

# EFICIÊNCIA DE LINHAGENS DE MILHO NA ABSORÇÃO E UTILIZAÇÃO DE FÓSFORO EM SOLUÇÃO NUTRITIVA (1)

ÂNGELA MARIA CANGIANI FURLANI (2), ONDINO CLEANTE BATAGLIA (2)  
e MARLENE LIMA (3)

## RESUMO

Mediante solução nutritiva, definiu-se uma metodologia para avaliação e seleção de plantas de milho mais eficientes na absorção e utilização do fósforo, em condições de sua baixa concentração. Quarenta linhagens de milho foram cultivadas em solução nutritiva completa, contendo 6,0mg de P/vaso de 2,8 litros, sem renovação da solução e com aeração contínua. As plantas foram deixadas crescer durante 20 dias, sem reposição do P, até aparecerem sintomas de deficiência. Observaram-se variações no crescimento das linhagens, tanto nas raízes como na parte aérea, afetando o peso da matéria seca e a altura das plantas. As variações observadas no conteúdo total de P das plantas crescidas nas mesmas condições, acompanharam proporcionalmente as variações observadas no peso da matéria seca. Entretanto, a capacidade de produção de matéria seca por unidade de P absorvido (relação de eficiência) variou pouco. Assim, atribuíram-se as diferenças no crescimento das plantas muito mais ao mecanismo de absorção de P do que ao de sua utilização. As linhagens foram também avaliadas quanto aos sintomas visuais de deficiência de P. A classificação do material foi baseada nos pesos de matéria seca, dispostos numa curva de distribuição "t" de médias. De acordo com o intervalo de confiança da média geral, calculado com 99,9% de probabilidade, separou-se o material em 11 linhagens *ineficientes* (com peso abaixo de 5,28g), 20 linhagens *medianamente eficientes* (com peso entre 5,28 e 6,04g) e 9 linhagens *eficientes* (com peso acima de 6,04g).

**Termos de indexação:** fósforo; milho; eficiência de absorção e de utilização de P; seleção de linhagens eficientes; solução nutritiva.

---

(1) Com auxílio da FINEP. Apresentado no XV Congresso Nacional de Milho e Sorgo, Maceió, 2-6 julho de 1984. Recebido para publicação a 27 de dezembro de 1983.

(2) Seção de Química Analítica, Instituto Agrônômico (IAC), Caixa Postal 28, 13100 – Campinas (SP). Com bolsa de suplementação do CNPq.

(3) Seção de Genética, IAC.

## 1. INTRODUÇÃO

A avaliação e seleção de linhagens de milho mais eficientes na absorção e utilização de nutrientes, reveste-se de importância num país que possui vastas extensões de solo pouco fértil, ácido, com alta capacidade de fixação de fósforo e onde predominam agricultores com baixo capital de investimento.

Existem inúmeras evidências de variações entre espécies e entre variedades dentro de espécies, na capacidade das plantas em crescer em ambientes nutricionais adversos e nas suas exigências em nutrientes (BAKER et alii, 1970; BERNARDO et alii, 1982; CLARK, 1982; CLARK & BROWN, 1974; CLARK et alii, 1978; CLARK & MARANVILLE, 1977; FLEMING, 1983; FOX, 1978; FURLANI, 1981; FURLANI et alii, 1983; FURLANI & CLARK, 1981; GABELMAN, 1976; GERLOFF, 1976; LINDGREN et alii, 1977; WHITEAKER et alii, 1976).

Em milho, indicações de variações genéticas na absorção e utilização do fósforo, têm sido documentadas por diversos pesquisadores. Assim, diferenças na cinética de absorção de P foram observadas por NIELSEN & BARBER (1978), em doze linhagens de milho, da ordem de 1,8 a 3,3 vezes no peso e comprimento de raízes por unidade da parte aérea, e no influxo máximo de P. Aspectos da herança desses caracteres foram elucidados comparando dados obtidos com as linhagens e com cinco híbridos simples delas derivados. Os parâmetros de raízes e de absorção de P, medidos nas plântulas de híbridos cultivadas em solução nutritiva, foram comparados com os de híbridos cultivados no campo, nas idades de 22, 38 e 51 dias após o plantio: a absorção de P estava sob controle genético e a heterose havia ocorrido nos cruzamentos. Em condições de baixo nível de P, no campo, as diferenças observadas nos híbridos foram atribuídas às variações nas taxas de absorção de P, pois todos apresentaram a mesma capacidade de utilizá-lo para produção de matéria seca. Resultados obtidos em solução nutritiva tiveram boa correspondência com aqueles obtidos no campo: plantas que tiveram o maior valor de velocidade máxima de absorção em solução nutritiva, apresentaram a maior concentração de P quando cultivadas no campo, e vice-versa.

Estudando a influência das características fisiológicas e morfológicas das raízes de cinco genótipos de milho na absorção de P, SCHENK & BARBER (1979) observaram que a área superficial de raízes por unidade de peso de parte aérea variou entre genótipos, em condições de baixo nível de P, mas não em condições de alto nível de P. Concluíram que os genótipos poderiam ser melhorados para serem mais eficientes na absorção do P do solo.

Em estudos comparativos de crescimento de 73 linhagens e híbridos de milho em casa de vegetação e no campo, em condições de baixo e alto nível de P, em solução nutritiva e em solo, FOX (1978) observou diferenças en-

tre os genótipos cultivados em casa de vegetação, mas não nos do campo, medindo produção de grãos. Isso provavelmente porque os híbridos diferiam muito pouco entre si, ou porque a maior eficiência na absorção e uso de P não pôde ser medida ou refletida diretamente na produção de grãos, por ser este um complexo genético muito amplo.

