

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO

INSTITUTO DE AGRONOMIA

CURSO DE PÓS-GRADUÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DE FÓSFORO DE VARIEDADES

LOCAIS DE MILHO (*Zea mays* L.)

Cynthia Torres de Toledo Machado

Orientador: Dr. José Guilherme Marinho Guerra

Co-orientador: Dr. Dejair Lopes de Almeida

**Tese submetida como requisito parcial para a
obtenção do grau de *Magister Scientiae* em
Agronomia, área de concentração Ciência do
Solo.**

Itaguaí - RJ

1995

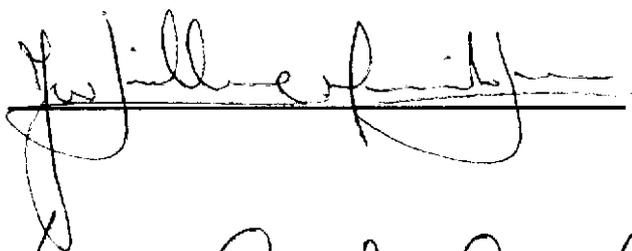
**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DE FÓSFORO DE
VARIEDADES LOCAIS DE MILHO (*Zea mays* L.)**

CYNTHIA TORRES DE TOLEDO MACHADO

Aprovada em 29/06/1995.

Dr. José Guilherme Marinho Guerra

(EMBRAPA/CNPAB)

Handwritten signature of José Guilherme Marinho Guerra in black ink, written over a horizontal line.

Dr. Dejar Lopes de Almeida

(EMBRAPA/CNPAB)

Handwritten signature of Dejar Lopes de Almeida in black ink, written over a horizontal line.

Dr. Marcelo Grandi Teixeira

(EMBRAPA/CNPAB)

Handwritten signature of Marcelo Grandi Teixeira in black ink, written over a horizontal line.

“A Terra se move para que se possa renovar e nascer novamente, não podendo perdurar para sempre sob a mesma forma. Pois as coisas que não podem ser eternas como indivíduos... são eternas como espécies; e substâncias que não podem ser eternas sob o mesmo aspecto mudam as suas aparências. Pois o material e a substância das coisas são incorruptíveis, e devem passar através de todas as formas... Porquanto, sendo a morte e a dissolução impróprias para toda a massa em que este globo, esta estrela consistem, e a completa aniquilação impossível para toda a natureza, a Terra muda todas as suas partes de tempos em tempos numa certa ordem e, assim, se renova... E nós mesmos e as coisas que nos são pertinentes vamos e voltamos, passamos e repassamos; nada há que nos seja próprio, que não possa se tornar estranho a nós, e nada há de estranho em nós que não possa se tornar nosso... E nada é por si mesmo eterno, salvo a substância e o material de que é feito, e isso está em constante mutação.”

Giordano Bruno

*Com vocês, que entenderam as ausências, justificaram as omissões,
compartilharam de lágrimas e sorrisos, divido agora o mérito desta conquista.
A alegria de hoje é também de vocês, cujo amor, estímulo e carinho, foram as
principais armas desta vitória.*

*Dedico este trabalho, com todo o meu amor, ao meu marido Altair e a meus
pais, José Mauro e Lygia.*

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), pela oportunidade de realização do curso;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela bolsa de estudos concedida;

Ao Centro Nacional de Pesquisa de Agrobiologia (CNPAB) da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), pela oportunidade de treinamento e apoio estrutural;

À Assessoria e Serviços a Projetos em Agricultura Alternativa (AS-PTA), pelo fornecimento de sementes, pela confiança e oportunidade;

À Estação Experimental - Itaguaí da PESAGRO, através das pesquisadoras Maria Cristina P. P. de Carvalho e Maria do Carmo A. Fernandes, pela concessão da casa de vegetação;

Ao Dr. José Guilherme Marinho Guerra, pela orientação, amizade, carinho e atenção recebidos e pela sua fundamental contribuição durante este período de minha formação científica;

Ao Dr. Dejair Lopes de Almeida, pela disponibilidade e acompanhamento na co-orientação desta tese, pelas sugestões e amizade;

Ao Dr. Marcelo Grandi Teixeira, pela amizade e constante disponibilidade e apoio;

Ao Professor Gabriel de Araújo Santos, coordenador do Curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo, pelo apoio e confiança recebidos;

Aos Professores Elizabeth e Maurício Ballesteiro Pereira, grandes amigos, pelo carinho e fundamental ajuda nas análises estatísticas;

Ao Pesquisador Marco Antônio de Almeida Leal, pela constante disponibilidade e colaboração, e pela amizade;

Ao Professor Higinio Lopes, pela ajuda na confecção dos gráficos;

Ao Itamar Garcia Ignácio, pela grande ajuda, pela amizade e alegria, e total disponibilidade durante todo o trabalho;

À amiga Teresa Cristina Souto Silva, pela dedicação, fundamental ajuda e demonstração de grande amizade;

Ao Nilson Brito de Carvalho, por todo o trabalho realizado;

À Dorimar dos Santos Félix, pela amizade e apoio na normatização das referências bibliográficas;

À Margarida M. Ambrósio, José Ferreira, Marcelo Lourenço e Emerson, pela constante ajuda na biblioteca;

Ao Jair de Jesus Melo, pelo desenho;

A todos os funcionários do Campo Experimental do CNPAB/EMBRAPA, pela grande e fundamental ajuda durante a condução dos trabalhos;

Aos funcionários do Setor de Casas de Vegetação do CNPAB/EMBRAPA, pelo constante apoio;

A todos os demais funcionários do CNPAB/EMBRAPA, que de alguma forma ajudaram e participaram deste trabalho;

A todos os amigos bolsistas do CNPAB/EMBRAPA e colegas do curso de mestrado, pela alegre convivência;

Aos grandes amigos Fábio Lopes Olivares, Valéria Carneiro, Ailena Sudo, Cláudia Martins, Lindete Míria V. Martins, Liane Barreto A. Pinheiro, Sílvio Roberto L. Tavares e Marcel G. Costa França, por todas as enormes alegrias e aflições compartilhadas, pelo carinho e atenção sempre dispensados;

Ao Altair Toledo Machado, pelo fundamental estímulo, apoio e exemplo profissional, pelo amor, compreensão, carinho e confiança.

BIOGRAFIA

Cynthia Torres de Toledo Machado, nascida a 25 de outubro de 1966, na cidade de Viçosa, Minas Gerais, é Engenheira Agrônoma pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), onde ingressou em março de 1985 e graduou-se em dezembro de 1989. Durante o curso de graduação foi bolsista de Iniciação Científica do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), desenvolvendo trabalhos no Departamento de Fitopatologia da UFV. Após a conclusão do curso, foi bolsista de Aperfeiçoamento Científico do CNPq junto ao Centro Nacional de Pesquisa de Agrobiologia (CNPAB) da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) no período de 1990 a 1992, desenvolvendo trabalhos no Laboratório de Fungos Micorrízicos. Iniciou o curso de Mestrado em Agronomia, na área de concentração em Ciência do Solo, na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), em março de 1993. Em março de 1995, iniciou o curso de Doutorado em Agronomia, área de concentração em Ciência do Solo, na mesma Universidade.

ÍNDICE

	Página
RESUMO	xv
ABSTRACT	xvii
1. INTRODUÇÃO	01
2. REVISÃO DE LITERATURA	06
2.1. Cultura do milho no Brasil	06
2.1.1. Aspectos sócio-econômicos	06
2.1.2. Diversidade genética do milho e importância das variedades locais	13
2.2. Nutrição fosfatada das plantas	20
2.2.1. O fósforo nos solos de regiões tropicais	20
2.2.2. Aquisição de fósforo pelas plantas	22
2.2.3. Requerimento e eficiência de absorção e utilização de fósforo pelas plantas	24
3. MATERIAL E MÉTODOS	36
3.1. Material vegetal	36
3.1.1. Variedades locais	36
3.1.2. Variedades melhoradas	38
3.1.3. Híbridos	39
3.2. Descrição dos experimentos, delineamentos e análises estatísticas	39

3.2.1. Experimento 1	39
a) Procedimentos gerais	39
b) Delineamento experimental e análise estatística dos dados	41
3.2.2. Experimento 2	43
a) Procedimentos gerais e delineamento experimental	43
b) Análise estatística dos dados e ajuste do modelo matemático	46
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
4.1. Experimento 1	49
4.1.1. Produção de matéria seca	49
4.1.2. Partição da matéria seca	59
4.1.3. Conteúdo e acumulação de fósforo nas partes das plantas	63
4.1.4. Eficiência de utilização de fósforo	70
4.2. Experimento 2	75
4.2.1. Produção de grãos	75
4.2.2. Altura de planta e de inserção das espiga	91
4.2.3. Conteúdo e acumulação total de fósforo nos grãos	96
5. CONCLUSÕES	109
5.1. Experimento 1	109
5.2. Experimento 2	111
5.3. Conclusões gerais	113
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	115
7. ANEXOS	129

ÍNDICE DE FIGURAS

Página

Experimento 1

Figura 1: Classificação da eficiência dos genótipos com base na produção de matéria seca da parte aérea em duas doses de P	57
--	----

Experimento 2:

Figura 2: Produção de grãos dos genótipos de milho	77
Figura 3a: Produção de grãos dos genótipos de milho em função das doses de P aplicadas	79
Figura 3b: Produção de grãos dos genótipos de milho em função das doses de P aplicadas	80
Figura 4: Produção de grãos dos genótipos de milho na ausência da adubação Fosfatada	81
Figura 5: Relação entre a produção de grãos por unidade de P_2O_5 aplicado no nível de produção máxima	86
Figura 6: Altura da planta e da inserção da espiga dos genótipos de milho	93
Figura 7: Conteúdo de P nos grãos dos genótipos de milho	98
Figura 8a: Conteúdo de P nos grãos dos genótipos de milho em função das doses de P aplicadas	100

Figura 8b: Conteúdo de P nos grãos dos genótipos de milho em função das doses de P aplicadas	101
Figura 9: Acumulação total de P nos grãos dos genótipos de milho	103
Figura 10a: Acumulação total de P nos grãos dos genótipos de milho em função das doses de P aplicadas	105
Figura 10b: Acumulação total de P nos grãos dos genótipos de milho em função das doses de P aplicadas	106
Figura 11: Relação entre a produção e acumulação de P nos grãos dos genótipos de milho	108

ÍNDICE DE TABELAS

	Página
Material e métodos	
Tabela 1: Descrição das variedades locais	37
Experimento 1	
Tabela 2: Produção média de matéria seca da parte aérea, raízes e total dos genótipos de milho crescidos em duas doses de P	50
Tabela 3: Produção relativa de matéria seca de parte aérea, raízes e total dos genótipos de milho	54
Tabela 4: Relação entre a produção de matéria seca da parte aérea e das raízes (relação pa/r) dos genótipos de milho em duas doses de P	60
Tabela 5: Conteúdo de P da parte aérea e raízes dos genótipos de milho em crescidos em duas doses de P	64
Tabela 6: Acumulação de P na parte aérea, raízes e total dos genótipos de milho crescidos em duas doses de P	68
Tabela 7: Eficiência de utilização dos genótipos de milho crescidos em duas doses de P	71

Experimento 2

Tabela 8: Quadrados médios e valores de F da análise de variância para produção de grãos dos genótipos de milho	75
Tabela 9: Incremento relativo na produção de grãos dos genótipos de milho em função das doses de P aplicadas	82
Tabela 10: Doses de P_2O_5 aplicadas e teores de P disponível para obtenção do rendimento máximo e respectivos valores estimados de produção de grãos para os genótipos de milho	84
Tabela 11: Proporção de espigas danificadas dos genótipos de milho em função das doses de P aplicadas	90
Tabela 12: Quadrados médios e valores de F da análise de variância para a altura das plantas e da inserção das espigas dos genótipos de milho	91
Tabela 13: Proporção de plantas acamadas e quebradas dos genótipos de milho em função das doses de P aplicadas	95
Tabela 14: Quadrados médios e valores de F da análise de variância para a conteúdo e acumulação total de P nos grãos dos genótipos de milho	96

RESUMO

Com o objetivo de verificar a existência de variabilidade entre variedades locais de milho quanto à eficiência de utilização de fósforo (P), identificando fontes genéticas para este parâmetro, bem como avaliar o comportamento das mesmas face à disponibilidade crescente do nutriente no solo, foram instalados dois experimentos.

No primeiro, em solo, sob condições de casa de vegetação, foram avaliados dezoito genótipos, sendo dez variedades locais, seis variedades melhoradas e dois híbridos comerciais, em duas doses de P, 10 e 100 mg.kg⁻¹ solo. Foram utilizados dois critérios de eficiência nutricional, sendo um deles baseado na produção de matéria seca da parte aérea, a partir do qual os genótipos foram classificados quanto à eficiência e capacidade de resposta à adição de P. O outro, definido como eficiência de utilização, relacionou os parâmetros de matéria seca produzida e concentração do nutriente no tecido.

Detectou-se variabilidade genética entre os genótipos avaliados para eficiência a P, observando-se certa correspondência na classificação dos materiais

nos critérios de eficiência nutricional empregados. Destacaram-se, neste experimento, pelos mais elevados índices de eficiência atingidos, 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.

No segundo experimento, os comportamentos de genótipos de milho, sendo cinco variedades locais, uma variedade melhorada e um híbrido duplo, foram avaliados sob condições de campo em função da adubação com doses crescentes de P (0, 20, 40, 80, 160 e 320 kg P_2O_5 .ha⁻¹). Observou-se efeito da adubação fosfatada na produção de grãos, conteúdo e acumulação total de P nos grãos. Os genótipos atingiram diferentes níveis de resposta ao aumento na disponibilidade do nutriente no solo, sendo que as variedades locais Cravinho e Carioca e o híbrido P 6875 caracterizaram-se como sendo os mais responsivos e os que apresentaram produção de grãos mais elevada na ausência de adubação fosfatada. Este último foi o genótipo que demandou a menor dose de P e, conseqüentemente, menor teor do nutriente disponível no solo para alcançar a máxima produção de grãos. Nitroflint e Catetão apresentaram as menores respostas à adição de P e também os menores rendimentos quando o nutriente não foi aplicado. Estes resultados obtidos a nível de campo se mostraram concordantes com aqueles obtidos no ensaio de casa de vegetação.

ABSTRACT

Two experiments were performed in order to verify the variability among local corn varieties for efficiency on phosphorus (P) utilization, identifying genetic sources for this parameter and evaluating the behavior of this varieties at crescent P levels in the soil.

At first experiment, in soil, under greenhouse conditions, were evaluated eighteen corn genotypes (ten local and six improved varieties, and two hybrids) in two soil P levels, 10 and 100 mg P.kg⁻¹ soil. Two nutritional efficiency criterion were used, one established at shoot dry weight production, that allowed the genotypes classification by efficiency and response ability to P addition. The other one, defined as utilization efficiency, related total dry weight produced and tissue nutrient content. Genetic variability was detected among the genotypes evaluated to P efficiency and some conformity in materials classification in both criterion applied. In this experiment, 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.

At the second experiment, five local and one improved varieties, and one hybrid were evaluated under field conditions at crescent levels of P fertilization (0, 20, 40, 80, 160 e 320 kg P_2O_5 .ha⁻¹). It was observed effect of P addition in grain production, P content and P total accumulation in the grains. The genotypes exhibited different levels of response to increase in nutrient availability, and the local varieties Cravinho and Carioca and the hybrid P 6875 were the most responsive, besides to presented the highest grain production at the absence of P fertilitation. The last one was the genotype that required the lowest P level and, consequently smaller nutrient available level to obtain highest grain yield. Nitroflint and Catetão presented the lower responses to P addition and the lower yield values when the nutrient wasn't applied. This field results are in agreement with that obtained at green house assay.

1. INTRODUÇÃO

Em ecossistemas naturais, principalmente nas regiões tropicais e subtropicais onde predominam os Oxissolos e Ultissolos, a deficiência de fósforo é um dos principais fatores limitantes à produtividade das culturas. Esta reduzida disponibilidade é consequência do teor naturalmente baixo do elemento e da alta capacidade destes solos em fixá-lo em formas pouco disponíveis para as plantas. Várias características destas classes de solos, especialmente o tipo de argila e os teores de ferro e alumínio na forma de óxidos e hidróxidos estão estritamente relacionados à capacidade de sorção de fósforo nos mesmos.

Este comportamento peculiar do fósforo, que o diferencia dos outros nutrientes, representa um sério problema agrônômico, ecológico e econômico, uma vez que as adubações normalmente se tornam necessárias e, para a maioria das culturas elas são revertidas em aumentos expressivos de produção. No entanto, por se tratar de um recurso natural não renovável, e cujas previsões para o esgotamento das reservas minerais feitas ainda na década passada são de 300 a 400 anos (BUSO & BLISS,

1988), há que se evitar desperdícios, traduzindo a aplicação deste insumo em máximo benefício tanto para a cultura, como para o agricultor.

Entre as estratégias propostas por SALINAS & SANCHEZ (1976) para contornar o problema do fósforo nos trópicos, além da determinação de métodos mais eficientes de aplicação do fertilizante, pesquisas de fontes alternativas e diminuição da capacidade de fixação dos solos através de práticas relativamente menos onerosas como a calagem, encontra-se a seleção e uso de espécies e variedades mais tolerantes a baixos níveis de fósforo disponível nos solos, numa ação conjunta entre estudos de nutrição, de adaptação e melhoramento de plantas, objetivando resultados mais práticos e econômicos.

A pesquisa em nutrição de plantas tem se caracterizado pela crescente descoberta das variações quantitativas e qualitativas nas demandas e tolerâncias nutricionais dos vegetais. As numerosas diferenças entre e dentro das espécies cultivadas confirmam o controle genético destes parâmetros, cujas evidências, de acordo com GERLOFF & GABELMAN (1983), são originárias de extensivos estudos de evolução de plantas selvagens tolerantes a ambientes nutricionalmente estressantes e de estudos de herdabilidade envolvendo genótipos de requerimentos nutricionais diversos. Os aspectos fisiológicos e anatômicos decorrentes da identificação das diferenças nutricionais também tem sido largamente estudados.

A diversidade inter e intra-específica para a absorção, translocação, distribuição e uso de fósforo já foi observada para grande parte das culturas, dentre as quais, o milho (BAKER et al., 1970; CLARK & BROWN, 1974a, b; CLARK, 1975; FOX, 1978; SHENK & BARBER, 1980; FURLANI et al., 1985; WALKER & RAINES, 1988;

ALVES et al, 1988; SILVA et al.,1993; SILVA & GABELMAN, 1993), para o qual existem inúmeros resultados relacionados à cinética de absorção, morfologia do sistema radicular, atividade enzimática e, mais recentemente, à dinâmica das frações de fósforo e sua importância nos estudos de metabolismo e identificação das bases fisiológicas da maior eficiência de utilização deste nutriente.

O aspecto de eficiência a fósforo para o milho no Brasil reveste-se de fundamental importância, uma vez que trata-se da cultura mais plantada no país, com uma produtividade média de aproximadamente 2000 kg.ha⁻¹, inferior ao que seria possível e desejável pela atual disponibilidade de tecnologia de produção e também pela área cultivada. Dentre os fatores que contribuem para este baixo rendimento estão os aspectos edafoclimáticos, como a escassez ou desuniformidade de precipitações pluviométricas, e, principalmente o baixo nível de fertilidade dos solos brasileiros. Os locais de onde se origina a maior parte da produção nacional constituem-se de áreas com algum tipo de estresse ambiental e, no aspecto nutricional, o fósforo aparece juntamente com o N, como um dos macronutrientes essenciais mais limitantes.

Estes problemas relacionados às restrições ambientais constituem parte importante das causas da baixa produtividade da cultura e estão ligados ao contexto social do cultivo do milho no Brasil.

A parcela da produção oriunda da pequena propriedade agrícola é bastante expressiva e as pequenas lavouras (menos de 10 ha) contribuem com cerca de 52% da produção e 58% da área cultivada com milho no país (Censo Agropecuário, 1980, citado por MONTEIRO, 1990). As pequenas propriedades, por suas limitações, são conduzidas a um tipo de agricultura de subsistência, em que os recursos existentes se

destinam à produção de alimentos para consumo e, conseqüentemente, a tecnologia aplicada é pequena e os investimentos são mínimos.

O uso de insumos agrícolas, notadamente os fertilizantes, tem sido restringido, e mesmo a aquisição de sementes, que até então não representava grande proporção no custo de produção da lavoura, tem sido limitada. Assim, é comum encontrar agricultores usando sementes de várias gerações de híbridos, o que por sua vez acarreta em queda na produtividade, em razão da escassez de recursos disponíveis para a aquisição de sementes novas. No caso de uso de variedades tal processo não ocorre, podendo o agricultor utilizar a semente colhida sem nenhuma perda de produtividade.

A variabilidade genética representada por todo o germoplasma de milho hoje disponível é imensa e grandes são os progressos advindos do melhoramento genético da cultura, com o desenvolvimento de materiais adaptados a condições adversas de clima e solo. Faz-se necessário a preservação e o uso racional deste reservatório de variações genéticas naturais a fim de se garantir as pesquisas futuras e um retorno econômico satisfatório para os agricultores.

A introdução de cultivares melhorados para determinados ambientes e o incentivo ao uso das variedades locais em áreas onde predominam pequenos produtores é bastante interessante do ponto de vista de sustentabilidade do sistema, por tratar de materiais adaptados e que atingem um nível de produtividade normalmente considerado bom para os agricultores brasileiros, além da viabilidade da produção das próprias sementes pelos mesmos.

Atualmente, um programa de resgate e seleção de variedades “crioulas” (materiais não melhorados, variedades locais) vem sendo realizado junto a organizações não-governamentais da Rede PTA (Projeto Tecnologias Alternativas) com a cooperação do Centro Nacional de Pesquisa de Agrobiologia (CNPAB/EMBRAPA). Este projeto visa resgatar e incentivar a produção própria de sementes de milho, a partir da valorização e reintrodução de variedades em substituição aos híbridos comerciais, recuperando a diversidade do sistema de produção (CORDEIRO & MARCATTO, 1994).

No entanto, se faz necessário um projeto sistematizado de pesquisa que busque identificar características favoráveis dos genótipos de milho em relação a condições específicas de estresses bióticos e abióticos, aos quais os agricultores estão sujeitos em suas propriedades, como deficiências nutricionais, problemas climáticos e ataques de pragas e doenças, dentre outros. Neste aspecto, a eficiência de utilização de fósforo é uma característica importante para minimizar os custos de produção da cultura, e um estudo deste parâmetro para variedades locais inexistente no país.

Neste sentido, o objetivo do presente trabalho foi verificar a existência de diferenças entre algumas variedades locais de milho quanto à eficiência de utilização de fósforo, comparando o desempenho das mesmas com o de materiais melhorados, identificando fontes genéticas e avaliando a variabilidade desta característica entre as raças de origem, primeiramente em um “screening” em casa de vegetação e posteriormente sob condições de campo, quando os parâmetros de produção foram determinados.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. A cultura do milho no Brasil

2.1.1. Aspectos sócio-econômicos

O milho é um produto básico, de utilização ampla e variada. A importância social e econômica do milho no Brasil manifesta-se pela área ocupada - de quase 13 milhões de hectares, pelo contingente humano dedicado à cultura, que é de mais de 3 milhões de pessoas (GARCIA, 1986, citado por MONTEIRO, 1990), por ser componente essencial da dieta da população e por ser produto típico do pequeno produtor rural.

É a cultura mais plantada no país, com uma produtividade média da ordem de 2,3 t.ha⁻¹ (IBGE, 1993). Segundo MONTEIRO (1990), baseando-se em dados dos últimos anos da década de 80, a produção média nacional vem suprindo tanto a demanda comercial de milho no Brasil, que se divide entre a possibilidade de

industrialização, o uso como alimento animal e a produção de sementes, quanto também o consumo rural. Ocorrem importações esporádicas e, por vezes, de caráter estratégico, bem como exportações eventuais e pouco expressivas. Com relação aos demais produtores mundiais de milho, conforme pode ser visto na Tabela 1, o Brasil ocupa o terceiro lugar em área plantada e produção, e o décimo-primeiro lugar em produtividade.

Tabela 1. Área, produção e rendimento de grãos de milho nos principais países produtores.

País	Área (1.000 ha)	Produção		Rendimento (kg/ha)
		1.000 t	%	
Estados Unidos	26.348	189.234	40,01	7.182
China	20.084	76.340	16,14	3.801
Brasil	12.862	26.045	5,51	2.025
Romênia	3.100	19.500	4,12	6.129
União Soviética	4.500	14.500	3,07	3.222
França	1.912	12.401	2,62	6.486
África do Sul	4.000	11.700	2,47	2.925
México	6.700	11.200	2,37	1.672
Iugoslávia	2.277	10.516	2,22	4.618
Índia	5.800	7.800	1,65	1.345
Indonésia	3.083	6.360	1,34	2.063
Filipinas	3.600	4.500	0,95	1.250
Tailândia	1.821	4.460	0,94	2.449
Argentina	1.700	4.260	0,90	2.506
Tanzânia	1.800	3.159	0,67	1.755
Sub-total	99.587	401.975	84,98	-
Total mundial	128.467	472.933	100,00	3.681

Fonte: FAO (1989b) citado por MELO FILHO (1991).

Apesar de ser uma das culturas mais trabalhadas, à qual os melhoristas têm concentrado maior esforço visando a obtenção de materiais mais uniformes e produtivos, e apesar da modernização dos processos de produção nos últimos tempos, a produtividade média do país é bastante inferior àquela possível de se alcançar em função da área destinada à cultura, da tecnologia e resultados de pesquisas disponíveis, e do potencial de produção revelado por algumas regiões que superam a média nacional.

Diversos fatores contribuem para o baixo rendimento, principalmente aspectos edafoclimáticos como a escassez ou desuniformidade de precipitações pluviométricas e o baixo nível de fertilidade dos solos brasileiros. No entanto, estes problemas relacionados às limitações naturais, constituem apenas parte das causas da baixa produtividade da cultura. Considerando que o milho é cultivado principalmente por pequenos produtores, outros aspectos são determinantes, como a estrutura fundiária vigente com elevada concentração da terra e, conseqüentemente, má distribuição de renda no setor agrícola. Segundo MONTEIRO (1990), ocorre que os produtos agrícolas com maiores possibilidades comerciais, tanto com referência ao mercado interno como ao internacional, tendem a ser explorados em propriedades maiores. As pequenas propriedades, por suas limitações, são conduzidas a um tipo de agricultura de subsistência, em que os recursos existentes são dedicados à produção de alimentos para consumo, restringindo-se à comercialização do excedente. Observa-se então um rendimento menor na pequena propriedade em função da tecnologia de produção aplicada ser mais baixa e da dificuldade que o pequeno produtor tem de

contornar as adversidades naturais, seja por uso de insumos agrícolas ou mesmo por vias alternativas como rotação de culturas e pousio.

A distribuição da produção de milho é bastante dispersa e MONTEIRO (1995) considerou a cultura como sendo uma cultura de "integração nacional". No aspecto geográfico constata-se a grande dispersão da produção, sendo o milho cultivado em todos os estados do Brasil, sob as mais diversas condições de clima e solo, havendo, no entanto, uma forte concentração da produção nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste, enquanto que o Norte e Nordeste contribuem com pequena parcela da produção e da área. Esta característica de regionalização da produtividade (Tabela 2), reflete tanto as limitações ambientais de solo e clima, como a estrutura das propriedades e produtores. Além disso, faz com que a média nacional não represente adequadamente a realidade da produção de milho no país, por englobar os baixos rendimentos obtidos em regiões que apresentem limitações ao desenvolvimento da cultura.

Tabela 2. Área, produção e rendimento de grãos de milho nas regiões brasileiras.

Região	Área		Produção		Rendimento	
	ha	%	t	%	kg/ha	Índice
Norte	448.689	3,35	645.143	2,11	1.438	63
Nordeste	2.569.103	19,19	1.141.191	3,73	444	19
Sudeste	3.243.697	24,23	8.162.727	26,71	2.516	110
Sul	5.646.277	42,17	16.087.591	52,65	2.849	125
Centro-Oeste	1.481.187	11,06	4.519.982	14,79	3.052	134
Brasil	13.388.953	100,00	30.556.634	100,00	2.282	100

Fonte: IBGE (1993).

