

# VI. FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS

## VARIABILIDADE ENTRE GENÓTIPOS DE MILHO PARA EFICIÊNCIA NO USO DE FÓSFORO <sup>(1)</sup>

CYNTHIA TORRES DE TOLEDO MACHADO <sup>(2)</sup>, JOSÉ GUILHERME MARINHO GUERRA <sup>(3)</sup>,  
DEJAIR LOPES DE ALMEIDA <sup>(3)</sup> & ALTAIR TOLEDO MACHADO <sup>(3)</sup>

### RESUMO

A detecção e exploração da variabilidade genética em milho para eficiência a fósforo (P) se apresenta como uma das estratégias viáveis para contornar o problema da falta desse elemento nas regiões tropicais e subtropicais. Para verificar a existência de diferenças entre genótipos de milho quanto à utilização de P e produção de grãos em diferentes níveis de adubação fosfatada, realizaram-se dois experimentos. No primeiro, avaliaram-se dezoito genótipos (dez variedades locais, seis melhoradas e dois híbridos), em casa de vegetação, cultivados sob duas doses de P, 10 e 100 mg.kg<sup>-1</sup> de solo. No segundo, cinco variedades locais, uma melhorada e um híbrido, em campo, sob doses crescentes de P (0; 8,7; 17,5; 35; 70 e 140 kg.ha<sup>-1</sup> de P). Detectou-se a variabilidade genética para uso de P em casa de vegetação, destacando-se, pelos mais elevados índices de eficiência, as variedades locais Argentino, Amarelão, Caiano de Sobrália, Asteca, Quarentão e Caiano de Alegre; as variedades melhoradas BR 106 e BR 107 e o híbrido comercial P 6875. Sob condições de campo, observou-se efeito da adubação fosfatada na produção e no conteúdo de P nos grãos. Os materiais apresentaram diferentes níveis de resposta às doses de P, caracterizando-se as variedades locais Cravinho e Carioca e o híbrido P 6875 como os mais responsivos e de produção de grãos mais elevada na ausência de adubação fosfatada. As variedades Nitroflint (melhorada) e Catetão (local) apresentaram as menores respostas à adição de P e os menores rendimentos quando o nutriente não foi aplicado.

**Termos de indexação:** nutrição fosfatada, variabilidade genética, variedades locais, *Zea mays*.

---

<sup>(1)</sup> Extraído da Tese apresentada à Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ) pelo primeiro autor para obtenção do grau de M.S. em Agronomia. Projeto financiado pelo CNPq e pela EMBRAPA. Recebido para publicação em 18 de maio e aceito em 21 de outubro de 1998.

<sup>(2)</sup> Departamento de Solos, UFRRJ, BR 465, km 47, 23851-970 Seropédica (RJ).

<sup>(3)</sup> Centro Nacional de Pesquisa de Agrobiologia (CNPAB), EMBRAPA, Caixa Postal 74505, BR 465, km 47, 23851-970 Seropédica (RJ).

## ABSTRACT

### VARIABILITY AMONG MAIZE GENOTYPES TO PHOSPHORUS EFFICIENCY USE

Exploiting genetic variability in maize for phosphorus (P) efficiency is one of the viable strategies to turn around the element deficiency in tropical and subtropical regions. In order to verify differences among maize genotypes on phosphorus utilization and grain yield, two experiments were conducted. First, eighteen corn genotypes (ten local varieties, six improved varieties, and two hybrids) were evaluated in two soil P levels (10 and 100 mg.kg<sup>-1</sup> de P), under greenhouse conditions. The second experiment, five local varieties and one improved variety, and one hybrid were evaluated under field conditions at crescent levels of P fertilization (0; 8.7; 17.5; 35; 70, and 140 kg.ha<sup>-1</sup> de P). Genetic variability was detected for P efficiency at greenhouse conditions. The local varieties (Argentino, Amarelão, Caiano de Sobrália, Asteca, Quarentão and Caiano de Alegre), the improved ones (BR 106 and BR 107), and the hybrid P 6875 were the genotypes with the highest efficiency indexes. Under field conditions, the effects of P addition in grain production and P content in the grains were observed. The genotypes exhibited different levels in response to increased nutrient availability. The local varieties Cravinho and Carioca, and the hybrid P 6875 were the most responsive, besides presenting the highest grain yield in the absence of P fertilization. Nitroflint (improved variety) and Catetão (local variety) presented the lower response to P addition and the lower grain yield without P addition.

**Index terms:** phosphorus nutrition, genetic variability, local varieties, *Zea mays*.

## 1. INTRODUÇÃO

A diversidade inter e intra-específica para a absorção, translocação, distribuição e uso de fósforo já foi observada para grande parte das culturas, entre as quais o milho (Baker et al., 1970; Clark & Brown, 1974a,b; Clark, 1975; Fox, 1978; Schenk & Barber, 1980; Furlani et al., 1985; Alves et al., 1988; Walker & Raines, 1988; Silva & Gabelman, 1993; Silva et al., 1993). A variabilidade genética representada por todo o germoplasma de milho hoje disponível é imensa, sendo grandes os progressos alcançados mediante o melhoramento genético da cultura, com o desenvolvimento de materiais adaptados às condições adversas de clima e de solo (Machado & Magnavaca, 1991).

A detecção e possibilidade de exploração e de uso das diferenças genotípicas em milho para a eficiência a fósforo se apresenta como uma das estraté-

gias viáveis para contornar o problema da falta desse elemento nas regiões tropicais e subtropicais, consequência dos teores naturalmente baixos e da alta capacidade de fixação nos solos dessas áreas, tornando-o pouco disponível para as plantas.

O fósforo é um dos macronutrientes essenciais e limitantes à produtividade das lavouras de milho no Brasil, sendo comumente observadas suas respostas à adubação fosfatada (Freitas et al., 1972; Yost et al., 1979; Smith & Cravo, 1990; Raun & Barreto, 1995). A eficiência a fósforo é de fundamental importância para essa cultura, por ser a mais plantada no País e ter a maior parte de sua produção oriunda de pequenas propriedades (Monteiro, 1995). Tais áreas, normalmente, apresentam alguma restrição ambiental, relacionada principalmente a problemas de fertilidade do solo, onde a disponibilidade de fósforo surge como um dos fatores limitantes.

Dessa forma, o desenvolvimento de genótipos de milho adaptados às condições adversas de fertilidade do solo, notadamente à deficiência de fósforo, a introdução de material selecionado para determinados ambientes e o uso de variedades locais em áreas onde predominam pequenos produtores são aspectos interessantes do ponto de vista da eficácia no uso do adubo fosfatado e da sustentabilidade do sistema produtivo.

Assim, o presente trabalho teve como objetivos verificar a existência de diferenças entre variedades locais de milho tradicionalmente cultivadas e conservadas por pequenos agricultores, variedades melhoradas obtidas em centros de pesquisa e híbridos, quanto à eficiência de uso de fósforo, e avaliar o comportamento produtivo de alguns desses genótipos em relação à adubação fosfatada.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Material vegetal

Escolheram-se, para esse estudo, dezoito genótipos de milho entre variedades locais e melhoradas e híbridos comerciais.

As variedades locais foram obtidas por meio de um programa de resgate e seleção realizado junto a pequenos agricultores e coordenado pela Rede Projeto Tecnologias Alternativas (PTA) em nível nacional, cujo método se encontra descrito em Cordeiro & Marcatto (1994). São variedades de ciclo normal, porte alto de planta e espiga, que se caracterizam pela coloração do endosperma e tipo de grãos. Quarentão e Catetão possuem grãos do tipo duro; Caiano de Sobrália, Caiano de Alegre e Carioca, grãos semidentados; Argentino, Amarelão, Cravinho, Asteca e Palha Roxa, grãos dentados. Descrição mais completa desse material pode ser encontrada em Machado (1997).