Os melhores critérios e métodos usados para avaliar plantas mais eficientes na absorção e uso de nutriente, têm sido aqueles que empregam, como parâmetros, o crescimento de plantas de diferentes genótipos em condições de baixo nível do nutriente (em solução nutritiva ou em solo), verificando se tais diferenças são devidas aos mecanismos de absorção ou de utilização do nutriente para produção de matéria seca, ou a ambos (CLARK et alii, 1976; FLEMING, 1983; FURLANI et alii, 1983; FURLANI & CLARK, 1981; GABELMAN, 1976; GERLOFF, 1976; LINDGREN et alii, 1977; WHITEAKER et alii, 1976).

Estes caracteres genéticos podem não estar correlacionados diretamente com a produção econômica, da mesma forma que outros importantes caracteres, mas podem ser incorporados ao material genético com características agrônômicas desejáveis.

O objetivo do presente trabalho consistiu em definir uma técnica em solução nutritiva, para avaliar a resposta de linhagens de milho cultivadas em condições de baixa concentração de P, por meio de medições de parâmetros de crescimento (produção de matéria seca), de absorção de P (seu conteúdo total nas plantas) e da utilização de P (produção de matéria seca por unidade absorvida).

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Ensaio com seis linhagens de milho, em solução nutritiva, com níveis variados de P

Este ensaio foi conduzido em vasos individuais de 2,8 litros (caixas plásticas com tampa), revestidos com folha de alumínio. As tampas foram pintadas com tinta prateada e furadas: um furo central de cerca de 2,5cm de diâmetro e um lateral com 0,5cm de diâmetro aproximadamente. No central, introduziram-se as mudas sustentadas e protegidas por uma tira de esponja ao redor dos caulículos e no lateral, um tubo de arejamento. As sementes de milho foram germinadas em rolos de papel de germinação e as plântulas, com sete dias de idade, transplantadas para os vasos (duas plantas/vaso)

com solução nutritiva, cuja composição consistiu nos seguintes nutrientes (mg/litro): Ca = 151; K = 141; Mg = 17; N-NO<sub>3</sub> = 137; N-NH<sub>4</sub> = 20; Cl = 33; S = 54; Fe = 3,6; Mn = 0,5; B = 0,3; Zn = 0,13; Cu = 0,04; Mo = 0,08, na forma destes sais: Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>.4H<sub>2</sub>O, KNO<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, KCl, NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>, MgSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O, MnCl<sub>2</sub>.4H<sub>2</sub>O, H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>, ZnSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O, CuSO<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O e (NH<sub>4</sub>)<sub>6</sub>Mo<sub>7</sub>O<sub>24</sub>.4H<sub>2</sub>O. O ferro foi adicionado na forma de Fe-EDTA, preparado com Na-EDTA e FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O, e, o fósforo, na de KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, nas doses de 1, 2, 4 e 8 ppm, ou seja, 2,8; 5,6; 11,2 e 22,4mg P/vaso.

O pH inicial da solução foi ajustado para 5,0 ± 0,1. A solução, continuamente arejada durante o decorrer do experimento, não foi renovada. O volume do vaso foi completado diariamente com água destilada.

O experimento consistiu em blocos casualizados, com quatro repetições, totalizando 96 vasos, sendo conduzido em casa de vegetação cujas condições, durante o período de crescimento das plantas, foram: média das temperaturas máximas = 32 ± 4°C; média das temperaturas mínimas = 16 ± 1°C.

As plantas foram colhidas com 33 dias de idade (25 dias em tratamento), lavadas em água destilada e separadas em folhas, caules mais bainhas, e raízes, anotando-se o número de folhas e a altura das plantas. A seguir, foram secas em estufa, a 70°C, pesadas (peso da matéria seca), moídas e submetidas à análise química de P, pelo método do vanado-molibdato de amônio, descrito por BATAGLIA et alii (1983).

## 2.2. Seleção de quarenta linhagens de milho quanto ao crescimento, absorção e utilização de P, em solução nutritiva com baixo nível do nutriente

O ensaio foi conduzido, utilizando-se o mesmo sistema descrito no anterior, com apenas um nível de P: 6,0mg/vaso ou 2,1 ppm, e consistiu em blocos casualizados, com quatro repetições, totalizando 160 vasos, com duas plantas por vaso.

As condições na casa de vegetação, durante o período de crescimento das plantas, foram: média das temperaturas máximas = 35 ± 5°C; média das temperaturas mínimas = 23 ± 5°C.

As plantas foram colhidas com 27 dias de idade (20 dias em solução nutritiva), lavadas em água destilada e separadas em folhas, caules mais bainhas, e raízes. Anotaram-se os sintomas visuais de deficiência de P, atribuindo-se graus ou notas às plantas, de acordo com a severidade dos sintomas: grau 0 = nenhum sintoma; grau 4 = sintomas severos, e determinaram-se os pesos da matéria seca das suas três partes, que foram moídas e submetidas à análise química de P.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o período de crescimento das plantas, o pH da solução nutritiva decresceu de 5,0 para cerca de 4,0 ( $3,9 \pm 0,3$ ), e permaneceu em volta desse valor até o final dos experimentos. Isso já foi observado em outros trabalhos desenvolvidos em solução nutritiva, com sorgo e arroz, em que foi utilizada a mesma composição de solução (FURLANI, 1981; FURLANI et alii, 1983; FURLANI & CLARK, 1981).

A principal causa da variação do pH tem sido atribuída à presença de  $\text{NH}_4^+$  e  $\text{NO}_3^-$  como fontes de N na solução nutritiva. Elas podem elevar ou abaixar o pH (BERNARDO et alii, 1982; CLARK, 1982; CLARK & BROWN, 1974; FLEMING, 1983) em consequência da liberação de íons  $\text{H}^+$  e  $\text{OH}^-$  ou  $\text{HCO}_3^-$  pelas plantas num sistema de troca em resposta ao crescimento e metabolismo (HIATT & LEGGETT, 1974). O pH aumenta para 7-8 em soluções contendo apenas  $\text{NO}_3^-$  como fonte de N, e diminui para cerca de 4, em soluções contendo  $\text{NH}_4^+$ . Entretanto, pode também aumentar se a proporção de  $\text{NH}_4^+$  em relação ao  $\text{NO}_3^-$  for muito baixa (BERNARDO et alii, 1982; CLARK, 1982; FLEMING, 1983), ou quando o  $\text{NH}_4^+$  desaparece da solução restando apenas  $\text{NO}_3^-$  (BERNARDO et alii, 1982): nessas condições, ele aumenta rapidamente, provocando deficiência de ferro nas plantas. Esse é um problema comum em plantas crescidas em solução nutritiva.