Os menores rendimentos são encontrados nas regiões de maiores restrições ambientais como o Norte e o Nordeste. MONTEIRO (1995) aponta a região Norte como sendo constituída principalmente por um ecossistema frágil e, na sua grande parte, não vocacionado a uma exploração agropecuária comercial ou intensiva e que possui como fatores limitantes a esta exploração os solos pobres em nutrientes e o excesso hídrico, bem como a complexidade da floresta nas áreas onde ela predomina.

A região Nordeste, com predomínio da caatinga, é onde estão as áreas mais secas do Brasil, em função de escassez e/ou da irregularidade das chuvas. Nesta região, de acordo com MONTEIRO (1990), há uma maior concentração da produção de milho a partir da pequena propriedade, onde se observa um rendimento tão baixo que praticamente não há estímulo para o desenvolvimento tecnológico.

A região Centro-Oeste, como detentora do primeiro lugar no rendimento da cultura do milho no Brasil, reflete as conseqüências de uma agricultura tecnificada, onde as restrições existentes em solos pouco férteis e ácidos, características de áreas sob o domínio dos cerrados, foram superadas.

A região Sul, com temperaturas anuais baixas e grande variação de topografia e qualidade de solo, apresenta rendimentos que a colocam atualmente em posição superior ao Sudeste, onde predominam precipitações pluviométricas adequadas e boa drenagem natural. O Sul reflete também um mosaico de situações que vão desde o plantio na região colonial do Rio Grande do Sul à integração de suínos e aves em Santa Catarina e a agricultura embasada em solos de alta fertilidade natural no norte do Paraná (MONTEIRO, 1995), com rendimentos médios, de respectivamente, 2.763,

3.025 e 2.843 kg.ha⁻¹ (IBGE, 1993). Vale ressaltar que mesmo no Centro-Sul do país o milho é cultivado em áreas marginais ou pouco aptas à cultura.

A parcela da produção oriunda da pequena propriedade agrícola no Brasil é bem expressiva, o que pode ser verificado com o enfoque da origem da produção a partir do tamanho das propriedades e do tamanho das lavouras destinadas a esta cultura (Tabelas 3 e 4). Os dados são referentes ao censo de 1980, mas o perfil geral não deve ter se alterado muito.

Propriedades de até 50 ha contribuem com 57,49% da área e 55,83% da produção de milho no Brasil e possuem um rendimento médio de 1.476 kg.ha⁻¹ (Tabela 3).

Tabela 3. Área, produção e rendimento de milho, por grupos de área total de propriedade.

Grupo de área total (ha)	Área		Produção		Rendimento (kg/ha)
	ha	%	t	%	
0 - 10	1.952.043	18,88	2.323.948	14,78	1.191
10 - 20	1.638.798	15,95	2.675.887	17,02	1.633
20 - 50	2.353.041	22,76	3.777.722	24,03	1.605
50 - 100	1.275.566	12,34	1.938.099	12,33	1.519
100 - 200	1.026.041	9,92	1.575.288	10,02	1.535
200 - 500	1.005.081	9,72	1.627.026	10,35	1.619
500 - mais	1.088.022	10,52	1.804.611	11,48	1.659
Total	10.338.591	100,00	15.722.581	100,00	1.521

Fonte: Censo Agropecuário, 1980, citado por MONTEIRO, 1990.

É importante notar que o rendimento obtido em pequenas propriedades tende a ser um pouco mais baixo que as médias e grandes, fato este que tem sua explicação na tecnologia de produção aplicada, e em outras limitações de clima e solo, uma vez que grande parte das pequenas propriedades se situa em áreas com algum tipo de condição adversa.

Quanto ao tamanho das lavouras de milho independente do tamanho da propriedade, nota-se que 58,26% da área e 52,57% da produção vem de lavouras de menos de 10 ha. Quase a metade da área (46,38%) é cultivada em lavouras de 2 a 10 ha e apenas 7% da área cultivada com o milho o foi em lavouras maiores que 100 ha, obtendo-se 9,03% da produção (Tabela 4).

Tabela 4. Área, produção e rendimento de milho, por grupos de área de colheita.

Grupo de áreas de colheita (ha)	Área		Produção		Rendimento (kg/ha)
	ha	%	t	%	
0 - 1	400.637	3,88	369.896	2,35	923
1 - 2	827.569	8,00	3.593.086	5,75	1.093
2 - 5	2.652.238	25,65	3.399.314	22,85	1.355
5 - 10	2.143.263	20,73	3.399.314	21,62	1.586
10 - 20	1.695.845	16,40	2.746.285	17,47	1.619
20 - 50	1.311.300	5,65	1.080.973	6,88	1.851
50 - 100	584.076	5,65	1.080.973	6,88	1.851
100 - mais	723.659	7,00	1.419.444	9,03	1.961
Total	10.338.587	100,00	15.722.577	100,00	1.521

Fonte: Censo Agropecuário, 1980, citado por MONTEIRO, 1990.

Observa-se também por estes dados um menor rendimento nas lavouras menores e um aumento no mesmo em função do crescimento do tamanho da lavoura. Isto reflete possíveis ganhos com o aumento do tamanho da área cultivada, ao mesmo tempo que revela diferenças de propósitos das lavouras segundo a área, e também diferenças nas limitações à adoção de novas técnicas de produção.

MONTEIRO (1990) reportando-se aos dados do censo de 1980, revela que no Brasil, 45,82% da área foi plantada com semente comum (não melhorada) de onde se obteve 30% da produção. Apenas no Centro-Sul do país, 31,33% da área foi ainda cultivada com semente comum, obtendo-se 24,89% da produção. O autor mostra também que cerca de 54,65% da área cultivada com milho no mesmo período, o foi praticamente sem nenhuma adubação e, considerando a região Centro-Sul novamente, percebe-se que 41,91% da área foi explorada sem qualquer tipo de adubação.

Todos estes dados apresentados mostram, em função das limitações às quais a cultura do milho está sujeita, a potencialidade da mesma para que melhores rendimentos sejam alcançados considerando-se os variados sistemas de produção. Apesar de ser uma cultura trabalhada intensivamente, há ainda uma necessidade de estudos específicos englobando a própria cultura, o sistema de produção, a propriedade e a comunidade que a produz.

2.1.2. Diversidade genética do milho e importância das variedades locais

Um dos aspectos fundamentais da cultura do milho é a grande diversidade genética que possibilita o seu cultivo em diversas regiões (MACHADO &

MAGNAVACA, 1991). O germoplasma de milho hoje disponível representa um enorme reservatório de variações genéticas naturais, provavelmente maior do que qualquer outra espécie vegetal cultivada, tendo sido descritas aproximadamente 250 raças (PATERNIANI & GOODMAN, 1978).

ANDERSON & CUTLER (1942), citados por GOODMAN & SMITH (1980), definiram o termo raça como "um grupo de indivíduos aparentados com suficientes características em comum, que permitem o seu reconhecimento como um grupo", e a raça em termos genéticos como "um grupo de indivíduos com um significativo número de genes em comum, tendo as raças maiores um menor número em comum do que as sub-raças". GOODMAN & SMITH (1980), em uma revisão, descrevem aspectos dos complexos raciais amplamente disseminados e dos complexos regionais.

Para o caso específico das raças de milho encontradas no Brasil, PATERNIANI & GOODMAN (1978), agruparam as mesmas nas seguintes categorias: indígenas, comerciais antigas, comerciais recentes e raças exóticas. De acordo com estes autores, as raças indígenas constituem-se de milhos que tem sido, aparentemente, cultivados quase que apenas pelos índios e, presumivelmente, estão sendo mantidos desde o período pré-colombiano. São as raças Guarani, Moroti (Precoce e Guapi), Caingang, Lenha e Entrelaçado. Todas são constituídas de milhos farináceos, preferidos pelos povos indígenas das Américas, em contraste aos milhos duros e dentados preferidos pelo homem branco nesta área. Com a possível exceção da raça Lenha, as demais foram coletadas pelos ancestrais que as cultivaram nos tempos pré-colombianos. Atualmente a raça Moroti é cultivada no Paraguai por descendentes

diretos dos índios Guaranis. As outras possuem pouca ou nenhuma importância comercial.

As raças comerciais antigas são raças que existiram no período pré-colombiano, mas que foram adotadas pelos imigrantes europeus a partir dos índios. São raças originalmente indígenas, que se modificaram através dos tempos como resultado do seu cultivo em larga escala até os dias atuais. Provavelmente não representam as populações presentes nos tempos pré-colombianos. São elas: Cristal Sulino, Cristal (Cristal Semi-Dentado), Canário de Ocho, Cateto Sulino Precoce, Cateto Sulino (Cateto Sulino Escuro), Cateto Sulino Grosso, Cateto (Cateto Assis Brasil e Cateto Grande) e Cateto Nortista (Cateto Nortista Precoce). Os nomes entre parênteses referem-se às sub-raças.

As raças comerciais recentes são aquelas que se estabeleceram e disseminaram no período pós-colombiano. Foram introduzidas a partir de outros locais ou se originaram do cruzamento natural entre as raças existentes e/ou introduzidas. São consideradas recentes, uma vez que a mais antiga delas provavelmente não tenha mais de cem anos de existência. São milhos do tipo dentado (principalmente) ou semidentado. Os dentados do Rio Grande do Sul e adjacências são puros, exibindo pouca ou nenhuma introgressão dos tipos duros; já os de São Paulo e estados próximos, mostram grande introgressão do Cateto. Os milhos dentados não são nativos da América do Sul, tendo sido introduzidos a partir dos Estados Unidos. Após sua introdução, os dentados e as variedades derivadas dos mesmos adquiriram aceitação geral devido aos seus rendimentos mais elevados em relação ao Cateto local. Constituem as raças comerciais recentes: Dente Rio Grandense (Liso e

Rugoso), Dente Paulista, Dente Branco (Rio Grandense e Paulista), Semi-Dentado (Rio Grandense e Paulista) e Cravo (Rio Grandense e Paulista).

Finalmente, as raças exóticas são aquelas originalmente encontradas em outras áreas e que foram introduzidas em nossa região nos tempos modernos. São conhecidas como raças estrangeiras. Das duas raças descritas, Hickory King tem sido cultivada por vários anos, enquanto a Tusón, encontrada no estado da Bahia, é mais recente. Outros germoplasmas exóticos se tornaram populares, sendo a maioria deles variedades sintéticas desenvolvidas e lançadas por instituições oficiais. Como exemplo são encontradas algumas variedades do germoplasma Tuxpeño, como Asteca e Maia, desenvolvidas pelo Instituto Agrônomo de Campinas; Piramex, desenvolvida pelo Instituto de Genética da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" em Piracicaba; Pérola Piracicaba, resultante da combinação de Cateto com milhos duros da Colômbia, e Centralmex, oriundo da combinação do Piramex com milhos da América Central.

A preservação da variabilidade genética representada pelas inúmeras variedades locais e regionais de milho é de grande importância para as pesquisas futuras e melhoramento da cultura. A manutenção dos genes existentes nas diversas raças se faz necessária e fundamental. Sabe-se, entretanto, que em função do longo processo de seleção da cultura do milho, iniciado há mais de 4.000 anos pelos nativos no México (MACHADO & MAGNAVACA, 1991) e do advento dos híbridos, o milho vem sofrendo erosão genética. Tal processo, segundo os autores acima citados, se deve à perda das variedades locais que vem sendo gradativamente substituídas

por cultivares melhorados, que atendem melhor à necessidade dos agricultores de aumentar o rendimento econômico da cultura.

O advento do milho híbrido no Brasil a partir da década de 40 e sua adoção maciça a partir da década de 70, teve como consequência, segundo SCHAUN (1990), o arrefecimento do uso de variedades melhoradas que eram introduzidas periodicamente, bem como das variedades locais, fato este que contribuiu para a perda de pureza dos materiais utilizados, principalmente do ponto de vista genético. Ao longo do tempo, em função das vantagens aparentes do uso de sementes de milho híbrido, foi evidente a substituição quase total da prática do uso de variedades pelas sementes híbridas adquiridas no mercado.

A polêmica ao redor do uso de variedades ou híbridos culmina com a dúvida sobre o que é melhor para o agricultor - o uso do híbrido ou da variedade? De acordo com MAGNAVACA & PARENTONI (1990), cada um deles é mais indicado para determinada situação. Numa agricultura altamente tecnificada, com grande uso de insumos (adubos, inseticidas, herbicidas, etc.), com colheita mecânica, e onde os níveis de produtividade têm que ser muito elevados para cobrir os custos de produção que oneram o grupo de produtores empresariais, não há dúvida de que se deve usar sementes de um híbrido. Já para o nível de produtividade normalmente considerado bom pelo agricultor brasileiro, que seria de cinco a seis mil quilos de grãos/ha, existem as chamadas variedades melhoradas, que seriam tão produtivas quanto os híbridos.

Um ponto importante a se observar na decisão sobre uso de híbridos ou variedades é a possibilidade de se reutilizar a semente desta última. Neste aspecto observa-se que o milho híbrido, apesar do seu indiscutível potencial produtivo, é

também um fator agravante no que se refere ao baixo rendimento da cultura, uma vez que para expressar o seu máximo potencial necessita de condições ambientais ótimas e do suprimento adequado de nutrientes. A relação entre uso de híbrido e a baixa produtividade vem como conseqüência das crises econômicas e financeiras que elevaram imensamente o custo dos insumos, tornaram baixa a remuneração da cultura e descapitalizaram sobremaneira o agricultor brasileiro, principalmente o pequeno. Este, por sua vez, tem reduzido substancialmente os investimentos com a cultura, incluindo o aspecto relativo à aquisição de sementes, insumo que até então não representava grande peso no custo de produção da lavoura. Assim, é comum encontrar agricultores usando "sementes de paiol" de várias gerações de híbridos, ou seja, os grãos colhidos de um híbrido nos anos anteriores. MAGNAVACA & PARENTONI (1990) afirmam que normalmente ocorre uma queda de produtividade de no mínimo 20%, devido à "perda do vigor híbrido", também chamado de depressão por endogamia, o que concorre para o problema do baixo rendimento da cultura. Com as variedades tal processo não ocorre, podendo o agricultor reutilizar a semente colhida sem nenhuma perda de produtividade. Assim sendo, havendo na comunidade noções de como produzir uma semente de boa qualidade, é bastante viável ao agricultor produzir a sua própria semente.

Atualmente, um programa de resgate e seleção de variedades "crioulas" (materiais não melhorados, variedades locais) vem sendo realizado junto a organizações não-governamentais da Rede PTA (Projeto Tecnologias Alternativas) com a cooperação do Centro Nacional de Pesquisa de Agrobiologia (CNPAB/EMBRAPA). Este projeto visa resgatar e incentivar a produção própria de

sementes de milho, a partir da valorização e reintrodução de variedades em substituição aos híbridos comerciais, recuperando a diversidade no sistema de produção (CORDEIRO & MARCATTO, 1994).

A estratégia de trabalho deste programa é bem definida por CORDEIRO & MARCATTO (1994) e se resume ao resgate das variedades locais ainda mantidas pelos agricultores com mapeamento e amostragem das sementes para multiplicação e avaliação dos materiais resgatados através de ensaios de competição e de observações nas lavouras dos agricultores. Um dos ensaios é feito a nível nacional, em várias localidades do país já há alguns anos e é denominado Ensaio Nacional de Milho Crioulo - ENMC.

No entanto, se faz necessário um projeto sistematizado de pesquisa que busque identificar características favoráveis dos genótipos de milho em relação a condições específicas de estresses abióticos e bióticos, aos quais os agricultores estão sujeitos em suas propriedades, como deficiências nutricionais, problemas climáticos e ataques de pragas e doenças, dentre outros.

Neste aspecto, a eficiência de utilização de fósforo é uma característica importante para minimizar os custos de produção da cultura, e um estudo deste parâmetro para as variedades locais inexistente no país.

2.2. Nutrição fosfatada das plantas

2.2.1. O fósforo nos solos de regiões tropicais

A produção de alimentos, cuja demanda tem aumentado em função do crescimento da população mundial, requer o uso de fertilizantes para corrigir as deficiências naturais de elementos essenciais no solos ou para repor os nutrientes removidos pelos produtos colhidos.

De acordo com CONSTANT & SHELDRIK (1991), citados por BATTEN (1993), o fósforo é, depois do nitrogênio, o fertilizante mais largamente utilizado no mundo, e que em 1988-1989 o consumo de nitrogênio foi de 79,6 milhões de toneladas e o de fósforo de 16,6 milhões de toneladas. O elevado consumo de fertilizante fosfatado reflete-se em um problema, uma vez que as suas reservas minerais estão sendo rapidamente esgotadas.

A deficiência de fósforo é uma das limitações mais comuns aos cultivos em solos da América tropical. Aproximadamente 82% desta área é naturalmente deficiente em fósforo e se constitui basicamente de solos pertencentes às classes dos Oxissolos e Ultissolos (SANCHEZ & SALINAS, 1981). No Brasil, aproximadamente 572 milhões de ha de terras são formadas por Podzólicos distróficos (Ultissolos) e Latossolos (Oxissolos), correspondendo a 68% da superfície do território nacional (COCHRANE, 1982, citado por GUERRA, 1993). A elevada capacidade destes solos em fixar ou adsorver o fósforo em formas pouco disponíveis às plantas, torna necessário o uso de altas doses do elemento para obtenção de produções satisfatórias. Várias

propriedades destas classes de solos, especialmente pH, tipo de argila e teores de ferro e alumínio nas formas de óxidos e hidróxidos, estão estritamente relacionadas à capacidade de sorção de fósforo (SANCHEZ & SALINAS, 1981; FAGERIA *et al.*, 1988; TISDALE *et al.*, 1985). Em solos ácidos, com predomínio de caulinita e óxidos de ferro e alumínio, são mais importantes as combinações do fósforo com ferro e alumínio, enquanto que em solos neutros ou calcáreos, aparecem os fosfatos de cálcio, também de baixa solubilidade (VAN RAIJ, 1983).

O fósforo adicionado ao solo como fertilizante dissolve-se passando para a solução do solo. No entanto, devido à baixa solubilidade dos compostos secundários formados e à elevada capacidade de adsorção pelo solo, a maior parte do P passa à fase sólida como P lábil adsorvido aos colóides, que gradativamente evolui para a forma não lábil. O P lábil pode ser dissolvido para a manutenção do equilíbrio caso haja diminuição na atividade do elemento na solução do solo. Segundo VAN RAIJ (1983), a referência à P lábil e não-lábil não conflita com as formas inorgânicas do P ligado a Ca, Fe e Al, sendo que qualquer uma destas formas pode ser mais ou menos lábil, dependendo principalmente do tempo de formação dos fosfatos e das condições existentes, que podem favorecer de maneira diferenciada o envelhecimento ou retrogradação às formas não lábeis, que são dissolvidas com dificuldade.

Como reflexo da baixa solubilidade dos compostos de P, os teores do elemento na solução do solo são normalmente baixos, raramente atingindo $0,1 \text{ mg.l}^{-1}$ sendo em geral muito mais baixos. A forma predominante em solos ácidos é o íon H_2PO_4^- aparecendo em menores proporções o íon $\text{HPO}_4^{=}$, que ocorre em proporções crescentes à medida que o pH é elevado (VAN RAIJ, 1983).

2.2.2. Aquisição de fósforo pelas plantas

As raízes das plantas são capazes de absorver o P de soluções extremamente diluídas e, geralmente, o conteúdo de P das células das raízes e seiva do xilema são de 10^2 a 10^3 vezes maiores do que na solução do solo (MENGEL & KIRKBY, 1987). TISDALE *et al.* (1985) se referem à ocorrência de concentrações de P entre 0,1 e 0,4% na maioria das espécies vegetais, teores estes considerados mais baixos que aqueles encontrados para N e K.

O fósforo é absorvido pelas plantas nas formas de $H_2PO_4^-$ e $HPO_4^{=}$, sendo a primeira forma a preferencial (TISDALE *et al.*, 1985). Conforme citado anteriormente, a atividade das duas espécies iônicas é controlada pelo pH da solução do solo e em condições tropicais, $H_2PO_4^-$ domina amplamente. As plantas podem ainda, de acordo com TISDALE *et al.* (1985), absorver certos fosfatos orgânicos solúveis derivados da decomposição da matéria orgânica do solo.

De modo geral, o fornecimento de nutrientes às plantas, inclusive o P, ocorre como resultado de três processos (MENGEL & KIRKBY, 1987): por fluxo de massa na água extraída do solo para substituir a transpirada pelas folhas; por difusão a partir de um gradiente de concentração na solução do solo e por interceptação radicular, como resultado do crescimento das raízes para volumes de solo ainda não explorados.

O transporte do P do solo para as raízes se dá principalmente por difusão, sendo este o principal mecanismo envolvido na aquisição do nutriente exceto para solos altamente ricos em P (TISDALE *et al.*, 1985). A difusão do P ocorre de forma lenta e OZANNE, (1980), citando BARBER *et al.* (1930) reporta-se a valores tão baixos

como $4 \times 10^{-11} \text{ cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$. Como resultado desta lenta movimentação o P é absorvido pelas plantas mais rapidamente do que é trazido pelo fluxo de massa e a concentração junto à superfície das raízes torna-se bem inferior àquela encontrada no restante do solo, criando uma região de depleção de P em torno das raízes e, conseqüentemente, um pronunciado gradiente de difusão (CLARKSON, 1985a).

Vários modelos matemáticos foram propostos para explicar a absorção de nutrientes do solo e, segundo CLARKSON (1985a, b), são divididos em fatores do solo, fatores morfológicos e fatores de absorção do sistema radicular. Os fatores do solo determinam a taxa na qual um dado nutriente atinge a superfície da raiz e incluem-se neste grupo o coeficiente de difusão efetivo, a capacidade tampão do solo, a concentração inicial na solução, o fluxo de água para a raiz e a densidade e distribuição de raízes em um dado volume de solo. Os fatores morfológicos definem a taxa de crescimento da superfície de absorção: taxa de crescimento da raiz, raio médio das raízes, frequência de pêlos absorventes e presença de associações micorrízicas. Por último, os fatores de absorção definem a capacidade de absorção de nutrientes pela raiz e constituem os fatores cinéticos do sistema radicular: influxo máximo ($I_{\text{máx}}$), constante de Michaelis - Menten (K_m) e concentração mínima (C_{min}). Para o P, os fatores cinéticos parecem secundários quando comparados à taxa de difusão do elemento através da zona de depleção e à taxa de crescimento do sistema radicular.

Uma vez absorvido, o P é rapidamente translocado para todas as partes da planta e desempenha funções essenciais, sendo o seu papel no armazenamento e transferência de energia, o mais importante. Segundo TISDALE *et al.* (1985), a energia obtida na fotossíntese e metabolismo dos carboidratos é armazenada nos compostos

do P para uso subsequente nos processos de crescimento e reprodução. Além disso, o P é um importante componente estrutural de uma grande variedade de compostos tais como ácidos nucleicos, coenzimas, nucleotídeos, fosfoproteínas, fosfolípidos e açúcares fosfatados.

Mais de 75% do P que se move através do xilema é inorgânico e o que é retranslocado via floema constitui-se de formas similares às encontradas em outros tecidos (OZANNE, 1980). Dados de BIELESKI (1973) indicam que a concentração padrão de um tecido vegetal é de 0,004% de P como ácido desoxirribonucléico (DNA), 0,04% como ácido ribonucléico (RNA), 0,03% como fosfolípidos, 0,02% como ésteres fosfatados e 0,13% de P inorgânico (íons ortofosfato), todos com base no peso seco. Os níveis absolutos são variáveis e dependem da disponibilidade de P para a planta.

2.2.3. Requerimento e eficiência de absorção e utilização de fósforo pelas plantas

Os custos relativamente altos dos fertilizantes fosfatados acoplados às limitações de deficiência generalizada e fixação do elemento, têm intensificado o desenvolvimento de novas tecnologias que possibilitem um uso mais eficiente do P aplicado e conseqüentemente a produção de alimentos com menor custo de produção.

SANCHEZ & SALINAS (1981) resumem as estratégias de manejo sugeridas por vários autores neste sentido, e ressaltam a importância da seleção e uso de

espécies e variedades tolerantes a baixos níveis de P disponível no solo, no sentido de aproveitar ao máximo o potencial de adaptação dos materiais vegetais.

A ocorrência de variabilidade genética relacionada à nutrição mineral, bem como as diversidades inter e intra-específicas para a absorção, translocação, distribuição e uso de nutrientes são conhecidas há muitos anos e numerosas revisões sobre o assunto já foram feitas (BUSO & BLISS, 1988).

Para o P especificamente, os primeiros estudos sobre diferenças entre espécies e variedades com relação à sua utilização datam da década de 30 (SALINAS & SANCHEZ, 1976), mas a possibilidade de explorar as diferenças genotípicas na sua absorção e utilização para aumentar a eficiência do fertilizante fosfatado ou obter boas produtividades em solos deficientes em P, tem recebido mais atenção apenas nos últimos anos (FAGERIA *et al.*, 1988).

Neste sentido, indicações de variações genéticas inter e intra-específicas na absorção e utilização do P têm sido reportadas para estilosantes (CHISHOLM *et al.*, 1981); cebola, centeio, espinafre e tomate (FÖHSE *et al.*, 1988); feijão (FÖHSE *et al.*, 1988; YOUNGDAHL, 1990); alface (BUSO & BLISS, 1988); soja (SILBERBUSH & BARBER, 1985); trevo branco (HART & COLVILLE, 1988; CARADUS & SNAYDON, 1988a, b; CARADUS *et al.*, 1993, CARADUS, 1993); cevada (SCHJORRING & NIELSEN, 1987); forrageiras (BARROW, 1975; CHISHOLM & BLAIR, 1988a; MILAN *et al.*, 1991; FATTORE & ANGHINONI, 1992); trigo (LIPSETT, 1964; BATTEN, 1986; FÖHSE *et al.*, 1988); caupi (ADEPETU & AKAPA, 1977); sorgo (RAJU *et al.*, 1987; FURLANI *et al.*, 1987; WIENEKE, 1990); arroz (FAGERIA & BARBOSA FILHO, 1982;

FURLANI *et al.*, 1983; FAGERIA *et al.*, 1988; FURLANI, 1988) e milho (CLARK & BROWN, 1974a, b; FOX, 1978; SCHENK & BARBER, 1980; FURLANI *et al.*, 1985, WALKER & RAINES, 1988, ALVES *et al.*, 1988; SILVA *et al.*, 1993; SILVA & GABELMAN, 1993), dentre outros.

Os conhecimentos neste aspecto referem-se basicamente à quantificação das diferenças entre os genótipos com relação aos requerimentos do nutriente, aos mecanismos considerados responsáveis por estas diferenças e às respostas diferenciais à fertilização fosfatada.

Os requerimentos externos e internos de P tem sido usados para comparar as exigências das culturas, e referem-se às concentrações de P na solução do solo e nos tecidos vegetais necessárias para atingir um rendimento máximo ou próximo ao máximo (FOX, 1981). São também denominados de níveis críticos externo e interno, variam grandemente entre as espécies cultivadas (SALINAS & SANCHEZ, 1976) e são calculadas com base em 80% (FÖHSE *et al.*, 1988), 90% (FONSECA *et al.*, 1988, CARVALHO *et al.*, 1989, CHISHOLM *et al.*, 1981), 95% (JONES *et al.*, 1972) ou 100% (BLAIR, 1993) do rendimento máximo do produto final. Além de determinar diferenças nutricionais entre os vegetais, os níveis críticos dão idéia da adaptação dos mesmos a determinados nichos ecológicos e, quando usados em conjunto com as isothermas de adsorção de P fornecem um parâmetro racional para a predição da demanda de fertilizantes (FOX, 1981).