As variedades melhoradas foram as seguintes: Nitrodente (Sol da Manhã ND), Nitroflint (Sol da

Manhã NF), BR 105, BR 106 e BR 107. Nitrodente e Nitroflint, ambas selecionadas para eficiência de utilização de nitrogênio, apresentam grãos dentados com predomínio da raça Tuxpeño, e grãos duros, com predomínio das raças Cateto, Eto e Duros do Caribe (Machado et al., 1992). BR 105, BR 106 e BR 107 são variedades obtidas no Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo (CNPMS/EMBRAPA). BR 105 e BR 107 são populações de grãos duros, e BR 106 possui grãos dentados (Machado, 1986). IAC-Taiúba é uma variedade obtida no Instituto Agrônomo de Campinas, com grãos dentados e selecionada para tolerância à toxicidade de alumínio no solo (Furlani et al., 1986). Os híbridos duplos comerciais utilizados, XL 560 e P 6875, foram produzidos, respectivamente, pela Braskalb e pela Pionner.

### 2.2 Experimento 1

Este experimento foi desenvolvido em casa de vegetação no Centro Nacional de Pesquisa de de Agrobiologia (CNPAB) da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). Utilizaram-se vasos contendo 11 kg de terra seca ao ar e peneirada em malha de 0,5 cm. A coleta do solo foi realizada na profundidade de 20-40 cm de um podzólico vermelho-amarelo distrófico (PV), pertencente ao campo experimental do CNPAB/EMBRAPA, em Seropédica (RJ). O solo apresentou as seguintes características físicas e químicas: 300, 460, 110 e 130 g.kg<sup>-1</sup> de solo, de, respectivamente, argila, areia grossa, areia fina e silte; pH (em água) de 5,4; teores de Al<sup>3+</sup>, Ca<sup>2+</sup> + Mg<sup>2+</sup> e K<sup>+</sup> de 0; 17 e 2,03 mmol<sub>c</sub>.dm<sup>-3</sup> de solo, e de P disponível de 4 mg.dm<sup>-3</sup> de solo. As análises foram realizadas de acordo com método descrito em EMBRAPA, (1979).

O delineamento experimental foi o látice 6 x 6 simples duplicado, com quatro repetições. Os tratamentos constaram dos dezoito genótipos citados e de duas doses de fósforo no solo, 10 e 100 mg.kg<sup>-1</sup> de P, aplicadas na forma de solução de KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, que corresponderam, respectivamente, aos níveis de P disponível no solo de 6,1 e 45,5 mg.kg<sup>-1</sup>, na semeadura.

O nitrogênio (N), na forma de solução de  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ , foi aplicado em doses seqüenciais correspondendo a 0, 5, 10, 10, 15, 20 e 20  $\text{mg.kg}^{-1}$  de N no solo, por sete semanas consecutivas, perfazendo um total de 80  $\text{mg.kg}^{-1}$  de N no solo. O potássio (K) foi adicionado como solução de KCl nas parcelas que receberam a menor dose de P a fim de complementar o nível de K fornecido com a maior dose de  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ . Como fonte de micronutrientes, utilizou-se a solução de Hoagland, aplicada na dose de 1 mL por kg de solo. A umidade do solo foi mantida a 65% da capacidade máxima de retenção. Foram plantadas oito sementes por vaso e, após a emergência das plântulas, executou-se o desbaste, deixando-se quatro plantas por vaso.

As plantas foram colhidas aos 48 dias após o plantio. O material vegetal foi colocado em estufa de circulação de ar forçada a 65°C durante 48 horas para a determinação da massa seca das raízes e da parte aérea. O teor de P das raízes e da parte aérea foi determinado de acordo com Bataglia et al. (1983). A partir desses dados, estimou-se a eficiência de utilização de P pelo critério proposto por Siddiqi & Glass (1981), o qual relaciona a produção de massa seca total (raízes e parte aérea) com a quantidade do nutriente nessas partes, por meio do índice de eficiência (IE) =  $\text{g}^2$  de matéria seca por mg de P no tecido.

### 2.3 Experimento 2

Este experimento foi realizado sob condições de campo na área experimental do CNPAB/EMBRAPA, em Seropédica (RJ), em solo podzólico vermelho-amarelo distrófico (PV), com as seguintes características físicas e químicas: 230, 530, 130 e 110  $\text{g.kg}^{-1}$  de solo de, respectivamente, argila, areia grossa, areia fina e silte; pH (em água) de 5,8; teores de  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$  e  $\text{K}^+$  de 0; 38 e 2,56  $\text{mmol.dm}^{-3}$ ; teor de P disponível de 8  $\text{mg.dm}^{-3}$  (EMBRAPA, 1979).

O delineamento experimental foi de blocos ao acaso, constituindo um esquema fatorial 6 x 7, com parcelas subdivididas e três repetições. Os tratamentos constaram de seis doses de P (0; 8,7; 17,5; 35; 70

e 140  $\text{kg.ha}^{-1}$  de P), tendo como fonte o superfosfato triplo, os quais corresponderam a níveis de P disponível nas linhas de plantio de 8; 12; 19; 22; 97 e 122  $\text{mg.kg}^{-1}$  de P no solo, respectivamente, e sete genótipos de milho dispostos na subparcela. Os genótipos utilizados foram as variedades locais Asteca, Caiano de Sobrália, Cravinho, Catetão e Carioca, a variedade melhorada Nitroflint e o híbrido duplo P 6875.

A adubação nitrogenada foi feita de acordo com a recomendação para a cultura do milho no Estado do Rio de Janeiro (Almeida et al., 1988). Aplicaram-se 80  $\text{kg.ha}^{-1}$  de N na forma de uréia, 1/3 da dose aos 30 e os 2/3 restantes aos 40 dias após o plantio. Os demais nutrientes foram fornecidos a partir do resultado da análise química do solo. Aplicaram-se, ainda, 33  $\text{kg.ha}^{-1}$  de K na forma de KCl, 200  $\text{kg.ha}^{-1}$  de gesso, como fonte de Ca e S, e 40  $\text{kg.ha}^{-1}$  de FTE BR 12 como fonte de micronutrientes.

A semeadura foi realizada com 10 sementes/metro linear, em linhas de 4,5 m de comprimento, com espaçamento de 1 m entre as linhas de plantio. Aos 35 dias do plantio, efetuou-se o desbaste, deixando-se 6 plantas por metro linear.

Ao final do ciclo, determinou-se a produção dos grãos, o teor de P neles contido (Bataglia et al., 1983) e o nível crítico de P no solo. O peso de grãos foi corrigido para o estande ideal de 25 plantas por parcela, de acordo com Zuber (1942).

Para a determinação do nível crítico de P disponível no solo, calculou-se o nível estimado de P associado com a máxima produção de grãos dos genótipos, igualando-se a zero a derivada primeira da equação de regressão ajustada da produção de grãos em função dos níveis de P para cada genótipo. Os níveis críticos foram determinados substituindo-se o nível de P estimado para atingir a produção máxima na equação de regressão obtida a partir das doses aplicadas e o teor de P disponível no solo.

As curvas de produção e conteúdo de P nos grãos dos genótipos em função dos níveis de adubo fosfatado aplicados ao solo foram ajustadas a partir dos modelos linear, quadrático e raiz quadrático. A

escolha da função de melhor ajuste foi feita com base no maior valor de coeficiente de determinação obtido. A significância foi considerada ao nível de 5%.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A produção de matéria seca da parte aérea, das raízes e total dos genótipos de milho avaliados nas duas doses de P encontram-se no Quadro 1. A matéria seca da parte aérea foi semelhante para todos os genótipos, exceto para o híbrido duplo XL 560, o único que se diferenciou significativamente dos demais, com produção inferior à sua média. Esse híbrido apresentou, desde o início do experimento, plantas raquíticas e de aspecto anormal. Portanto, qualquer dos seus resultados relativos deve ser considerado com ressalvas, por refletirem um aspecto particular do lote de sementes utilizado.