Nas soluções dos experimentos relatados neste trabalho, foram adicionadas ambas as formas de N, na proporção aproximada de sete partes de  $\text{NO}_3^-$  para uma de  $\text{NH}_4^+$ , dispensando assim o reajuste do pH, que foi registrado apenas três vezes por semana. O crescimento e desenvolvimento das raízes foi normal dentro da faixa de pH observada nos ensaios (de 5,0 a  $3,9 \pm 0,3$ ), sem vestígios de danos devidos à acidez da solução.

#### 3.1. Ensaio com seis linhagens de milho, em solução nutritiva, com níveis variados de fósforo

Os resultados obtidos no ensaio com doses crescentes de P em solução nutritiva são apresentados nos quadros 1, 2 e 3 e figuras 1, 2 e 3, nos quais estão descritas as linhagens utilizadas. De modo geral, houve resposta na produção de matéria seca da parte aérea, das raízes e total, até o nível de 4 ppm de P na solução nutritiva, para todas as linhagens. Aquelas de números 3, 16 e 32 mostraram ainda incrementos de matéria seca total bastante significativos para o nível de 8 ppm de P, porém o mesmo não aconteceu para as linhagens 18, 27 e 34 (Figura 1).

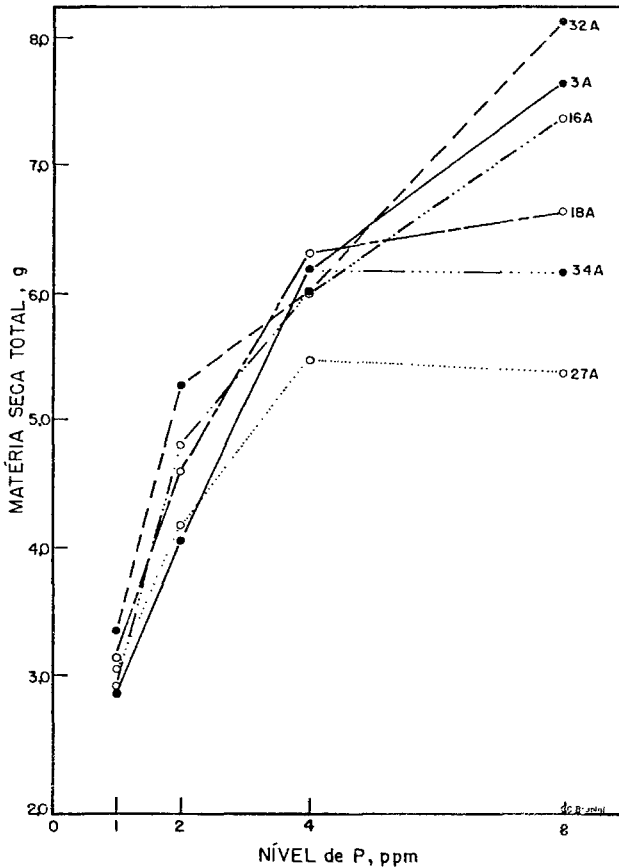


FIGURA 1 – Matéria seca total produzida por seis linhagens de milho cultivadas em solução nutritiva com doses crescentes de P, durante 25 dias.

No nível mais elevado de P, as linhagens que apresentaram menor acúmulo de matéria seca total – 18, 27 e 34 – mostraram crescimento reduzido do sistema radicular (Quadro 1), enquanto para as linhagens 3 e 32 houve sensível aumento no peso da matéria seca das raízes. Aquelas linhagens apresentaram, também, um aumento nas concentrações de P em todas as partes da planta, principalmente as de número 27 e 34 (Quadro 2).

É difícil afirmar, entretanto, se o acúmulo foi consequência do menor crescimento das plantas ou se este foi inibido pelo acúmulo excessivo de P nos tecidos, pela incapacidade de tais linhagens em utilizar o nutriente para

QUADRO 1 – Matéria seca produzida por plantas de seis linhagens de milho, cultivadas durante 25 dias em solução nutritiva com níveis crescentes de fósforo (duas plantas/vaso de 2,8 litros, quatro repetições)

Níveis de P	Linhagens ( <sup>1</sup> )					
	3	16	18	27	32	34
ppm	grama/duas plantas					
	Matéria seca da parte aérea					
1	1,735	1,973	1,913	1,989	2,133	2,061
2	2,630	3,331	3,038	3,050	3,508	3,451
4	4,355	4,433	4,611	4,354	4,242	4,753
8	5,573	5,800	4,952	4,410	5,913	4,789
	Matéria seca das raízes					
1	1,209	0,976	1,225	1,062	1,241	1,058
2	1,443	1,513	1,553	1,124	1,772	1,223
4	1,855	1,582	1,715	1,210	1,777	1,430
8	2,072	1,581	1,696	0,925	2,219	1,358
	Matéria seca total					
1	2,944	2,949	3,138	3,051	3,374	3,119
2	4,048	4,844	4,591	4,174	5,279	4,666
4	6,209	6,015	6,513	5,564	6,019	6,189
8	7,645	7,381	6,648	5,348	8,132	6,147

(<sup>1</sup>) 3 = Ip 701.1.1.; 16 = V 2017 Cuban Dent.; 18 = 490; 27 = 820; 32 = 10.20.3.1; 34 = 10.40.1.

produção de matéria seca. No quadro 3, pode-se observar que a linhagem 32, por exemplo, absorveu uma quantidade bastante elevada de P, mas teve um crescimento maior, mostrando um índice de relação de eficiência bem mais elevado do que o da 34, para o nível de 8 ppm de P.