A diferença no requerimento de P irá definir, em última instância, a eficiência de uso de P dos genótipos, que por sua vez relaciona-se com a eficiência da planta em absorver o P da solução do solo, translocá-lo e utilizá-lo para produzir determinado

rendimento. Assim sendo, os valores de requerimento estão estritamente relacionados à habilidade do sistema radicular em adquirir o P do solo e acumulá-lo na parte aérea, que por sua vez dependem dos parâmetros morfológicos, fisiológicos e cinéticos do sistema radicular. Isto está de acordo com o que foi postulado por CLARKSON (1985a), em que uma maneira eficiente da planta operar em um sistema diluído em nutrientes, no qual muitos componentes se difundem lentamente, é maximizar a superfície externa de absorção das raízes e promover a extensão contínua do sistema radicular para novos volumes da solução do solo nos quais os nutrientes não tenham sido esgotados.

Segundo MENGEL & BARBER (1974) e ARNON (1975), um suprimento adequado de P prontamente assimilável é de grande importância para a cultura do milho durante os estágios iniciais de desenvolvimento, quando o sistema radicular não é ainda capaz de extrair o suficiente das reservas do solo. Os autores ainda reportam que o milho acumula o P durante todo o ciclo, com máxima absorção ocorrendo entre a terceira e a sexta semanas. Havendo deficiência, os sintomas se manifestam já nos primeiros períodos de desenvolvimento, por um crescimento retardado das plantas. Nas folhas e colmos das plantas novas, é comum o aparecimento de uma coloração vermelho-arroxeadada típica, em consequência da formação de antocianina, um pigmento purpúreo que se desenvolve devido ao decréscimo na síntese de proteínas acompanhado de um aumento na concentração de açúcares nos tecidos da planta, decorrente da redução do metabolismo dos carboidratos em virtude da carência de P (ARNON, 1975). Na fase reprodutiva a máxima concentração de P ocorre nas espigas, onde o nutriente está ligado ao metabolismo dos carboidratos, lipídeos e proteínas que

são armazenados nos grãos (MUZILLI & OLIVEIRA, 1982) e a falta do nutriente provoca a formação de espigas defeituosas, tortas e com falhas nas fileiras de grãos, bem como o processo de maturação é retardado e desuniforme.

As diferenças entre as plantas, decorrentes das variações nos parâmetros morfológicos da raiz (comprimento, raio, superfície e taxa de crescimento) e nos cinéticos de absorção (V_{max} , K_m e C_{min}), foram observadas para o P em feijão, cebola, centeio, espinafre e tomate (FÖHSE *et al.*, 1988, 1991); forrageiras (BARROW, 1975); soja (SILBERBUSH & BARBER, 1985); alfafa (BALIGAR, 1987); trevo (CARADUS & SNAYDON, 1988a); aveia, forrageira, trigo e colza (ANGHINONI *et al.*, 1989); caupi (ADEPETU & AKAPA, 1977); arroz (FAGERIA *et al.*, 1988; FURLANI, 1988; ANGHINONI *et al.*, 1989) e milho (WARNCKE & BARBER, 1974; MENGEL & BARBER, 1974; NIELSEN & BARBER, 1978; SCHENK & BARBER, 1979; ANGHINONI *et al.*, 1989).

Para o milho, especificamente, WARNCKE & BARBER (1974) avaliaram a taxa de crescimento de raízes, conteúdo de nutrientes da raiz e parte aérea e taxa de absorção de nutrientes em cinco estágios de desenvolvimento das plantas em solução nutritiva. Os resultados foram comparáveis àqueles obtidos sob condições de campo (MENGEL & BARBER, 1974) e indicaram que as raízes das plantas absorvem o nutriente muito mais rapidamente nos estágios iniciais de crescimento, ocorrendo um decréscimo com o avanço na idade da planta. Este alto fluxo, característico das plantas jovens, indica que são necessários níveis mais elevados de nutrientes disponíveis no solo no início do ciclo da cultura e aponta para a necessidade de identificar-se genótipos que apresentem altas taxas de crescimento do sistema

radicular nesta fase do ciclo. SCHENK & BARBER (1979) observaram que a área superficial de raízes por unidade de peso de parte aérea variou entre genótipos de milho sob condições de baixo nível de P disponível no solo, contudo, tal característica não foi verificada em condições de alto nível de P disponível.

ANGHINONI *et al.*, (1989) avaliando a morfologia das raízes e cinética de absorção de P de quatro genótipos de milho (SAVE 342, Agroceres 28, Pionner P x 301 e Caçador), concluíram que o cultivar Caçador, por seu elevado V_{max} e baixa C_{min} , apresentava características favoráveis a absorção do P. Já a alta C_{min} observada para o híbrido Pionner P x 301 indicou a sua dificuldade de na absorção desse nutriente quando em baixas concentrações na solução do solo. Entre os genótipos testados, SAVE 342 apresentou uma superfície radicular maior. Já o Pionner P x 301 apresentou, por sua vez, tendência à formação de um sistema radicular mais restrito. Os autores salientaram que esta é uma característica indesejável sobretudo quando as plantas são cultivadas em condições de baixa fertilidade.

Diferenças na cinética de absorção de P foram também observadas por NIELSEN & BARBER (1978), em doze linhagens de milho, da ordem de 1,8 a 3,3 vezes, respectivamente, no peso e comprimento de raízes por unidade de parte aérea, e no influxo máximo de P. Aspectos da herança destes caracteres foram elucidados comparando dados obtidos com as linhagens e com cinco híbridos 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 e verificou-se que a absorção de P estava

sob controle genético e a heterose foi observada nos cruzamentos. Em condições de campo, com baixo nível de P, as diferenças observadas nos híbridos foram atribuídas às variações nas taxas de absorção, pois todos apresentaram a mesma capacidade de utilizar o P 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 V_{max} em solução nutritiva, apresentaram a maior concentração de P quando cultivadas no campo, e vice-versa.

De acordo com FURLANI *et al.*, (1985) os melhores critérios e métodos usados para avaliar plantas eficientes na absorção e uso de nutrientes, têm sido aqueles que empregam como parâmetros, o crescimento das plantas (principalmente produção de matéria seca) de diferentes genótipos em condições de baixo nível do nutriente no meio de cultivo (solução nutritiva ou solo), verificando se tais diferenças são devidas aos mecanismos de absorção que culminam com o conteúdo do nutriente na planta, ou aos mecanismos de utilização (produção de matéria seca por unidade do nutriente absorvida ou aplicada), ou a ambos.

FURLANI *et al.* (1983), classificaram genótipos de arroz com base somente na produção de matéria seca de parte aérea. Este parâmetro foi citado por FAGERIA *et al.* (1988), também trabalhando com arroz, como sendo o mais sensível à deficiência de P, seguido da produção de massa seca de raízes. O mesmo foi observado para genótipos de milho por ALVES *et al.* (1988) e SILVA & GABELMAN (1993), sendo que este último justificou o uso de produção de matéria seca de parte aérea como critério de eficiência por ser este parâmetro o produto dos mecanismos que envolvem a aquisição, translocação e utilização de P.

O crescimento preferencial das raízes em relação à parte aérea em plantas deficientes em P é admitido como sendo uma estratégia para se obter mais P, mas também pode ser visto como um processo de flexibilização do crescimento em que as plantas com maior relação raiz/parte aérea aumentam seu contato com o pouco P disponível pelo sistema radicular mais desenvolvido ao mesmo tempo que possuem uma menor demanda metabólica de P da parte aérea. A relação raiz/parte aérea, que reflete o padrão de alocação de matéria seca, é também utilizada como um fator de eficiência, variando entre e dentro de espécies, e em função do teor de P disponível do solo. Vários autores observaram que em baixos níveis de P esta relação aumenta, dentre eles FÖHSE *et al.*, (1988) trabalhando com cebola, centeio, trigo, tomate, espinafre e feijão; BUSO & BLISS (1988) em alface e RAJU *et al.*, (1987) em sorgo.

É interessante que se faça distinção entre eficiência e resposta. Segundo BLAIR (1993) eficiência é definida como a habilidade de um genótipo de adquirir nutrientes a partir do meio de cultivo para incorporá-lo ou utilizá-lo na produção de biomassa ou outro material vegetal de consumo, tais como sementes, grãos e frutos. Resposta, por outro lado, é a capacidade do genótipo em aumentar a absorção ou rendimento quando o suprimento de um dado nutriente à raiz é aumentado.

Respostas à adubação fosfatada são, de maneira geral, obtidas para as culturas, variando amplamente de local para local, dependendo da planta cultivada, do nível de manejo e, principalmente, das características do solo e teor de P disponível. Para o caso específico da cultura do milho, FREITAS *et al.* (1972) obtiveram um aumento na produção de 3 cultivares de milho doce em diferentes locais com aplicação de 100 kg P.ha^{-1} , quando comparado com o controle não adubado. Por outro lado

SMITH & CRAVO (1990) em experimento de longa duração, num sistema de rotação de culturas envolvendo milho e caupi cultivados num Latossolo, obtiveram produções próximas do máximo com a aplicação de 22 kg P.ha⁻¹ e 44 kg P.ha⁻¹ por ciclo da cultura, respectivamente, para milho e caupi. Os níveis críticos de P no solo foram de 6 e 8 mg P. kg⁻¹ solo, respectivamente, para o milho e o caupi. Anteriormente, YOST *et al.* (1979) reportaram, também em Latossolo que a aplicação a lanço de 140 kg P.ha⁻¹ associada à aplicação de 35 kg P.ha⁻¹ no sulco de plantio mantinha o teor do P disponível no solo em um nível crítico para a cultura do milho que proporcionou uma produção de 80 a 85% do máximo.

É importante destacar ainda que eficiência e resposta podem ser diferentes para um determinado genótipo. A eficiência varia, como a resposta, dependendo dos fatores relacionados a genótipos, solo e manejo, e uma dificuldade em selecionar plantas eficientes a determinado nutriente é definir qual o enfoque a ser dado ao conceito de eficiência.

Segundo GOURLEY *et al.* (1994), as definições de eficiência nutricional geralmente podem ser divididas naquelas que enfatizam a produtividade e nas que priorizam o requerimento interno da planta ao nutriente. Com relação aos conceitos que enfocam parâmetros de produtividade, a eficiência nutricional pode ser definida como a habilidade ou capacidade da planta em produzir um alto rendimento em um meio que possua determinadas características que afetem diretamente a produção padrão, conforme citam BUSO & BLISS (1988). Ainda de acordo com GOURLEY *et al.* (1994), outras definições de eficiência nutricional, também denominadas de “eficiência agrônômica”, incluem a produção da parte aérea, ou do produto colhido, por unidade

do nutriente aplicado. BATTEN (1993), se referindo à eficiência da adubação fosfatada em trigo, salienta que cuidados devem ser tomados ao se comparar genótipos usando este critério, uma vez que o mesmo não é, por si, capaz de evidenciar se os genótipos mais eficientes absorvem mais P do fertilizante aplicado ou do próprio solo, ou se o P absorvido pelas plantas é utilizado mais eficientemente. O requerimento ou nível crítico externo, definido como a quantidade necessária de nutriente no meio de cultivo para se atingir uma dada porcentagem do rendimento máximo (FOX, 1981; OZANNE, 1976, citado por BLAIR, 1993), se enquadra, da mesma forma, nos conceitos que enfatizam a produtividade. A resposta de rendimento por unidade de nutriente adicionado (BLAIR, 1993), também tem sido usada como medida da eficiência.

A eficiência nutricional enfatizando a utilização é geralmente definida como a biomassa total produzida pela planta por unidade de nutriente absorvido, que é equivalente ao inverso da concentração do nutriente na planta inteira. Isto é, segundo GOURLEY *et al.* (1994), freqüentemente chamado de “relação de eficiência nutricional” e tem sido usado extensivamente para descrever o requerimento interno de nutrientes de várias espécies agrônomicas (GERLOFF & GABELMAN, 1983; ELLIOT & LÄUCHLI, 1985). SIDDIQI & GLASS (1981) argumentaram que o inverso da concentração de nutrientes não considera o crescimento ou rendimento da planta. Estes autores sugeriram que uma medida mais apropriada da eficiência nutricional seria o produto do rendimento pelo inverso da concentração de nutrientes, o que foi denominado de “eficiência de utilização”. Quando se relacionam os parâmetros de concentração com a massa produzida, além da determinação dos componentes da eficiência de utilização, os níveis de deficiência, níveis ótimos e de consumo de luxo podem ser claramente discernidos, desde que sejam considerados os aumentos

crescentes nas quantidades de nutriente acumulado em relação às variações também crescentes no crescimento e rendimento do vegetal. Este aspecto foi reportado por ISRAEL & RUFTY (1988), avaliando a influência da nutrição fosfatada na eficiência de utilização de N e P e respostas associadas em soja. Alguns pesquisadores tem usado a quantidade de produto colhido, ao invés da biomassa total da planta por unidade de nutriente absorvido (BUSO & BLISS, 1988), enquanto outros utilizam rendimento de grãos por unidade de nutriente contida na parte aérea por ocasião da colheita (BATTEN, 1993). Este último conceito descreve a utilização do elemento que a planta extraiu do solo ou dos fertilizantes para produzir os grãos. A eficiência de absorção, definida como a absorção de nutrientes por unidade de comprimento radicular, ou por área de superfície ou ainda massa de raízes, tem sido utilizada como medida de eficiência nutricional (ELLIOT & LÄUCHLI, 1985; BUSO & BLISS, 1988).

A questão que envolve a definição de eficiência de utilização em cereais é, de acordo com BLAIR (1993), que trata especificamente da eficiência a P, bem mais complexa, uma vez que todos os critérios que relacionam a produção de matéria seca por unidade de P aplicado ao solo ou incorporado ao tecido vegetal, são apropriados para estas culturas apenas durante a sua fase vegetativa. O autor ressalta ainda que a quantidade de P translocada para os grãos é um fator adicional a ser considerado no aspecto da eficiência. Isto, porque os cereais mais eficientes são aqueles que produzem altos rendimentos de grãos com uma baixa concentração, que removem uma menor quantidade de P do sistema, e que, conseqüentemente, possuem no P dos resíduos não colhidos um material potencialmente disponível para a reciclagem. Neste aspecto, BATTEN (1993) também com referência ao P, se reporta ao conceito de eficiência baseado no rendimento de grãos por unidade de P translocado para o grão, que é muito importante por indicar a quantidade do nutriente usada para produzir determinada massa de grãos.

BLAIR (1993) fornece exemplos da alteração na definição de eficiência a P em trevo branco e trigo e mostra como a classificação de sete acessos de trevo crescidos sob estresse de P foi alterada em função da definição usada. Além da definição, o autor ressalta que o nível de P em que a eficiência foi definida, a ontogenia e a competição entre as plantas também afetaram a classificação. BATTEN (1993) e BLAIR (1993) em extensas revisões, descrevem os conceitos de eficiência a P e ambos enfocam a importância na consideração do produto final na escolha do conceito a ser utilizado.

A pesquisa no sentido de explorar a diversidade genética e selecionar genótipos com uma boa performance em termos de rendimento com um suprimento adequado de fertilizantes fosfatados tem se tornado meta prioritária dentro do novo enfoque dado ao melhoramento de plantas nos países tropicais e a identificação de germoplasmas ou espécies com diferentes eficiências nutricionais, qualquer que seja a definição, geralmente inclui estudos sobre os possíveis mecanismos morfológicos, fisiológicos ou bioquímicos envolvidos. Esta tendência encontra-se evidenciada nos trabalhos envolvendo frações fosfatadas e sua compartimentalização dentro da planta (CHISHOLM et al, 1981; HART & JESSOP, 1982; HART & COLVILLE, 1988; CHISHOLM & BLAIR, 1988b, 1988c; WIENEKE, 1990) e naqueles que tratam do metabolismo do P (KHAMIS et al , 1990; ALVES, 1994).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Material vegetal

Para a realização deste trabalho foram escolhidos genótipos de milho entre variedades locais, variedades melhoradas e híbridos comerciais.

3.1.1. Variedades locais

As dez variedades locais utilizadas neste trabalho foram obtidas através de um programa de resgate e seleção de variedades locais de milho realizado junto a pequenos agricultores e coordenado pela Rede PTA a nível nacional.

A identificação do germoplasma de origem destas variedades não foi possível de ser realizada com precisão devido aos processos de erosão genética e contaminação sofridos ao longo do tempo. Contudo, as características e a aproximação das raças de origem foram descritas por MACHADO & PATERNIANI (dados não publicados), a partir de observações destes materiais, e encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1. Descrição das variedades locais (adaptado de MACHADO & PATERNIANI, dados não publicados):

Nome	CO	DME	NFG	NGF	CE	TE	Local da coleta/entidade	Raças de Origem
	1							
Quarentão	180	36	12	35	VE,LA	FL	M. Claros, MG/CAA	Cateto
Asteca (Z. da Mata)	180	37	10	44	AM,LA	D	Ervália, MG/CTA	Tuxpeño
Palha Roxa	145	46	12	36	VE,AM	D	F. Beltrão-PR/ASSESSOAR	Cateto x Dente Riograndense
Carioca	160	42	12	39	AM,CZ	SD	Laranj. do Sul-PR/RURECO	Dente Riograndense ² x Tuxpeño
Amarelão	144	44	12	32	AM	D	Montes Claros-MG/ CAA	Tuxpeño
Argentino	154	45	12	36	AM	D	Montes Claros-MG/ CAA	Tuxpeño
Caiano (Sobrália)	143	47	12	34	AM	SD	Sobrália-MG/CAT	Dente Paulista ² x Tuxpeño
Caiano (Alegre)	150	46	12	35	AM	SD	Alegre-ES/APTA	Tuxpeño
Catetão	133	34	12	32	VE	FL	B. Esperança-ES/APTA	Cateto
Cravinho	140	44	12	38	AM	D	B. Esperança-ES/APTA	Tuxpeño

¹ CO: comprimento da espiga (mm)

DME: diâmetro mediano da espiga (mm)

NFG: número de fileiras de grãos

NGF: número de grãos por fileira

CE: cor do endosperma. AM = amarelo, VE = vermelho, LA = alaranjado e CZ = cinza.

TE: tipo do endosperma: D = dentado, SD = semi-dentado e FL = flint (duro).

² Raça predominante

3.1.2. Variedades melhoradas

Nitrodente (ND): população de grãos dentados, amarelos com segregação para branco, com predomínio da raça Tuxpeño e com três ciclos de seleção para eficiência de utilização do nitrogênio (MACHADO et al., 1992).

Nitroflint (NF): população de grãos duros, amarelos com segregação para branco, com predomínio das raças Cateto, Eto e Duros do Caribe, também com três ciclos de seleção visando eficiência de utilização do nitrogênio (MACHADO et al., 1992).

BR-105: variedade obtida no Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (CNPMS/EMBRAPA) a partir da variedade SUWAN 1. População de grãos duros, amarelo-alaranjados e de porte baixo, formada por materiais do Caribe, Estados Unidos, América do Sul e América Central, selecionada para resistência ao "Downy Mildew" (*Sclerospora sorghi*) (MACHADO, 1986).

BR 106: variedade obtida no CNPMS/EMBRAPA, a partir de três cultivares brasileiros (Maya, Centralmex e Dentado Composto) e uma introdução exótica (Tuxpeño 1). Apresenta endosperma dentado e de cor amarela (NASPOLINI, 1981, citado por MACHADO, 1986).

BR 107: variedade obtida no CNPMS/EMBRAPA, através do cruzamento de três variedades brasileiras (Cateto Colômbia, Cateto Sete Lagoas e Flint Composto) e uma variedade introduzida (Mezcla Amarilla). Apresenta grãos duros e alaranjados, e porte baixo (MACHADO, 1986).

IAC-Taiuba: variedade obtida no Instituto Agrônomo de Campinas, sendo classificada como intermediária para altura das plantas e duração do ciclo. Possui grãos dentados e cor amarela, tendo sido selecionada para tolerância à toxidez de alumínio no solo (FURLANI *et al.*, 1986).

3.1.3. Híbridos

XL-560: híbrido duplo comercial produzido pela Braskalb.

P 6875: híbrido duplo comercial produzido pela Pioneer.

3.2. Descrição dos experimentos, delineamentos e análises estatísticas

3.2.1. Experimento 1: Avaliação da eficiência de utilização de P por genótipos de milho em solo, sob condições de casa de vegetação

a) Procedimentos gerais

O experimento constou da avaliação de dezoito genótipos de milho, tendo sido conduzido em casa de vegetação, na Estação Experimental da PESAGRO - Itaguaí, RJ, no período de 08/06/94 a 25/07/94. Utilizaram-se vasos contendo 11 kg

de terra seca ao ar e passada em peneira de malha de 0,5 cm, coletada da camada subsuperficial (20-40 cm) de um solo Podzólico Vermelho Amarelo distrófico, localizado no campo experimental do CNPAB/EMBRAPA, no município de Itaguaí, RJ.

O solo, com 30% de argila, 46% de areia grossa, 11% de areia fina e 13% de silte, apresentava as seguintes características químicas: pH em água, 5,4; Al trocável, 0,0 meq/ 100 ml; Ca + Mg trocáveis, 1,7 meq/ 100 ml; K extraível, 79 ppm e P extraível, 4 ppm (EMBRAPA - SNCLS, 1979).

Os tratamentos constaram de duas doses de P e dezoito genótipos, descritos anteriormente, a saber:

- variedades locais: Quarentão, Asteca, Palha Roxa, Carioca, Amarelão, Argentino, Caiano (Sobralia), Caiano (Alegre), Catetão e Cravinho;
- variedades selecionadas: Nitrodente, Nitroflint, BR 105, BR 106, BR 107 e IAC-Taiuba;
- híbridos: XL-560 e P 6875.

A adubação foi feita a partir dos resultados da análise química do solo, tendo os nutrientes N, P e K sido adicionados, respectivamente, na forma de soluções de NH_4NO_3 , KH_2PO_4 e KCl. As doses de P aplicadas corresponderam a 10 e 100 mg P.kg⁻¹ solo. O nitrogênio foi aplicado semanalmente, em solução de NH_4NO_3 correspondendo a 0, 5, 10, 10, 15, 20 e 20 mg N.kg⁻¹ solo, respectivamente na 1ª, 2ª, 3ª, 4ª, 5ª, 6ª e 7ª semanas, num total de 80 mg N.kg⁻¹ solo. A fonte de micronutrientes utilizada foi a solução de Hoagland aplicada na dose de 1 ml.kg⁻¹ solo.

A umidade do solo foi levada a 65% da capacidade máxima de retenção e cinco dias após a adubação o solo de cada vaso foi transferido para sacos plásticos onde sofreram vigorosa agitação visando melhor homogeneização. O solo foi recolocado nos vasos e foram retiradas amostras para avaliação do teor de P disponível através do método colorimétrico com emprego de ácido ascórbico, tendo como solução extratora HCl 0,05 N e H₂ SO₄ 0,025 N (EMBRAPA - SNCLS, 1979). Procedeu-se então à sementeira, usando-se oito sementes por vaso, deixando-se após o desbaste quatro plantas por vaso.

As plantas foram colhidas aos quarenta e oito dias após o plantio e os parâmetros avaliados foram massa seca de raiz e parte aérea secas em estufa a 65°C por 48 horas, teor de P das raízes e da parte aérea (BATAGLIA et al., 1983).

b) Delineamento experimental e análise estatística dos dados

O delineamento experimental adotado foi o látice 6 x 6 simples duplicado, com quatro repetições. Este delineamento tem utilização pouco difundida neste tipo de ensaio, razão pela qual se tornam necessários alguns esclarecimentos e justificativas.

O delineamento em látices ou blocos incompletos caracteriza-se pelo fato de os tratamentos serem arranjados em blocos ou grupos menores que uma repetição completa, ao contrário do que ocorre no delineamento em blocos casualizados. Nos látices, cada bloco contém apenas parte dos tratamentos e um conjunto de blocos perfaz uma repetição com todos os tratamentos, possibilitando um controle da heterogeneidade entre blocos dentro de repetições (MIRANDA FILHO, 1987).

Seu uso é recomendado quando o número de tratamentos é muito grande e resulta em blocos com muitas parcelas, quando o material em estudo é muito heterogêneo, ou ainda quando certas limitações que afetam a uniformidade da área experimental restringem excessivamente o tamanho dos blocos (KEMPTHORNE, 1975; PIMENTEL GOMES, 1982). Ensaio de comparação a campo de genótipos de milho são freqüentemente conduzidos sob este delineamento (KEMPTHORNE, 1975), bem como experimentos nutricionais envolvendo animais (PIMENTEL GOMES, 1982).

A análise de variância dos látices envolve particularidades de metodologia que podem variar de acordo com o tipo de látice, e é calculada a eficiência dos mesmos em relação a blocos casualizados. Esta eficiência é uma estimativa da variância do erro se o experimento fosse conduzido como blocos ao acaso. Com valores entre 100 e 110 % considera-se, de um modo geral, a não eficiência do látice e o experimento pode ser analisado como blocos ao acaso (MIRANDA FILHO, 1987).

Para experimentos conduzidos em casa de vegetação, sob condições presumivelmente mais homogêneas, o delineamento em látice não é comumente utilizado. Seu uso no presente trabalho justificou-se por constituir um ensaio de variedades, material essencialmente heterogêneo, pelo grande número de tratamentos resultar em blocos com muitas parcelas, e ainda pelo fato de a casa de vegetação onde o experimento foi instalado possuir condições de luminosidade e arejamento desuniformes em toda a sua extensão. Além disso, o emprego deste delineamento foi considerado por especialistas (VENCOVSKY, R., PATERNIANI, E., PEREIRA, M.B., comunicações pessoais) como estratégia adequada face às

condições experimentais existentes e por se tratar de um procedimento cujo uso conferia maior acuidade e precisão quanto ao trabalho com os resultados obtidos.

Para cada um dos parâmetros obtidos foi realizada a análise de variância para látice, com os totais de cada parcela, segundo o esquema proposto por COCHRAN & COX (1957), citado por MIRANDA FILHO (1987). O modelo matemático utilizado foi o seguinte: $Y_{ijk} = m + t_i + b_j + r_k + e_{ij}$, onde Y_{ijk} é a observação do tratamento i no bloco j da repetição K ; t_i , b_j e r_k são os efeitos, respectivamente, de tratamentos, de blocos dentro de repetições e repetições; m é a média e e_{ij} é o erro experimental (resíduo ou erro intrabloco). Adotou-se, no presente estudo, o modelo fixo, no qual os tratamentos não são considerados como uma amostra ao acaso da população (MIRANDA FILHO, 1987), tratando-se de um grupo fixo de cultivares de naturezas diversas, cujas conclusões do experimento são válidas apenas para o referido conjunto, não sendo possível extrapolação para outro conjunto de variedades.

A análise estatística foi realizado através do programa MSTAT, versão 1989, desenvolvido pela Michigan State University. Utilizou-se para a comparação das médias o teste de Duncan.

3.2.2. Experimento 2 Efeito da adubação fosfatada sobre a produção de grãos de genótipos de milho, sob condições de campo.

a) Procedimentos gerais e delineamento experimental

O experimento foi realizado sob condições de campo em solo Podzólico Vermelho Amarelo distrófico, na área experimental do CNPAB/EMBRAPA no

município de Itaguai, RJ, entre 08/10/93 e 24/02/94, tendo sido irrigado durante todo o período.

O solo, com 23% de argila, 53% de areia grossa, 13% de areia fina e 11% de silte, apresentava as seguintes características químicas: pH em água, 5,8; Al trocável, 0,0 meq/ 100 ml; Ca + Mg trocáveis, 3,8 meq/ 100 ml; K extraível, 100 ppm e P extraível, 7 ppm (EMBRAPA - SNCLS, 1979), a partir de amostras compostas retiradas fora das linhas de plantio.

O delineamento experimental adotado foi o de blocos ao acaso, com parcelas subdivididas e três repetições. As parcelas constaram de seis doses de P (0, 20, 40, 80, 160 e 320 kg P_2O_5 .ha⁻¹) na forma de superfosfato triplo, e as subparcelas constituíram-se de sete genótipos de milho. Os genótipos utilizados foram as variedades locais Asteca, Caiano (Sobralia), Cravinho, Catetão e Carioca, a variedade melhorada Nitroflint e o híbrido duplo Pioneer 6875.

