induzindo sintomas de carência, particularmente no caso do Mg; é possível ainda que o íon amoniacal diminua a absorção do K. A acumulação do K é linear com o tempo entre 20 e 60 dias depois da germinação; é por isso um pouco mais rápida que a do N e do P; no fim do ciclo a quantidade total de potássio contida na planta pode ser a metade (ou ainda menos) da encontrada aos 60 dias. Nas mesmas condições de solo e de clima uma população de 50.000 plantas por hectare com uma colheita correspondente a 6t/ha contém nos colmos + folhas entre 152 e 156 kg de K e nas espigas apresenta entre 44 e 58 quilos.

1.8. Os teores foliares de K dependem dos fatores já indicados. Pode-se dar como adequadas a porcentagem de 2,35 a 2,97 encontrada nas folhas (+4) dois meses depois da sementeira. Na época do aparecimento do estilete-estigma os teores correspondentes na 1.^a folha abaixo da espiga seriam 2,15 a 2,66. As quantidades totais de K + Ca + Mg nas folhas por ocasião do aparecimento do estilete-estigma variam entre 85 e 105 eq.mg/100g nas plantas bem supridas com os três elementos; o nível normal de K varia entre 31 e 51; abaixo de 31, haveria falta do elemento; os níveis ótimos de Ca estariam entre 30 e 45 e os de Mg variam entre 10 e 20; um nível de 6 eq.mg/100g de magnésio corresponde a carência, não havendo falta de K o teor pode subir a 36. As determinações feitas por ANDRADE (1975) em cinco cultivares forneceram os seguintes dados médios: 2,5% de K, 0,4% de Ca e 0,2% de Mg, o que corresponde a 64 eq.mg de K/100g, 20 de Ca e 16 de Mg.

1.9. A acumulação de putrescina em folhas de plantas carentes em K foi observada por RICHARDS & COLEMAN (1952) os quais verificaram também que o conteúdo da amina crescia com a severidade dos sintomas (clorose e necrose marginal das pontes e margens), sintomas esses associados com teores percentuais do elemento que iam de 0,15 a 0,20%. BASSO & SMITH (1974) encontraram acúmulo de putrescina em folhas de cevada, ervilha e *Vicia faba* tanto em plantas deficientes em K como em Mg. A possibilidade de avaliar o estado nutricional duma planta com respeito ao K usando-se o teor de putrescina como

padrão foi testada por HOFFMAN & SAMISH (1971, pp. 189-204). A literatura nada revelou sobre o assunto no caso do milho.

1.10. O presente trabalho teve os seguintes objetivos:

1 — Estudar a influência de níveis crescentes de N, P e K no crescimento e produção do milho, var. Piranão.

2 — Verificar a possibilidade de se usar testes bioquímicos para a avaliação do seu estado nutricional.

MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Sementes: as sementes da variedade Piranão obtidas na E.S.A. "Luiz de Queiroz" USP, Piracicaba, pelo Prof. Dr. E. Paterniani foram fornecidas pelo mesmo.

2.2. Cultivo das plantas: as sementes foram postas a germinar em vermiculita umidecida com água de torneira; depois da germinação o substrato passou a ser regado com a solução nutritiva n.º 1 de HOAGLAND & ARNON (1950). O transplante foi feito 12 dias depois da semeadura para vasos plásticos de 2,5l de capacidade contendo a mesma solução (sem diluição) e os micronutrientes, fazendo-se arejamento contínuo. Uma semana depois as mudas foram transferidas para vasos plásticos de 20,1 de capacidade, iniciando-se os tratamentos com duas repetições, conforme se vê na Tabela 2.1. O delineamento experimental foi o de blocos inteiramente casualizados. As soluções eram renovadas cada duas semanas. Os três ensaios (níveis crescentes de N, P e de K) foram independentes um do outro. As folhas que estavam em senescência eram colhidas e guardadas para a determinação do peso da matéria seca.

2.3. Colheitas: No ensaio de níveis crescentes de N os três primeiros tratamentos foram colhidos aos 90 dias de idade das plantas e os últimos aos 95 dias. A colheita das plantas do tratamento sem K se fez aos 75 dias e das demais teve lugar 90 dias depois da semeadura. No caso do experimento com doses crescentes de P colheram-se aos 60 dias as do nível 0,000 e as demais aos 90 dias. Na colheita separaram-se as seguintes partes: raízes, colmo, folhas inferiores, folhas superiores, pendão e espigas; foram consideradas inferiores as folhas mais velhas, em número correspondente à metade do total. O material foi seco em estufa a 70-80°C e depois de pesado foi moído.

Tabela 2.1. Tratamentos usados nos ensaios de doses crescentes de nitrogênio, de fósforo e de potássio

Ensaio	Milimoles do elemento/1 de solução
Níveis crescentes de N	0,00
	0,75
	7,50
	15,00
	30,00
Níveis crescentes de P	0,00
	0,05
	0,50
	1,00
	2,00
Níveis crescentes de K	0,00
	0,30
	3,00
	6,00
	12,00

2.4. Determinações

2.4.1. Componentes minerais: O teor de N total foi determinado por destilação da amônia em aparelho de Kirk depois da digestão com ácido sulfúrico em presença de selenito, sulfato de cobre e sulfato de potássio.

Para as dosagens de P e de K foi feito extrato nítrico perclórico; o primeiro foi determinado colorimetricamente pelo método do metavanadato; o K foi determinado por espectrofotometria de absorção atômica.

2.4.2. Reductase de nitrato: A determinação se fez em rodela de 0,5 cm de diâmetro retiradas com furador de rolha do terço médio da folha (+4). A técnica usada foi a seguinte:

- I) pipetar 4 ml de KNO_3 , 0,25 M em tampão fosfato, pH 7,4 para tubos de ensaios;
- II) juntar 200mg de discos de folha e arrolhar;
- III) envolver os tubos em papel de alumínio e colocar em banho d'água a 35°C durante 2 horas agitando de 5 em 5 minutos.