O principal objetivo deste experimento foi definir um nível de P na solução nutritiva, adequado para diferenciar as linhagens quanto à eficiência na absorção e utilização do P, em condições de baixa concentração do nutriente.

QUADRO 2 – Teores de P na matéria seca das plantas de seis linhagens de milho cultivadas durante 25 dias em solução nutritiva, com níveis variados de P (duas plantas/vaso de 2,8 litros, quatro repetições)

Níveis de P	Linhagens ( <sup>1</sup> )					
	3	16	18	27	32	34
ppm	%					
	P em folhas					
1	0,107	0,107	0,117	0,102	0,104	0,097
2	0,158	0,119	0,127	0,138	0,105	0,121
4	0,178	0,186	0,157	0,197	0,158	0,178
8	0,287	0,267	0,318	0,406	0,272	0,380
	P em caules e bainhas					
1	0,151	0,176	0,148	0,129	0,135	0,128
2	0,166	0,153	0,152	0,139	0,118	0,128
4	0,198	0,180	0,182	0,185	0,176	0,186
8	0,316	0,303	0,309	0,381	0,294	0,362
	P nas raízes					
1	0,107	0,143	0,132	0,132	0,142	0,139
2	0,144	0,171	0,155	0,174	0,161	0,193
4	0,204	0,201	0,184	0,214	0,227	0,218
8	0,252	0,278	0,257	0,361	0,274	0,395

(<sup>1</sup>) 3 = Ip 701.1.1.; 16 = V 2017 Cuban Dent.; 18 = 490; 27 = 820; 32 = 10.20.3.1; 34 = 10.40.1.

No nível de 8 ppm de P, houve uma diferenciação marcante entre as linhagens estudadas, mas com efeito já depressivo sobre algumas delas. Por isso, considerou-se importante observar o comportamento dessas linhagens nos níveis mais baixos.

A figura 1 mostra que, na concentração de 2 ppm de P na solução nutritiva, houve uma separação bastante razoável das linhagens, em termos de produção de matéria seca total. No nível mais baixo (1 ppm), tal separação foi menor.



**QUADRO 3** – Conteúdo total de P e matéria seca produzida por unidade de fósforo absorvido (relação de eficiência), de seis linhagens de milho cultivadas durante 25 dias em solução nutritiva com níveis crescentes de fósforo (duas plantas/vaso de 2,8 litros, quatro repetições)

Níveis de P	Linhagens ( <sup>1</sup> )					
	3	16	18	27	32	34
ppm	Conteúdo de P (mg/duas plantas)					
1	3,362	3,640	4,087	3,627	4,139	3,704
2	6,124	6,941	6,522	6,120	6,648	6,616
4	11,701	10,694	11,000	10,919	10,777	11,550
8	20,968	20,475	19,826	20,668	22,230	22,370
	Matéria seca por unidade de P (mg/mg)					
1	876	814	776	841	823	842
2	672	698	708	680	795	707
4	532	562	593	511	557	533
8	364	360	336	258	369	275

(<sup>1</sup>) 3 = Ip 701.1.1.; 16 = V 2017 Cuban Dent.; 18 = 490; 27 = 820; 32 = 10.20.3.1; 34 = 10.40.1.

No quadro 1, na concentração de 2 ppm de P, observa-se que a linhagem 32 destacou-se bastante tanto na produção de matéria seca total como na matéria seca das raízes, em comparação com as linhagens 3 e 27.

Com base no critério de produção de matéria seca total pela planta, o nível de 2 ppm de P na solução mostrou-se o mais indicado para a separação do material. Outras características avaliadas, como o número de folhas e altura das plantas (Figuras 2 e 3), não foram adequadas para essa diferenciação.

### 3.2. Seleção de quarenta linhagens de milho, quanto ao crescimento, absorção e utilização do P, em solução nutritiva, com baixo nível de P

No experimento seguinte, procurou-se testar num nível de P igual a 2,1 ppm (6mg de P por vaso de 2,8 litros), o comportamento de quarenta linhagens de milho provenientes da Seção de Genética do Instituto Agrônomico (Figura 4), as quais estão descritas nos quadros 4, 5 e 6.

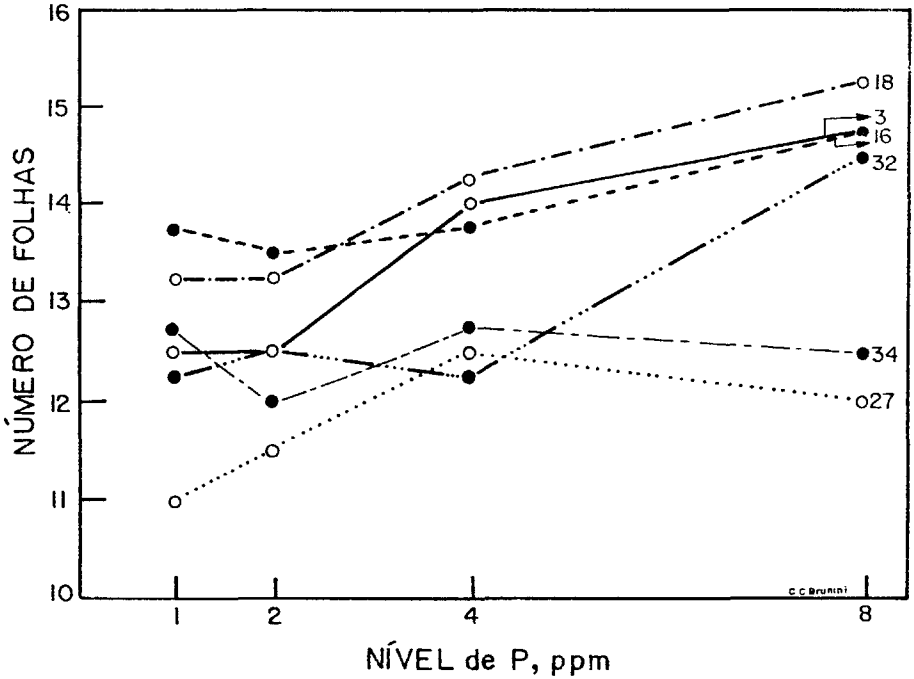


FIGURA 2 – Número de folhas de seis linhagens de milho cultivadas em solução nutritiva com doses crescentes de P, durante 25 dias.