A adubação nitrogenada foi feita de acordo com a recomendação para a cultura do milho (ALMEIDA et al., 1988), tendo sido aplicados 80 kg N.ha⁻¹ na forma de uréia aos quarenta dias após o plantio. Os demais nutrientes foram fornecidos a partir do resultado da análise química do solo, aplicando-se 40 kg K_2O .ha⁻¹ na forma de KCl, 200 kg de gesso.ha⁻¹ e 40 kg de FTE BR 12.ha⁻¹ como fonte de micronutrientes.

A semeadura foi realizada com 10 sementes/m linear, em linhas de 4,5 m, com espaçamento de 1 metro entre as linhas de plantio. Aos trinta e cinco dias após o plantio foi feito o desbaste, deixando-se 6 plantas/m linear.

Por ocasião do plantio determinou-se o teor de P disponível no solo nas linhas de semeadura através do método colorimétrico com emprego de ácido ascórbico, tendo como solução extratora HCl 0,05 N e H₂SO₄ 0,025 N (EMBRAPA - SNCLS, 1979). Os teores médios de P disponível no solo correspondentes às doses de 0, 20, 40, 80, 160 e 320 kg P₂O₅ . ha⁻¹ foram de, respectivamente, 7,76; 12,04; 19,46; 22,02; 96,67 e 122,23 mg P. kg⁻¹ de solo.

Aos sessenta dias após o plantio, por ocasião do florescimento dos genótipos, foram anotados os seguintes caracteres: altura da planta e da espiga (média de cinco plantas da parcela), número total de plantas (anotados para correção do estande) e número de plantas quebradas e acamadas. As alturas da planta e da espiga foram medidas considerando-se desde o nível do solo até o nó de inserção do pendão e até o nó de inserção da espiga superior, respectivamente (MACHADO, 1986). Foram consideradas plantas quebradas aquelas quebradas abaixo do ponto de inserção da espiga superior e acamadas aquelas cujos colmos formavam ângulo menor que 45° com o solo.

Ao final do ciclo, por ocasião da colheita, avaliou-se o número de espigas danificadas, foi determinada a produção dos grãos, o teor de P contido nos mesmos (BATAGLIA, 1983) e o nível crítico de P no solo. Como espigas danificadas foram consideradas as espigas defeituosas, mal formadas, e as atacadas por pragas, fitopatógenos ou animais, em uma extensão maior ou igual a 50% do total da espiga.

O peso de grãos foi corrigido para o estande ideal de 25 plantas por parcela, de acordo com a fórmula de ZUBER (1942) citado por MACHADO (1986):

$$P_{cc} = P_c \frac{H - 0,3F}{H - F}, \text{ onde}$$

P_{cc} = peso de campo corrigido para o stand desejado

P_c = peso de campo

H = número ideal de plantas por parcela

F = número de plantas perdidas por parcela

Este ajuste adiciona 0,7 da produção média para cada planta perdida e considera que 0,3 é recuperado pelas plantas vizinhas à falha.

Para a determinação do nível crítico de P disponível no solo, baseou-se na produção máxima de grãos. Inicialmente, foi calculado o nível estimado de P associado à 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 a obtenção da produção máxima na equação de regressão obtida entre as doses aplicadas e o P disponível no solo.

b) Análise estatística dos dados e ajuste do modelo matemático

Para cada um dos parâmetros obtidos foi realizada a análise de variância para blocos casualizados com parcelas subdivididas, cujo modelo matemático é: $Y_{ijk} = m + t_i + b_j + (t_b)_{ij} + t'_k + (t't')_{ik} + e_{ij}$, onde t_i é o efeito do tratamento i , alocado nas parcelas; b_j é o efeito de blocos; $(t_b)_{ij}$ é o erro experimental ao nível de parcelas; t'_k é o efeito do tratamento k , alocado nas subparcelas; $(t't')_{ik}$ é o efeito da interação

entre os dois tipos de tratamentos; e e_{ijk} é o erro ao nível de subparcelas (MIRANDA FILHO, 1987). Adotou-se para este experimento também o modelo fixo.

A análise de variância tal como é feita usualmente, pressupõe a independência dos diversos tratamentos utilizados. Quando esta hipótese não se verifica, a análise de variância deve refletir a dependência entre os tratamentos, sob pena de não ser válida (PIMENTEL GOMES, 1982). Assim acontece no caso em que os tratamentos são quantitativos (doses crescentes de fertilizante, como no caso específico deste trabalho) e se justifica a existência de uma correspondência funcional (chamada equação de regressão) que ligue os valores dos tratamentos aos dados analisados.

Existe uma série de modelos matemáticos aproximativos para o ajuste da relação fator - rendimento, correspondentes a diferentes famílias de equações matemáticas. Estas famílias agrupam modelos exponenciais, potenciais e lineares, dos quais tem se derivado um conjunto de equações amplamente utilizadas. (ALVAREZ, 1985).

Para a avaliação da forma de resposta obtida em função dos tratamentos aplicados no presente trabalho, foram utilizados os 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, cujo limite de significância não fosse superior a 5% de probabilidade, a fim de proporcionar uma maior adequação dos dados ao modelo proposto e evitar estimativas que, eventualmente, extrapolassem o intervalo experimental.

De acordo com ALVAREZ (1985), seguem-se as principais características de cada modelo testado. O modelo linear baseia-se na interpretação quantitativa da lei de Liebig, que indica que “os rendimentos das colheitas são proporcionais à quantidade do elemento fertilizante que se encontra ao mínimo, no solo, conforme as necessidades das plantas”, ou seja, que a produção é proporcional ao nível do elemento limitante, até o ponto em que outro elemento passe a ser limitante. A equação referente a este modelo é $y = A + Bx$, onde y representa a resposta, x a quantidade adicionada de nutriente, A é o intercepto, ou seja, a produção sem a adição de nutrientes e B constitui a declividade da reta, também denominado constante de proporcionalidade ou coeficiente de regressão linear. O modelo quadrático é obtido quando se agrega à equação linear um termo quadrático e a sua equação correspondente é $y = A + Bx + Cx^2$, em que A representa o intercepto, B o coeficiente de regressão linear (declividade) e C o coeficiente de regressão quadrática (curvatura). Substituindo-se no modelo quadrático x por $x^{0,5}$ e x^2 por x e transformando-o em $y = A + Bx^{0,5} + Cx$, tem-se o modelo raiz quadrático, em que o termo B modifica a tendência linear do termo C , conferindo uma curvatura maior que no modelo quadrático.

A análise estatística foi realizada através do programa MSTAT, tendo os dados sido submetidos à análise de variância e teste de comparação de médias pelo teste de Tukey. O ajuste dos modelos matemáticos foi feito através do programa STATGRAF.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Experimento 1

4.1.1. Produção de matéria seca

Os valores médios da produção de matéria seca da parte aérea, de raízes e total dos genótipos de milho avaliados nas duas doses de P encontram-se na Tabela 2, bem como o resultado da análise de variância para estes parâmetros, que revelou efeitos significativos dos tratamentos - genótipos e doses de P - e efeitos não significativos para a interação de ambos, indicando que os genótipos avaliados responderam de forma semelhante à aplicação de P em termos de produção de massa. As amplitudes de variação foram de 4,16 a 6,70 g para a matéria seca da parte aérea, de 1,49 a 3,89 g para a matéria seca das raízes, e de 5,65 a 10,23 g para a matéria seca total.

Tabela 2: Produção de matéria seca da parte aérea, raízes e total (g.planta⁻¹) dos genótipos de milho crescidos em duas doses de P, 10 e 100 mg P.kg⁻¹ solo. Médias de 4 repetições⁽¹⁾.

Genótipos	Parte aérea			Raízes			Total		
	10	100	Média	10	100	Média	10	100	Média
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 ^{b-c}	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 Taiuba	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 ⁽²⁾	4,23**			6,59**			6,30**		
F d ⁽³⁾	868,16**			205,07**			727,30**		
F gxd ⁽⁴⁾	1,47 ^{ns}			1,29 ^{ns}			1,28 ^{ns}		
CV (%) ⁽⁵⁾	13,03			21,14			13,26		

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

A produção média de matéria seca da parte aérea foi semelhante para todos os genótipos, exceto para o híbrido duplo XL 560, que se diferenciou dos demais, com produção bastante inferior à média dos outros materiais (Tabela 2). Este híbrido apresentou, desde o início do experimento, plantas raquíticas e de aspecto anormal, e, sendo assim, quaisquer resultados relativos ao mesmo devem ser considerados com ressalvas, por refletirem um aspecto particular do lote de sementes utilizado possivelmente associado à perda de vigor.

Ainda considerando a produção de matéria seca da parte aérea e a semelhança dos valores de produção atingidos dentro de cada dose e conseqüentemente na média, observou-se que as variedades locais Asteca, Amarelão, Caiano de Sobrália, Cravinho, Carioca, Quarentão e Argentino, as variedades melhoradas BR 107 e IAC Taiuba e o híbrido duplo P 6875 alcançaram, na menor dose de P, produções superiores à média dos genótipos nesta dose (4,19 g.planta⁻¹). Na maior dose, as variedades locais Asteca, Amarelão, Caiano de Sobrália, Caiano de Alegre, Carioca, Catetão e Argentino, bem como todas as variedades melhoradas, com exceção de Nitroflint e do híbrido P 6875, tiveram valores de produção superiores à média dos genótipos (8,14 g.planta⁻¹).

Observou-se de maneira geral, porém a nível não significativo, que materiais de grãos dentados, derivados de Tuxpeños, se apresentaram ligeiramente superiores aos de grãos duros, oriundos dos Catetos, e que certas variedades locais apresentaram potencial produtivo comparável ao de variedades melhoradas e até mesmo do híbrido P 6875.

O sistema radicular exibiu maior variabilidade na produção de matéria seca, expressa pelo coeficiente de variação das médias, de forma análoga ao observado por FURLANI *et al.*, 1985. Assim sendo, houve uma melhor separação dos genótipos pela produção de matéria seca de raízes, para a qual destacaram-se, na média, as variedades locais Argentino, Amarelão, Caiano de Sobrália, Quarentão, Caiano de Alegre e Carioca, que alcançaram produção semelhante à do híbrido duplo P 6875, que obteve o melhor desempenho (Tabela 2).

Entre as variedades locais observou-se diferenças na massa de raízes da ordem de 60%, quando se comparou a produção de Amarelão e Caiano de Sobrália (3,34 e 3,32 g.planta⁻¹, respectivamente) com a produção de Palha Roxa e Catetão (2,65 e 2,08 g.planta⁻¹, respectivamente).

Na produção de raízes, a diferença entre genótipos de grãos dentados originados da raça Tuxpeño (Asteca, Amarelão, Caiano de Sobrália, Caiano de Alegre, Cravinho, Carioca, Argentino, Nitrodente, BR 106 e IAC Taiuba) e os de grãos duros derivados da raça Cateto (Palha Roxa, Catetão, Quarentão, Nitroflint, BR 105 e BR 107), foi de cerca de 9%, maior que a apresentada pela produção de massa seca de parte aérea.

Novamente, algumas variedades locais apresentaram potencial de produção, desta vez de massa de sistema radicular, semelhante ou superior ao de materiais melhorados.

O comportamento dos genótipos para a produção de massa de raízes conseqüentemente resultou na separação dos mesmos quanto a produção de massa

total (parte aérea e raízes), sendo que aqueles que produziram maior massa de raízes atingiram a mais elevada produção total (Tabela 2).

A produção de matéria seca da parte aérea, de raízes e total de todos os genótipos aumentou com o acréscimo na dose de P aplicada ao solo (Tabela 2), indicando que a disponibilidade de P no solo para as plantas de milho no estágio inicial de desenvolvimento é um fator determinante de seu crescimento, por afetar características morfológicas e fisiológicas do sistema radicular importantes para a absorção do nutriente e, conseqüentemente, a produção da parte aérea. Os níveis de P disponíveis foram de 6,1 e 45,5 mg P.kg⁻¹ de solo, respectivamente, nas doses de 10 e 100 mg P. kg⁻¹ solo.

Na Tabela 3 encontram-se os valores de produção relativa de matéria seca dos genótipos de milho. Este índice, utilizado por LOBATO *et al.*, 1986, foi calculado a fim de avaliar os genótipos quanto à maior ou menor adaptação a níveis baixos de P no solo.

Genótipos como as variedades locais Amarelão, Cravinho, Carioca, Palha Roxa, Quarentão e Argentino, a variedade melhorada IAC Taiuba e o híbrido duplo P 6875 atingiram os maiores índices de produção relativa para a parte aérea. Para a produção relativa de matéria seca de raízes destacaram-se as variedades locais Amarelão, Quarentão e Argentino, as variedades melhoradas BR 105, BR 106 e novamente o híbrido P 6875. Alguns destes materiais já haviam se destacado anteriormente pela produção de massa, tanto da parte aérea quanto de raízes, superior à média dos demais genótipos no mais baixo nível de P utilizado. Quanto à produção relativa de matéria seca total, genótipos como Amarelão, Cravinho,

Tabela 3: Produção relativa de matéria seca da parte aérea, raízes e total dos genótipos de milho.

Genótipos	Produção relativa (%) ⁽¹⁾		
	Parte aérea	Raízes	Total
Asteca	49,7	58,5	52,4
Amarelão	60,2	67,7	62,6
Caiano (S)	49,5	52,9	50,6
Caiano (A)	47,9	48,0	47,9
Cravinho	60,4	50,0	56,7
Carioca	55,8	57,2	56,2
Palha Roxa	54,4	49,0	52,7
Catetão	38,0	46,5	40,1
Quarentão	56,5	62,7	58,6
Argentino	55,0	68,0	59,2
Nitroflint	51,2	58,4	53,3
Nitrodente	43,2	51,5	45,4
BR 105	50,4	84,7	60,7
BR 106	47,7	61,2	51,9
BR 107	47,6	58,3	50,8
IAC Taiuba	54,4	51,0	53,4
P 6875	64,1	93,3	74,1
XL 560	42,2	46,5	43,3
Médias	51,5	59,7	53,9

⁽¹⁾Produção relativa = (produção média na dose 10 mg P.kg⁻¹ solo / produção média na dose 100 mgP.kg⁻¹ solo) x 100. (LOBATO et al., 1986).

Carioca, quarentão, Argentino, BR 105 e P 6875 alcançaram índices superiores à média de todos os genótipos.

A identificação do potencial destes genótipos para este parâmetro é bastante interessante, uma vez que, de acordo com LOBATO *et al.*, 1986, a informação da literatura sugere que as espécies ou variedades mais tolerantes a baixos níveis de P disponível tem rendimentos mais altos em baixos níveis de P aplicado ao solo do que as mais sensíveis e são interpretados como sendo os materiais mais adaptados à deficiência do nutriente aqueles que apresentam maior produção relativa.

Os valores de produção relativa variaram de 42,2 a 64,1% e 46,5 a 93,3%, com médias de 51,5 e 59,7%, respectivamente, para a parte aérea e raízes. A menor produção relativa de massa da parte aérea quando foram comparados um nível de baixo suprimento e outro de fornecimento adequado de P, permitiu a identificação deste parâmetro como sendo mais sensível que a produção de matéria seca de raízes à deficiência do nutriente, em concordância com os resultados encontrados por FAGERIA *et al.* (1988) para arroz, e ALVES *et al.* (1988) e SILVA & GABELMAN (1993) para milho. Estes autores ressaltam a facilidade na determinação de massa seca de parte aérea e a validade de seu uso para estudos de avaliação de resposta à nutrição fosfatada de cereais sob condições de casa de vegetação.

Neste sentido, e de acordo com o esquema usado por ALVES *et al.* (1988), com base no critério de eficiência proposto por FOX (1978), em que plantas eficientes são aquelas capazes de apresentar uma alta produção em um meio que contém um

teor de P disponível abaixo do necessário para se atingir a produção máxima, as produções de matéria seca nas doses 10 e 100 mg P. kg⁻¹ solo encontram-se representadas, respectivamente, nos eixos x e y do sistema de coordenadas cartesianas (Figura 1). Foram calculadas as médias gerais da produção da parte aérea no nível de baixo P e de alto P, e estas corresponderam, respectivamente, a 4,19 e 8,14 g. planta⁻¹. O diagrama foi dividido em quadrantes que permitiram a separação dos genótipos em quatro grupos de produção de matéria seca e, principalmente, caracterizá-los em termos de resposta à adição de P.

Os genótipos que se encontram no quadrante superior à direita são considerados eficientes e responsivos (ER), pois foram os que mais produziram em condições de baixo fósforo, e também responderam bem ao incremento deste elemento no solo. São eles: Asteca (1), Amarelão (2), Caiano de Sobrália (3), Carioca (6), Argentino (10), BR 107 (15) e IAC Taiuba (16).

Os genótipos do quadrante superior esquerdo são classificados como eficientes e não responsivos (ENR), uma vez que produziram bem na dose baixa de fósforo e tiveram uma menor resposta ao aumento de P aplicado ao solo. São eles as variedades locais Cravinho (5) e Quarentão (9) e o híbrido P 6875 (17).

Os genótipos do quadrante inferior direito são os ineficientes e responsivos (IR), que produzem pouco sob condições de baixo fósforo, mas respondem bem a níveis crescentes do nutriente. Os materiais enquadrados nesta classe - Caiano de Alegre (4), Catetão (8), Nitrodente (12), BR 105 (13) e BR 106 (14) - embora tenham respondido bem ao aumento de fósforo, não alcançaram a produção de matéria seca dos ENR e ER em baixa dose do elemento no solo.

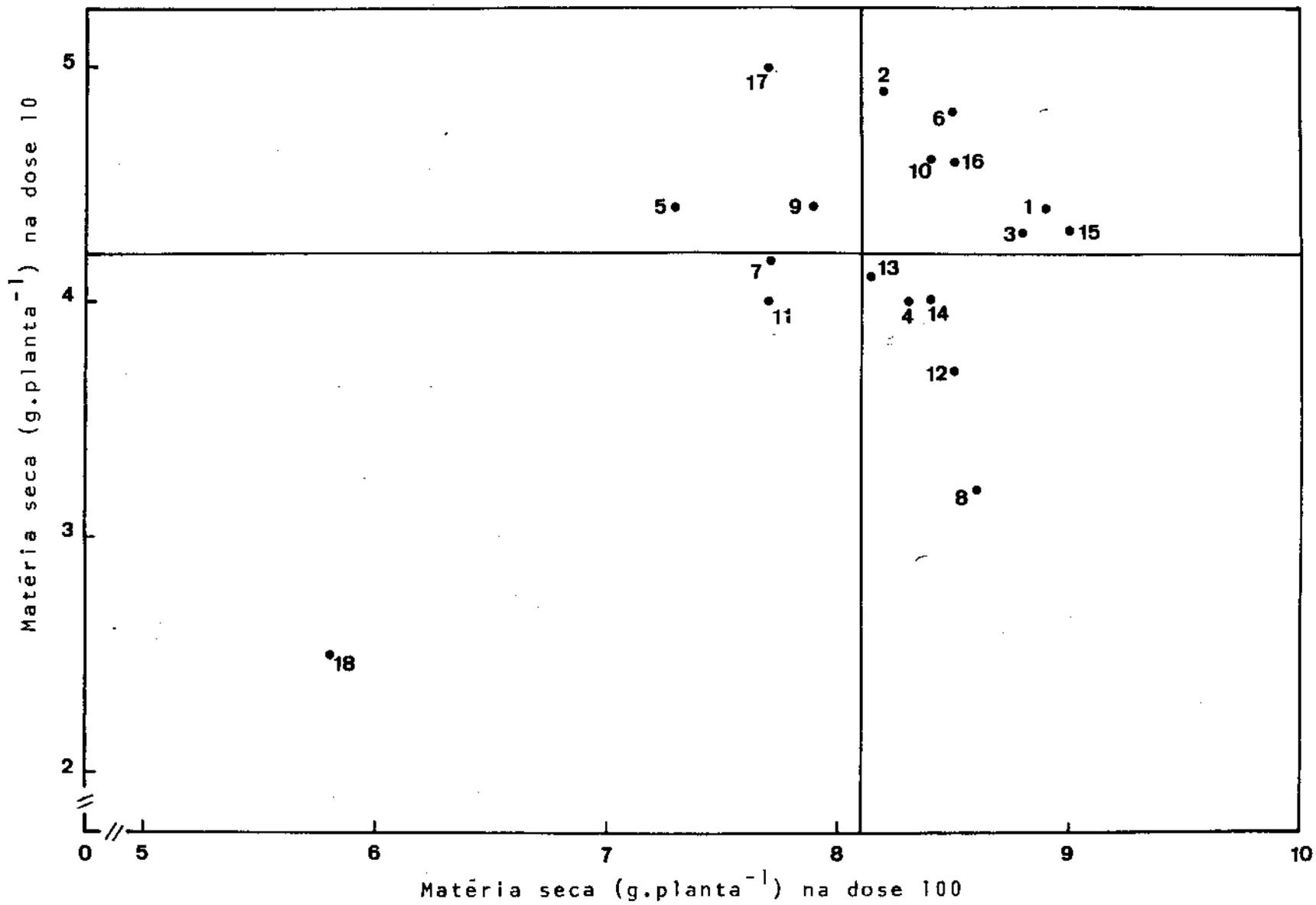


Figura 1. Classificação da eficiência dos genótipos com base na produção de matéria seca da parte aérea em duas doses de P.

Finalmente, os do quadrante inferior esquerdo são os ineficientes e não responsivos (INR), visto que tiveram produção inferior em ambas as situações. São eles a variedade local Palha Roxa (7), a variedade selecionada Nitroflint (11) e o híbrido XL 560 (18).

A princípio, com base exclusivamente nesta classificação em função da produção de matéria seca e, na possibilidade de que esta corresponda à produção de grãos, pode-se especular sobre a utilização destes genótipos sob diferentes níveis de aplicação de fertilizante fosfatado. Os genótipos do grupo ENR poderiam ser indicados para condições de cultivo de pequena adição de fertilizantes fosfatados, ou seja, aos produtores que não dispõem de condições econômicas para utilizar o adubo, uma vez que é esperado deles uma produção mais satisfatória e estável em solos com baixos teores disponíveis de P. Os genótipos pertencentes ao grupo ER apresentaram as mesmas características no que se refere à eficiência daqueles do grupo ENR, sendo então possível especular sobre a possível recomendação dos mesmos para cultivos com pouca adição de adubo fosfatado e também para cultivos com disponibilidade para alta utilização de fósforo, visto que mostraram sensíveis incrementos na produção no nível mais elevado deste nutriente no solo. Os genótipos IR e INR poderiam ter a sua recomendação restringida em sistemas que busquem a sustentabilidade, e, geralmente os materiais, principalmente variedades locais, que possuem este padrão de comportamento, tendem a não serem mais plantadas a menos que sejam identificadas nos mesmos outras características favoráveis, aspectos peculiares ou de tradição cultural que justifiquem o seu uso.

Estas especulações feitas a nível de produção de massa necessitam confirmações com dados de produção de grãos, uma vez que refletem apenas os resultados obtidos para as condições experimentais específicas empregadas.

4.1.2. Partição da matéria seca

A relação parte aérea/raiz (relação pa/r), importante fator da eficiência de absorção de P (FÖHSE *et al.*, 1988), e que traduz a alocação preferencial da massa produzida entre a parte aérea e as raízes dos genótipos de milho nas duas doses de P aplicadas encontra-se na Tabela 4.

Os genótipos diferiram entre si para a relação pa/r, e, comparando-se os valores médios obtidos em cada dose (2,06 e 2,36, respectivamente, para as doses 10 e 100 mg P.kg⁻¹ de solo) observou-se que na menor dose a alocação da massa produzida na parte aérea foi proporcionalmente menor que nas raízes, resultando numa menor relação pa/r. Já na dose mais alta, houve um aumento significativo na relação. Este comportamento refletido pela média das doses descreve o observado para a maioria dos genótipos, que apresentaram menor relação pa/r no menor nível de P aplicado.

Este fenômeno tem sido observado por vários autores para diferentes espécies vegetais (ALVES *et al.*, 1988; BUSO & BLISS, 1988; CARADUS & SNAYDON, 1988b; FÖHSE *et al.*, 1988), confirmando que esta relação não depende

Tabela 4: Relação entre a produção de matéria seca da parte aérea e das raízes dos genótipos de milho crescidos em duas doses de P, 10 e 100 mg P.kg⁻¹ solo. Médias de 4 repetições⁽¹⁾.

Genótipos	Relação parte aérea / raízes		
	10	100	Média
Asteca	2,15	2,32	2,24 ^{c-e}
Amarelão	1,97	2,13	2,05 ^{d-f}
Caiano (S)	2,23	2,05	2,14 ^{c-f}
Caiano (A)	1,94	1,98	1,96 ^{d-f}
Cravinho	2,14	1,67	1,91 ^{ef}
Carioca	2,01	2,15	2,08 ^{d-f}
Palha Roxa	2,31	2,21	2,26 ^{c-e}
Catetão	2,55	3,06	2,80 ^{ab}
Quarentão	1,80	2,06	1,93 ^{d-f}
Argentino	1,65	2,12	1,88 ^{ef}
Nitroflint	2,31	2,57	2,44 ^{b-e}
Nitrodente	2,28	3,01	2,64 ^{a-c}
BR 105	1,49	2,38	1,94 ^{d-f}
BR 106	1,90	2,12	2,01 ^{d-f}
BR 107	2,04	2,47	2,25 ^{c-e}
IAC Taiuba	2,51	2,49	2,50 ^{b-d}
P 6875	1,28	1,98	1,63 ^f
XL 560	2,56	3,67	3,16 ^a
Médias	2,06 ^B	2,36 ^A	2,21
F g ⁽²⁾		4,78 ^{**}	
F d ⁽³⁾		13,65 ^{**}	
F gxd ⁽⁴⁾		1,36 ^{ns}	
CV (%) ⁽⁵⁾		21,77	

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

somente da quantidade do nutriente disponível no solo, mas varia também entre e dentro das espécies, e é explicado por CLARKSON (1985b), que postula que quando alguns nutrientes limitam o crescimento das plantas, principalmente o P e o N, as raízes tornam-se os drenos preferenciais para os fotoassimilados ao invés da parte aérea, ocorrendo então uma redução no crescimento da parte aérea antes que a raiz seja afetada.

Entretanto, apesar de os genótipos de milho terem regulado a quantidade de raízes produzidas de acordo com o suprimento de P, a magnitude da variação na relação pa/r entre as duas doses apresentou-se diferente para os materiais avaliados. Caiano de Alegre aumentou em apenas 2%, enquanto que BR 105 aumentou em 37% a relação pa/r , quando se compararam para ambos, os valores atingidos, respectivamente, na menor e maior dose de P aplicada. De maneira geral, os materiais melhorados tiveram um aumento mais expressivo na relação pa/r em função do incremento na disponibilidade de P.

O fato de a maioria dos genótipos ter apresentado menor relação pa/r no nível baixo de P quando comparado ao nível mais alto, significa que tiveram o desenvolvimento da parte aérea restringido pelo decréscimo no crescimento total da planta e por uma modificação na alocação dos fotoassimilados produzidos. Isto pode ser interpretado como uma estratégia de adaptação desenvolvida pelos genótipos, conforme descrito por BARROW (1975); FÖHSE *et al.* (1988) e HORST *et al.* (1993), na tentativa de aumentar a eficiência de absorção enquanto existe a limitação na disponibilidade de P.