IV) filtrar para outro tubo de ensaio;

V) pipetar uma alíquota e determinar o nitrito produzido durante a incubação.

VI) expressar o resultado em mg de N-NO_2^- produzidos por g de material fresco.

2.4.3. Determinação do nitrito

(1) Reagentes

Ácido sulfanílico — dissolver 0,60 g de ácido sulfanílico em cerca de 70 ml de água destilada quente, esfriar e juntar 20 ml de HCl conc, diluir a 100 ml e guardar em vidro escuro na geladeira.

Alfa-naftilamina — dissolver 0,60 g de alfa-naftilamina em 50 ml de água destilada; juntar 1,0 ml de HCl concentrado e diluir a 100 ml com água destilada; guardar em vidro escuro na geladeira.

Tampão de acetato de sódio 2,0M — dissolver 29,2 g de acetato de sódio, $3\text{H}_2\text{O}$ a 100 ml com água destilada.

Padrão nitrito — dissolver 0,4926 g de NaNO_2 em água destilada e completar a 1 l, diluir 100 ml a 1 l, e desta diluir 10 a 1 l; 10 ml da última contém 0,001 mg de N como nitrito (NO_2^-).

(2) Procedimento

Curva padrão: em balões de 50 ml pipetar 0, 5, 10, 15, 20 e 25 ml da solução padrão de trabalho (10 ml = 0,001 mg N-NO_2^-); juntar água destilada até cerca de 25 ml; juntar 1 ml de solução de ácido sulfanílico e misturar, repouso 5-10 minutos; juntar 1 ml de alfa-naftilamina e misturar; juntar 1 ml de solução tampão de acetato de sódio e misturar; completar o volume com água destilada e misturar; depois de 10 e antes de 30 minutos ler a intensidade da cor rósea no colcrímetro usando filtro verde e acertando ao zero com água destilada.

Amostra: Pipetar para balão de 50 ml uma alíquota que contenha entre 0,001 e 0,002 mg de N-NO_2^- ; proceder como no caso da obtenção da curva padrão.

2.4.4. Putrescina

1 — Extrair 5 g de folha (matéria seca) com 50 ml de etanol a 80% em homogeneizador durante 2 segundos.

2 — Centrifugar a 6000 rpm durante 10 minutos;

3 — Tratar o sobrenadante com igual volume de CCl_4 para remover pigmentos;

4 — Passar o extrato alcoólico por resina Dowex 50 W X8, (H^+), 100-200 "mesh".

5 — Extrair a putrescina da resina com 20 ml de solução saturada de $(\text{NH}_4)_2 \text{CO}_3$;

6 — Evaporar até secar e retomar com 1 ml de HCl 0,05 N;

7 — Cromatografar alíquota de 20 microlitros, em papel de filtro Whatman n.º 1 usando n-butanol: metil etil acetona: NH_3 : H_2O (5:3:1:1).

8 — Revelar com ninidrina alcoólica a 1,0%.

9 — Aquecer a 60-70°C durante 10 minutos.

10 — Eluir as manchas de putrescina com 5 ml de etanol a 50% a pH 7,0 com Na_2HPO_4 0,025 N durante 18 horas na obscuridade.

11 — Ler a densidade ótica em colorímetro usando filtro verde.

12 — Preparar a curva padrão usando putrescina tratada do mesmo modo que a amostra.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. *Ensaio com níveis crescentes de nitrogênio*

O desenvolvimento das plantas em altura, em função do tratamento aparece na Tabela 3.1; a altura dada corresponde à distância entre o

Tabela 3.1. Altura das plantas (cm) em função dos tratamentos

Tratamento	Repetição	28 dias	35 dias	42 dias	100 dias
0,00 milimoles N/1	1	16	25	25	81
	2	12	16	19	70
0,75	1	18	41	46	124
	2	14	33	38	104
7,50	1	16	36	46	136
	2	26	42	58	126
15,00	1	26	70	105	220
	2	30	63	91	182
30,00	1	26	57	85	200
	2 (1)	23	39	52	136

(1) Planta prejudicada pela entrada de óleo da tabulação de ar comprimido

colo e lígula da última bainha superior aparente. Os dados permitem observar que as plantas responderam aos incrementos das doses de N até a dose de 15 milimoles do elemento por litro de solução no período considerado. Sintomas foliares típicos da deficiência nitrogenada foram observados, como seria de se esperar, no tratamento um, que foi omitido o elemento; tais plantas, além disso, mostraram possuir raízes de coloração avermelhada no fim do ensaio. Sintomas foliares menos intensos foram verificados nas plantas do tratamento 0,75 milimoles de N por litro de solução. Os sintomas foliares concordaram com a descrição dada por MALAVOLTA et al. (1976).

A produção de matéria seca foi a que aparece na Tabela 3.2. Houve um efeito linear da dose de N no meio sobre a produção da matéria seca. Obteve-se a seguinte equação de regressão:

Tabela 3.2. Produção de matéria seca em função dos tratamentos (g/planta)

Parte da planta	Repetição	Tratamentos (milimoles N/1)				
		0,00	0,75	7,50	15,00	30,00
Raízes	1	12	17	21	33	43
	2	6	13	33	29	27
Colmo	1	15	44	39	110	215
	2	8	29	48	68	135
Folhas inferiores	1	8	12	13	18	20
	2	5	8	19	23	16
Folhas superiores	1	1	12	13	20	27
	2	0,8	7	18	19	15
Pendão	1	1,4	3,9	5,4	4,1	7,5
	2	0,8	2,1	3,4	7,0	6,0
Espiga	1	—	8,4	12	79	113
	2	—	7,4	27	50	114

$$y = 64,2 + 112,6 x \text{ onde}$$

y = matéria seca em g/planta

x = nível relativo do elemento no substrato

r = 0,713 * (significativo a 5%).