No quadro 4 encontram-se os dados em ordem crescente de produção de matéria seca total. A análise de variância revelou diferenças significativas entre os genótipos ( $\alpha = 0,01$ ), com amplitudes de variação de 2,86 a 4,94g de matéria seca da parte aérea, de 1,19 a 2,63g de matéria seca das raízes, e de 4,46 a 7,40g de matéria seca total. As raízes mostraram maior variabilidade na produção de matéria seca, expressa pelo coeficiente de variação das médias.

Embora existam diferenças relativamente amplas de produção de matéria seca total pelas plantas, a diferenciação do material pelo teste de Tukey ( $P = 0,05$ ) foi inadequada em razão do rigor do teste quando há um número elevado de médias para comparar. Em vista disso, considerou-se mais lógica a classificação do material com base na utilização do intervalo de confiança para a média das linhagens estudadas, com 99,9% de probabilidade, numa distribuição t:

$$\bar{x} \pm t(0,001;39).s(\bar{x}).$$

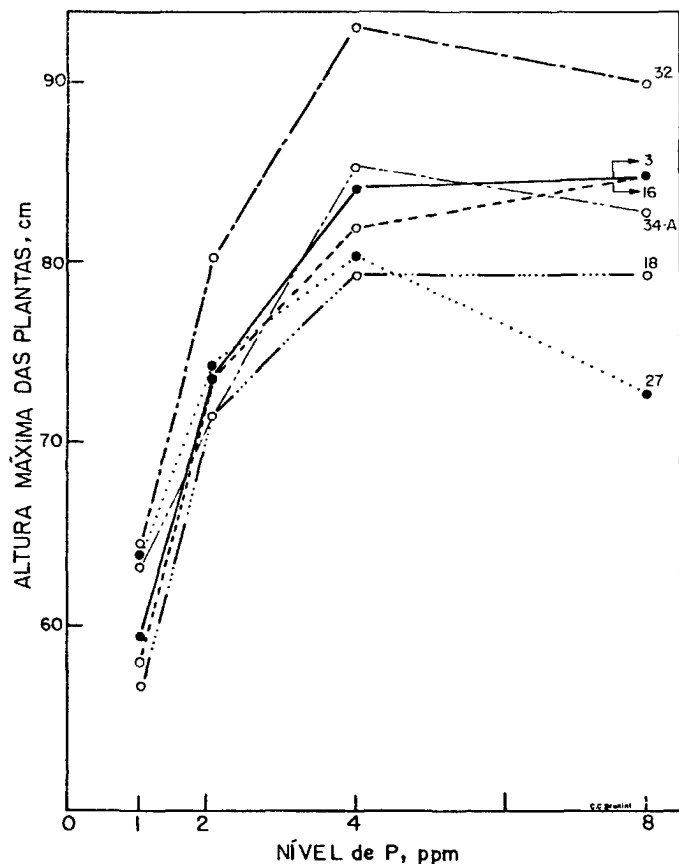


FIGURA 3 — Altura máxima das plantas de seis linhagens de milho cultivadas em solução nutritiva com doses crescentes de P, durante 25 dias.

As linhagens cujas produções de matéria seca total ficaram abaixo do intervalo de confiança (5,28 a 6,04) foram classificadas como ineficientes (I), acima do intervalo, como eficientes (E) e, dentro do intervalo, como medianamente eficientes (ME). De modo geral, a maior produção de matéria seca total pelas plantas das linhagens eficientes foi consequência de maior crescimento tanto da parte aérea como das raízes (Quadro 4).

A variação na concentração de fósforo nas diversas partes da planta foi relativamente pequena e não mostrou nenhuma tendência em relação à ordem crescente de produção de matéria seca, conforme foram listadas as linhagens (Quadro 5).



FIGURA 4 – Aspecto das quarenta linhagens de milho cultivadas em solução nutritiva em vasos de 2,8 litros, com 6,0mg P/vaso, aos 27 dias de idade.

QUADRO 4 – Matéria seca produzida por 40 linhagens de milho cultivadas até aos 27 dias de idade, em solução nutritiva com 6,0mg P/vaso (duas plantas/vaso de 2,8 litros, quatro repetições)