Variedades como Caiano de Sobrália, Palha Roxa, IAC Taiuba e principalmente Cravinho, tiveram, embora a nível não significativo, as suas relações pa/r diminuídas pela elevação na dose de P aplicada, de forma inversa ao observado para os demais genótipos e contradizendo os resultados descritos na literatura (ALVES *et al.*, 1988; BUSO & BLISS, 1988; CARADUS & SNAYDON, 1988b; FÖHSE *et al.*, 1988), mas sustentando os menores valores de produção relativa de raízes alcançados pelo aumento na produção de raízes na maior dose (Tabela 3). As diferenças foram pequenas e os valores da relação pa/r destes genótipos não foram muito maiores que os demais na menor dose de P e nem muito menores na maior dose. Estes genótipos parecem poder apresentar uma maior flexibilidade no aspecto do desenvolvimento radicular, independente da condição nutricional imposta e estas respostas diferentes podem ser dependentes de outros aspectos da nutrição fosfatada não avaliados neste trabalho. A produção relativamente superior de raízes na maior dose de P pode conferir aos mesmos maior potencial de exploração do solo e uma certa vantagem quando em condições competitivas para a absorção do elemento em situações onde o mesmo se encontra em um nível igual ou superior ao adequado. Estes dados que são coerentes com aqueles observados por ROBINSON (1989), citado por HAJABBASI & SCHUMACHER (1994), o qual propõe a existência de uma série de fenótipos ótimos para uma dada condição ambiental, ao invés de um único, desde que a demanda nutricional para o crescimento ideal seja satisfeita, dada a influência de outros fatores determinantes, principalmente aqueles de caráter fisiológico nos parâmetros de eficiência nutricional.

Uma vez que genótipos com menor relação pa/r são tidos como mais adaptados à deficiência de P, destacaram-se o híbrido P 6875, as variedades melhoradas BR 105 e BR 106, e as variedades locais Argentino, Cravinho, Quarentão, Caiano de Alegre, Amarelão e Carioca, pelos menores valores obtidos para a relação pa/r (Tabela 4).

Materiais de grãos dentados apresentaram, de maneira geral, relações pa/r ligeiramente inferiores às de materiais de grãos duros, tendo sido este comportamento mais evidente na maior dose de P aplicada.

4.1.3. Conteúdo e acumulação de fósforo nas partes das plantas

O conteúdo ou concentração de determinado nutriente no tecido vegetal consiste da integração de dois processos dinâmicos: a absorção e transporte do nutriente e a acumulação de matéria seca (LINDEGARDH, 1966, citado por JARREL & BEVERLY, 1981).

Neste trabalho foram verificadas diferenças significativas para o conteúdo de P na parte aérea e nas raízes, entre os genótipos e as doses de P aplicadas (Tabela 5). Estes resultados confirmam o que tem sido demonstrado na literatura sobre o controle genético parcial da absorção e acumulação diferencial de P em genótipos de milho (GORSLINE *et al.*, 1965; BAKER *et al.*, 1970; CLARK & BROWN, 1974a; BRUETSCH & ESTES, 1976), bem como o quanto esta característica é afetada pelo aumento na disponibilidade do nutriente limitante na solução externa onde a planta é cultivada (JARREL & BEVERLY, 1981; HART & JESSOP, 1982).

Tabela 5: Conteúdo de P da parte aérea e raízes (mg P.g⁻¹ matéria seca) dos genótipos de milho crescidos em duas doses de P, 10 e 100 mg P.kg⁻¹ solo. Médias de 4 repetições⁽¹⁾.

Genótipos	Parte aérea			Raízes		
	10	100	Média	10	100	Média
Asteca	2,21	2,29	2,25 ^d	1,01	1,52	1,27 ^{bc}
Amarelão	2,14	2,37	2,26 ^d	0,89	1,41	1,15 ^{c-e}
Caiano (S)	2,26	2,34	2,30 ^d	0,98	1,20	1,09 ^{de}
Caiano (A)	2,44	2,51	2,48 ^{b-d}	1,02	1,46	1,24 ^{b-d}
Cravinho	2,40	2,38	2,39 ^{cd}	1,03	1,40	1,21 ^{b-e}
Carioca	2,17	2,37	2,27 ^d	1,06	1,43	1,24 ^{b-d}
Palha Roxa	2,64	2,92	2,78 ^b	0,95	1,52	1,23 ^{b-d}
Catetão	2,75	2,63	2,69 ^{bc}	1,15	1,59	1,37 ^{ab}
Quarentão	2,12	2,49	2,31 ^d	0,96	1,28	1,12 ^{c-e}
Argentino	2,21	2,32	2,26 ^d	1,03	1,33	1,18 ^{c-e}
Nitroflint	2,65	2,42	2,53 ^{b-d}	1,00	1,42	1,21 ^{b-e}
Nitrodente	2,69	2,51	2,60 ^{b-d}	1,03	1,43	1,23 ^{b-d}
BR 105	2,38	2,58	2,48 ^{b-d}	0,99	1,35	1,17 ^{c-e}
BR 106	2,45	2,35	2,40 ^{cd}	1,01	1,33	1,17 ^{c-e}
BR 107	2,55	2,64	2,59 ^{b-d}	1,02	1,20	1,10 ^{c-e}
IAC Taiuba	2,36	2,43	2,39 ^{cd}	1,01	1,42	1,22 ^{b-d}
P 6875	2,37	2,57	2,47 ^{b-d}	0,70	1,39	1,05 ^e
XL 560	2,45	3,69	3,26 ^a	1,17	1,76	1,46 ^a
Médias	2,43 ^B	2,54 ^A	2,49	1,00 ^B	1,41 ^A	1,21
F g ⁽²⁾		4,81 ^{**}			3,15 ^{**}	
F d ⁽³⁾		4,86 [*]			253,23 ^{**}	
F gxd ⁽⁴⁾		1,09 ^{ns}			1,33 ^{ns}	
CV (%) ⁽⁵⁾		12,90			12,94	

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

Os valores de conteúdo de P obtidos para a parte aérea foram cerca de duas vezes maiores que aqueles das raízes, semelhante ao observado por CLARK (1975).

A importância dessa concentração do P absorvido na parte aérea, onde se encontram as folhas jovens, órgãos de intensa atividade metabólica, é descrita por BARROW (1975), que ressalta ser o fosfato da parte aérea considerado como controlador da fotossíntese, e é citada por SALINAS & SANCHEZ (1976) como sendo um dos principais fatores responsáveis pelas diferenças inter e intraespecíficas na tolerância à deficiência de P. O padrão de distribuição do nutriente na planta não foi influenciado pelos níveis de P, pois a concentração do mesmo permaneceu superior na parte aérea nas duas doses aplicadas (Tabela 5), em concordância aos resultados obtidos por HANWAY (1962) e CLARKSON (1985b).

Para a parte aérea, o genótipo XL 560 apresentou maior conteúdo de P que os demais, seguido das variedades locais Palha Roxa e Catetão (Tabela 5). O comportamento deste híbrido e destas variedades refletiu o efeito de concentração do nutriente (JARREL & BEVERLY, 1981), uma vez que os mesmos obtiveram as menores acumulações de matéria seca na parte aérea, conforme observado na Tabela 2.

A diferença entre os genótipos de grãos duros, derivados dos Catetos, e os de grãos dentados, originários dos Tuxpeños, foi muito pequena, sendo que os primeiros apresentaram um maior conteúdo de P na parte aérea cerca de 8% superior que os últimos, exibindo um padrão inverso ao da acumulação de matéria seca.

A ausência de interação significativa entre genótipos e doses para este parâmetro indica que a resposta à variável disponibilidade de P no solo foi semelhante para os diferentes genótipos, que na sua grande maioria, tiveram maior conteúdo no maior nível do nutriente. No entanto, genótipos como Cravinho, Catetão, Nitroflint, Nitrodente e BR 106, apresentaram um ligeiro decréscimo, não significativo, no conteúdo de P na maior dose. Em todos estes materiais pode ter ocorrido o efeito de diluição (JARREL & BEVERLY, 1981). Estes autores explicam que a diluição do nutriente aplicado ocorre quando o elemento limitante ao crescimento é suprido e a taxa de acumulação de matéria seca aumenta mais rapidamente que a taxa de acumulação do nutriente, resultando em conteúdo mais baixo. Nos casos acima, embora o conteúdo de P no tecido tenha diminuído, a acumulação total, aumentou significativamente, conforme será visto adiante (Tabela 6).

Nas raízes, o híbrido XL 560 e a variedade local Catetão apresentaram o maior conteúdo de P, não tendo sido detectada diferença significativa entre estes genótipos (Tabela 5). Observou-se, como para a parte aérea, o efeito da concentração do nutriente decorrente da menor produção de massa de raízes para ambos (Tabela 2).

Genótipos derivados de Tuxpeños e Catetos obtiveram conteúdos bastante semelhantes de P nas raízes, e todos os materiais avaliados apresentaram maior conteúdo do nutriente na maior dose aplicada (Tabela 5).

A acumulação total de P se refere à quantidade total do nutriente na planta inteira, ou em parte dela (parte aérea, raízes, folhas, colmos, etc.), sendo calculada pelo

produto da concentração de P na porção considerada pelo rendimento de matéria seca da mesma (JARREL & BEVERLY, 1981).

Para a parte aérea, neste trabalho, foram observados efeitos significativos de genótipos e doses, bem como da interação entre estas variáveis, para a acumulação de P (Tabela 6).

A maior acumulação na dose mais elevada refletiu o aumento na disponibilidade do nutriente e seus efeitos na produção de massa e concentração de P.

Entre os genótipos, destacaram-se pela maior acumulação de P na parte aérea a variedade melhorada BR 107 e a variedade local Palha Roxa, ambas de grãos duros, originadas de Catetos (Tabela 6). Esta acumulação mais elevada foi decorrente principalmente da maior concentração do nutriente nos tecidos destes materiais (Tabela 5). Já para o híbrido XL 560, a menor acumulação foi consequência da menor produção de matéria seca da parte aérea (Tabela 2), uma vez que a concentração de P nos seus tecidos foi significativamente superior à dos demais genótipos (Tabela 5).

Materiais de grãos dentados e duros obtiveram diferenças na acumulação de P na parte aérea da ordem de apenas 4%, sendo que os materiais de grãos duros, com predomínio da raça Cateto, alcançaram os maiores valores.

A interação significativa entre os genótipos de milho e as doses de P aplicadas evidenciou comportamentos peculiares dos genótipos para a acumulação

Tabela 6: Acumulação de P na parte aérea, raízes e total (mg.planta^{-1}) dos genótipos de milho crescidos em duas doses de P, 10 e 100 mg P.kg^{-1} solo. Médias de 4 repetições⁽¹⁾.

Genótipos	Parte aérea			Raízes			Total		
	10	100	Média	10	100	Média	10	100	Média
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 Taiuba	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 ⁽²⁾		2,29**			4,17**			2,62**	
F d ⁽³⁾		1053,92**			669,34**			1434,55**	
F gxd ⁽⁴⁾		1,93*			1,65 ^{ns}			1,45 ^{ns}	
CV (%) ⁽⁵⁾		12,55			18,94			11,18	

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

de P na parte aérea dentro de cada dose aplicada (Tabela 6). Na menor dose, o híbrido P 6875 apresentou maior acumulação, não tendo diferido estatisticamente da maioria dos genótipos avaliados, exceto das variedades locais Caiano de Alegre, Quarentão e Catetão, e do híbrido XL 560. Já na maior dose de P aplicada, a maior acumulação de P na parte aérea foi alcançada 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.

Quanto às raízes, também foram verificadas diferenças entre genótipos e doses. O sistema radicular acumulou menores quantidades de P que a parte aérea, seja nas médias das doses, como também nas dos genótipos e, de forma análoga ao conteúdo, o aumento na disponibilidade do nutriente limitante refletiu na maior acumulação do mesmo, sem influenciar a sua distribuição nas diferentes partes da planta. Como esperado, os maiores valores foram obtidos na dose mais elevada (Tabela 6).

A interação genótipo x dose não foi significativa para este parâmetro, indicando que o padrão de acumulação de P nas raízes foi semelhante entre os genótipos nos dois níveis de disponibilidade de P.

Entre os genótipos, as diferenças, embora significativas, foram ainda menos evidentes que para a parte aérea. Caiano de Alegre foi o genótipo que mais acumulou P nas raízes, contudo, diferiu apenas da variedade melhorada Nitrodente, da variedade local Catetão e do híbrido XL 560, sendo este último o material que acumulou menor quantidade de P nas raízes.

Entre materiais derivados de Catetos e Tuxpeños, a diferença entre os mesmos foi de 11%, sendo que, conforme esperado em função do que foi observado para a parte aérea, para as raízes os materiais de grãos dentados derivados da raça Tuxpeño alcançaram os maiores valores.

A acumulação do nutriente na planta inteira (parte aérea e raízes) obedeceu a um padrão semelhante ao verificado nas partes da planta, tendo havido diferenças entre os genótipos e entre as doses de P aplicadas ao solo. A interação entre ambas as variáveis novamente não foi significativa (Tabela 6). Materiais de grãos dentados e de grãos duros apresentaram comportamentos bastante semelhantes para este parâmetro e a maior acumulação de P deu-se também na dose mais elevada do nutriente.

4.1.4. Eficiência de utilização de fósforo

A definição empregada para a eficiência de utilização foi a proposta por SIDDIQI & GLASS (1981).

Observou-se diferenças significativas entre genótipos, entre as doses e para a interação genótipos e doses com relação à eficiência de utilização (Tabela 7).

Pela média das doses e pelos valores de eficiência apresentados por cada genótipo nas duas doses, observou-se que, de maneira geral, a eficiência de utilização de P foi maior no nível mais baixo de P no solo e diminuiu com o aumento no nível de P, significando que maiores quantidades de matéria seca produzida por unidade de P absorvido foram alcançadas no nível mais baixo de fornecimento do

Tabela 7: Eficiência de utilização de P (g^2 matéria seca. mg^{-1} P) dos genótipos de milho crescidos em duas doses de P, 10 e 100 mg P.kg^{-1} solo. Médias de 4 repetições⁽¹⁾.

Genótipos	Eficiência de utilização		
	10	100	Média
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}	4,71 ^{a-c}
BR 107	3,08 ^{e-f}	5,79 ^{b-e,A}	4,43 ^{b-d}
IAC Taiuba	3,35 ^{c-f,B}	5,63 ^{b-f,A}	4,49 ^{a-d}
P 6875	5,39 ^{a,A}	5,36 ^{c-g,A}	5,37 ^a
XL 560	1,53 ^{h,B}	2,95 ^{h,A}	2,24 ^f
Médias	3,45 ^B	5,54 ^A	4,50

F g ⁽²⁾		8,71 ^{**}	
F d ⁽³⁾		263,83 ^{**}	
F gxd ⁽⁴⁾		1,87 [*]	
CV (%) ⁽⁵⁾		17,17	

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

nutriente, exceto para o híbrido P 6875 cuja capacidade de utilizar o nutriente para produção de matéria seca não se alterou em função da maior disponibilidade de P.

A verificação de interação significativa entre os tratamentos sugere a existência de diferenças entre os materiais avaliados para a resposta ao aumento de P disponível para as plantas, quanto à eficiência de utilização do mesmo. Analisando-se o comportamento dos materiais dentro de cada dose, verificou-se que na menor delas, o genótipo mais eficiente foi o híbrido duplo P 6875 e o menos eficiente foi o XL 560, enquanto que para a maior dose, Caiano de Sobrália se mostrou mais eficiente e o XL 560 se manteve na condição de material inferior, neste ensaio. As variedades locais Amarelão, Carioca, Quarentão, Argentino, Asteca, Caiano de Sobrália e a selecionada BR 105, se destacaram pelos seus elevados valores de eficiência, acima da média dos genótipos, em ambos os níveis de P. Estes genótipos foram capazes de utilizar de modo satisfatório o P em concentrações moderadamente baixas nos tecidos, dando indícios da possível estabilidade e adequação dos mesmos tanto a ambientes com deficiência ou com níveis ideais de disponibilidade de P. O desempenho do híbrido P 6875 para as condições deste experimento, que na menor dose foi o mais eficiente e na maior alcançou eficiência intermediária, mostrando a sua adaptação ao nível de baixo suprimento de P, bem como o comportamento do BR 105, pode já ser um reflexo da tendência atual dos programas de melhoramento, sejam de iniciativa pública ou privada, na busca de materiais mais adequados às condições de deficiência nutricional dos solos brasileiros, evidenciando que o melhoramento para a produção de grãos não

necessariamente diminuiu a eficiência a P, semelhante ao que foi observado por HORST *et al.* (1993) para trigo.

Genótipos como Caiano de Alegre, Cravinho, Nitrodente, BR 106, BR 107 e IAC Taiuba, apresentaram valores mais baixos na menor dose, porém responderam ao incremento de P em termos de eficiência, uma vez que na maior dose apresentaram valores próximos aos dos materiais mais eficientes. Estas variedades tiveram a necessidade ou o requerimento de uma concentração de P no tecido mais alta para que fosse possível utilizá-lo tão efetivamente. À exceção da variedade local Cravinho, todos estes genótipos foram classificados como responsivos (eficientes ou não) pela classificação proposta por FOX (1981) e apresentada na Figura 1, baseada exclusivamente na produção de matéria seca de parte aérea

Os genótipos que, na média, destacaram-se por terem atingido os maiores valores de eficiência, ou seja, converteram melhor o nutriente absorvido em massa seca, estão entre os que foram enquadrados como eficientes (responsivos ou não) pela classificação proposta por FOX (1981) e apresentada na Figura 1. Foram eles: o híbrido P 6875, as variedades locais Argentino, Amarelão, Caiano de Sobrália, Carioca, Asteca, Quarentão e Caiano de Alegre, e as variedades melhoradas BR 106 e BR 107.

Considerando os valores médios de eficiência dos genótipos e enfocando o aspecto de origem, aqueles derivados dos Tuxpeños foram 13% mais eficientes que os originados dos Catetos.

Enfocando cada dose, observou-se que na menor, entre Tuxpeños e Catetos, os primeiros foram superiores em cerca de 14%. Na maior dose de P aplicada, também os Tuxpeños foram mais eficientes, desta vez da ordem de 13%.

Os resultados de eficiência refletem a capacidade dos genótipos em utilizar o P absorvido para a produção de massa nas condições e período de tempo em que o experimento foi realizado, o que pode não necessariamente refletir na produção de grãos. Isto foi verificado por alguns autores (FOX, 1978; ALVES *et al.*, 1988), fato este que sugeriu a contestação deste tipo de estudo para a predição da eficiência da produção econômica de grãos, em função da grande complexidade de fatores genéticos e ambientais a que a produção final está sujeita e à influência do vigor das sementes no desenvolvimento inicial das plantas em experimentos de curta duração conduzidos sob condições de casa de vegetação. Vale ressaltar que o presente experimento teve duração superior em cerca de duas e três vezes aos ensaios realizados, respectivamente, por FOX (1978) e ALVES *et al.* (1988). Há necessidade, contudo, da associação dos resultados obtidos com dados de produção de grãos sob condições de campo, uma vez que estes constituem o produto final desejado. Convém destacar, entretanto, o desempenho semelhante das variedades locais ao dos materiais já selecionados e melhorados, justificando o seu emprego e ressaltando seu potencial como fonte de características favoráveis para o parâmetro em questão.

4.2. Experimento 2

4.2.1. Produção de grãos

Os quadrados médios da análise de variância para a produção de grãos dos genótipos de milho encontram-se na Tabela 8, por onde observa-se que as doses de P aplicadas proporcionaram um aumento na produção de grãos dos genótipos, que diferiram entre si. Contudo a interação genótipo x dose não foi significativa, indicando que a produção de grãos não foi afetada diferencialmente entre os genótipos pelo aumento na disponibilidade do nutriente.

Tabela 8. Quadrados médios e valores de F da análise de variância para a produção de grãos dos genótipos de milho.

Fontes de variação	GL ⁽¹⁾	QM	F
Doses de P	5	10304255,89	11,89**
Genótipos	6	7305285,16	13,77**
Locais	4	10042456,87	18,94**
Melhorados	1	3634106,7	6,85*
Grupos	1	27777,0	0,05 ^{ns}
Doses x Genótipos	30	620675,1	1,17 ^{ns}

⁽¹⁾GL: graus de liberdade; QM: quadrados médios.

** Significativo ao nível de 1%; * Significativo ao nível de 5%; ^{ns} não significativo.

Decompondo-se os graus de liberdade de genótipos entre variedades locais e materiais melhorados verificou-se que dentro do grupo das variedades locais houve uma diferença altamente significativa entre os genótipos, bem como dentro do grupo de materiais melhorados. Carioca e Catetão destacaram-se, respectivamente, pela maior e menor produção de grãos entre as variedades locais e na média de todos os genótipos avaliados. Dentro dos materiais melhorados, P 6875 mostrou-se superior à variedade Nitroflint (Figura 2). Apesar das diferenças significativas obtidas dentro dos grupos de genótipos, em média, os grupos não diferiram entre si, ou seja, para a produção de grãos, variedades não melhoradas (rendimento médio de $4258 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) e materiais melhorados (rendimento médio de $4225 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) apresentaram desempenhos semelhantes. Os níveis médios de produtividade atingidos, mesmo para os genótipos de desempenho inferior, estiveram sempre acima do rendimento médio nacional de $2025 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (MELO FILHO, 1991).

As equações que melhor se ajustaram às curvas de produção de grãos dos genótipos em função das doses de P aplicadas encontram-se nas Figuras 3a e 3b. Os valores de produção obtidos pelas variedades Asteca e Caiano não se ajustaram a nenhum dos modelos testados, razão pela qual quaisquer comparações relacionadas ao rendimento destes materiais referem-se à produção média dos mesmos. Para os demais genótipos, o melhor ajuste foi fornecido pelo modelo raiz quadrático, que mostrou a redução na produção no mais alto nível de P aplicado. A magnitude desta diminuição foi menor para genótipos como Cravinho, Catetão, Carioca e Nitroflint, e mais acentuada para o híbrido P 6875. A forma da curva de resposta permitiu não somente diferenciar os genótipos em suas respostas a P, mas

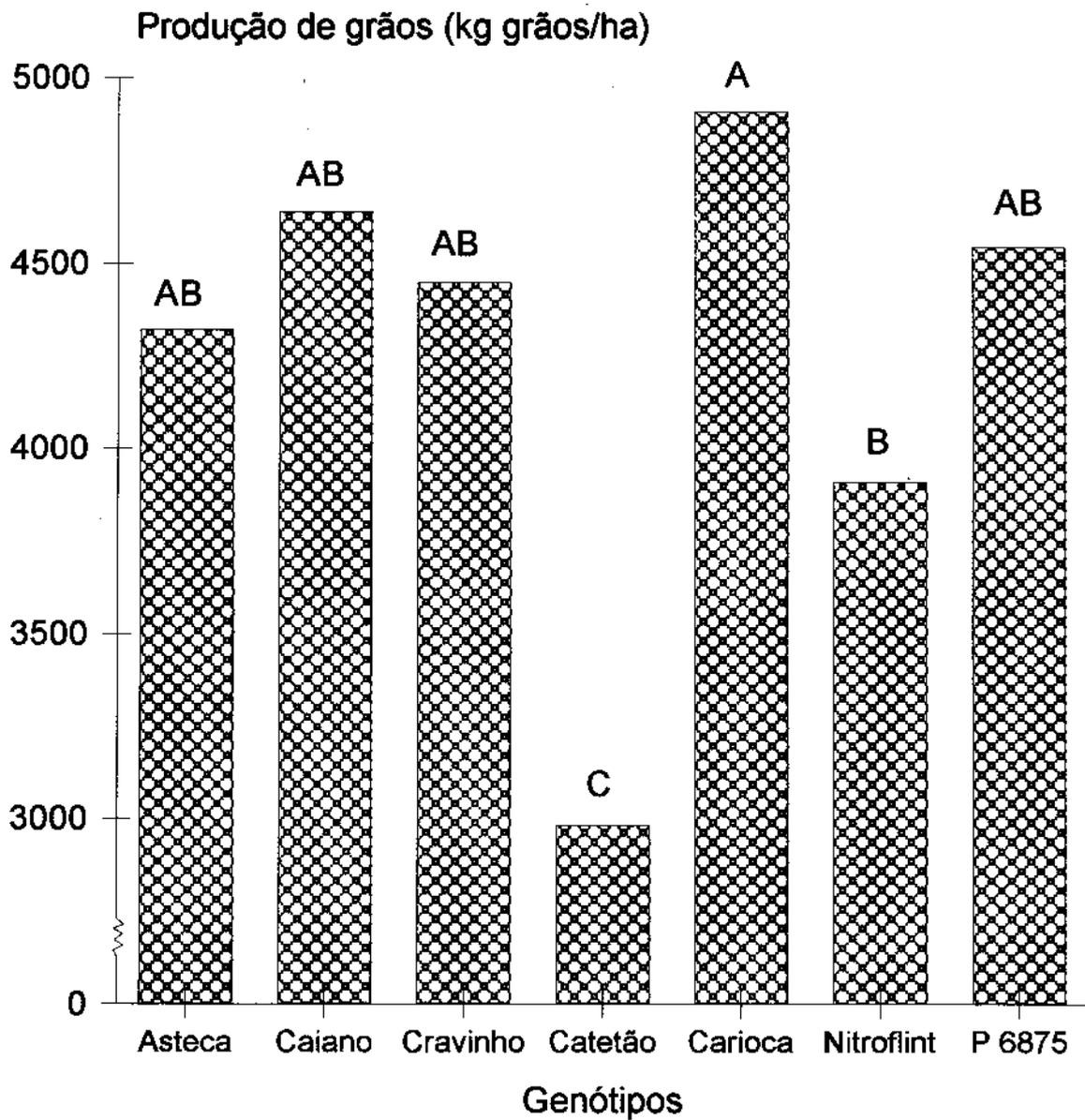


Figura 2. Produção de grãos dos genótipos de milho. (Tukey, $p < 0,05$)

também na capacidade dos mesmos em tolerar baixos níveis de P disponíveis no solo e responder a pequenas adições do fertilizante fosfatado (Figuras 3a e 3b).

Na ausência de adubação fosfatada, em que o teor de P disponível no solo foi de $7,76 \text{ mg P. kg}^{-1}$ de solo, considerado baixo para as condições locais (ALMEIDA et al., 1988), os genótipos apresentaram diferentes rendimentos (Figura 4). Comparando as produções médias alcançadas pelos genótipos, a variedade Caiano de Sobrália destacou-se pela maior produtividade quando comparado com os demais genótipos, dando indícios da sua adaptação e fornecendo possibilidades para sua utilização em solos com deficiência de P. Nota-se que os genótipos Caiano de Sobrália e Asteca superaram o Cateto em, respectivamente, 45 e 33% quanto à produção de grãos na ausência de adubação fosfatada. Características morfológicas, fisiológicas ou relacionadas à associação simbiótica com fungos micorrízicos, não avaliadas neste trabalho, poderiam ter conferido a maior ou menor tolerância à deficiência de P.

Em função do aumento na disponibilidade do nutriente, a resposta dos genótipos foi variável, conforme pode ser observado pelos valores da declividade (coeficiente B) da equação ajustada. Cravinho, Carioca e P 6875 apresentaram os maiores valores de declividade, refletindo um incremento maior da produção em função das doses de P aplicadas, enquanto que Nitroflint e Catetão apresentaram valores menores para o coeficiente, mostrando-se menos responsivos.