As variedades locais Asteca, Amarelão, Caiano de Sobrália(S), Cravinho, Carioca, Quarentão e Argentino, as variedades melhoradas BR 107 e IAC Taiúba e o híbrido duplo P 6875 alcançaram, na menor dose de P, produções superiores à média dos genótipos (4,19 g.planta<sup>-1</sup>). Na maior dose de P, as variedades locais Asteca, Amarelão, Caiano de Sobrália, Caiano de Alegre (A), Carioca, Catetão e Argentino, bem como todas as variedades melhoradas, com exceção de Nitroflint e dos híbridos P 6875 e XL 560, tiveram valores de produção superiores à média dos genótipos (8,14 g.planta<sup>-1</sup>).

O sistema radicular (Quadro 1) exibiu maior variabilidade na produção de matéria seca, em relação à parte aérea, expressa pelo coeficiente de variação das médias, de forma análoga ao observado por Furlani et al. (1985). Houve maior separação dos genótipos pela produção de raízes, destacando-se, na média, as variedades locais Argentino, Amarelão, Caiano de Sobrália, Quarentão, Caiano de Alegre e Carioca, que alcançaram produção semelhante ao híbrido duplo P 6875, de melhor desempenho. Entre as variedades locais, observaram-se diferenças na massa de raízes da ordem de 60%, quando se comparou a

produção de Amarelão e Caiano de Sobrália com a produção de Palha Roxa e Catetão.

Comparando-se os incrementos de matéria seca na parte aérea e no sistema radicular nos dois níveis de P, observou-se um aumento médio na produção de massa da parte aérea de aproximadamente 50% quando se aplicou a maior dose do nutriente. Para as raízes esse aumento foi de cerca de 40%. Tal observação sugere que a produção de matéria seca da parte aérea seja mais sensível à deficiência de P em relação à produção de matéria seca de raízes. Esses resultados estão em concordância com aqueles observados por Fageria et al. (1988) para arroz, e Alves et al. (1988) e Silva & Gabelman (1993) para milho.

No Quadro 2, encontram-se os dados de conteúdo de P na parte aérea, nas raízes e na planta toda (total), os quais fornecem indícios da capacidade de absorção e translocação de P dos genótipos. Os maiores valores foram observados na dose mais elevada.

Entre os genótipos, o conteúdo de P na parte aérea diferiu dentro de cada dose aplicada. Na menor, o híbrido P 6875 apresentou maior acumulação, não diferindo significativamente da maioria dos genótipos avaliados. Por outro lado, na maior dose de P aplicada, a maior acumulação de P na parte aérea foi observada pela variedade melhorada BR 107 e pelas variedades locais Catetão e Palha Roxa. Cravinho foi o genótipo que acumulou menor quantidade de P na maior dose. Na média, acumularam mais P na parte aérea a variedade melhorada BR 107 e a local Palha Roxa.

Quanto às raízes, também foram verificadas diferenças no conteúdo de P entre os genótipos e as doses de P. O sistema radicular acumulou menores quantidades de P que a parte aérea.

A eficiência de utilização de P é apresentada no Quadro 3. Houve, de maneira geral, maior eficácia no nível mais alto de P no solo. A maior quantidade de matéria seca produzida por unidade de P absorvido foi alcançada no nível mais elevado de adubação fosfatada. A exceção foi verificada para o híbrido P 6875, cuja capacidade de utilizar o P, para produção de matéria seca, não se alterou em função da sua maior disponibilidade.

Quadro 1. Produção de matéria seca da parte aérea, raízes e total dos genótipos de milho cultivados em duas doses de fósforo, 10 e 100 mg.kg<sup>-1</sup> de P no solo, definidas, respectivamente, como P<sub>10</sub> e P<sub>100</sub>. Médias de quatro repetições <sup>(1)</sup>

Genótipos	Produção de matéria seca								
	Parte aérea			Raízes			Total		
	P <sub>10</sub>	P <sub>100</sub>	Média P	P <sub>10</sub>	P <sub>100</sub>	Média P	P <sub>10</sub>	P <sub>100</sub>	Média P
	g.planta <sup>-1</sup>								
Asteca .....	4,40	8,86	6,63 a	2,29	3,91	3,10 b-d	6,69	12,77	9,73 a-c
Amarelão .....	4,92	8,18	6,55 a	2,71	4,00	3,34 a-c	7,63	12,18	9,91 ab
Caiano (S) ....	4,35	8,79	6,56 a	2,30	4,35	3,32 a-c	6,65	13,13	9,89 ab
Caiano (A) ....	4,00	8,35	6,17 a	2,13	4,45	3,29 a-c	6,13	12,80	9,46 a-c
Cravinho .....	4,39	7,27	5,83 a	2,04	4,07	3,05 bc	6,43	11,34	8,88 a-d
Carioca .....	4,77	8,55	6,66 a	2,37	4,15	3,26 a-c	7,14	12,70	9,92 ab
Palha Roxa ...	4,16	7,65	5,91 a	1,75	3,56	2,65 c-f	5,91	11,21	8,56 b-d
Catetão .....	3,25	8,56	5,90 a	1,32	2,84	2,08 fg	4,57	11,40	7,98 d
Quarentão .....	4,45	7,87	6,16 a	2,55	4,06	3,30 a-c	7,00	11,93	9,46 a-c
Argentino .....	4,64	8,45	6,55 a	2,76	4,05	3,41 ab	7,40	12,50	9,95 ab
Nitroflint.....	3,96	7,73	5,84 a	1,86	3,19	2,53 d-f	5,82	10,92	8,37 cd
Nitrodente.....	3,68	8,53	6,10 a	1,60	3,11	2,34 ef	5,29	11,63	8,46 cd
BR 105 .....	4,11	8,15	6,13 a	2,95	3,48	3,21 a-d	7,05	11,63	9,34 a-d
BR 106 .....	4,01	8,40	6,20 a	2,31	3,78	3,04 b-e	6,32	12,18	9,25 a-d
BR 107 .....	4,32	9,08	6,70 a	2,23	3,82	3,03 b-e	6,55	12,90	9,73 a-c
IAC Taiúba ...	4,65	8,54	6,59 a	1,82	3,56	2,69 b-f	6,46	12,10	9,28 a-d
P 6875 .....	4,95	7,73	6,34 a	3,76	4,03	3,89 a	8,71	11,75	10,23 a
XL 560 .....	2,47	5,85	4,16 b	0,95	2,03	1,49 g	3,42	7,88	5,65 e
Médias .....	4,19 B	8,14 A	6,17	2,20 B	3,69 A	2,95	6,40 B	11,83 A	9,12
F g <sup>(2)</sup> .....		4,23**			6,59**			6,30**	
F d <sup>(3)</sup> .....		868,16**			205,07**			727,30**	
F g x d <sup>(4)</sup> .....		1,47 ns			1,29 ns			1,28 ns	
CV (%) <sup>(5)</sup> .....		13,03			21,14			13,26	

<sup>(1)</sup>Médias seguidas pela mesma letra, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas, não diferem entre si, ao nível de 5%, pelo teste de Duncan. <sup>(2)</sup>Valor de F para os genótipos de milho. <sup>(3)</sup>Valor de F para as doses de P. <sup>(4)</sup>Valor de F para a interação entre os genótipos e as doses. <sup>(5)</sup>Coeficiente de variação. ns: Não significativo. \*\*Significativo ao nível de 1% pelo teste F.