As variações nos teores de N da folha em função dos tratamentos são dados na Tabela 3.3. Pode-se ver que as folhas inferiores respon-

Tabela 3.3. Teores foliares de N na matéria seca

Tratamento milimoles N/1	Repetição	% N Folhas inferiores	Folhas superiores
0,00	1	0,51	2,23
	2	0,99	2,40
0,75	1	1,80	2,31
	2	1,95	2,62
7,50	1	3,09	3,52
	2	2,64	2,89
15,00	1	2,58	2,60
	2	2,39	2,91
30,00	1	2,68	3,33
	2	3,44	3,94

deram aos tratamentos de modo melhor que as superiores: na primeira a diferença média encontrada entre o tratamento 0 e o correspondente à dose máxima do nitrogênio no meio foi da ordem de 2,5%; nas últimas o valor correspondente não chegou a 1,5%. A conhecida mobilidade do N no floema explica esses achados. Devido à resposta linear da produção de matéria seca ao fornecimento de N os seguintes níveis elemento na folha estariam associados à máxima colheita observada:

folhas inferiores — 2,68 a 3,44% N

folhas superiores — 3,32 a 3,99% N

poderiam ser considerados médios os teores:

folhas inferiores — 2,58 a 2,09% N

folhas superiores — 2,60 a 2,89% N

e, finalmente, os valores seguintes indicariam carência nitrogenada:

folhas inferiores — 0,51 a 1,95% N

folhas superiores — 2,23 a 2,62% N

MALAVOLTA et al. (1976), trabalhando com a mesma variedade, sugeriram os seguintes valores para a calibração:

deficiência

folhas inferiores — 1,84% N

folhas superiores — 1,22% N

adequado

folhas inferiores — 2,76% N

folhas superiores — 2,52% N

Os valores encontrados por ANDRADE (1975) em condições de campo foram inferiores aos presentes o que sugere que nesse trabalho o potencial de colheita do Piranão não teria se realizado completamente por falta de fornecimento de nitrogênio, o que não exclui outras limitações possíveis.

Os resultados das determinações da atividade da reductase de nitrato aparecem na Tabela 3.4. Observa-se que a mesma cresceu com

Tabela 3.4. Atividade da reductase de nitrato em função do fornecimento de nitrogênio no meio

Tratamento milimoles N/1	mcg N-NO ₂ ⁻ / g matéria fresca
0,00	26
	21
0,75	39
	26
7,50	37
	32
15,00	42
	37
30,00	37
	40

o fornecimento de N no meio até aproximadamente o nível de 15 milimoles de N-NO₃⁻/1 de solução. A atividade máxima observada foi da ordem de 40 microgramas de N-NO₃⁻/g matéria fresca o qual é comparada favoravelmente com os valores de 30 e 40 encontrados por CROY & HAGEMAN (1970) em variedade de trigo, valores esses associados com altas colheitas e altos teores de proteína no grão. A análise estatística dos dados mostrou existir um efeito linear do teor de N total nas folhas e a atividade da reductase de nitrato nas mesmas. Com respeito à relação entre fornecimento de N no substrato e atividade da reductase de nitrato encontrou-se um efeito quadrático:

$$y = 0,02761 + 0,01832 x - 0,00649 x^2$$

$$r = 0,737^{**} \text{ (significativo a 1\%)} \text{ onde}$$

$$y = \text{mg N-NO}_2^-/\text{g material fresco,}$$

$$x = \text{mg N/1 de solução}$$

A Fig. 3.1. consolida os principais resultados obtidos; observa-se o seguinte: as exigências de N para a produção de matéria seca na parte aérea são maiores que para a produção de raízes o que sugere alta eficiência do sistema radicular no processo de absorção e transporte inicial; a determinação da RNO_3 parece fornecer melhor indicação do estado nutricional do que a análise das folhas para N total nas condições do ensaio.