Para quantificar os diferentes níveis de resposta dos genótipos às doses de P aplicadas, foi calculado, a partir dos valores gerados pelas equações de regressão, o incremento na produção de grãos em cada dose relativo à produção obtida na

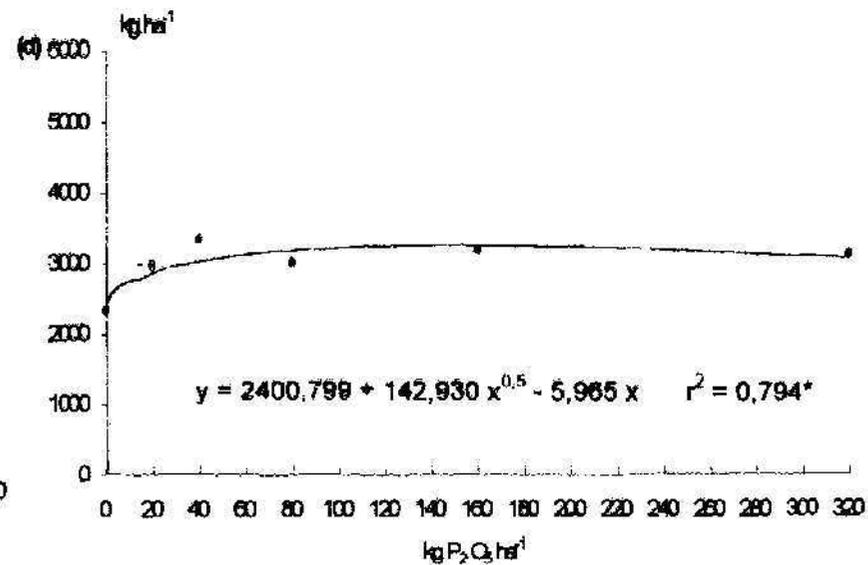
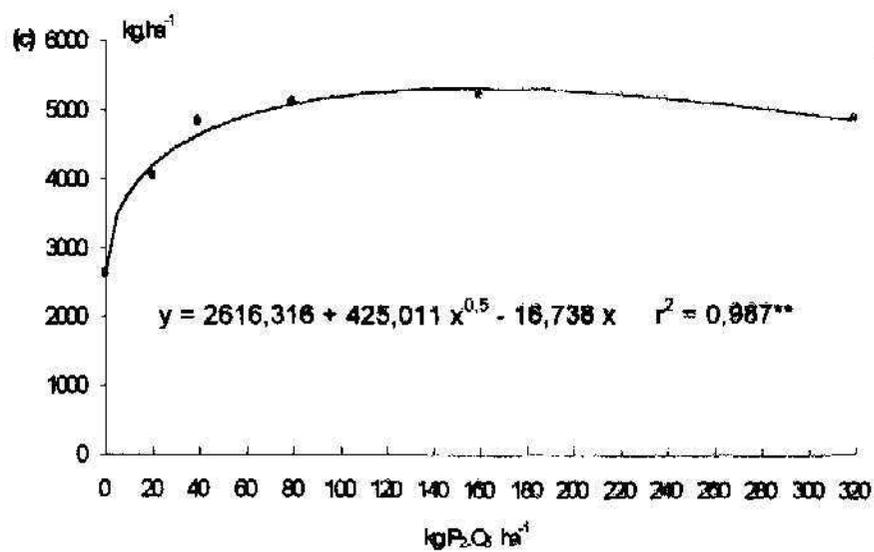
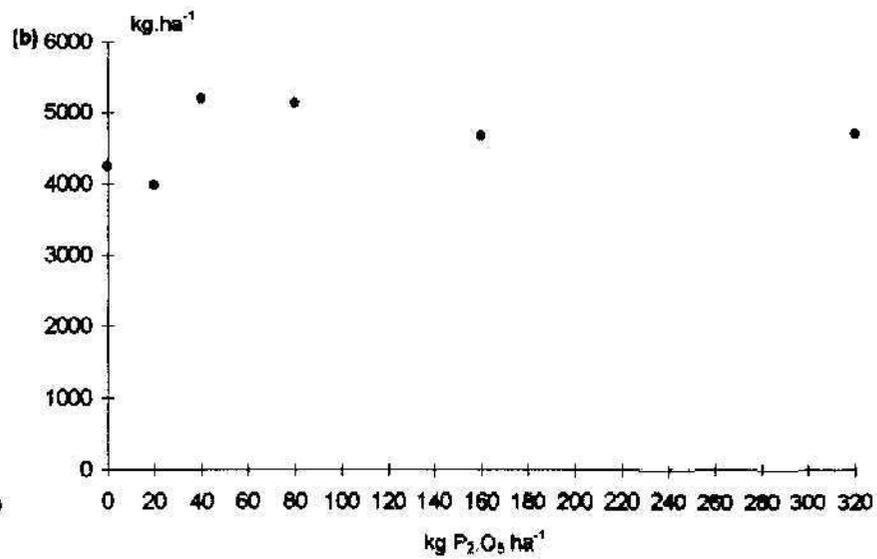
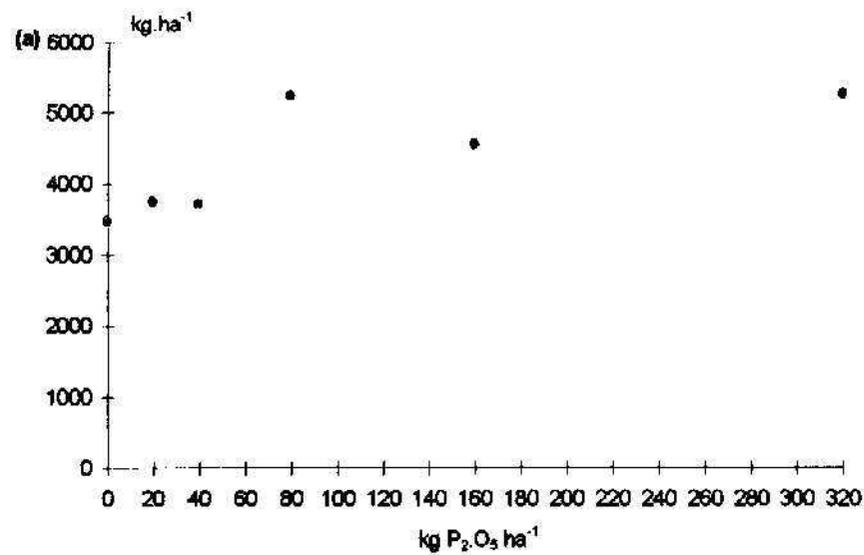


Figura 3a . Produção de grãos dos genótipos de milho em função das doses de P aplicadas: (a) Asteca, (b) Caiano, (c) Cravinho e (d) Catetão.

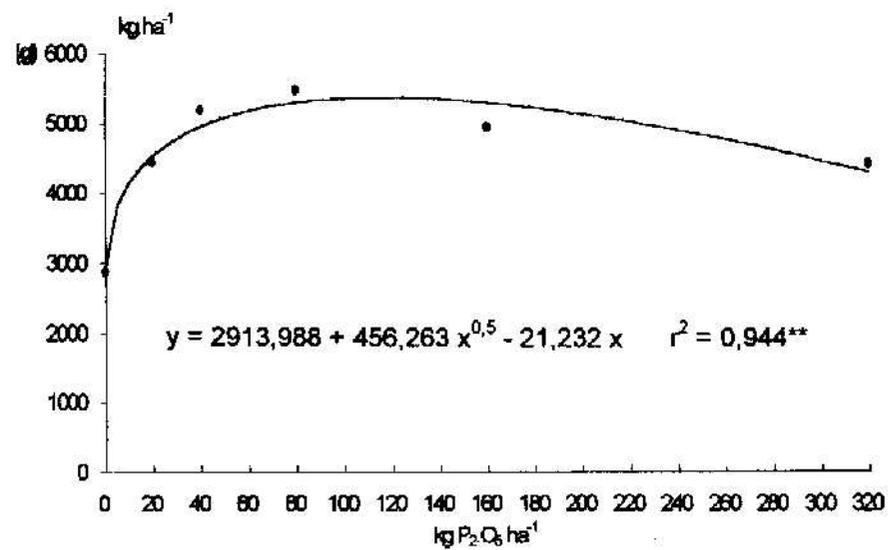
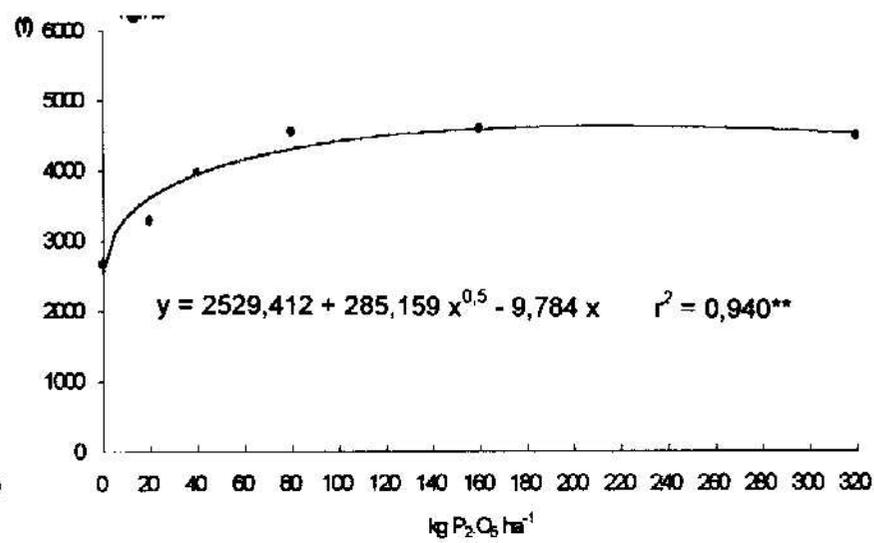
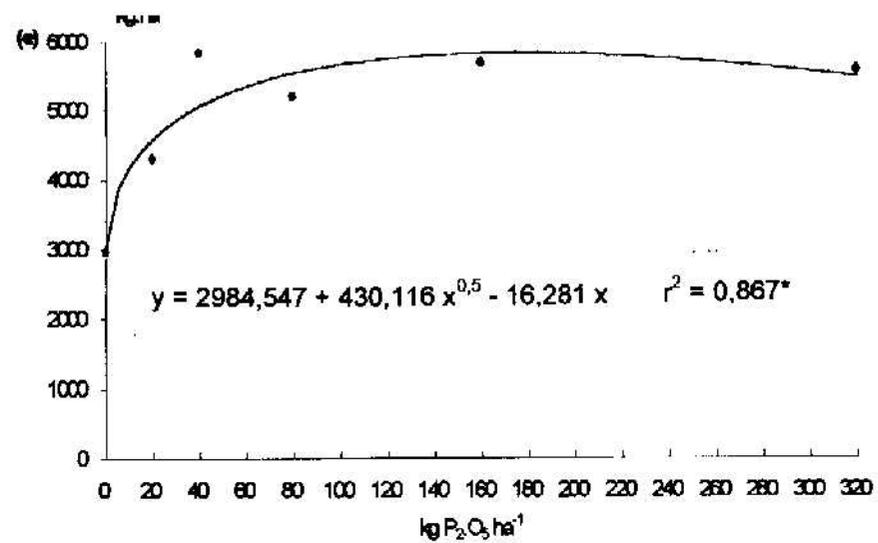


Figura 3b . Produção de grãos dos genótipos de milho em função das doses de P aplicadas: (e) Carioca, (f) Nitroflint e (g) P 6875.

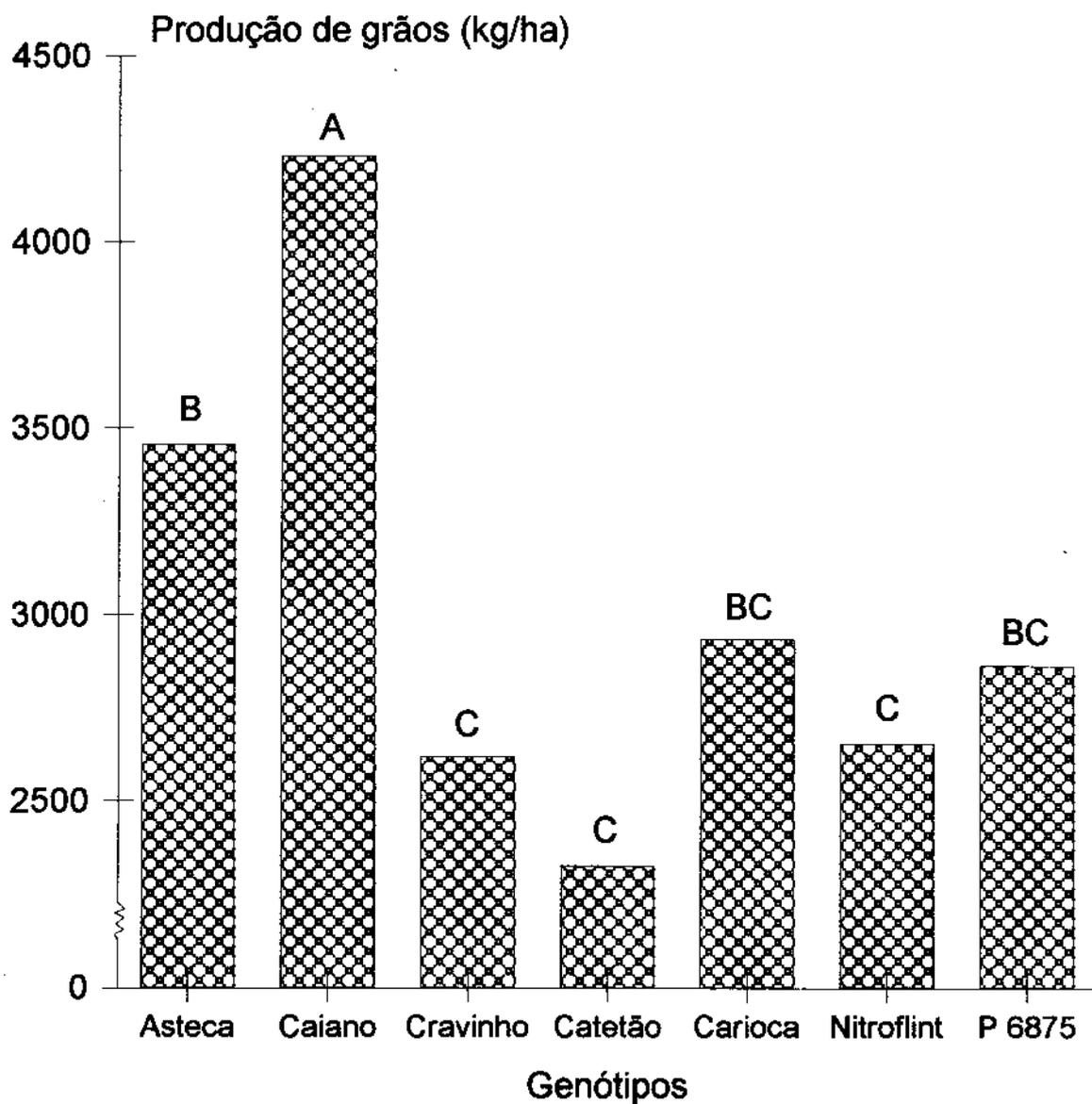


Figura 4. Produção de grãos dos genótipos de milho na ausência da adubação fosfatada. (Tukey, $p < 0,05$)

ausência adubação fosfatada (Tabela 9). Em função da ausência de ajuste significativo para o Asteca e Caiano de Sobrália, os valores de incremento não puderam ser calculados para os mesmos.

Tabela 9. Incremento relativo (%) na produção de grãos dos genótipos de milho em função das doses de P aplicadas⁽¹⁾

Genótipos	Doses de P (kg P ₂ O ₅ . ha ⁻¹)				
	20	40	80	160	320
Asteca	-	-	-	-	-
Caiano(S)	-	-	-	-	-
Cravinho	59,85	77,15	94,12	103,12	85,87
Catetão	21,66	27,71	33,37	35,55	26,99
Carioca	53,54	69,33	85,26	95,01	83,24
Nitroflint	42,68	55,83	69,89	80,71	77,89
P 6875	55,45	69,88	81,76	81,48	46,93

⁽¹⁾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.

Cravinho foi o material que apresentou as maiores magnitudes de resposta a P e com a adição de 20 kg P₂O₅ . ha⁻¹ teve o seu rendimento aumentado em 59,85%, duplicando a sua produção com a adição de 160 kg P₂ O₅ . ha⁻¹ . Entretanto, seu rendimento na ausência de adubação 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 as do Cravinho. Estes genótipos, contudo, apresentaram uma produção pouco mais elevada na ausência de adubação fosfatada (Figura 3b), mostrando uma eficiência mediana, aliado à capacidade de resposta. A variedade selecionada Nitroflint teve uma resposta intermediária ao aumento nos níveis de P, e o terceiro menor rendimento no tratamento sem adição do nutriente. Catetão, por sua vez, apresentou as menores magnitudes de resposta à adição do P e também a menor produção na ausência de adubação fosfatada. Esta menor capacidade de resposta pode ser interpretada como uma característica de planta adaptada à deficiência de P.

Na Tabela 10, constam as doses para a máxima produção de grãos e os respectivos níveis críticos externos de P disponível, calculados a partir das curvas ajustadas de produção. As doses para obtenção do rendimento máximo variaram de 115 a 212 kg P₂O₅ . ha⁻¹, enquanto os níveis críticos apresentaram amplitude de variação de, respectivamente, 51,28 a 89,38 mg P. kg⁻¹ de solo, com média de 69,35 mg P. kg⁻¹ de solo. O híbrido P 6875 foi o genótipo que demandou a menor dose de P e, conseqüentemente, menor teor do nutriente disponível no solo, para alcançar a máxima produção de grãos, enquanto que para a variedade selecionada Nitroflint ocorreu o inverso, ou seja, foi o genótipo que apresentou maior requerimento externo de P para atingir o nível máximo de produção, que por sua vez foi um dos menores alcançadas entre os materiais avaliados. Cravinho atingiu rendimento máximo semelhante ao do P 6875, porém necessitando de um maior nível de P disponível. Este comportamento do híbrido vem confirmar o que foi comentado anteriormente a respeito da tendência do melhoramento de milho no Brasil no desenvolvimento de materiais mais adaptados às condições de deficiências nutricionais comuns aos solos

brasileiros. Carioca, por sua vez, obteve o maior valor de produção de grãos com uma dose inferior somente à do Nitroflint, enquanto que o Catetão demonstrou a segunda menor demanda em P, mas para obter uma produção máxima bem inferior à dos demais, mais uma vez caracterizando sua baixa capacidade de resposta ao nutriente.

Tabela 10. Doses de P_2O_5 aplicadas e teores de P disponível para obtenção do rendimento máximo e respectivos valores estimados de produção de grãos para os genótipos de milho.

Genótipos	Doses (kg P_2O_5 .ha ⁻¹)	Teor (mg P.kg ⁻¹ solo)	Produção (kg grãos.ha ⁻¹)
Asteca	-	-	-
Caiano (S)	-	-	-
Cravinho	161	69	5314
Catetão	143	62	3256
Carioca	174	74	5825
Nitroflint	212	89	4607
P 6875	115	51	5365

O comportamento produtivo destes materiais a nível de campo encontra-se compatível com as especulações feitas a partir dos resultados obtidos no ensaio de casa de vegetação, onde o híbrido P 6875 se mostrou o genótipo mais eficiente na produção de matéria seca independente do nível de disponibilidade de P; a variedade local Carioca também se destacou pelo elevado valor de eficiência apresentado, e onde Nitroflint e Catetão se apresentaram pouco eficientes na conversão do P absorvido em matéria seca.

A relação entre a máxima produção de grãos e a dose requerida para a sua obtenção também forneceu uma idéia da eficiência com a qual cada genótipo converteu o P aplicado em rendimento de grãos (Figura 5). Este conceito de eficiência à adubação fosfatada, conforme referido anteriormente, deve ser considerado dentro de suas limitações, uma vez que não evidencia se os genótipos mais eficientes absorvem mais P do fertilizante aplicado ou do próprio solo, ou se o P absorvido pelas plantas é utilizado “mais eficientemente”. Neste aspecto, o híbrido P 6875 atingiu a maior produção de grãos por unidade de P aplicada ($47 \text{ kg grãos} \cdot \text{kg P}_2\text{O}_5 \text{ aplicado}^{-1}$) mostrando-se o “mais eficiente” entre os genótipos avaliados. De eficiência intermediária foram as variedades locais Carioca e Cravinho, que produziram cerca de 33 kg de grãos para cada kg de P_2O_5 aplicado, enquanto que Nitroflint e Catetão foram os menos eficientes, convertendo cada kg de P_2O_5 em valores de produção da ordem de 22 kg de grãos.

Por ambos conceitos de “eficiência agrônômica” - rendimento do produto colhido por unidade de nutriente aplicado e requerimento ou nível crítico externo - os quais enfocam apenas a produtividade, o híbrido duplo P 6875 obteve o melhor desempenho entre os genótipos para os quais estas características foram avaliadas. Além disso, apresentou produção média de $4543 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ e bom rendimento na ausência de P, indicando ser um genótipo cuja utilização é viável tanto sob condições adversas, como em sistemas produtivos de elevado nível tecnológico. Contudo, este material apresenta a desvantagem conferida pela dependência,

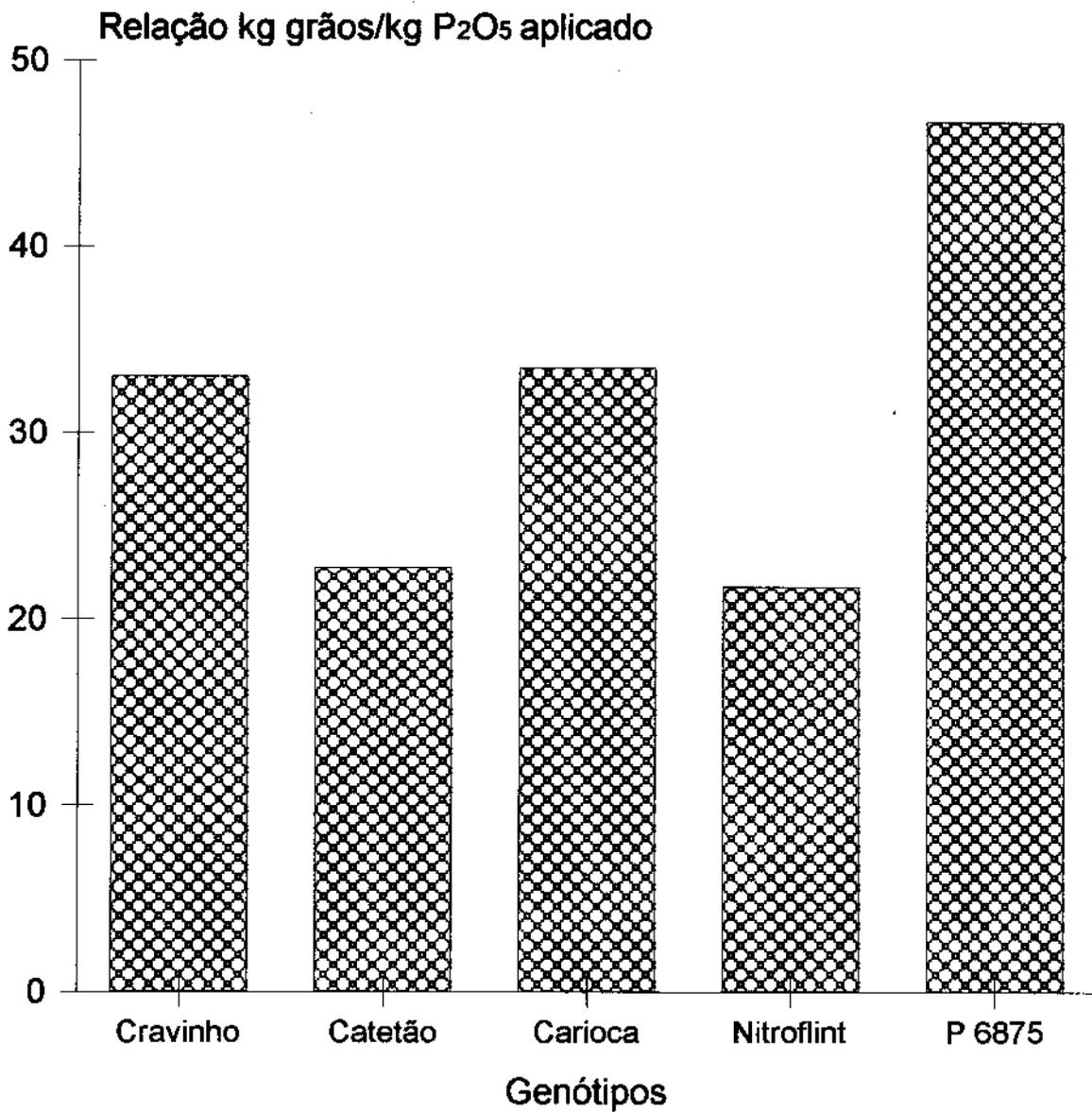


Figura 5. Relação entre a produção de grãos por unidade de P₂O₅ aplicado no nível de produção máxima.

sobretudo do pequeno produtor, em relação às empresas produtoras de sementes, uma vez que não pode ser multiplicado dentro da propriedade.

Apesar destes 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, independente da disponibilidade de P, com médias, respectivamente, de 4319 e 4637 kg grãos . ha⁻¹ , também confirmando os resultados obtidos no ensaio de casa de vegetação, indicando serem materiais promissores para sistemas de produção sustentáveis que requeiram uma menor demanda de fertilizantes e mesmo assim apresentando um bom nível de produtividade.

Relacionando o caráter produção com a origem destes materiais em termos de raça e local de coleta, algumas considerações podem ser feitas. Carioca e Caiano se apresentam como genótipos de grãos dentados e constituem-se de germoplasmas semelhantes, derivados, respectivamente, de Dente Riograndense x Tuxpeño e Dente Paulista x Tuxpeño. Porém, o processo de adaptação de ambos pode ter ocorrido sob condições diferentes. Carioca, coletado no Paraná, possivelmente deve ser mais adaptado a condições de solos férteis, enquanto Caiano, coletado na região Norte de Minas Gerais, pode ser mais adaptado a condições ambientais mais limitantes. Os resultados de produção destes genótipos e magnitude de resposta dos mesmos à aplicação de P refletem estes aspectos adaptativos e de origem. Carioca apresentou uma produção média de 4906 kg.ha⁻¹ e uma resposta crescente aos níveis de adubação fosfatada até 174 kg P₂O₅.ha⁻¹ (Tabelas 9 e 10), refletindo a sua alta resposta à disponibilidade do nutriente. Já o Caiano obteve a produção média de 4637

kg.ha⁻¹ e uma resposta mais estável à aplicação de P (Figura 3a) , caracterizando a sua adaptação e estabilidade de produção mesmo na presença de baixo teor de P disponível no solo.

Nitroflint e Catetão são genótipos de grãos duros, que apresentam a raça Cateto em seu germoplasma. O Nitroflint é uma variedade selecionada para o uso eficiente de nitrogênio (MACHADO et al., 1992), que apresentou produção média de 3908 kg.ha⁻¹ e aumento da ordem de até 80% com a aplicação de P. Esta resposta e/ou dependência a P pode estar relacionada ao fato deste material ter sido selecionado para nitrogênio, sempre sob condições adequadas de suprimento de P e mostra o quanto a seleção para a eficiência a determinado parâmetro pode acarretar em dependência a outro . O Catetão, por sua vez, constitui o genótipo mais antigo e menos selecionado que os demais. Tem como característica uma alta estabilidade de produção, porém, com valores baixos, aspecto este talvez relacionado à sua própria sobrevivência e à característica de adaptação a locais com reduzida disponibilidade de nutrientes. Sua produção média foi a menor dentre os demais genótipos, atingindo o valor de 2982 kg.ha⁻¹ e a magnitude de sua resposta a P variou somente de 21 a 35% (Tabela 9).

Cravinho e Asteca são genótipos de grãos dentados e possuem sua origem na raça Tuxpeño. Apresentaram produções médias semelhantes, respectivamente, de 4448 e 4319 kg.ha⁻¹. Entretanto, a resposta na produção de grãos a valores crescentes de P disponíveis foi bastante diferente. Cravinho se mostrou mais responsivo às doses aplicadas, possivelmente refletindo a sua adaptação a condições de solos mais férteis, e Asteca manteve uma resposta menor e mais estável de produção mostrando, por

sua vez, a sua adaptação aos solos deficientes em P característicos da Zona da Mata de Minas Gerais.

Os genótipos avaliados originários da raça Tuxpeño quando comparados aos derivados da raça Cateto, foram, de maneira geral, os que obtiveram uma maior produção de grãos por unidade de P aplicado, indicando possivelmente a existência de características favoráveis, geneticamente controladas, relacionadas ao uso eficiente de P dentro deste germoplasma.

A deficiência de P no solo tem efeito sobre a formação das espigas (MUZILLI & OLIVEIRA, 1982), podendo originar espigas defeituosas, acarretando prejuízo na produção de grãos. Presentemente avaliou-se o número de espigas danificadas, incluindo neste grupo as mal formadas, tortas, falhadas e atingidas por pragas e patógenos (Tabela 11).