Quadro 2. Conteúdo de fósforo na parte aérea, raízes e total dos genótipos de milho crescidos em duas doses de fósforo, 10 e 100 mg.kg<sup>-1</sup> de P no solo, definidas, respectivamente, como P<sub>10</sub> e P<sub>100</sub>. Médias de 4 repetições <sup>(1)</sup>

Genótipos	Conteúdo de P								
	Parte aérea			Raízes			Total		
	P <sub>10</sub>	P <sub>100</sub>	Média P	P <sub>10</sub>	P <sub>100</sub>	Média P	P <sub>10</sub>	P <sub>100</sub>	Média P
	mg P.planta <sup>-1</sup>								
Asteca .....	9,88 a-c,B	20,14 c-e,A	15,01 b-d	2,23	5,89	4,06 ab	12,05	26,01	19,03 a-c
Amarelão..	10,64 a-c,B	18,89 d-f,A	14,77 b-d	2,32	5,72	4,02 ab	12,93	24,71	18,82 a-c
Caiano (S)	10,11 a-c,B	20,43 b-e,A	15,27 bc	2,17	5,14	3,66 ab	12,20	25,60	18,90 a-c
Caiano (A)	9,57 bc,B	21,02 b-d,A	15,29 bc	2,16	6,47	4,31 a	11,75	27,49	19,62 a-c
Cravinho...	10,67 a-c,B	17,40 f,A	14,03 cd	2,06	5,73	3,90 ab	12,68	23,09	17,89 bc
Carioca .....	10,19 a-c,B	19,88 c-e,A	15,04 b-d	2,49	5,82	4,16 ab	12,69	25,76	19,22 a-c
Palha Roxa	11,08 ab,B	22,44 ab,A	16,76 ab	1,69	5,28	3,48 ab	12,72	27,65	20,19 ab
Catetão .....	8,74 c,B	22,52 ab,A	15,63 a-c	1,51	4,47	2,99 b	10,30	26,96	18,63 a-c
Quarentão.	9,13 bc,B	19,47 c-f,A	14,30 cd	2,51	5,08	3,79 ab	11,72	24,55	18,13 bc
Argentino .	10,10 a-c,B	19,59 c-e,A	14,85 b-d	2,94	5,39	4,17 ab	13,07	24,98	19,02 a-c
Nitroflint ..	10,17 a-c,B	18,42 ef,A	14,29 cd	1,90	4,45	3,17 ab	12,12	22,90	17,51 c
Nitrodente	9,62 a-c,B	21,54 bc,A	15,58 a-c	1,69	4,44	3,07 b	11,32	25,97	18,65 a-c
BR 105 .....	9,90 a-c,B	20,95 b-d,A	15,42 a-c	2,84	4,68	3,76 ab	12,71	25,66	19,18 a-c
BR 106 .....	9,94 a-c,B	19,45 c-f,A	14,70 b-d	2,16	5,08	3,62 ab	12,06	24,57	18,31 bc
BR 107 .....	11,08 ab,B	24,04 a,A	17,56 a	2,23	4,54	3,38 ab	13,28	28,55	20,91 a
IAC Taiúba	11,13 ab,B	20,68 b-d,A	15,91 a-c	1,85	5,01	3,43 ab	12,91	25,69	19,31 a-c
P 6875 .....	11,90 a,B	19,79 c-e,A	15,85 a-c	2,72	5,52	4,12 ab	14,60	25,32	19,96 a-c
XL 560 .....	6,69 d,B	19,36 c-f,A	13,02 d	1,18	3,28	2,23 c	7,97	22,63	15,30 d
Médias .....	10,03 B	20,33 A	15,18	2,15 B	5,11 A	3,63	12,17 B	25,45 A	18,81
F g <sup>(2)</sup> .....	2,29**		4,17**		2,62**				
F d <sup>(3)</sup> .....	1053,92**		669,34**		1434,55**				
F g x d <sup>(4)</sup> ..	1,93*		1,65 ns		1,45 ns				
CV (%) <sup>(5)</sup> .	12,55		18,94		11,18				

<sup>(1)</sup> Médias seguidas pela mesma letra, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas, não diferem entre si, ao nível de 5%, pelo teste de Duncan. <sup>(2)</sup> Valor de F para os genótipos de milho. <sup>(3)</sup> Valor de F para as doses de P. <sup>(4)</sup> Valor de F para a interação entre os genótipos e as doses. <sup>(5)</sup> Coeficiente de variação. ns: Não significativo. \*Significativo ao nível de 5% pelo teste F. \*\*Significativo ao nível de 1% pelo teste F.

Quadro 3. Índice de eficiência de utilização de fósforo dos genótipos de milho crescidos em duas doses de fósforo, 10 e 100 mg.kg<sup>-1</sup> de P no solo, definidas, respectivamente, como P<sub>10</sub> e P<sub>100</sub>. Médias de 4 repetições <sup>(1)</sup>

Genótipos	Índice de eficiência de utilização (IE)		
	P <sub>10</sub>	P <sub>100</sub>	Média
	g <sup>2</sup> matéria seca por mg P		
Asteca .....	3,80 b-e,B	6,28 ab,A	5,04 ab
Amarelão .....	4,61 b,B	5,97 a-e,A	5,29 ab
Caiano (S) .....	3,81 b-e,B	6,70 a,A	5,26 ab
Caiano (A) .....	3,15 ef,B	5,95 a-e,A	4,55 a-d
Cravinho .....	3,27 d-f,B	5,63 b-f,A	4,45 b-d
Carioca .....	4,11 b-d,B	6,22 a-c,A	5,17 ab
Palha Roxa .....	2,89 fg,B	4,61 g,A	3,75 de
Catetão .....	2,09 gh,B	4,83 fg,A	3,46 e
Quarentão .....	4,18 bc,B	5,81 b-e,A	4,99 ab
Argentino .....	4,33 b,B	6,30 ab,A	5,31 ab
Nitroflint .....	2,77 fg,B	5,08 e-g,A	3,92 c-e
Nitrodente .....	2,59 fg,B	5,33 c-g,A	3,96 c-e
BR 105 .....	3,81 b-e,B	5,28 d-g,A	4,55 a-d
BR 106 .....	3,35 c-f,B	6,07 a-d,A	4,71a-c
BR 107 .....	3,08 e-f, B	5,79 b-e,A	4,43b-d
IAC Taiúba .....	3,35 c-f,B	5,63 b-f,A	4,49a-d
P 6875 .....	5,39 a,A	5,36 c-g,A	5,37a
XL 560 .....	1,53 h,B	2,95 h,A	2,24f
Médias .....	3,45B	5,54A	4,50
F g <sup>(2)</sup> .....		8,71**	
F d <sup>(3)</sup> .....		263,83**	
F g x d <sup>(4)</sup> .....		1,87*	
CV (%) <sup>(5)</sup> .....		17,17	

<sup>(1)</sup> Médias seguidas pela mesma letra, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas, não diferem entre si, ao nível de 5%, pelo teste de Duncan. <sup>(2)</sup> Valor de F para os genótipos de milho. <sup>(3)</sup> Valor de F para as doses de P. <sup>(4)</sup> Valor de F para a interação entre os genótipos e as doses. <sup>(5)</sup> Coeficiente de variação. \*Significativo ao nível de 5% pelo teste F. \*\*Significativo ao nível de 1% pelo teste F.



Na menor dose de P, o genótipo mais eficiente foi o híbrido duplo P 6875 e os menos eficientes, a variedade local Catetão e o híbrido XL 560. Para a maior dose de P, as variedades Caiano de Sobrália, Argentino, Asteca, Carioca, BR 106, Amarelão e Caiano de Alegre se mostraram mais eficientes, enquanto o híbrido XL 560 se manteve na condição de material inferior. As variedades locais Amarelão, Carioca, Quarentão, Argentino, Asteca, Caiano de Sobrália e a selecionada BR 105 se destacaram pelos elevados valores de eficiência, acima da média dos genótipos, em ambos os níveis de P (Quadro 3). Esses genótipos foram mais eficazes em utilizar o P mesmo em concentrações moderadamente baixas nos tecidos. Isso demonstra sua possível adaptação tanto a ambientes com deficiência como naqueles cujos níveis de disponibilidade de P são ideais.

As variedades Caiano de Alegre, Cravinho, Nitrodente, BR 106, BR 107 e IAC Taiúba se apresentaram menos eficientes na menor dose de P, porém responderam positivamente com o seu incremento. O resultado foi que, na maior dose, os valores de eficiência foram próximos aos dos materiais mais eficientes.

Avaliando-se os genótipos em campo, verificou-se que Carioca e Catetão se destacaram pela maior e menor produção média de grãos, 4.906 e 2.982 kg.ha<sup>-1</sup> respectivamente. As variedades locais Caiano, Cravinho e Asteca, o híbrido P 6875 e a variedade melhorada Nitroflint, que não diferiram estatisticamente entre si, apresentaram rendimentos médios intermediários, de 4.637, 4.448, 4.319, 4.543 e 3.908 kg.ha<sup>-1</sup> respectivamente. Não se observaram diferenças expressivas entre os genótipos locais e os melhores. Os níveis médios de produtividade atingidos, mesmo para os genótipos de desempenho inferior, estiveram sempre acima do rendimento médio nacional de 2.112 kg.ha<sup>-1</sup> (Garcia, 1994).