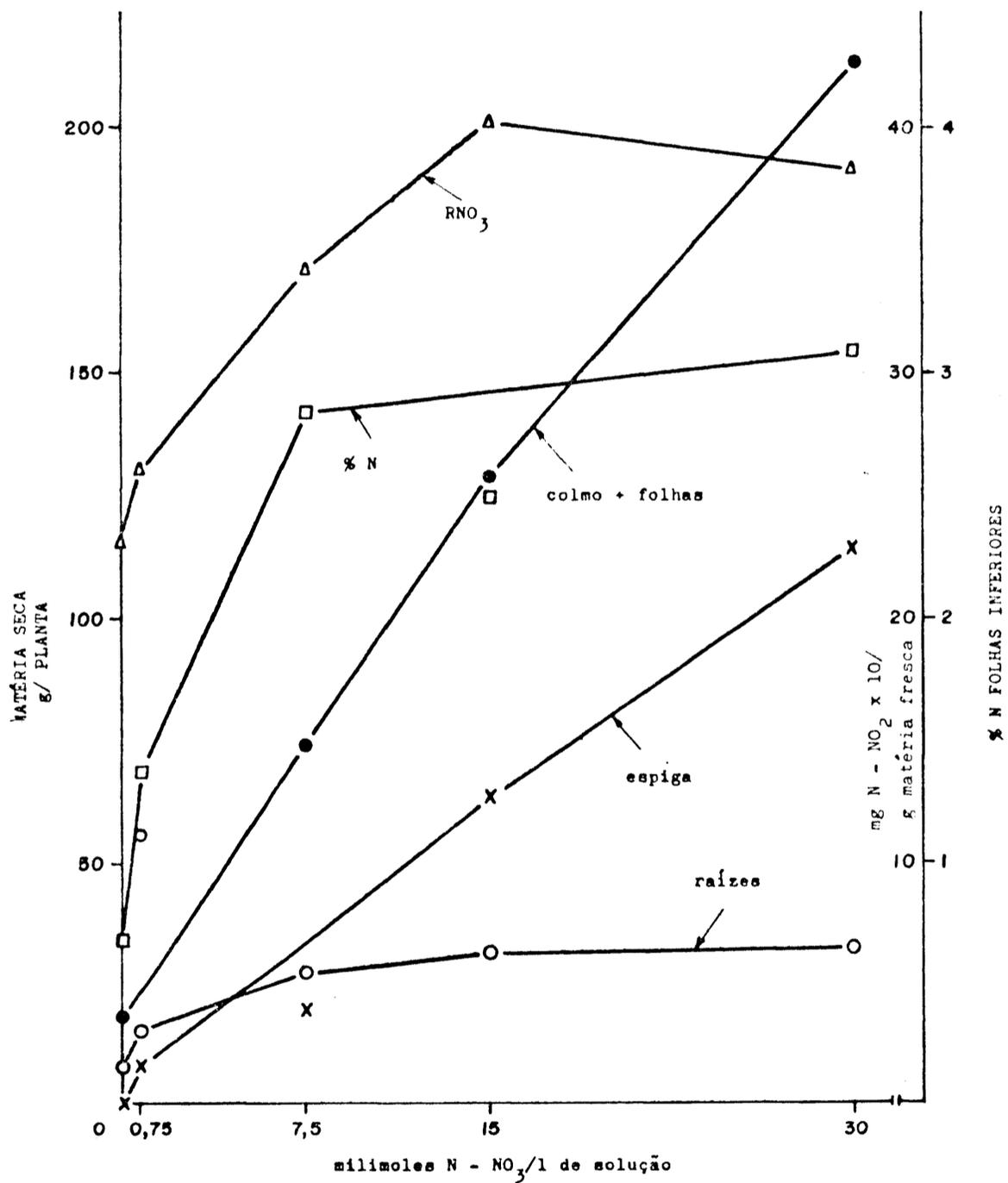


Figura 3.1. Relação entre fornecimento de N, produção e estado nutricional do milho, var. Pirão.

3.2. Ensaio com níveis crescentes de fósforo

O crescimento em altura do Piranão em função do fornecimento de P é visto na Fig. 3.2. a adição do elemento provoca acentuada variação na inclinação das curvas de crescimento; o nível maior, entretanto, parece causar diminuição, resultado que se confirma com os dados da produção da matéria seca. (Tabela 3.5.).

A análise estatística dos dados mostrou significância ao nível de 5% de probabilidade para a produção total de matéria seca e para seu desdobramento entre parte aérea e peso das raízes.