As variedades locais apresentaram uma proporção de espigas danificadas menor que os materiais melhorados, notadamente na ausência de adubação fosfatada, podendo-se considerar como possíveis causas para esta variação características como empalhamento e tamanho das espigas conferindo maior tolerância. Dentre as variedades locais o genótipo Cravinho se mostrou mais suscetível a danos na espiga do que os demais genótipos. O germoplasma talvez possa ter influência, uma vez que o Asteca, de origem semelhante ao Cravinho na raça Tuxpeño, foi, dentre os materiais não melhorados, o segundo mais suscetível.

Ambos possuem grãos dentados, característica dos Tuxpeños, que são mais macios

Tabela 11: Proporção (%) de espigas danificadas dos genótipos de milho em função das doses de P aplicadas

Genótipos	Doses de P (kg P ₂ O ₅ /ha)						Média
	0	20	40	80	160	320	
Asteca	39	32	33	17	39	30	32
Caiano	26	30	14	24	31	22	25
Cravinho	42	46	29	52	27	33	38
Catetão	25	33	12	11	32	32	24
Carioca	33	36	30	33	25	35	32
Média Parcial	33	35	24	27	31	30	30
Nitroflint	48	52	38	26	29	32	38
P 6875	76	34	40	33	43	30	43
Média Parcial	62	43	39	30	36	31	40
Média Geral	48	39	31	28	33	31	35

e preferivelmente atacados por invasores.

Catetão e Nitroflint, ambos de grãos duros, refletem os resultados da seleção em materiais de origem semelhante. A variedade melhorada apresentou maior tendência para formar espigas defeituosas, principalmente pela alteração morfológica das mesmas ocorrida durante o processo de seleção. Nitroflint possui espigas maiores, mais grossas e com menos palha que o Catetão.

Carioca e Caiano, de germoplasma de origem semelhante, diferiram em número de espigas danificadas, com o primeiro se mostrando mais sensível. São genótipos de grãos semi-dentados e, portanto, apresentam característica de resistência intermediária a doenças e pragas de maneira geral. Observou-se, de maneira geral, diminuição na proporção de espigas doentes à medida em que

aumentou-se a dose, de forma mais acentuada para os genótipos melhorados. Na ausência de adubação fosfatada, os materiais melhorados apresentaram um número médio de espigas danificadas cerca de duas vezes superior ao das variedades locais.

4.2.2. Altura de planta e da inserção das espigas

A altura das plantas ou porte, bem como a da inserção das espigas mostraram-se altamente influenciadas pelos genótipos e não se alteraram em função das doses de P aplicadas (Tabela 12 e Figura 6).

Tabela 12. Quadrados médios e valores de F da análise de variância para altura das plantas e da inserção da espiga dos genótipos de milho

Fontes de variação	GL ⁽¹⁾	Plantas		Inserção espiga	
		QM	F	QM	F
Doses de P	5	2365,45	0,52 ^{ns}	4205,15	1,60 ^{ns}
Genótipos	6	4380,17	6,99**	6372,91	18,56**
Locais	4	1525,09	2,43 ^{ns}	1509,82	4,40**
Melhorados	1	1681,00	2,68 ^{ns}	568,03	1,65 ^{ns}
Grupos	1	18499,67	29,51**	31630,13	92,11**
Doses x Genótipos	30	461,80	0,74 ^{ns}	299,29	0,87 ^{ns}

⁽¹⁾GL: graus de liberdade; QM: quadrados médios. ** Significativo ao nível de 1%; ^{ns} não significativo.

As variedades locais apresentaram, de maneira geral, porte mais elevado que os materiais melhorados, aqui representados pela variedade Nitroflint e pelo híbrido P 6875. Para a altura da inserção da espiga, a diferença entre materiais não melhorados e melhorados foi ainda mais acentuada e, mesmo dentro das variedades locais detectou-se diferenças (Figura 6).

Estes resultados podem ser atribuídos ao fato da obtenção de plantas de milho de porte mais baixo ser o objetivo do melhoramento genético, devido à melhor adequação para a colheita mecânica. Uma outra razão para a diminuição do porte é a redução na proporção de plantas quebradas e acamadas. De acordo com BANDEL (1987), as plantas altas de milho, típicas de regiões tropicais e sub-tropicais, são mais sujeitas ao tombamento e ao acamamento, pela ação dos ventos, em relação às plantas de porte baixo. O autor ressalta ainda que a produtividade do milho no Brasil é bastante afetada pelas perdas de plantas tombadas pelo vento.

Uma outra vantagem apresentada pelos genótipos de porte mais baixo é a possibilidade de se utilizar densidades maiores de plantio e, portanto, a obtenção de maiores produções por área. Neste aspecto pode-se hipotetizar que as variedades locais mantiveram esta característica de porte elevado, com espigas mais altas, como uma tendência adaptativa de favorecimento à competição por energia radiante, uma vez que por serem mais antigas, não foram desenvolvidas dentro dos sistemas de manejo relativos à espaçamento e estande ideal hoje empregados.

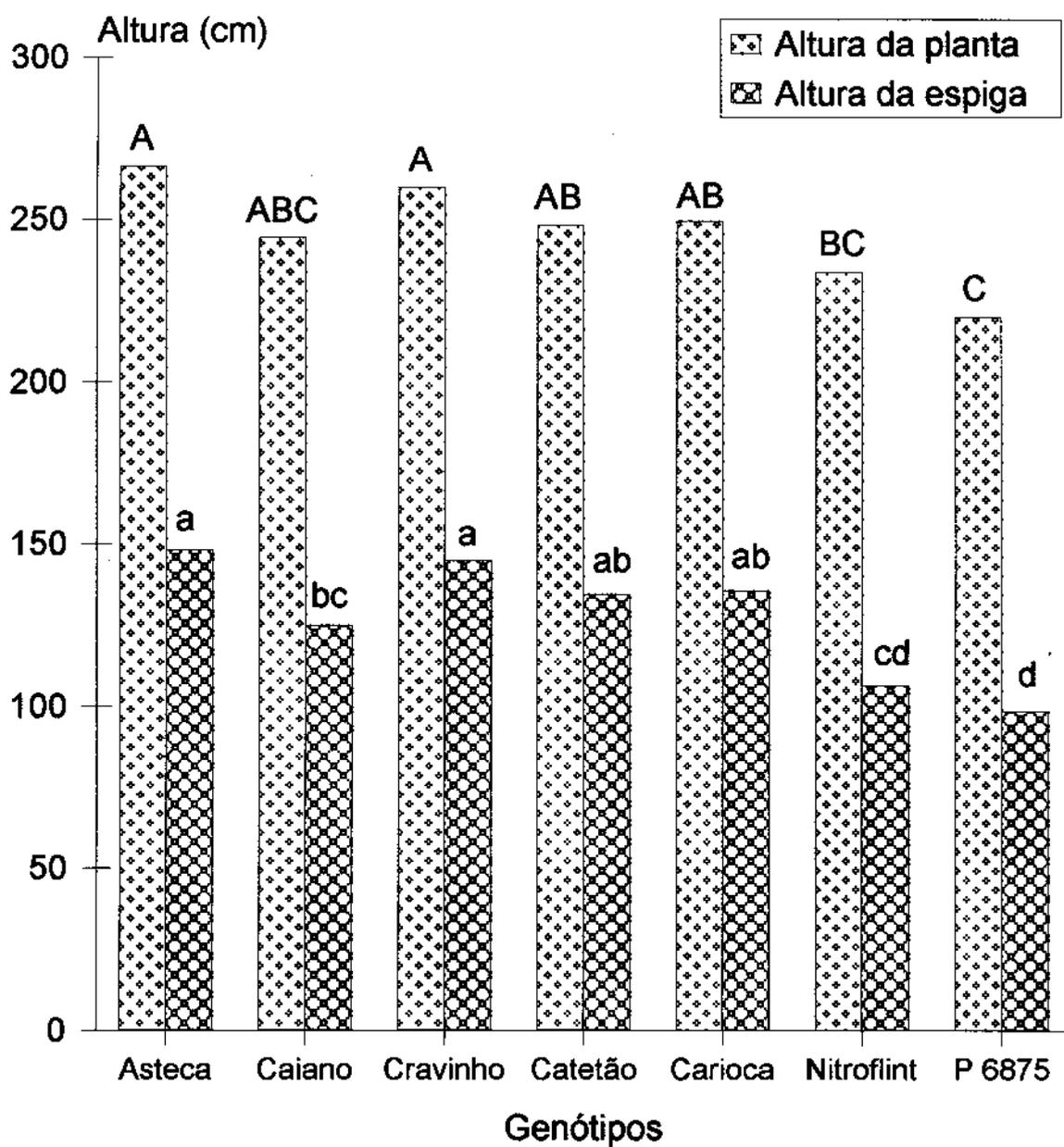


Figura 6. Altura da planta e da inserção da espiga dos genótipos de milho. (Tukey, $p < 0,05$)

Por outro lado, plantas de porte mais alto e que produzem uma maior quantidade de massa, representam uma certa vantagem em sistemas de cultivo onde os restos culturais são deixados no campo, por todos os benefícios relativos à fertilidade e estruturação do solo decorrentes da liberação de nutrientes e atividade biológica durante o processo de decomposição da palhada.

Pelos dados da Tabela 13 observa-se uma tendência, embora pequena, das variedades locais apresentarem maior número de plantas acamadas e quebradas que os materiais melhorados. O genótipo Asteca, de porte mais elevado e maior altura de inserção da espiga, foi a que apresentou maior porcentagem de plantas quebradas e acamadas. Dentre os materiais melhorados a diferença foi pequena.

Dentro das doses, a variação na porcentagem de plantas quebradas e acamadas foi maior para os materiais melhorados, que apresentaram valores menores de acamamento e quebramento nas menores doses de P aplicado, enquanto que as variedades locais apresentaram valores elevados já nos níveis mais baixos de fornecimento do nutriente.

Avaliando o acamamento e quebramento de plantas com relação à origem dos materiais genéticos, alguns pontos podem ser destacados. Nitroflint e Catetão, por exemplo, de origem semelhante na raça Cateto, refletem as conseqüências do processo de seleção sofrido pelo primeiro também para este parâmetro. A seleção do Nitroflint para as condições de estresse de N conduziu também à redução do porte da planta e à maior tolerância ao acamamento e quebramento. Catetão, uma variedade antiga e não melhorada, mantém as características de porte elevado e, por conseguinte, mais sujeita a acamar e quebrar em função das condições ambientais.

Cravinho e Asteca, originários da raça Tuxpeño, são materiais de porte elevado e as diferenças verificadas para a tolerância ao acamamento e quebramento podem residir em aspectos de adaptação aos locais em que predominam o seu uso ou por características próprias do sistema radicular de ambas. Caiano e Carioca, de germoplasmas semelhantes, não apresentaram variação entre si com relação ao número de plantas quebradas e acamadas, indicando que as condições ambientais específicas em que são cultivados não foram suficientes para alterar a característica de ambos de resistência a acamamento e quebramento.

Tabela 13. Proporção (%) de plantas acamadas e quebradas dos genótipos de milho em função das doses de P aplicadas.

Genótipos	Doses de P (kg P ₂ O ₅ /ha)						Média
	0	20	40	80	160	320	
Asteca	35	45	43	36	27	37	37
Caiano	38	19	32	22	21	17	25
Cravinho	13	23	38	35	22	26	26
Catetão	28	32	42	37	19	48	34
Carioca	23	23	17	26	26	36	25
Média Parcial	27	28	34	31	23	33	29
Nitroflint	12	22	19	35	27	30	24
P 6875	23	22	13	33	32	50	29
Média Parcial	18	22	16	34	30	40	26
Média Geral	22	25	26	33	26	36	28

4.2.3. Conteúdo e acumulação total de P nos grãos

No presente trabalho houveram respostas às doses de P aplicadas e os genótipos diferiram entre si quanto ao conteúdo de P nos grãos. A interação genótipo x dose não foi significativa (Tabela 14), indicando que também para este parâmetro o comportamento dos genótipos avaliados foi semelhante.

Tabela 14. Quadrados médios e valores de F da análise de variância para o conteúdo e acumulação total de P nos grãos dos genótipos de milho.

Fontes de variação	GL ⁽¹⁾	Conteúdo		Acumulação	
		QM	F	QM	F
Doses de P	5	1,84	5,96**	514,22	12,85**
Genótipos	6	2,18	7,49**	144,06	5,68**
Locais	4	3,59	12,32**	211,81	8,35**
Melhorados	1	3,88	13,32**	3,69	0,15 ^{ns}
Grupos	1	0,85	2,91 ^{ns}	13,46	0,53 ^{ns}
Doses x Genótipos	30	0,37	1,26 ^{ns}	28,33	1,12 ^{ns}

⁽¹⁾GL: graus de liberdade; QM: quadrados médios; ** Significativo ao nível de 1%; ^{ns} não significativo.

A Figura 7 mostra a diferença no conteúdo de P dos grãos dos genótipos. Dentro dos grupos de materiais houveram diferenças altamente

significativas. Catetão e Nitroflint foram os genótipos que apresentaram uma maior concentração de P nos grãos dentre, respectivamente, as variedades locais e materiais melhorados. São os materiais que apresentam grãos de menor tamanho, característico dos Catetos, e que alcançaram as menores produções de grãos.

O controle genético da absorção e acumulação de P e, conseqüentemente, as diferenças entre genótipos de milho tem sido observados (GORSLINE et al., 1965; BAKER et al., 1970; CLARK & BROWN, 1974b; BRUETSCH & ESTES, 1976; dentre outros), bem como o reflexo das diferenças na fertilidade do solo nestes parâmetros (HANWAY 1962).

O P dos grãos tem sua origem, em última instância, no nutriente absorvido do solo pelas raízes. De acordo com ARNON (1975), após a polinização o suprimento de P para os grãos em desenvolvimento é bastante intenso. A absorção de P pelas raízes é ainda muito ativa durante o período de formação da espiga até a sua maturidade. Contribui também para este constante suprimento a alta mobilidade do P dentro da planta, em contraste com a sua relativa imobilidade no solo. O autor ainda ressalta que a quantidade de P absorvido pelas raízes durante este período varia entre 43 e 65% de todo o P absorvido pela planta e que a maior parte se destina aos grãos em desenvolvimento. MALAVOLTA & DANTAS (1980) ressaltam que além do P absorvido do solo, uma outra fonte do nutriente para os grãos é a redistribuição do mesmo a partir dos reservatórios representados pelas folhas, colmo e, principalmente, pela palha da espiga. HANWAY (1962) e ARNON (1975) descrevem que o movimento de P a partir do colmo, da espiga e da palha precede

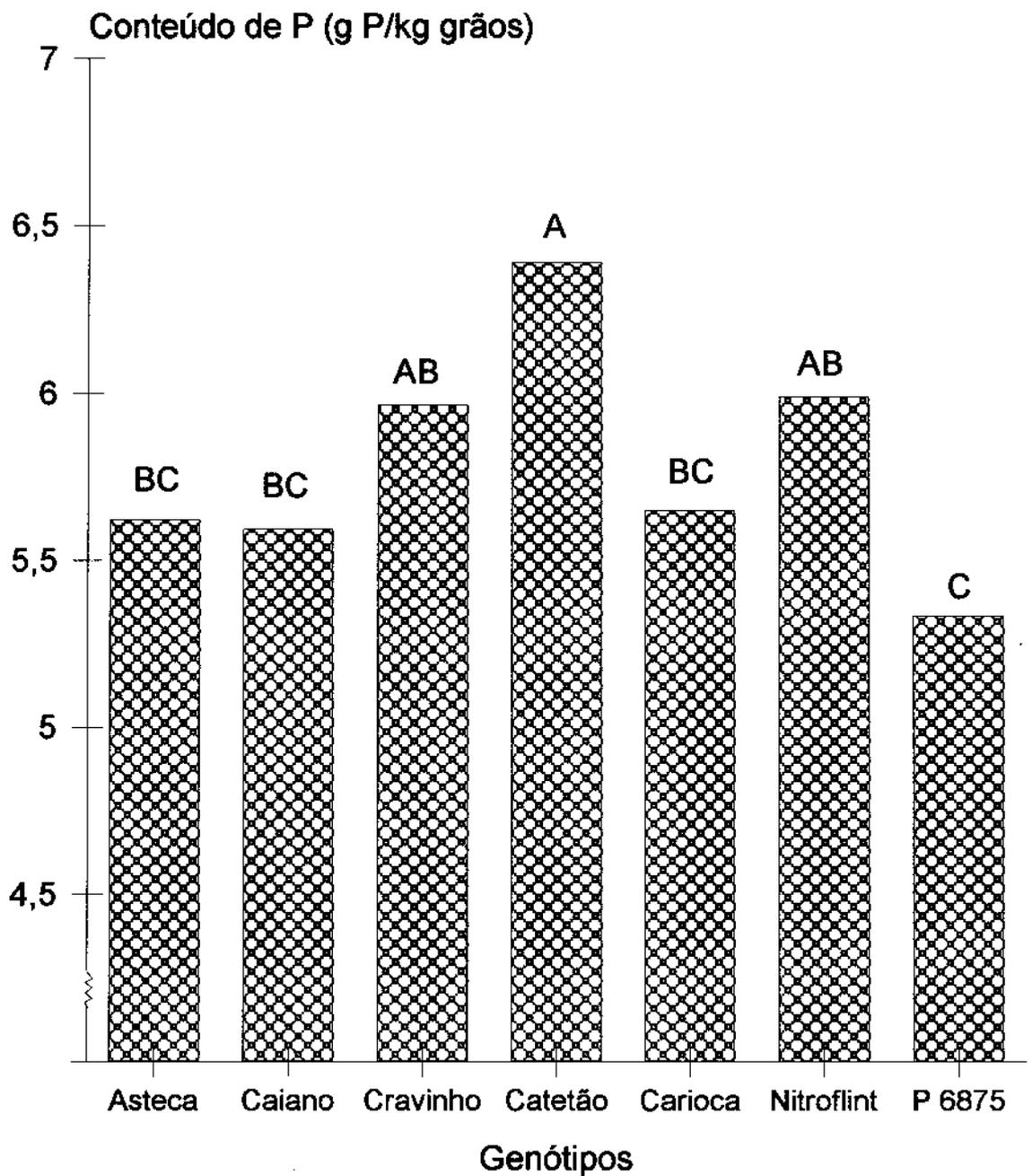


Figura 7. Conteúdo de P nos grãos em genótipos de milho.
(Tukey, $p < 0,05$)

ao das folhas e que a maior parte do P total presente nas partes vegetativas se move para a espiga. A concentração ou conteúdo de P nos grãos colhidos é importante por indicar a quantidade de P usada para produzir cada quilograma de grãos e, segundo CLARK (1975), a concentração de P nos grãos de milho na maturidade é a mais alta de todas as partes da planta. Neste aspecto, Catetão foi o genótipo que consumiu uma maior proporção do P absorvido para a produção de grãos, seguido do Nitroflint e Cravinho, enquanto que o híbrido P 6875 e as variedades locais Caiano, Asteca e Carioca, nesta ordem, foram os que utilizaram menor proporção do P absorvido para a produção de grãos (Figura 7). Observou-se, pelos dados de conteúdo de P, a tendência dos materiais derivados de Tuxpeños (exceção ao Cravinho) serem mais eficientes sob este aspecto.

As equações que melhor se ajustaram às curvas de conteúdo de P nos grãos em função das doses de P aplicadas se encontram nas Figuras 8a e 8b. Cravinho, Carioca e P 6875 não apresentaram ajuste matemático significativo para este parâmetro.

Conforme verificado pelas equações e curvas (Figura 8a) relativas aos genótipos Asteca e Catetão, os mesmos concentraram quantidades decrescentes de P nos grãos até doses em torno de 62 e 109 kg P_2O_5 .ha⁻¹ respectivamente. Este comportamento em termos de concentração do P nos grãos, aliado aos dados de produção (Figura 3a) e de acumulação total (Figura 10a) refletem um efeito de diluição do nutriente e indica que a taxa de acumulação de matéria seca nos grãos se deu mais rapidamente que a translocação do P para os mesmos até estas doses.

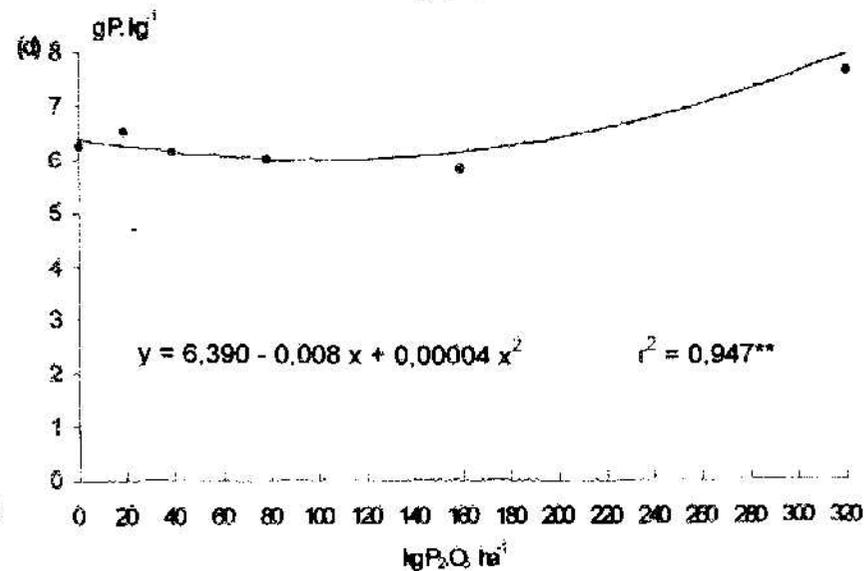
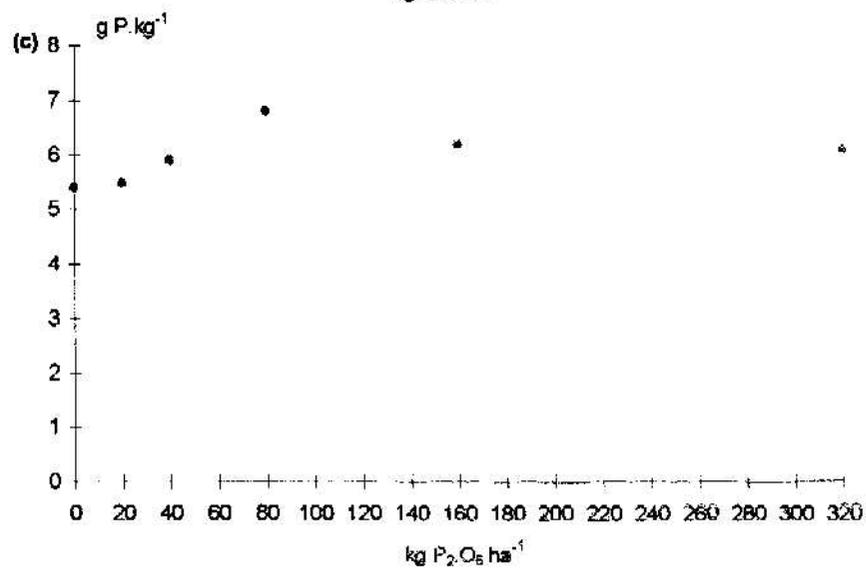
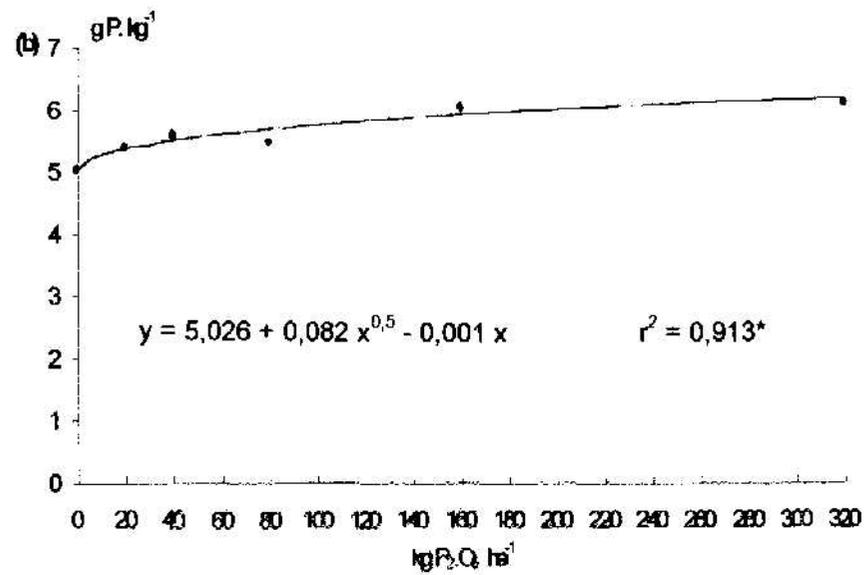
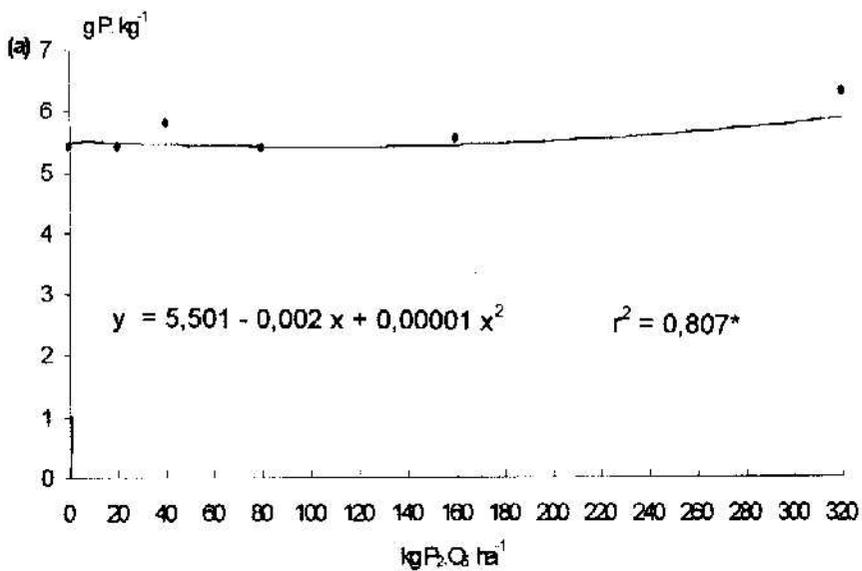


Figura 8a. Conteúdo de P nos grãos dos genótipos de milho em função das doses de P aplicadas: (a) Asteca, (b) Caiano, (c) Cravinho e (d) Catetão.