As equações que melhor se ajustaram às curvas de produção de grãos dos genótipos em função das doses de P aplicadas encontram-se na Figura 1. Os valores de produção obtidos pelas variedades Asteca e Caiano não se ajustaram a nenhum dos modelos testados; por isso, qualquer comparação

relacionada ao rendimento desses materiais referem-se à sua produção média.

As curvas de produção de grãos permitiram diferenciar os genótipos em suas respostas à aplicação de P e também quanto à sua capacidade em tolerar baixos níveis de P disponíveis no solo. Na ausência de adubação fosfatada, em que o teor médio de P inicialmente disponível no solo foi de 8 mg.kg<sup>-1</sup> de P, considerado baixo para as condições locais (Almeida et al., 1988), os genótipos apresentaram diferentes rendimentos (Figura 1). Comparando as produções médias alcançadas pelos genótipos, a variedade Caiano de Sobrália destacou-se pela maior produtividade quando comparado com os demais genótipos na ausência de adubação fosfatada. Isso denota uma relativa adaptação com possibilidades de utilização em solos com deficiência de P. Na ausência de adubação fosfatada, Caiano de Sobrália e Asteca superaram Catetão em 45 e 33% respectivamente. Características morfológicas, fisiológicas ou relacionadas à associação com fungos micorrízicos, não avaliadas neste trabalho, poderiam ter conferido a evidência da maior ou menor tolerância à deficiência de P (Hall, 1978; Schenk & Barber, 1980; Toth et al., 1984; Furlani et al., 1985; Ciarelli, 1989; Khalil et al., 1994).

A resposta dos genótipos ao aumento na disponibilidade de P foi variável, conforme se pode observar pelos valores dos coeficientes angulares das equações ajustadas (Figura 1). Cravinho, Carioca e P 6875 apresentaram os maiores valores, refletindo um incremento maior da produção para cada crescimento de P, enquanto Nitroflint e Catetão produziram os menores valores.

Para quantificar os níveis de resposta dos genótipos às doses de P aplicadas, calculou-se, a partir dos valores gerados pelas equações de regressão, o incremento na produção de grãos em cada dose, em contraste com a produção obtida na ausência da adubação fosfatada (Quadro 4). Cravinho foi o material que revelou as maiores magnitudes de resposta a P. Por exemplo, com a adição de 8,7 kg.ha<sup>-1</sup> de P teve o seu rendimento aumentado em 60%, e com a adição de 70 kg.ha<sup>-1</sup> de P teve sua produção elevada em 100%.

Entretanto, seu rendimento na ausência de adubação fosfatada foi baixo, caracterizando sua condição de material responsivo, porém com baixa eficiência de produção sob deficiência de P. Carioca e P 6875 apresentaram níveis de resposta semelhantes entre si, pouco menores que a do Cravinho. Esses genótipos, contudo, revelaram uma produção pouco mais elevada na ausência de adubação fosfatada, mostrando uma eficiência mediana. A variedade selecionada Nitroflint teve uma resposta intermediária ao aumento nos níveis de P, com o terceiro menor rendimento no tratamento sem adição do nutriente. Catetão, por sua vez, mostrou as menores magnitudes de resposta à adição do P, bem como a menor produção na ausência de adubação fosfatada. Essa menor capacidade de resposta e a baixa demanda em P podem ser interpretadas como um indicativo de adaptação à deficiência de P. Rorison (1968) observou comportamento semelhante para diversas espécies vegetais num estudo relacionando o requerimento nutricional, a taxa de crescimento relativo e a resposta a P.

Quadro 4. Incremento relativo (%) na produção de grãos dos genótipos de milho em função das doses de P aplicadas<sup>(1)</sup>

Genótipos	Doses de P, kg.ha <sup>-1</sup>				
	8,7	17,5	35	70	140
	%				
Asteca .....	-	-	-	-	-
Caiano (S) ..	-	-	-	-	-
Cravinho .....	60	77	94	103	86
Catetão .....	22	28	33	36	27
Carioca .....	53	69	85	95	83
Nitroflint ....	43	56	70	81	78
P 6875 .....	56	70	82	82	47

<sup>(1)</sup>Incremento relativo (%) = [(Produção de grãos em dado nível de P - produção de grãos na ausência de adubação fosfatada)/(Produção de grãos na ausência de adubação fosfatada)] x 100.

No Quadro 5, constam as doses de P necessárias para a obtenção da máxima produção de grãos e os respectivos níveis críticos de P disponível no solo. O híbrido P 6875 foi o genótipo que demandou a menor dose de P para alcançar a máxima produção de grãos, enquanto para a variedade selecionada Nitroflint ocorreu o inverso: apresentou maior requerimento externo de P para atingir o nível máximo de produção, que, por sua vez, foi um dos menores alcançados entre os genótipos avaliados. Cravinho atingiu rendimento máximo semelhante ao do P 6875, necessitando, porém, de um maior nível de P disponível no solo. Carioca obteve o maior valor de produção de grãos com uma dose inferior somente à do Nitroflint, enquanto o Catetão demonstrou a segunda menor demanda em P, mas a sua produção máxima foi bem inferior à dos demais, caracterizando mais uma vez sua baixa capacidade de resposta.

Quadro 5. Doses aplicadas e teores de P disponíveis no solo para obtenção da produção máxima dos diferentes genótipos de milho

Genótipos	Dose	Teor disponível	Produção máxima
	kg.ha <sup>-1</sup>	mg.kg <sup>-1</sup>	kg grãos.ha <sup>-1</sup>
Asteca .....	-	-	-
Caiano .....	-	-	-
Cravinho .....	70	69	5.314
Catetão .....	62	62	3.256
Carioca .....	76	74	5.825
Nitroflint ...	92	89	4.607
P 6875 .....	50	51	5.365

O comportamento produtivo desses materiais no nível de campo foi compatível com os resultados de índice de eficiência proposto por Siddiqi & Glass (1981), obtido no ensaio de casa de vegetação, onde