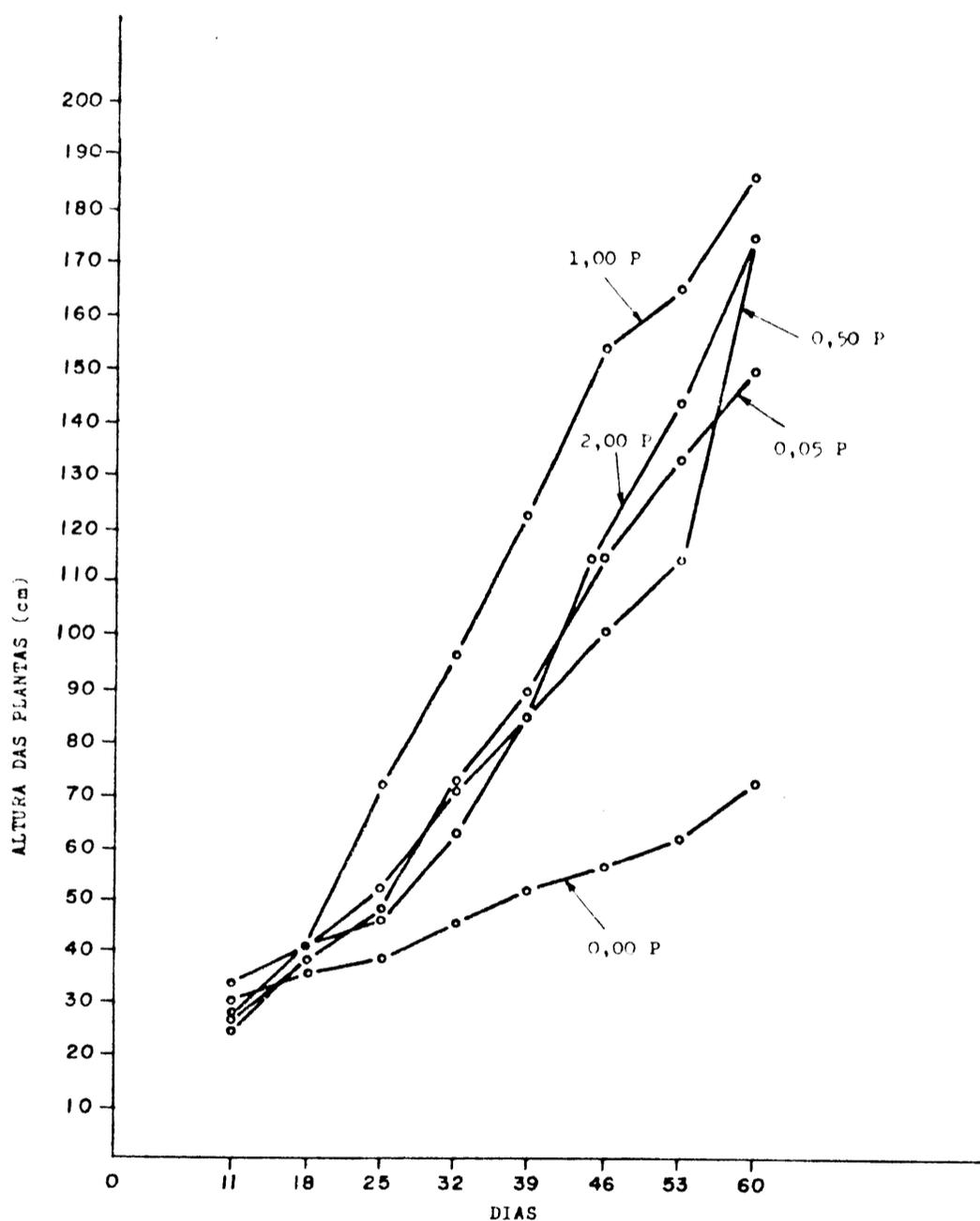


Figura 3.2. Crescimento na altura e níveis de P no meio.

Tabela 3.5. Produção de matéria seca em função dos níveis de P na solução (g/planta)

Parte da planta	Repetição	milimoles de P/					
		0,00	0,05	0,50	1,00	20,0	
Raiz	1	13	17	24	28	34	
	2	14	18	28	31	29	
Colmo	1	15	18	67	75	75	
	2	11	15	75	80	82	
Folhas inferiores	1	15	13	26	28	30	
	2	16	19	31	25	26	
Folhas superiores	1	18	12	18	16	26	
	2	14	11	18	30	17	
Grãos	1	—	14	24	29	23	
	2	—	14	26	31	32	
Sabugo	1	—	9	15	15	15	
	2	—	12	16	16	21	
Palha	1	—	16	27	26	22	
	2	—	14	23	39	24	
Pendão	1	0,5	1,8	4,0	7,3	6,2	
	2	1,3	2,0	5,0	2,8	3,2	
Cabelo	1	—	0,8	1,6	1,1	1,3	
	2	—	0,4	1,0	2,7	1,4	

Sintomas típicos de carência de P (MALAVOLTA et al., 1976) foram observados nas plantas que receberam os dois níveis mais baixos do elemento na solução. A análise da folha deu a informação que aparece na Tabela 3.6.

Tabela 3.6. Níveis foliares de fósforo (média de 2 repetições)

Tratamento	% P	
	Folhas inferiores	Folhas superiores
0,00 milimoles P/l	0,07	0,08
0,05	0,18	0,23
0,50	0,48	0,46
11,00	0,67	0,56
2,00	0,60	0,60

Para facilitar a visualização dos efeitos foi construída a Fig. 3.3, a qual revela um tipo de resposta diferente da verificada no caso do nitrogênio.