Nº	Linhagens Código	Matéria seca produzida (1)			Classificação
		Parte aérea	Raízes	Total	
		grama/duas plantas			
26	745	3,27a-c	1,19a	4,46a	I
31	10.19.1.1	3,34a-d	1,29ab	4,62ab	I
4	Ip 48.5.3	3,11ab	1,54a-d	4,64ab	I
27	820	3,28a-c	1,51a-c	4,79ac	I
3	Ip 701.1.1	2,86a	1,94b-e	4,81a-c	I
30	10.13.1.1	3,25a-c	1,73a-f	4,97a-d	I
28	10.8.2.1	3,22a-c	1,90b-h	5,12a-d	I
1	Porto Rico 70.D.2	3,32a-d	1,81a-g	5,13a-d	I
6	Ip 837.1.1.1	3,42a-d	1,74a-f	5,17a-d	I
40	11.23.3.1	3,38a-d	1,81a-g	5,20a-d	I
11	Pm 624.2.1	3,29a-c	1,96b-e	5,25a-e	I
24	535.2	3,42a-d	1,88b-h	5,29a-e	ME
36	11.19.3.3	3,49a-d	1,81a-g	5,30a-e	ME
10	Ip 421.2.1.1	3,29a-c	2,05c-i	5,34a-e	ME
18	490	3,30a-c	2,06c-i	5,36a-e	ME
44	723.4	3,42a-d	1,98c-i	5,40a-f	ME
23	532	3,83a-e	1,66a-e	5,49a-f	ME
32	10.20.3.1	3,33a-d	2,18c-i	5,51a-f	ME
5	Ip 365.4.1	3,69a-e	1,82a-g	5,51a-f	ME
16	V 2017 Cuban Dent.	3,85b-e	1,71a-f	5,56a-g	ME
33	10.36.1	3,98b-g	1,59a-e	5,57a-g	ME
15	T.8xAsteca 10.10.1.2.12	3,45a-e	2,18c-i	5,63a-g	ME
14	Viç 32.3.30.V.6	3,57a-d	2,08c-i	5,65a-g	ME
12	IA 2876.3.1.2.3	3,76a-e	1,97b-i	5,73a-g	ME
2	SLP 103.3.2	3,51a-d	2,24e-i	5,75a-g	ME
13	IA 2992.1.1.2.3	3,57a-d	2,22d-i	5,79a-g	ME
37	11.21.1.1	4,27d-g	1,54a-d	5,81a-g	ME
38	11.21.5.1	3,89b-e	1,94b-h	5,83a-g	ME
20	519	3,96b-f	1,88b-h	5,84a-g	ME
29	10.11.1.1	3,86b-e	2,12c-i	5,98b-h	ME
21	137	4,17c-g	1,92b-h	6,03b-h	ME
7	Ip 321	3,90b-e	2,19c-i	6,09b-h	E
41	11.24.1.1	3,84a-e	2,37f-i	6,20c-h	E
39	11.22.2.3	4,08c-g	2,24e-i	6,32d-h	E
43	124.3.15.1	3,86b-e	2,55h-i	6,41d-h	E
25	641.2	4,17c-g	2,54h-i	6,71e-h	E
35	11.1.3.1	4,89fg	1,95b-i	6,84f-h	E
42	11.30.1.1	4,29d-g	2,63i	6,92f-h	E
22	531	4,56e-g	2,44g-i	7,00g-h	E
34	10.40.1	4,94g	2,46g-i	7,40h	E
	CV %	12,7	16,9	12,0	
	Amplitude de variação	2,86-4,94	1,19-2,63	4,46-7,40	
	Intervalo de confiança (2)			5,66 ± 0,38	

(1) Médias seguidas de letras iguais não diferem pelo teste de Tukey (0,05); teste F significativo (0,01) para diferenças entre linhagens. (2) Intervalo de confiança para a média, calculado com 99,9% de probabilidade, numa distribuição t:  $\bar{x} \pm t(0,001; 39).s(\bar{x})$ .

QUADRO 5 — Teores de P na matéria seca de plantas de 40 linhagens de milho cultivadas até aos 27 dias de idade, em solução nutritiva com 6,0mg P/vaso (duas plantas/vaso de 2,8 litros, quatro repetições)

Linhagens		Teor de P (%) <sup>(1)</sup>		
Nº	Código	Folhas	Colmos + Bainhas	Raízes
26	745	0,089	0,123	0,096
31	10.19.1.1	0,083	0,115	0,122
4	Ip 48.5.3	0,090	0,134	0,096
27	820	0,082	0,100	0,089
3	Ip 701.1.1	0,104	0,126	0,079
30	10.13.1.1	0,086	0,092	0,089
28	10.8.2.1	0,086	0,114	0,115
1	Porto Rico 70.D.2	0,078	0,114	0,095
6	Ip 837.1.1.1	0,086	0,115	0,089
40	11.23.3.1	0,075	0,121	0,117
11	Pm 624.2.1	0,095	0,092	0,092
24	535.2	0,100	0,103	0,100
36	11.19.3.3	0,090	0,116	0,105
10	Ip 421.2.1.1	0,082	0,125	0,091
18	490	0,075	0,116	0,094
44	723.4	0,089	0,114	0,099
23	532	0,081	0,107	0,093
32	10.20.3.1	0,101	0,111	0,093
5	Ip 365.4.1	0,091	0,112	0,091
16	V 2017 Cuban Dent.	0,074	0,129	0,106
33	10.36.1	0,086	0,109	0,105
15	T.8xAsteca 10.10.1.2.12	0,080	0,103	0,098
14	Viç 32.3.30.V.6	0,101	0,100	0,096
12	IA 2876.3.1.2.3	0,084	0,111	0,104
2	SLP 103.3.2	0,092	0,115	0,090
13	IA 2992.1.1.2.3	0,089	0,104	0,093
37	11.21.1.1	0,090	0,104	0,157
38	11.21.5.1	0,069	0,107	0,119
20	519	0,085	0,115	0,083
29	10.11.1.1	0,097	0,100	0,099
21	137	0,077	0,104	0,083
7	Ip 321	0,099	0,114	0,104
41	11.24.1.1	0,094	0,112	0,081
39	11.22.2.3	0,096	0,106	0,097
43	124.3.15.1	0,072	0,106	0,095
25	641.2	0,089	0,103	0,080
35	11.1.3.1	0,078	0,094	0,095
42	11.30.1.1	0,104	0,105	0,094
22	531	0,079	0,092	0,079
34	10.40.1	0,080	0,083	0,076
	Amplitude de variação	0,069-0,104	0,083-0,129	0,076-0,157

(<sup>1</sup>) Teste F (0,01) significativo para diferenças entre linhagens.