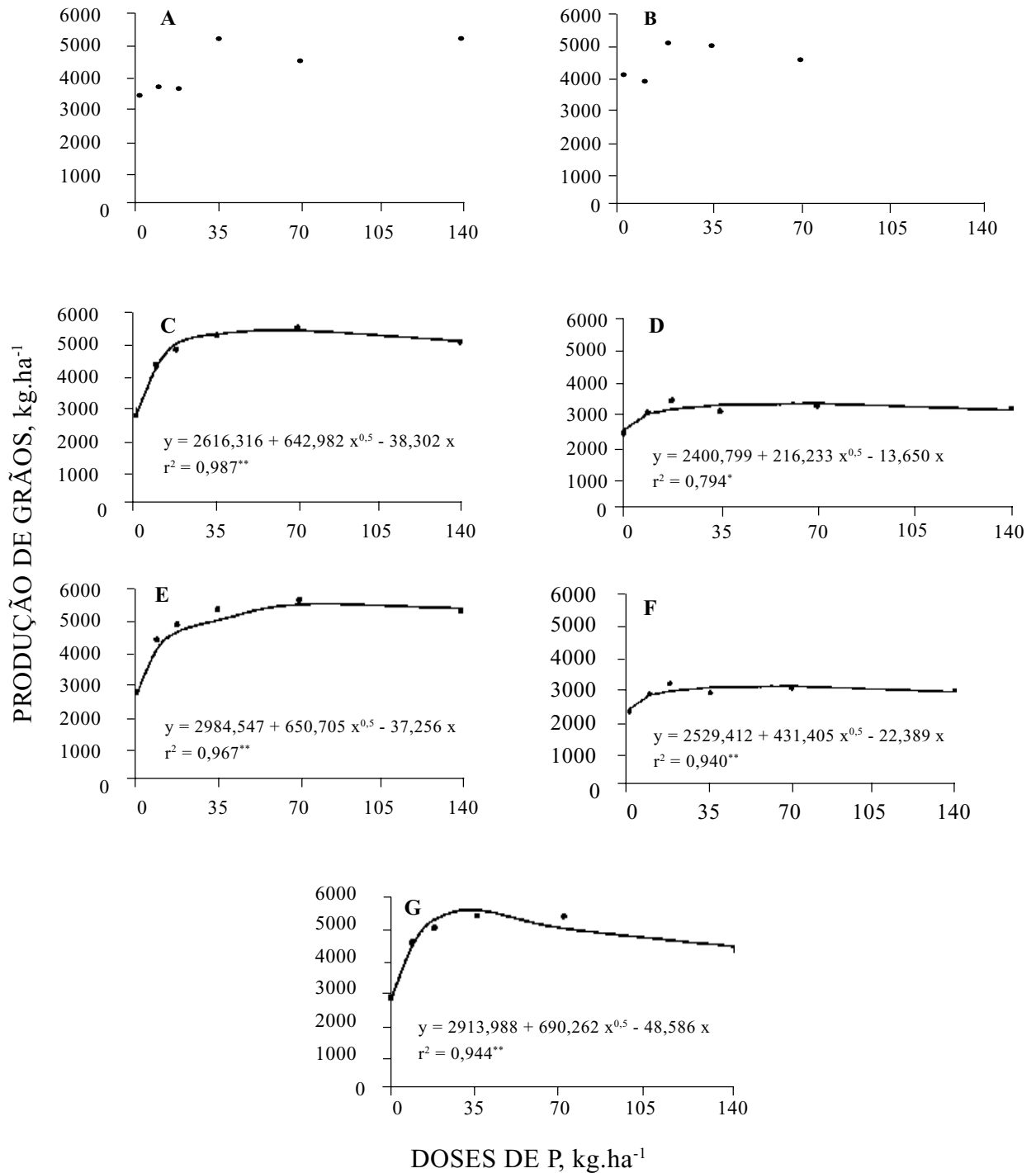


Figura 1. Produção de grãos dos genótipos de milho em função das doses de fósforo aplicadas. **A:** Asteca, **B:** Caiano, **C:** Cravinho; **D:** Catetão; **E:** Carioca; **F:** Nitroflint e **G:** P 6875.

o híbrido P 6875 foi o genótipo mais eficiente na produção de matéria seca, independentemente do nível de disponibilidade de P, bem como a variedade local Carioca. Por outro lado, Nitroflint e Catetão se apresentaram pouco eficientes na conversão do P absorvido em matéria seca.

A relação entre a produção máxima de grãos e a dose requerida para a sua obtenção, fornecida a partir dos dados do Quadro 5, mostra a eficiência com a qual cada genótipo converteu o P aplicado em rendimento de grãos. O híbrido P 6875 atingiu a maior produção de grãos por unidade de P aplicada (107 kg de grãos por kg de P aplicado). De eficiência intermediária foram as variedades locais Carioca e Cravinho, que produziram 77 e 76 kg de grãos por kg de P aplicado respectivamente. Nitroflint e Catetão foram os menos eficientes, apresentando valores de 50 e 53 kg de grãos por kg de P aplicado. Esse conceito de eficiência à adubação fosfatada deve ser considerado dentro de suas limitações, uma vez que não evidencia se os genótipos mais eficientes absorveram maior quantidade de P do fertilizante aplicado e/ou do solo, ou se o P, uma vez absorvido, foi metabolizado mais eficientemente pelas plantas.

Com base nesses critérios de eficiência que enfocam a produtividade - rendimento do produto colhido por unidade de nutriente aplicado e requerimento ou nível crítico externo - o híbrido duplo P 6875 obteve o melhor desempenho. Além disso, apresentou produção média de 4.543 kg.ha<sup>-1</sup> e bom rendimento na ausência de P aplicado, indicando ser um genótipo cuja utilização é viável tanto sob condições adversas como em sistemas produtivos de elevado nível tecnológico.

Apesar de os parâmetros de incremento relativo e produção de grãos por unidade de P aplicado não terem sido determinados para as variedades locais Asteca e Caiano, estas se destacaram tanto pelo elevado rendimento como pela estabilidade da produção alcançada, independentemente da disponibilidade de P, com valores médios de 4.319 e 4.636 kg.ha de grãos respectivamente. Esses genótipos apresentariam maior afinidade para sis-

temas de produção sustentáveis, que se caracterizam por menor demanda de fertilizantes.

A Figura 2 mostra a diferença no conteúdo de P dos grãos dos genótipos em função das doses de P aplicadas no solo, evidenciada pelas curvas de acumulação. O padrão de acumulação de P nos grãos dos genótipos, em função das doses, apresentou tendência semelhante à da produção (Figura 1), indicando que o conteúdo do nutriente no grão foi proporcional ao rendimento alcançado. Foi possível observar valores de P aplicados para os quais a quantidade do nutriente acumulado nos grãos foi máxima. A exceção ocorreu na variedade local Asteca que acumulou P nos grãos de forma crescente no intervalo das doses avaliadas. A variedade selecionada Nitroflint atingiu a máxima acumulação de P nos grãos, em torno de 90 kg.ha<sup>-1</sup> de P. Por outro lado, Cravinho, Carioca e P 6875 mostraram maiores respostas, acompanhando os maiores incrementos na produção de grãos em função da disponibilidade crescente do nutriente no solo (Quadro 4). Esses genótipos apresentaram a máxima acumulação de P nos grãos nas doses de 70, 83 e 55 kg.ha<sup>-1</sup> de P respectivamente, valores bastante próximos daqueles observados para o Nitroflint. Para as variedades locais Caiano e Catetão, o ajuste do modelo matemático, dentro dos critérios de significância propostos, não foi alcançado.

O P contido nos grãos, que, juntamente com a espiga, constituem o maior órgão de armazenamento de P por ocasião da maturidade de plantas de milho (Gorsline et al., 1965; Clark, 1975), resultante da translocação ou remobilização do P dos órgãos vegetativos, é, de acordo com Blair (1993) e Horst et al. (1993), um componente adicional de extrema importância a ser considerado no aspecto da eficiência nutricional em cereais. Consideram-se os mais eficientes aqueles que produzem altos rendimentos de grãos com menor acumulação do nutriente nos grãos. Nesse sentido, reportando-se aos valores médios de produção e conteúdo de P nos grãos de cada genótipo (resultados não apresentados), o híbrido P 6875 destacou-se com o mais elevado rendimento de grãos por unidade do nutriente acumulado nos grãos (190 kg de