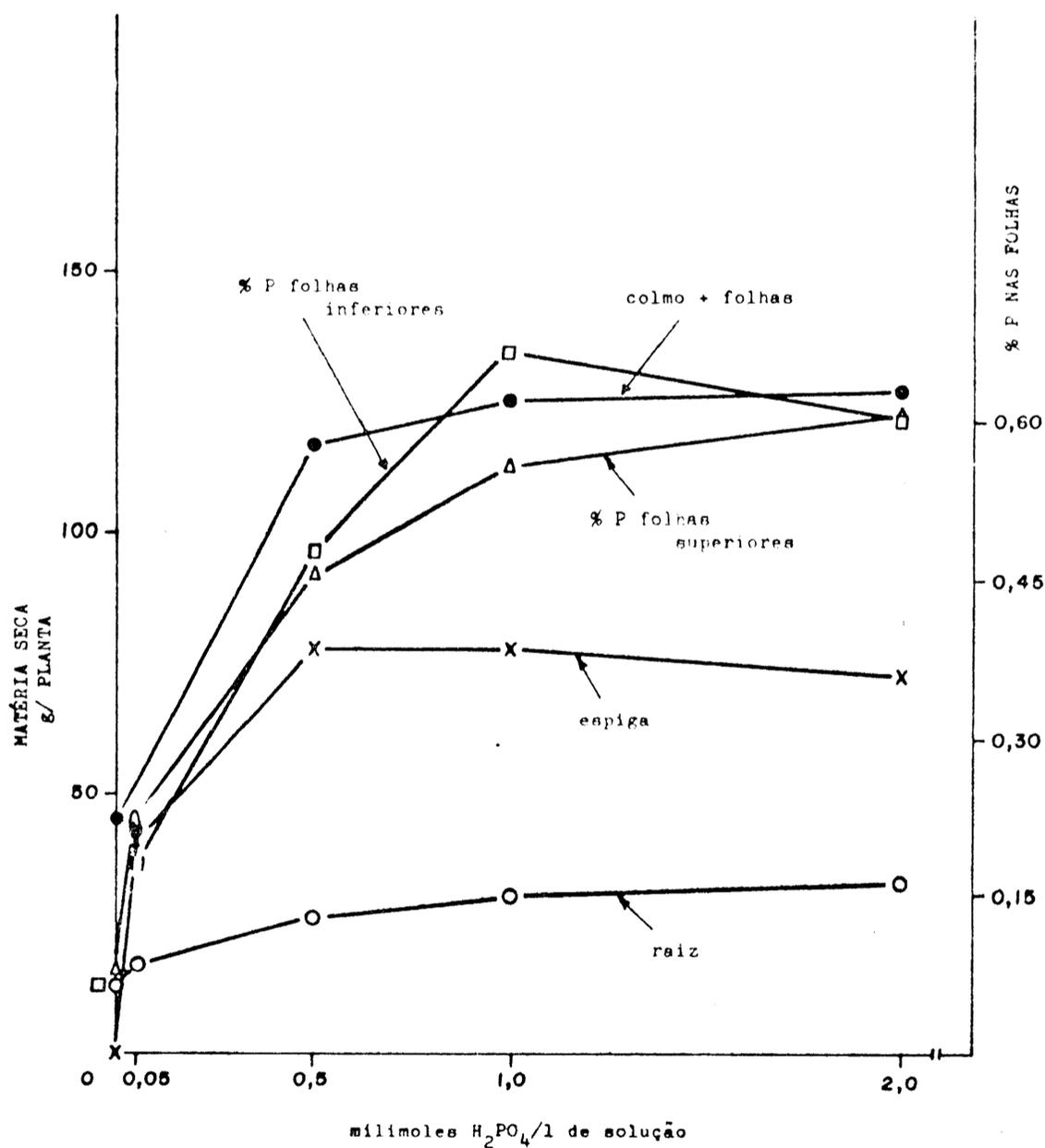


Figura 3.3. Efeitos dos níveis de fósforo no crescimento e nos teores foliares.

- 1) O efeito do nível de P na produção de matéria seca da raiz foi menor que o absorvido na produção da parte aérea da planta;
- 2) Entre 0,5 e 1,0 milimoles de P no substrato garantiriam o máximo de produção de matéria seca;
- 3) Uma relação direta e quase linear entre teor de P e produção de matéria seca é observado apenas dentro dos seguintes limites:

folhas inferiores — menos de 0,10 e cerca de 0,40% P
 folhas superiores — idem

3.3. *Ensaio com níveis crescentes de Potássio*

A Tabela 3.7. mostra a influência dos tratamentos no crescimento em altura do Piranão: verifica-se que a adição do primeiro incremento de K no meio causa aumento do parâmetro; as doses sucessivas não tiveram efeito tão acentuado; o nível mais alto de K no substrato parece ter causado diminuição no crescimento medido pela altura.

Tabela 3.7. Altura das plantas (cm) em função dos tratamentos

Tratamento	Altura								
	21 dias	28	35	42	49	56	63	70	77
0,0 milimoles K/1	18	20	31	39	42	70	75	90	131
0,3	18	20	30	41	55	71	76	91	200
3,0	19	23	31	47	85	105	130	186	209
6,0	19	22	35	60	96	115	160	224	241
12,0	18	21	30	45	80	100	125	179	210

A produção de matéria seca (Tabela 3.8. e Figura 3.4.) mostram, entretanto, uma situação diferente, talvez explicada em parte por se tratar de dados obtidos no fim do ciclo: o crescimento das raízes e a produção de espigas mostraram tendência para se estabilizar somente a partir da dose de K igual à metade da máxima usada; a produção de matéria seca de colmo + folha, entretanto, não mostrou tendência assintótica dentro da faixa de concentração de K usada no ensaio. O efeito dos tratamentos sobre o crescimento em altura e a produção da matéria seca foi significativo a 5%.

Sintomas típicos de carência nas folhas (MALAVOLTA et al., 1976) foram observados nos três primeiros níveis; isto é, de 0,0 a 3 milimoles de K/1 sendo tanto mais acentuados quanto menor a dose fornecida.

O sistema radicular se comportou de modo semelhante. Essa informação sugere que, como no caso do nitrogênio, a exigência de K do Piranão possa ser relativamente alta. A produção de grãos foi nula no tratamento sem potássio e no tratamento seguinte apenas uma planta deu espiga mal formada; no tratamento com nível intermediário a ponta do sabugo apresentava sementes mal formadas, outro sintoma de carência do elemento.

Tabela 3.8. Produção de matéria seca em função dos tratamentos (g/planta)

Parte da planta	Repetição	Tratamento (milimoles K/1)				
		0,0	0,3	3,0	6,0	12,0
Raízes	1	8,9	11,0	16,6	29,6	36,3
	2	3,0	17,7	19,7	40,9	39,3
Colmo	1	15,2	33,0	59,8	55,2	115,2
	2	8,5	44,2	66,5	72,2	101,8
Folhas inferiores	1	17,4	16,4	15,0	17,3	22,6
	2	9,2	20,8	13,5	20,8	23,7
Folhas superiores	1	5,5	12,5	12,7	19,3	16,6
	2	11,5	15,5	13,4	19,2	18,6
Cabelo	1	—	1,3	1,6	2,0	2,2
	2	—	—	2,1	2,2	3,2
Grãos	1	—	0,5	—	50,1	50,1
	2	—	—	13,8	46,4	47,5
Sabugo	1	—	1,9	13,5	19,9	13,2
	2	—	—	16,0	13,0	20,2
Palha	1	—	18,3	29,6	35,4	40,0
	2	—	—	35,5	40,6	50,9
Pendão	1	1,1	2,5	5,9	3,2	5,0
	2	0,2	3,6	5,3	5,4	6,3