QUADRO 6 — Conteúdo total de P, relação parte aérea/raízes do conteúdo de P, relação de eficiência e grau de deficiência de P de 40 linhagens cultivadas até aos 27 dias de idade, em solução nutritiva com 6,0mg P/vaso de 2,8 litros (duas plantas/vaso, quatro repetições)

Nº	Linhagens Código	Conteúdo P		Relação de eficiência (1)	Grau de deficiência de P (2)
		Parte aérea/ raízes	Total (1)		
		mg P/mg P	mg P	mg MS/mg P	
26	745	2,99	4,56ab	983a-c	2,0
31	10.19.1.1	2,04	4,89a-d	956ab	3,0
4	Ip 48.5.3	2,27	4,91a-d	956ab	1,0
27	820	2,06	4,41a	1100b-e	1,5
3	Ip 701.1.1	2,13	4,80a-c	1002a-e	2,5
30	10.13.1.1	1,84	4,42ab	1125b-f	1,5
28	10.8.2.1	1,41	5,30a-d	965a-c	1,2
1	Porto Rico 70.D.2	1,80	4,78a-c	1082a-f	3,0
6	Ip 837.1.1.1	2,15	4,93a-d	979a-c	0,0
40	11.23.3.1	1,54	5,30a-d	977a-c	2,5
11	Pm 624.2.1	1,73	4,91a-d	1070a-f	0,8
24	535.2	1,82	5,34a-e	993a-d	2,2
36	11.19.3.3	1,84	5,33a-e	998a-d	2,0
10	Ip 421.2.1.1	1,75	5,05a-d	1065a-f	2,7
18	490	1,54	4,98a-d	1076a-f	1,5
44	723.4	1,71	5,35a-e	1011a-d	3,2
23	532	2,30	5,09a-d	1076a-f	1,2
32	10.20.3.1	1,74	5,48a-e	1013a-d	3,0
5	Ip 365.4.1	2,17	5,30a-d	1038a-e	3,9
16	V 2017 Cuban Dent.	1,99	5,50a-e	1013a-d	2,7
33	10.36.1	2,32	5,44a-e	1029a-d	2,8
15	T.8xAsteca 10.10.1.2.12	1,43	5,24a-d	1095b-f	3,0
14	Viç 32.3.30.V.6	1,80	5,61a-e	1007a-d	2,3
12	IA 2876.3.1.2.3	1,83	5,62a-e	1023a-d	3,8
2	SLP 103.3.2	1,81	5,59a-e	1024a-d	2,2
13	IA 2992.1.1.2.3	1,66	5,44a-e	1065a-f	4,0
37	11.21.1.1	1,66	6,51de	907a	2,2
38	11.21.5.1	1,42	5,58a-e	1051a-e	3,0
20	519	2,45	5,42a-e	1082a-f	2,0
29	10.11.1.1	1,80	5,91a-e	1013a-d	2,0
21	137	2,27	5,20a-d	1168d-f	1,3
7	Ip 321	1,94	6,08b-e	1001a-d	3,0
41	11.24.1.1	2,06	5,80a-e	1079a-f	0,5
39	11.22.2.3	1,90	6,26c-e	1010a-d	1,8
43	124.3.15.1	1,37	5,75a-e	1117b-f	1,8
25	641.2	1,91	5,98a-e	1136c-f	1,3
35	11.1.3.1	2,24	6,04a-e	1064a-f	1,2
42	11.30.1.1	1,78	6,98e	994a-d	1,2
22	531	2,00	5,78a-e	1209ef	2,5
34	10.40.1	2,08	6,02a-e	1235f	3,5
	CV %		10,1	6,6	
	Amplitude de variação		4,41-6,98	907-1235	

(1) Médias seguidas de letras iguais não diferem pelo teste de Tukey (0,05); teste F significativo (0,05) para diferenças entre linhagens. (2) 0 = nenhuma; 4 = severa.

O conteúdo total de P nas plantas — Quadro 6 — de tendência bastante semelhante à produção de matéria seca total, mostrou que houve diferença nas capacidades de absorção de P entre as linhagens estudadas, com uma amplitude de variação de 4,41 a 6,98mg P e com um coeficiente de variação de 10,1%. O índice de relação de eficiência foi pouco variável, não tendo havido, praticamente, diferenças entre as médias das plantas eficientes, medianamente eficientes e ineficientes. Isso indica que a utilização de P nos tecidos não foi o processo limitante do crescimento das plantas.

Para as linhagens de milho estudadas, portanto, as variações observadas na produção de matéria seca total (raízes e parte aérea), em condições de baixo nível de P na solução de crescimento, foram muito mais consequência do processo diferencial de absorção de P pelas plantas, do que do processo de utilização do P dentro dos tecidos.

Ainda no quadro 6, encontram-se os graus de deficiência de P, atribuídos a cada linhagem de acordo com os sintomas visuais observados: amarelamento das folhas mais velhas, com áreas necróticas e, em fase mais adiantada, sua morte precoce. Algumas linhagens mostraram a característica de arroxamento das bordas das folhas mais velhas e da base dos colmos. Entre as linhagens eficientes, algumas apresentaram baixo grau de deficiência, tendo ocorrido também o inverso: plantas com pequeno desenvolvimento e com alto grau de deficiência, o que é bastante interessante do ponto de vista de seleção para melhoramento. Geralmente se atribui um alto grau de deficiência do material eficiente à diluição sofrida pelo nutriente, devido ao maior desenvolvimento da planta. Esse efeito foi observado por FURLANI et alii (1983) em plantas de arroz, consideradas mais eficientes e que apresentaram maior grau de deficiência.

#### 4. CONCLUSÕES

1. A técnica em solução nutritiva, utilizada para crescimento de linhagens de milho, permitiu diferenciar o material quanto à eficiência na absorção de P.

2. Mediante o experimento com níveis crescentes de P em solução, definiram-se as condições e parâmetros mais adequados para a seleção de linhagens de milho capazes de desenvolver em baixos níveis do nutriente.

3. No ensaio com 40 linhagens de milho, cultivadas em solução nutritiva, com 6,0mg de P/vaso de 2,8 litros, foram selecionadas 11 linhagens ineficientes, 20 medianamente eficientes e 9 eficientes, considerando a produção de matéria seca de parte aérea e de raízes e a absorção de P (conteúdo total) como características de avaliação.