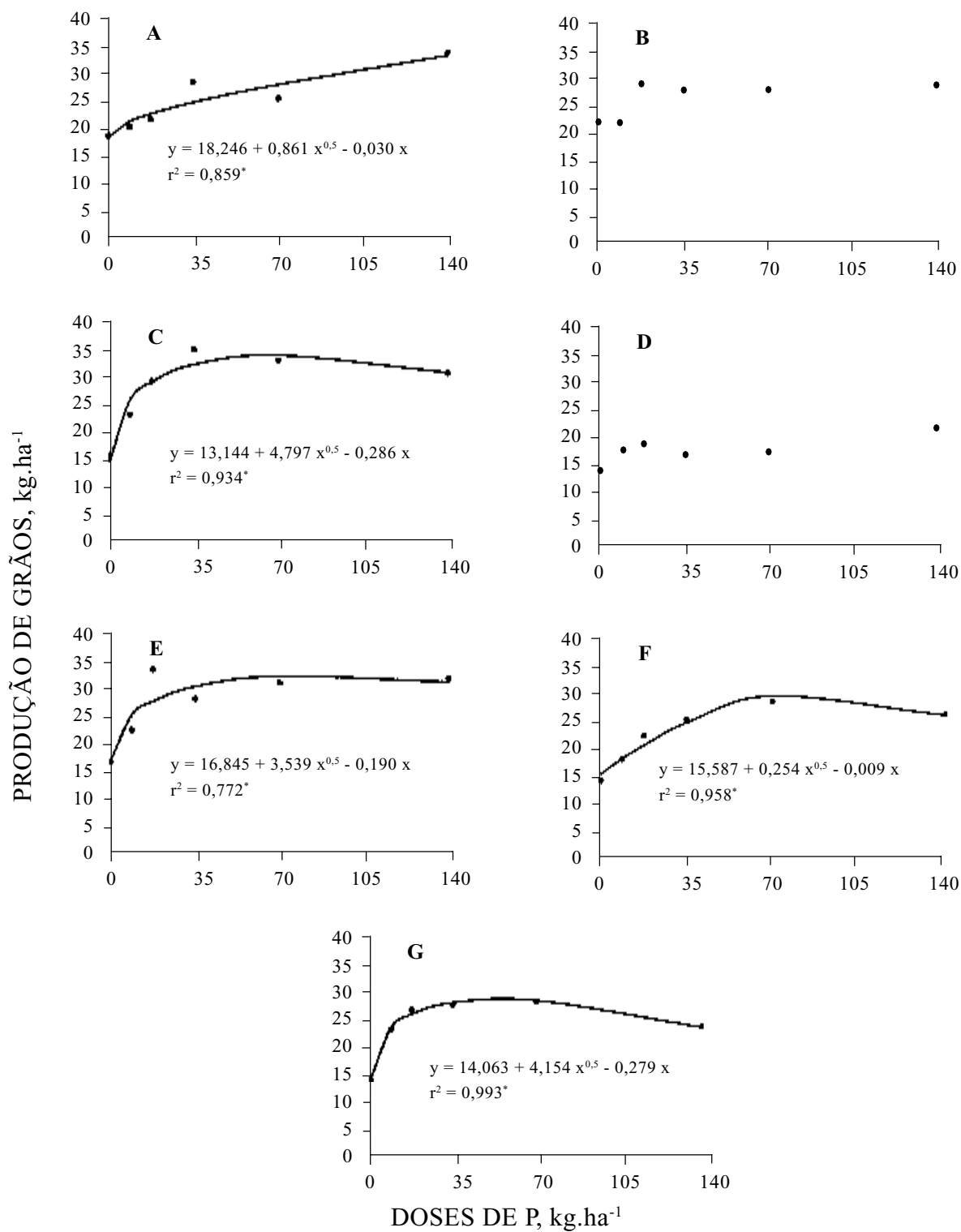


Figura 2. Conteúdo de fósforo nos grãos dos genótipos de milho em função das doses de fósforo aplicadas. **A:** Asteca, **B:** Caiano, **C:** Cravinho; **D:** Catetão; **E:** Carioca; **F:** Nitroflint e **G:** P 6875.

grãos por kg de P), mostrando-se mais eficiente e demonstrando menor remoção de P do sistema. Seguiram-se as variedades locais Caiano, Asteca e Carioca, com uma relação intermediária entre produto colhido e P acumulado (181, 180 e 178 kg de grãos por kg de P respectivamente), que não diferiram do híbrido. Com desempenhos inferiores quanto a esse aspecto, apresentaram-se Catetão (159 kg de grãos por kg de P), Nitroflint (169 kg de grãos por kg de P) e Cravinho (170 kg de grãos por kg de P), que retiraram, em média, maior quantidade de P do sistema sem revertê-lo em níveis satisfatórios de produção de grãos. Esses resultados confirmam o controle genético da absorção e acumulação de P e, conseqüentemente, as diferenças entre genótipos de milho que têm sido amplamente observados (Gorsline et al., 1965; Baker et al., 1970; Clark & Brown, 1974 a; Bruetsch & Estes, 1976; Furlani et al., 1985; Alves et al., 1988; Ciarelli, 1989), bem como o reflexo das diferenças na fertilidade do solo sobre esses parâmetros (Hanway, 1962).

Relacionando o caráter produção com a origem desses materiais (Machado, 1995), observou-se que os genótipos de grãos dentados que se constituem de germoplasmas semelhantes derivados da raça Tuxpeño (como Cravinho, Carioca, Caiano e Asteca) apresentaram produções mais elevadas que Nitroflint e Catetão, genótipos de grãos duros que possuem a raça Cateto em seu germoplasma. Entretanto, dentro dos próprios grupos de dentados e duros, verificou-se diferença na resposta ao aumento na disponibilidade do nutriente, possivelmente decorrente dos processos adaptativos desses genótipos. Carioca e Cravinho apresentaram respostas crescentes aos níveis de adubação fosfatada, e Asteca e Caiano, produções mais estáveis mesmo na presença de baixos teores de P disponível no solo. Nitroflint, com até 80% com a aplicação de P, mostrou-se responsivo, porém dependente de maior suprimento de P para atingir rendimentos razoáveis. Catetão, genótipo mais antigo e menos selecionado que os demais, revelou como característica melhor estabilidade de produção, porém com menor potencial. Sua produção média foi a menor dentre os genótipos e a magnitude de sua resposta a P variou somente de 21 a 35%.

Os genótipos avaliados originários da raça Tuxpeño, quando comparados aos derivados da raça Cateto, foram, de maneira geral, os que obtiveram maior produção de grãos por unidade de P aplicado. Esses resultados são possivelmente devidos à existência de características favoráveis, geneticamente controladas, relacionadas ao uso eficiente de P dentro desse germoplasma, semelhante ao que se observou quando tais genótipos foram avaliados para a eficiência de utilização de P sob condições de casa de vegetação.

#### 4. CONCLUSÕES

1. Foram detectadas diferenças entre os genótipos para os parâmetros de eficiência a P, sendo que variedades locais, variedades melhoradas e híbridos apresentaram desempenho semelhante, tanto em casa de vegetação quanto em nível de campo.

2. Destacaram-se como mais eficientes a P, em casa de vegetação, as variedades locais Argentino, Amarelão, Caiano de Sobrália, Asteca, Quarentão, as variedades melhoradas BR 105 e BR 106 e o híbrido comercial P 6875; pelos mais elevados níveis de produção de grãos em campo, as variedades locais Carioca, Caiano de Sobrália, Cravinho e Asteca e o híbrido P 6875. As variedades Nitroflint (melhorada) e Catetão (local) tiveram as menores produções.

3. Observaram-se diferentes rendimentos na ausência de adubação fosfatada, com destaque para a variedade local Caiano de Sobrália. Da mesma forma, verificaram-se diferentes magnitudes de resposta em função de doses crescentes de P, salientando que Cravinho e Carioca, entre as variedades locais, se mostraram tão responsivos quanto o híbrido P 6875.