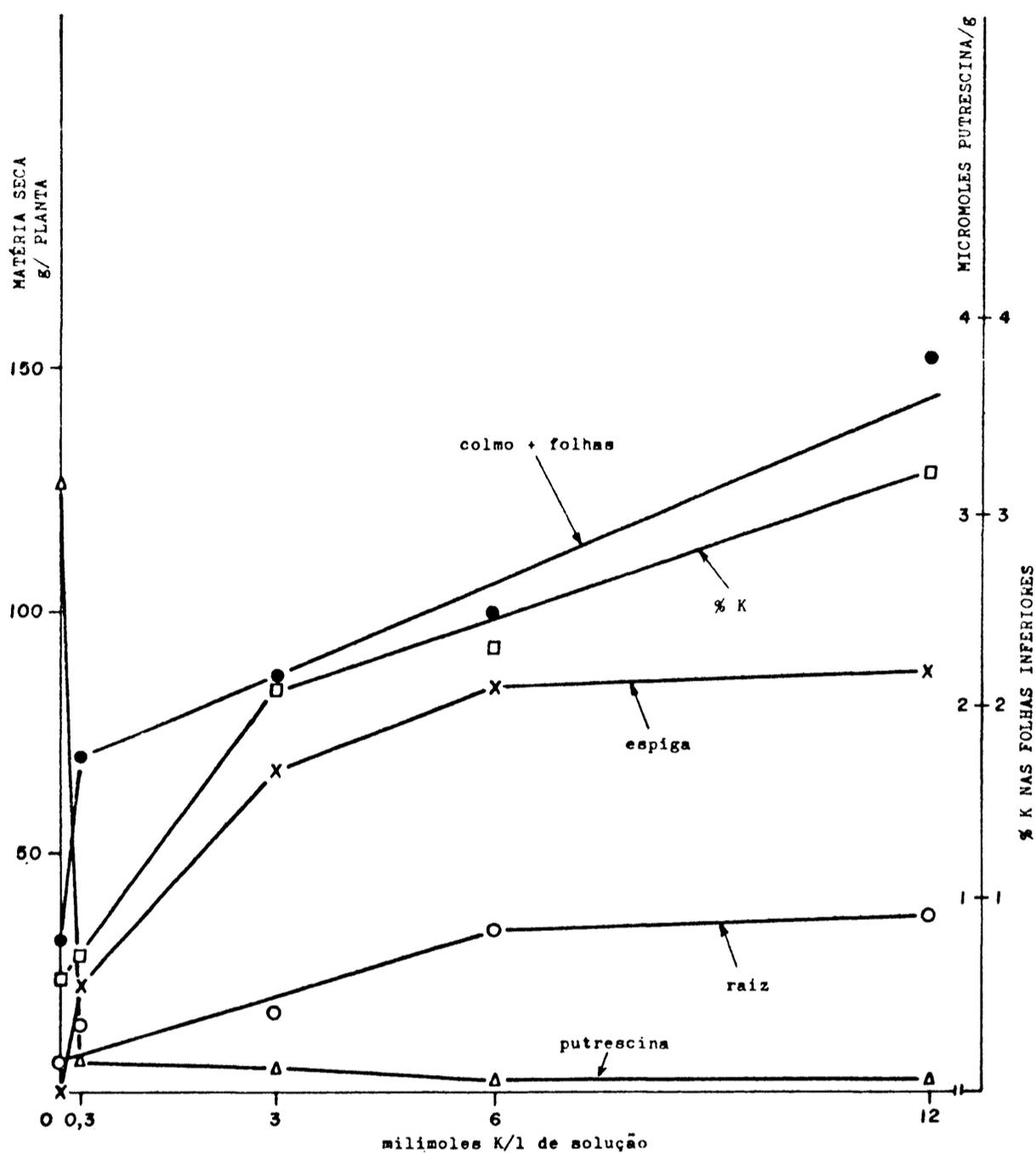


Figura 3.4. Efeito dos níveis de potássio no meio, no crescimento e na composição do milho piranão.

Os teores foliares de K são dados na Tabela 3.9. Houve correlação significativa a 5% de probabilidade entre % K das folhas e produção de grãos ($r = 0,895$ e $t = 3,48$). Os dados sugerem que, nas condições do ensaio um teor de K da ordem de 2,0% indique estado nutricional adequado. Com base em ensaios ou campos, com outra variedade e outro

tipo de amostragem, GALLO et al., 1968, estabeleceu os níveis limiares entre 1,70 e 2,7% de K, o primeiro correspondente a solos de altas fertilidade.

Tabela 3.9. Teores foliares de K na matéria seca

Tratamento milimoles K/1	% K	
	Folhas inferiores	Folhas superiores
0,0	0,63	0,77
0,3	0,68	0,85
3,0	2,12	2,19
6,0	2,32	2,27
12,0	3,20	2,68

Os resultados da determinação do teor ou putrescina são apresentados na Tabela 3.10. Verifica-se, conforme era esperado, que à medida que cresce o teor de K foliar diminui o da amina. A Figura 3.3. mostra que a determinação foliar de putrescina não dá indicações melhores do estado nutricional do milho que os níveis de K na folha.

Tabela 3.10. Teores foliares de putrescina

Tratamento milimoles K/1	micromoles/ g folha fresca
0,0	3,15
0,3	0,18
3,0	0,12
6,0	0,06
12,0	0,06

RESUMO E CONCLUSÕES

Milho, variedade Piranão, foi cultivado em solução nutritiva com 5 níveis de N, de P e de K até o fim do ciclo.

Por ocasião do aparecimento do estilete-estigma foram feitas determinações da atividade da reductase do nitrato e do teor de putrescina na porção clorofilada na média da folha (+4).

No fim do ciclo as folhas superiores e inferiores foram submetidas à análise química, determinando-se os teores totais de N, P e K.

As principais conclusões foram as seguintes:

4.1. Houve um efeito linear da dose de N no substrato sobre a produção de matéria seca.

4.2. Os altos níveis da reductase de nitrato sugerem que a variedade Piranão seja capaz de responder a alta dose de N no meio em termos de produção.

4.3. A resposta ao P mostrou tendência assintótica mais acentuada no caso da produção de matéria seca da raiz.

4.4. O efeito do K no substrato na produção de matéria seca da raiz foi menos acentuada que na parte aérea.

4.5. A determinação do teor foliar de putrescina não é melhor que a do K total das folhas para avaliar o estado nutricional do Piranão.

4.6. A variedade Piranão mostra-se eficiente na utilização do N para a produção, sendo menos eficiente no uso do P e, aparentemente, menos ainda no caso do K.