## SUMMARY

EFFICIENCY OF CORN INBRED LINES IN PHOSPHORUS UPTAKE AND USE  
IN NUTRIENT SOLUTIONS

A methodology was defined, using nutrient solution as growth medium, to evaluate and select more efficient corn (*Zea mays* L.) inbred lines in regard to P uptake and use, under low P conditions. Plants of 40 corn inbred lines were allowed to grow in nutrient solutions for 20 days, with 6.0 mg P/2.8 liters and continuous aeration, without renewing the solution until P-deficiency symptoms appeared. Differential top and root growth was observed among inbred lines. Plants differed with respect to dry matter weight, plant height, total P content and dry matter produced per unit P absorbed (efficiency ratios). The variation found for whole plant P content followed, proportionally, the variation observed for dry matter weight. The relationship between plant growth and efficiency ratio was less evident, indicating that differences in dry matter weight were mostly due to the differential P uptake rather than to the P use mechanism. The genetic materials were then classified based on the total dry matter weight means, which were fitted by a Student's t distribution. The confidence interval for this distribution, calculated with 99.9% probability, allowed to separate 9 P-efficient inbred lines (total dry weight above 6.04 g), 11 P-inefficient inbred lines (total dry weight below 5.28 g) and 20 intermediary lines (total dry weight between 5.28 and 6.04 g).

**Index terms:** phosphorus; corn; P uptake efficiency; inbred line selection; P utilization efficiency; nutrient solution.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAKER, D.E.; JARREL, A.E.; MARSHALL, L.E. & THOMAS, N.I. Phosphorus uptake from soils by corn hybrids selected for high and low phosphorus accumulation. *Agronomy Journal*, Madison, 62:103-106, 1970.
- BATAGLIA, O.C.; FURLANI, A.M.C.; TEIXEIRA, J.P.F.; FURLANI, P.R. & GALLO, J.R. Análise química de plantas. Campinas, Instituto Agrônomo, 1983. 31p. (Boletim Técnico, 78)
- BERNARDO, L.M.; CLARK, R.B. & MARANVILLE, J.W. Effect of nitrate/ammonium ratios on nutrient solution pH, nitrogen uptake, and dry-matter yields of sorghum. *Agronomy Abstracts*, p. 92, 1982.
- CLARK, R.B. Nutrient solution growth of sorghum and corn in mineral nutrition studies. *Journal of Plant Nutrition*, 5:1039-1057, 1982.
- \_\_\_\_\_ & BROWN, J.C. Differential mineral uptake by maize inbreds. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 5:213-227, 1974.

- CLARK, R.B.; BROWN, J.C. & GORZ, J.J. Phosphorus efficiency of sorghum grown with limited phosphorus. In: INTERNATIONAL COLLOQUIUM IN PLANT ANALYSIS AND FERTILIZER PROBLEMS, 8., Auckland, New Zealand, 1978, edited by A.R. Ferguson; R.L. Bielese & I.B. Ferguson – Proceedings. p.93-99.
- ; MARANVILLE, J.W. & ROSS, W.M. Differential phosphorus efficiency in sorghum. In: GRAIN SORGHUM RESEARCH UTILIZATION CONFERENCE, 10., Wichita, KS, 1977. Proceedings. p.1-2.
- FLEMING, A.L. Ammonium uptake by wheat varieties differing in Al tolerance. *Agronomy Journal*, Madison, 75:726-730, 1983.
- FOX, R.H. Selection for phosphorus efficiency in corn. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 9(1): 13-37, 1978.
- FURLANI, A.M.C. Differences in phosphorus uptake, distribution, and use by sorghum genotypes grown with low phosphorus. Lincoln, University of Nebraska, 1981. 103p. Tese. (PhD)
- FURLANI, A.M.C.; BATAGLIA, O.C.; FURLANI, P.R.; AZZINI, L.E. & CAMARGO, O.B.A. Avaliação de genótipos de arroz quanto à eficiência na utilização de fósforo em solução nutritiva e em solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 7(3):291-303, 1983
- FURLANI, P.R. & CLARK, R.B. Screening sorghum for aluminum tolerance in nutrient solutions. *Agronomy Journal*, Madison, 73:587-594, 1981.
- GABELMAN, W.H. Genetic potentials in nitrogen, phosphorus and potassium efficiencies. In: WORKSHOP ON PLANT ADAPTATION TO MINERAL STRESS IN PROBLEM SOILS, Beltsville, Maryland, 1976, edited by Madison J. Wright – Proceedings. Ithaca, Cornell University, 1976. p.205-212.
- GERLOFF, G.C. Plant efficiencies in the use of nitrogen, phosphorus and potassium. In: WORKSHOP ON PLANT ADAPTATION TO MINERAL STRESS IN PROBLEM SOILS, Beltsville, Maryland, 1976, edited by Madison J. Wright – Proceedings. Ithaca, Cornell University, 1976. p.161-173.
- HIATT, A.J. & LEGGETT, L.E. Ionic interactions and antagonisms in plants. In: CARLSON, E.W., ed. *The plant root and its environment*. Virginia, Charlottesville, V.A., University Press, 1974. p.101-134.
- LINDGREN, D.T.; GABELMAN, W.H. & GERLOFF, G.C. Variability of phosphorus uptake and translocation in *Phaseolus vulgaris* L. under phosphorus stress. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 102(5):674-677, 1977.

- NIELSEN, N.E. & BARBER, S.A. Differences among genotypes of corn in the kinetics of P uptake. *Agronomy Journal*, Madison, **70**(5):695-698, 1978.
- SCHENK, M.K. & \_\_\_\_\_ Phosphate uptake by corn as affected by soil characteristics and root morphology. *Soil Science Society of America Journal*, **43**(4): 880-883, 1979.
- WHITEAKER, G.; GERLOFF, G.C.; GABELMAN, W.H. & LINDGREN, D. Intraspecific differences in growth of beans at stress levels of phosphorus. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, **101**:472-475, 1976.