4. Os resultados obtidos em campo estão de acordo com aqueles obtidos em casa de vegetação. Foi possível identificar materiais promissores para o cultivo sob limitações de P e também de fontes genéticas para maior eficiência ao nutriente.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, D.L.; SANTOS, G. de A.; DE-POLLI, H.; CUNHA, L. H.; FREIRE, L. R.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B. do; PEREIRA, N. N. C.; EIRA, P. A. da; BLOISE, R. M. & SALEK, R. C. *Manual de adubação para o Estado do Rio de Janeiro*. Itaguaí, Universidade Rural, 1988. 179p. (Coleção Universidade Rural. Série Ciências Agrárias, 2)
- ALVES, V.M.C.; VASCONCELLOS, C.A.; PITTA, G.V.E. & MAGNAVACA, R. Seleção de genótipos de milho para eficiência a fósforo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, **23**(10):1083-1090, 1988.
- BAKER, D. E.; JARREL, A. E.; MARSHAL, L. E. & THOMAS, W. 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. *Métodos de análise química de plantas*. Campinas, Instituto Agrônômico, 1983. 48p. (Boletim técnico, 78)
- BLAIR, G. Nutrient efficiency: what do we really mean? In: RANDALL, P.J.; DELHAITZE, E.; RICHARDS, R.A. & MUNNS, R. eds. *Genetic aspects of plant mineral nutrition*. Dordrecht, Kluwer Academic, 1993. p.205-213. (Developments in Plant and Soil Sciences, 50)
- BRUETSCH, T.F. & ESTES, G.O. Genotype variation in nutrient uptake efficiency in corn. *Agronomy Journal*, Madison, **68**: 521-523, 1976.
- CIARELLI, D.M. *Eficiência na absorção e utilização de fósforo por genótipos de milho (Zea mays L.) em solução nutritiva*. Piracicaba, 1989. 110p. Tese (Mestrado) - ESALQ-USP, 1989.
- CLARK, R.B. Mineral element concentrations of corn plant parts with age. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, New York, **6**(4):451-464, 1975.
- CLARK, R.B. & BROWN, J.C. Differential phosphorus uptake by phosphorus-stressed corn inbreds. *Crop Science*, Madison, **14**:505-508, 1974 a.
- CLARK, R.B. & BROWN, J.C. Differential mineral uptake by maize inbreds. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, New York, **5**(3): 213 -227, 1974 b.
- CORDEIRO, A. & MARCATTO, C. Milho: a volta das variedades crioulas. In: GAIFAMI, A. & CORDEIRO, A., eds. *Cultivando a diversidade: recursos genéticos e segurança alimentar local*. Rio de Janeiro, AS-PTA, 1994. p.139-162.
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solo. Rio de Janeiro. *Manual de métodos de análise de solos*. Rio de Janeiro, EMBRAPA-SNLCS, 1979. n.p.
- FAGERIA, N.K.; WRIGHT, R.J. & BALIGAR, V.C. Rice cultivar evaluation for phosphorus use efficiency. *Plant and Soil*, Dordrecht, **111**:105-109, 1988.
- FOX, R.H. Selection for phosphorus efficiency in corn. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, New York, **9**(1):13-37, 1978.
- FREITAS, L.M.M. de; TANAKA, T.; LOBATO, E.; SOARES, W.V. & FRANÇA, G.E. Experimentos de adubação de milho doce e soja em solos de campo cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Rio de Janeiro, **7**:57-63, 1972.
- FURLANI, A.M.C.; BATAGLIA, O.C. & LIMA, M. Eficiência de linhagens de milho na absorção e utilização de fósforo em solução nutritiva. *Bragantia*, Campinas, **44**(1):129-147, 1985.
- FURLANI, P.R.; LIMA, M.; MIRANDA, L.T.; SAWAZAKI, E. & MAGNAVACA, R. Avaliação de linhagens, materiais comerciais e duas populações de milho para tolerância a alumínio. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, **21**:566-660, 1986.
- GARCIA, J.C. Situação da cultura do milho no Brasil. In: RELATÓRIO TÉCNICO ANUAL DO CNPMS 1992-1993. Sete Lagoas, EMBRAPA-CNPMS, 1994. p.11-12.
- GORSLINE, G.W.; BAKER, D.E. & THOMAS, W.I. *Accumulation of eleven elements by field corn (Zea mays L.)*. Pennsylvania, University Park - The Pennsylvania State University, 1965. 33p. (Bulletin, 725)
- HALL, I.R. Effect of vesicular-arbuscular mycorrhizas on two varieties of maize and one of sweetcorn. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, **21**: 517-519, 1978.
- HANWAY, J. J. Corn growth and composition in relation to soil fertility: III. Percentages of N, P and K in different plant parts in relation to stage of growth. *Agronomy Journal*, Madison, **54**:222-229, 1962.
- HORST, W.J.; ABDU, M. & WIESLER, F. Genotypic differences in phosphorus efficiency of wheat. *Plant and Soil*, Dordrecht, **155/156**: 293-296, 1993.
- KHALIL, S.; LOYNACHAN, T.E. & TABATABAI, M.A. Mycorrhizal dependency and nutrient uptake by improved and unimproved corn and soybean cultivars. *Agronomy Journal*, Madison, **86**:949-958, 1994.
- MACHADO, A.T. *Avaliação de cruzamentos intervarietais de milho (Zea mays L.) utilizando o esquema dialélico parcial incompleto*. Piracicaba, 1986. 121p. Dissertação (Mestrado) - ESALQ-USP, 1986.

- MACHADO, A.T. *Perspectiva do melhoramento genético em milho (Zea mays L.) visando eficiência na utilização do nitrogênio*. Rio de Janeiro, 1997. 219p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 1997.
- MACHADO, A.T.; MAGALHÃES, J.R.; MAGNAVACA, R. & SILVA, M.R. Determinação da atividade de enzimas envolvidas no metabolismo do nitrogênio em diferentes genótipos de milho. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, Viçosa, **4**(1):45-47, 1992.
- MACHADO, A.T. & MAGNAVACA, R. *Estresse ambiental: o milho em perspectiva*. Rio de Janeiro, AS-PTA, 1991. 47p.
- MACHADO, C. T. de T. Avaliação da eficiência de utilização de fósforo de variedades locais de milho (*Zea mays* L.). Itaguaí, 1995. 131p. Tese (Mestrado) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 1995.
- MONTEIRO, J.A. Estresse ambiental: considerações econômicas. In: MACHADO, A.T.; MAGNAVACA, R.; PANDEY, S. & SILVA, A.F., eds. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE ESTRESSE AMBIENTAL: O MILHO EM PERSPECTIVA, Belo Horizonte, 1992. *Anais. Sete Lagoas, EMBRAPA/CNPMS, CIMMYT/UNDP*, 1995. p. 13-40.
- RAUN, W.R. & BARRETO, H.J. Regional maize grain yield response to applied phosphorus in Central America. *Agronomy Journal*, Madison, **87**:208-213, 1995.
- RORISON, I. The response to phosphorus of some ecologically distinct plant species. I. Growth rates and phosphorus absorption. *New Phytologist*, Oxford, **67**: 913-923, 1968.
- SCHENK, M.K. & BARBER, S.A. Potassium and phosphorus uptake by corn genotypes grown in the field as influenced by root characteristics. *Plant and Soil*, Dordrecht, **54**:65-76, 1980.
- SIDDIQI, M.Y. & GLASS, A.D.M. Utilization index: a modified approach to the estimations and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. *Journal of Plant Nutrition*, New York, **4**(3): 289-302, 1981.
- SILVA, A.E. da & GABELMAN, W.H. Screening maize inbred lines for tolerance to low-P stress condition. In: RANDALL, P.J.; DELHAITZE, E.; RICHARDS, R.A. & MUNNS, R., eds. *Genetic Aspects of Plant Mineral Nutrition*. Dordrecht, Kluwer Academic, 1993. p.233-239. (Developments in Plant and Soil Sciences, 50)
- SILVA, A.E. da; GABELMAN, W.H. & COORS, J.G. Inheritance studies of low-phosphorus tolerance in maize (*Zea mays* L.), grown in a sand-alumina culture medium. In: RANDALL, P.J.; DELHAITZE, E.; RICHARDS, R.A. & MUNNS, R., eds. *Genetic Aspects of Plant Mineral Nutrition*. Dordrecht, Kluwer Academic, 1993. p.241-249. (Developments in Plant and Soil Sciences, 50)
- SMITH, T.J. & CRAVO, M.S. Phosphorus management for continuous corn-cowpea production in a Brazilian Amazon Oxisol. *Agronomy Journal*, Madison, **82**:305-309, 1990.
- TOTH, R.; PAGE, T. & CASTLEBERRY, R. Differences in mycorrhizal colonization of maize selections for high and low ear leaf phosphorus. *Crop Science*, Madison, **24**: 994-996, 1984.
- YOST, R.S.; KAMPRATH, E.J.; LOBATO, E. & MADERMAN, G. Phosphorus response of corn on an Oxisol as influenced by rates and placement. *Soil Science Society of American Journal*, Madison, **43**:338-343, 1979.
- WALKER, W.M. & RAINES, G.A. Effect of corn cultivar, phosphorus and potassium on yield and chemical composition. *Journal of Plant Nutrition*, New York, **11**(12):1715-1726, 1988.
- ZUBER, M.S. Relative efficiency of incomplete blocks designs using corn uniformity trial data. *Journal of American Society Agronomy*, Madison, **34**:30-47, 1942.