SUMMARY

STUDIES ON THE MINERAL NUTRITION OF CORN. II. EFFECT OF RATES OF N, P, AND K ON GROWTH, YIELD AND MINERAL COMPOSITION OF THE VARIETY PIRANÃO UNDER CONTROLLED CONDITIONS

Maize plants, Piranão cultivar, were grown in nutrient solution with 5 levels each of N, P and K till harvest.

Nitrate reductase activity and putrescine level were determined in leaves of plants in the N and K series, respectively, at silking stage.

Upper and lower leaves were analysed for N, P and K in the corresponding treatments at the end of the life cycle.

The main conclusions were the following:

5.1 There was a linear effect of level of N in the substrate on dry matter production.

5.2. High activities of nitrate reductase suggest that under natural conditions the variety should be very responsive to N fertilization.

5.3. An asymptotic response curve was found in the treatments with increasing levels of P in the medium, as well as in the case of the K treatments.

5.4. Curves of response of roots (dry matter) showed a tendency to level off as a function of increasing levels of element at lower concentrations than the components aerial part of the plant (leaves, stems, ears).

5.5. Determination of leaf putrescine did not prove a better indicator of the K status leaf K.

5.6. The variety under study seems to be relatively more efficient in the utilization of N for yield components; the efficiency for utilization of K, is rather low and that for P is intermediate, findings that should have a bearing on the fertilization in field conditions.

LITERATURA CITADA

- ANDRADE, A.G. 1975 — Acumulação Diferencial de nutrientes por cinco cultivares de Milho (*Zea mays* L.) Diss. de Mestrado, Piracicaba.
- ARNON, I. 1975 — Mineral Nutrition of Maize. Ed. pelo International Potash Institute, Berna.
- BAR AKIVA, A. & J. STERNBAUM. 1965 — Possible role of the nitrate reductase activity of leaves as a measure of the requirement of citrus trees. *Plant and Cell Physiol.* **6**:575-577.
- BAR AKIVA, A., A. SHAKED & J.S. AGIV. 1967 — The use of nitrate reductase activity for the appraisal of nitrogen status and productivity of fruit orchard trees. *Hort. Sci.* **2**:51-52.
- BAR AKIVA, A. 1970 — Chemical and biochemical measurements on plants as a mean of controlling yield and plant performances. Proc. a 9th Congress Internatl. Potash Institute (Antibes): Ed. pelo Internatl. Potash Inst., Berna.
- BASSO, L.C. & T.A. SMITH. 1974 — Effect of mineral deficiency on amine formation in higher plants. *Phytochem.* **14**:875-833.
- BEEVERS, L. & R.H. HAGEMAN. 1969 — Nitrate reduction in higher plants. *Ann. Rev. Plant Physiol.* **20**:495-505.
- CROY, L.I. & R.H. HAGEMAN. 1970 — Relationships of nitrate reductase activity to grain protein production in wheat. *Crop. Sci.* **10**:280-285.
- DECKARD, E.L.; R.J. LAMBERT & R.H. HAGEMAN. 1973 — Nitrate reductase activity in corn leaves as related to yield of grain and protein. *Crop. Sci.* **13**:343-350.
- ECK, H.V. & R.H. HAGEMAN. 1974 — Nitrate reductase activity in sudan grass cultivars. *Crop. Sci.* **14**:283-287.
- ELRICH, G.C. & R.H. HAGEMAN. 1973 — Nitrate reductase activity and its relationship to accumulation of vegetative and grain nitrogen in wheat (*Triticum aestivum* L.) *Crop. Sci.* **13**:59-65.
- GALLO, J.R., R. HIROGE & L.T. MIRANDA. 1968 — A análise foliar na nutrição do milho. I. Correlação entre análise da folha e produção. *Bragantia* **27**(15):177-186.

- HOAGLAND, D.R. & D.I. ARNON. 1950 — The water culture method for growing plants without soil. Calif. Agr. Exp. Sta. Cir. 347.
- HOFFMAN, M. & R.M. SAMISH. 1971 — Free amine content in fruit tree organs as an indication of the nutritional status with respect to potassium. Recent Advances in Plant Nutrition, vol. I., Ed. por R.M. Samish, Gordon & Breach. Sci. Publ. Nova Iorque, Londres, Paris.
- MALAVOLTA, E., V.M. RAPOHAN, G.D. OLIVEIRA, A.M.G. CASTRO, A.P. SOUZA, H.S. LOPES, L.F. SOBRAL, L.A. LOVATO, M. MENEZES & O. TISSELI F.º. 1976 — Estudos sobre a nutrição mineral do milho. I. Deficiência de macronutrientes na variedade Piranão. XI Reu. Bras. Sorgo e Milho (Piracicaba): no prelo.
- MALAVOLTA, E. & H.G. GARGANTINI. 1966 — Nutrição mineral e adubação e Cultura e Adubação do Milho. Ed. pelo Inst. Bras. de Potassa, S. Paulo.
- MALAVOLTA, E., H.P. HAAG, F.A.F. MELLO & M.O. BRASIL SOBRAL. 1974 — Nutrição Mineral e Adubação de Plantas Cultivadas. Livraria Pioneira Editora S.P.
- NELSON, L.B. 1956 — The mineral nutrition of corn as related to its growth and culture. Adv. Agron. 8:321-375.
- PIERRE, W.H., S.A. ALDRICH & W.P. MARTIN (Ed.) 1966 — Advances in corn production: Principles and Practices. The Iowa State University Press, Ames.
- RICHARDS, F.J. & R.G. COLEMAN. 1952 — Occurrence of putrescine in potassium deficient barley. Nature 170:460.
- T.V.A. 1971 — Nutrition of Maize. Natl Fertilizer Development Center Bull Y-26, Muscle Shoals.