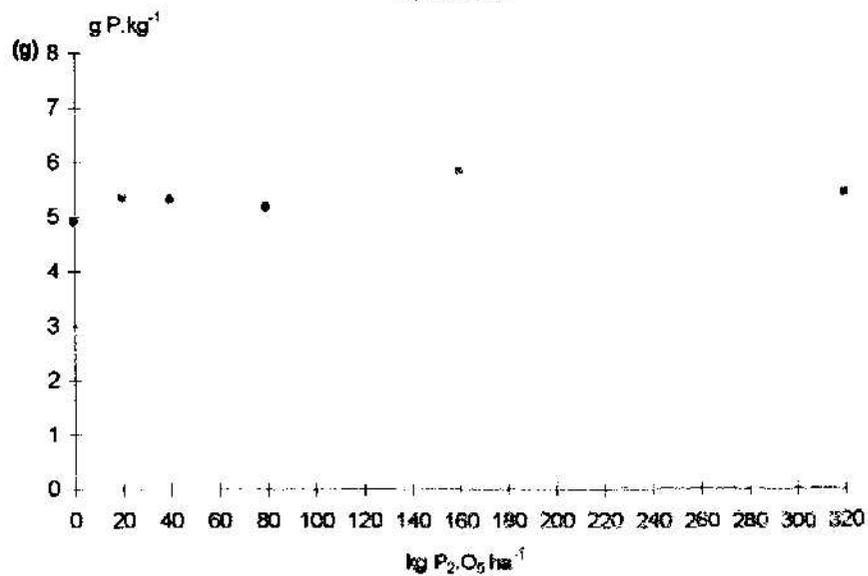
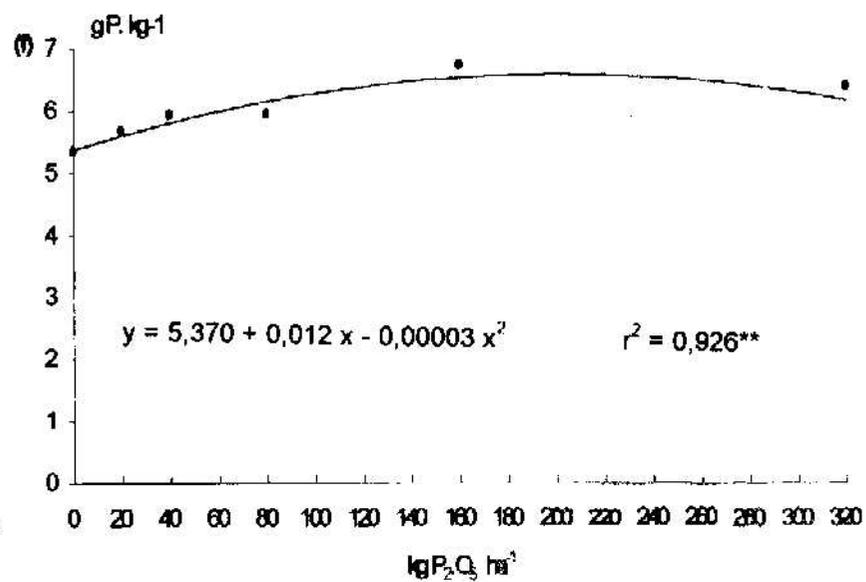
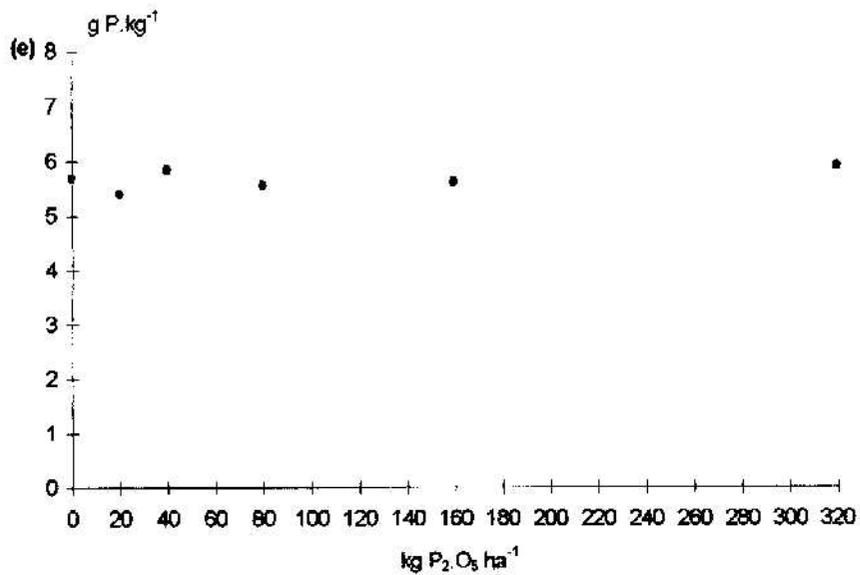


Figura 8b. Conteúdo de P nos grãos dos genótipos de milho em função das doses de P aplicadas: (e) Carioca, (f) Nitroflint e (g) P 6875.

Depois de alcançados estes pontos a resposta foi crescente para o tratamento aplicado, ou seja, os genótipos concentraram quantidades crescentes de P nos grãos. A produção de ambos os genótipos se mostrou relativamente estável, sem grandes respostas à adição de P, e, assim que doses mais elevadas foram sendo adicionadas sem aumentos proporcionais no rendimento de grãos, o nutriente tendeu a se concentrar mais nos mesmos.

Caiano e Nitroflint foram os dois outros materiais para os quais o ajuste matemático significativo foi possível. Foi observado ligeiro aumento no conteúdo de P nos grãos em função do aumento na disponibilidade do nutriente até determinada dose para o Nitroflint (cerca de $211 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{ha}^{-1}$) a partir da qual a concentração diminuiu, acompanhando o decréscimo na produção de grãos (Figura 3b). Para o Caiano a variação na concentração foi sempre crescente, tendo sido o valor máximo obtido além das doses estipuladas pelo intervalo experimental.

Em relação à acumulação total de P nos grãos, os genótipos também diferiram entre si, houve efeito das doses aplicadas, porém a interação genótipo x dose não foi significativa (Tabela 14). Pela Figura 9 pode-se verificar a diferença na acumulação de P nos grãos entre os genótipos, considerando a média das doses de P aplicadas. Os materiais melhorados apresentaram valores de acumulação semelhantes entre si e dentro das variedades locais apenas o Catetão diferiu dos demais.

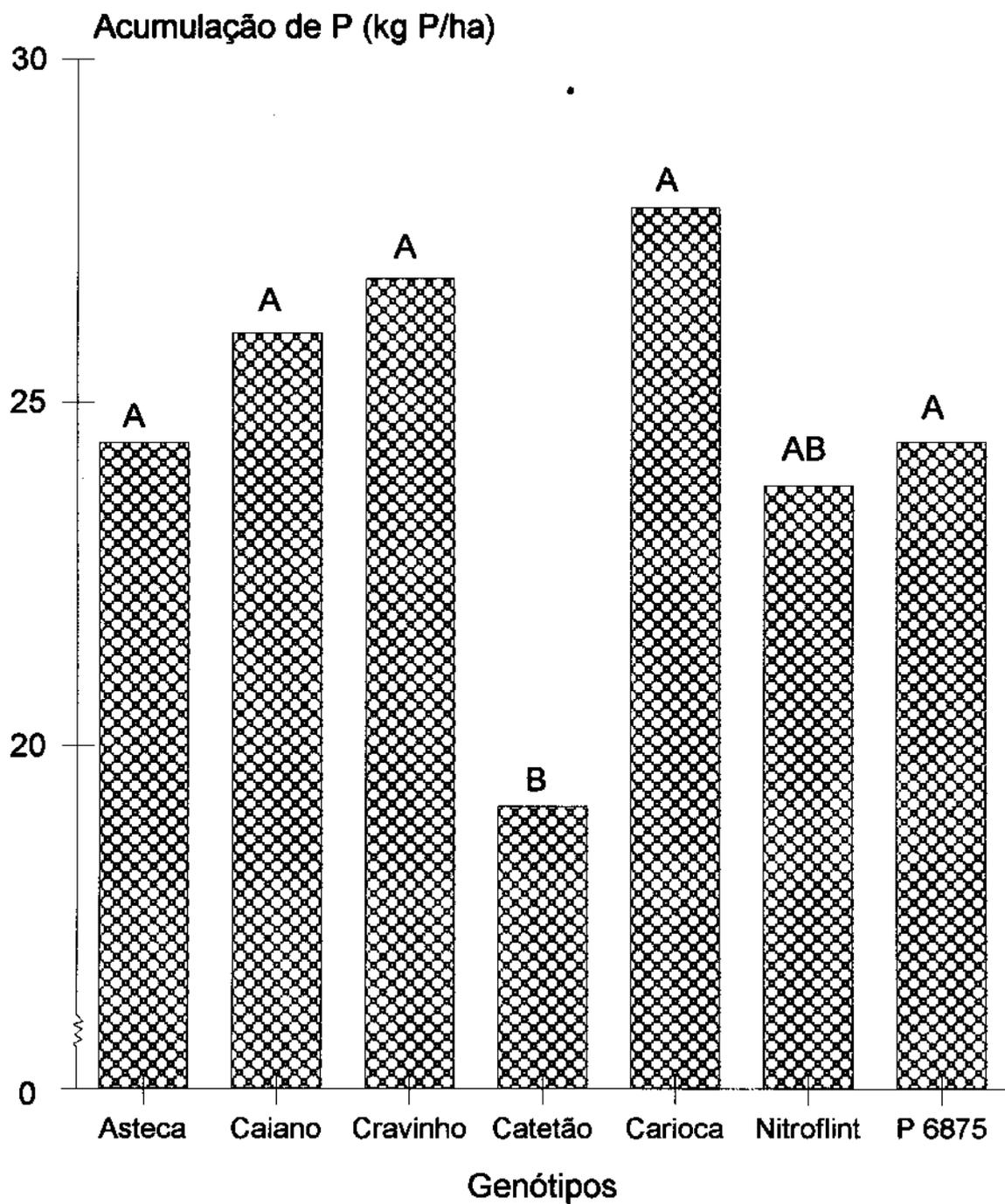


Figura 9. Acumulação total de P nos grãos em genótipos de milho. (Tukey, $p < 0,05$)

As equações que melhor se ajustaram às curvas de acumulação de P dos grãos em função das doses aplicadas se encontram nas Figuras 10a e 10b). Verificou-se que o padrão de acumulação de P nos grãos dos genótipos em função das doses apresentou tendência semelhante à da produção, indicando que a acumulação do nutriente no grão foi proporcional ao rendimento alcançado. Desta forma verificou-se valores de P aplicados para os quais a quantidade do nutriente acumulado nos grãos foi máxima, exceto para a variedade local Asteca (Figura 10a) que acumulou P nos grãos de forma crescente do intervalo de doses testadas. A variedade selecionada Nitroflint atingiu a máxima acumulação de P em torno de $208 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{ha}^{-1}$. Já 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 (Tabela 9). Estes genótipos tiveram a máxima acumulação de P nos grãos, respectivamente nas doses de 160, 191 e $126 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{ha}^{-1}$, também bastante próximas, conforme observado para o Nitroflint, das doses requeridas para a máxima produção de grãos. Para as variedades locais Caiano e Catetão o ajuste do modelo matemático dentro dos critérios de significância propostos não foi alcançado.

Tem sido demonstrado pela literatura, que os grãos, juntamente com a espiga, constituem o maior órgão de armazenamento de P por ocasião da maturidade em plantas de milho (GORSLINE et al., 1965; CLARK, 1975) e que proporções variando entre 72 a 82% do P total das plantas estão contidas nos grãos. Assim sendo, a acumulação de P nos grãos fornece uma idéia do P

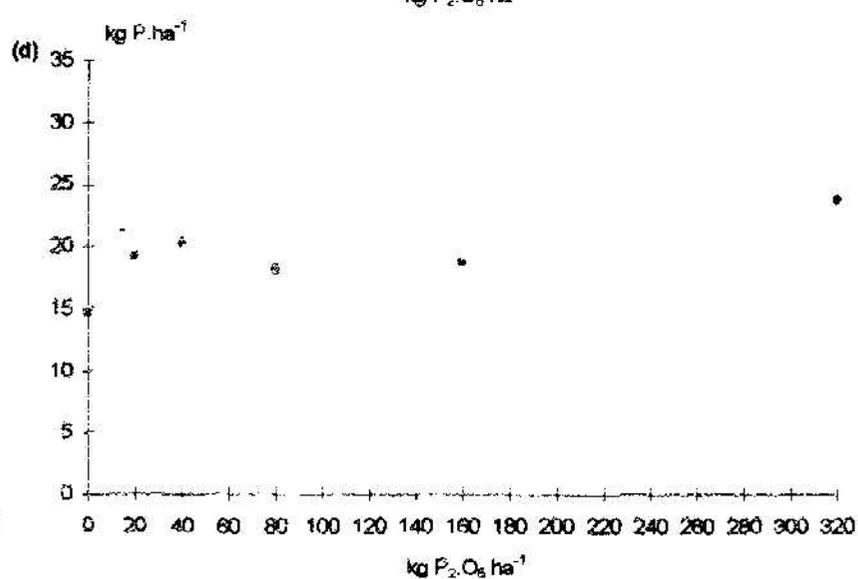
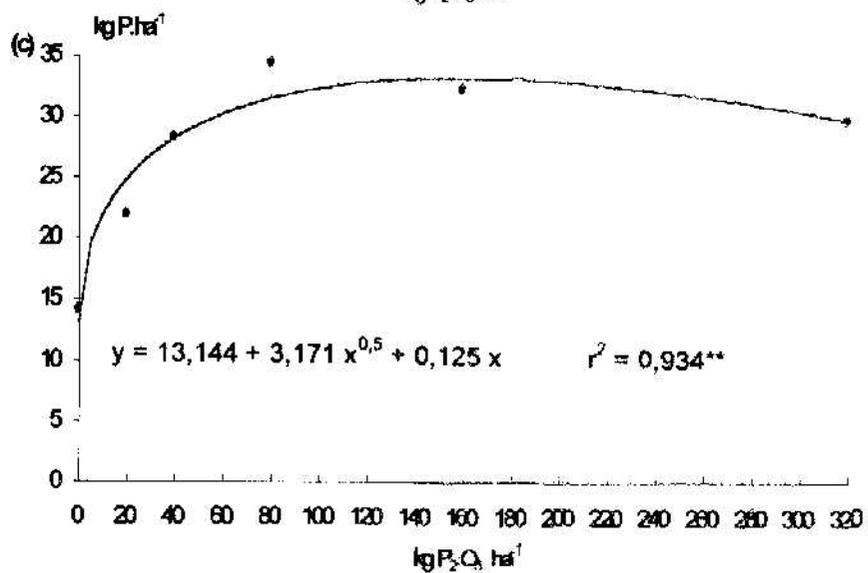
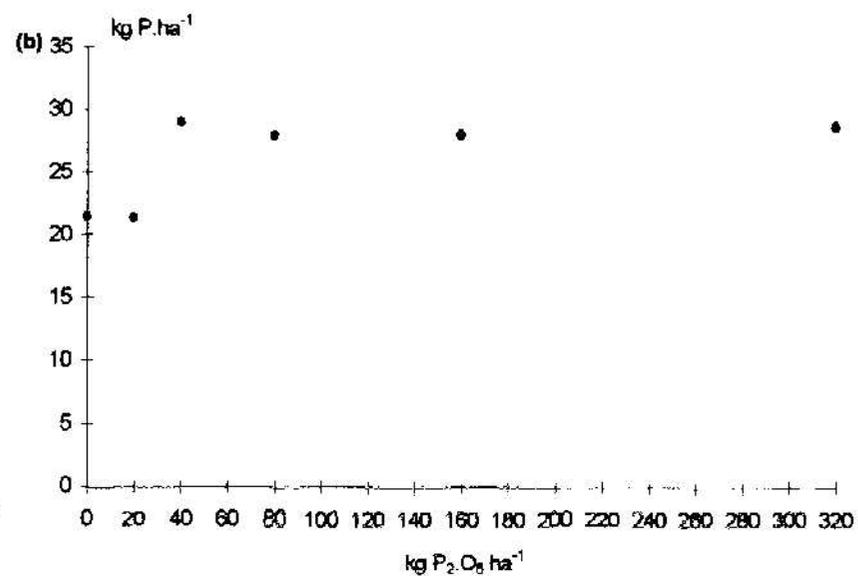
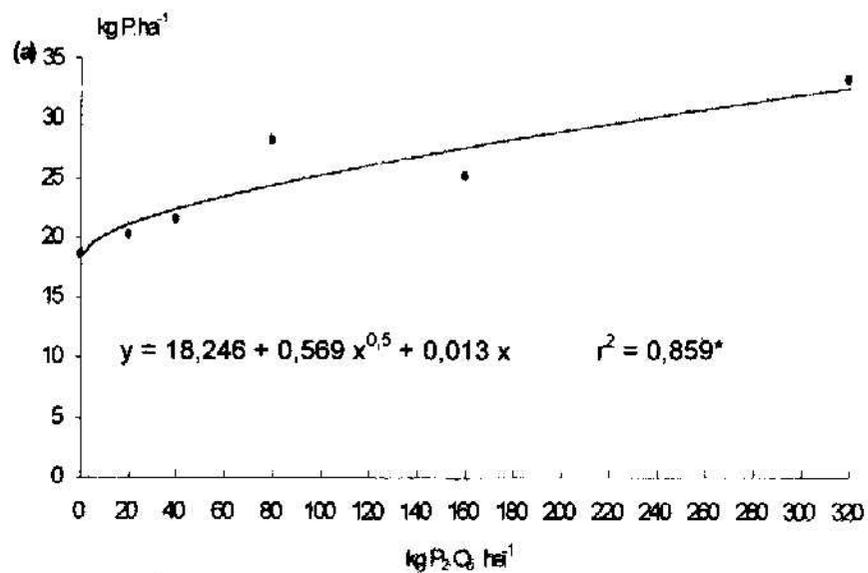


Figura 10a. Acumulação total de P nos grãos dos genótipos de milho em função das doses de P aplicadas: (a) Asteca, (b)Caiano, (c) Cravinho e (d) Catetão.

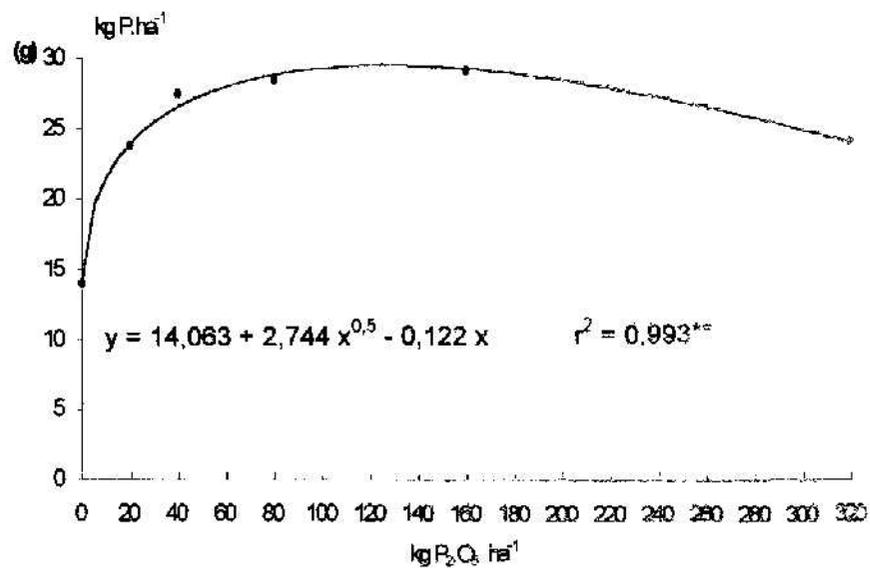
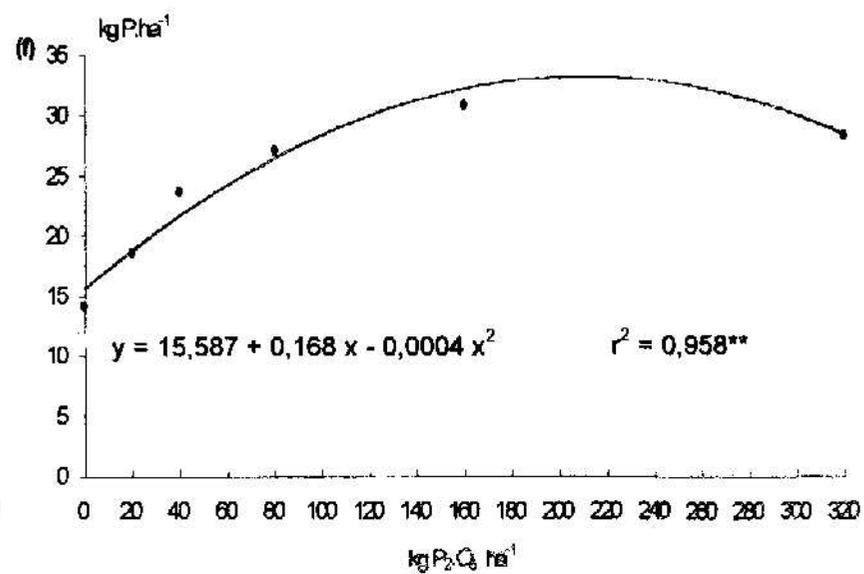
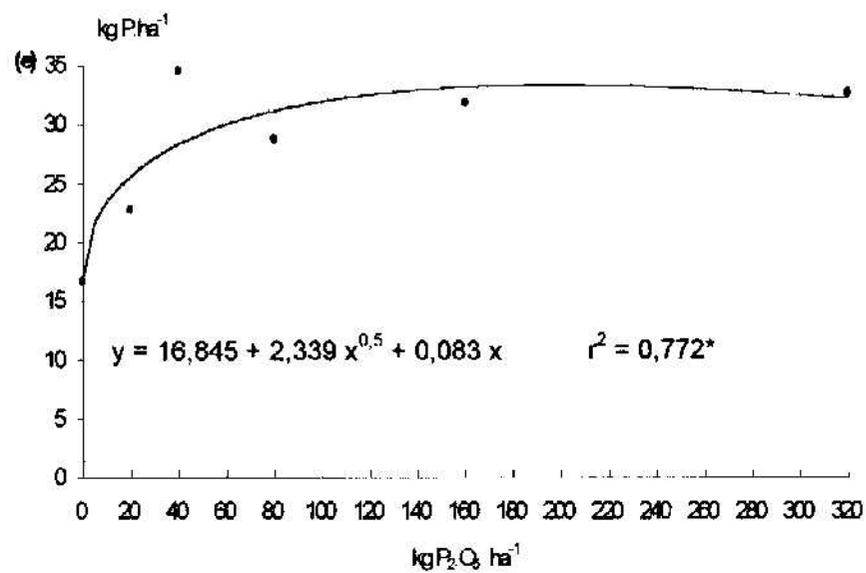


Figura 10b. Acumulação total de P nos grãos dos genótipos de milho em função das doses de P aplicadas: (e) Carioca, (f) Nitroflint e (g) P 6875.

translocado, não sendo possível precisar sobre qual foi o processo que conferiu a maior eficiência ao nutriente em questão - a absorção ou utilização. De acordo com BLAIR (1993) e HORST *et al.* (1993), a translocação ou remobilização do P dos órgãos vegetativos para os grãos é um componente adicional de extrema importância a ser considerado no aspecto da eficiência nutricional em cereais, uma vez que os mais eficientes são aqueles que produzem altos rendimentos de grãos com uma menor acumulação do nutriente.

A relação entre a produção e acumulação de P nos grãos dos genótipos foi determinada (Figura 11) considerando-se os valores médios obtidos pelos genótipos, e refletiu o inverso do que se observou para o conteúdo de P nos grãos (Figura 7).

Uma vez que, de acordo com BATTEN (1993), existem razões econômicas para a busca de genótipos que atinjam altos rendimentos removendo menor quantidade de P do solo e reduzindo o custo de produção de cada tonelada de grãos, destacou-se neste aspecto o híbrido P 6875, apresentando o mais elevado rendimento de grãos por unidade do nutriente acumulado nos grãos, 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, porém, semelhantes à do híbrido, e, com desempenhos inferiores neste aspecto apresentaram-se Catetão, Nitroflint e Cravinho, que retiraram, em média, uma maior quantidade de P do sistema sem revertê-lo em níveis satisfatórios de produção de grãos.

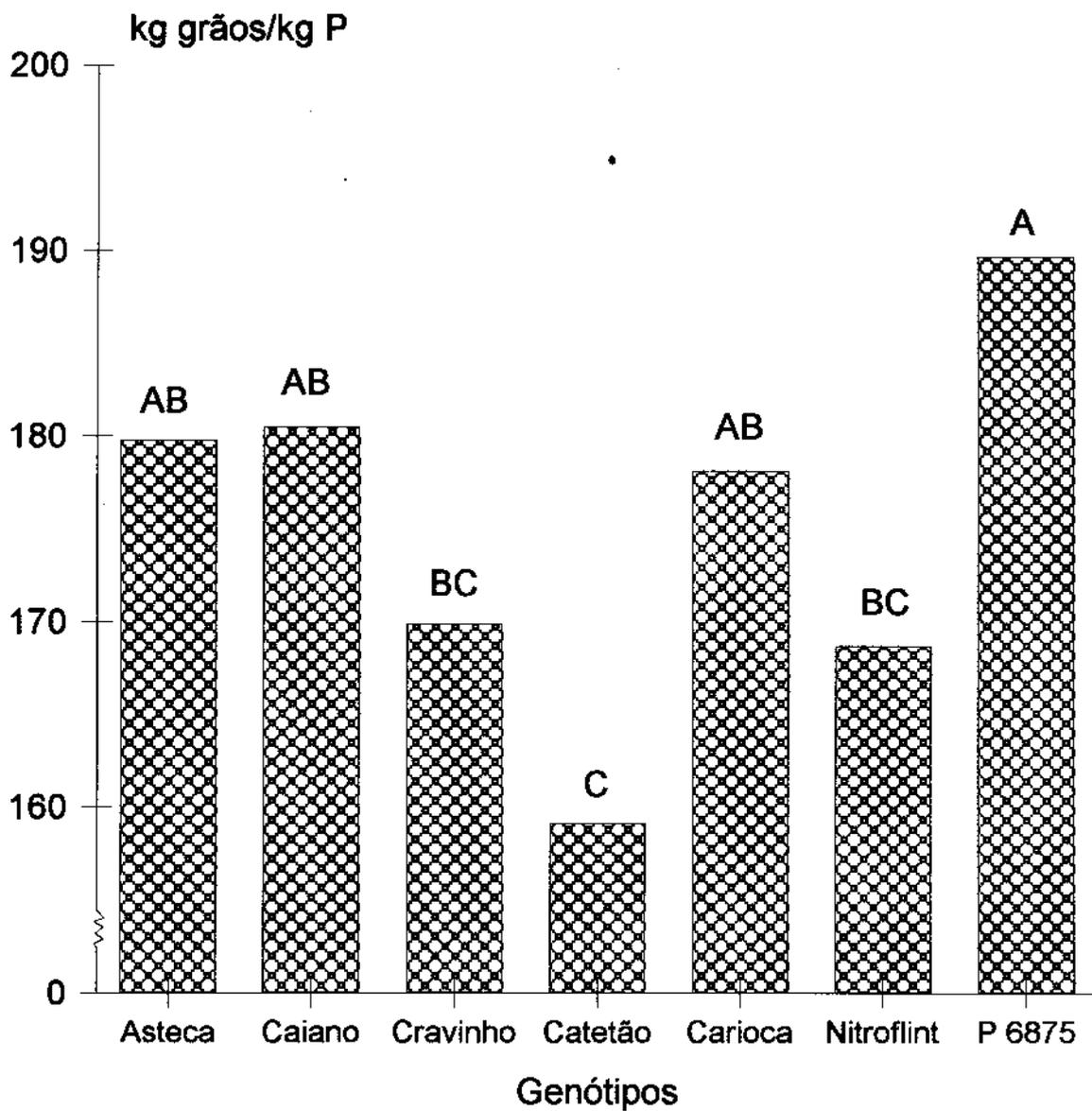


Figura 11. Relação entre a produção e acumulação de P nos grãos dos genótipos de milho (Tukey, $P < 0,05$).

5. CONCLUSÕES

5.1. Experimento 1

- O experimento conduzido para a verificação e avaliação da variabilidade entre genótipos de milho quanto à eficiência de utilização de P, em casa de vegetação, permitiu diferenciar os materiais genéticos, bem como indicar aspectos de resposta à adição do nutriente e possíveis características adaptativas dos genótipos, pelos critérios de eficiência nutricional utilizados.
- A produção de matéria seca, tanto da parte aérea como das raízes, refletiu o aumento na disponibilidade do nutriente para as plantas.
- Destacaram-se pelas maiores produções de matéria seca as variedades locais Asteca, Amarelão, Caiano de Sobrália, Carioca, Argentino e Quarentão, as variedades selecionadas BR 107 e IAC Taiuba e o híbrido duplo P 6875.

- Os genótipos de melhor desempenho tiveram uma ascendência genética comum, derivados da raça Tuxpeño, enquanto que os de desempenho inferior foram os derivados da raça Cateto.
- O aumento no conteúdo ou concentração de P, tanto na parte aérea como nas raízes resultou da maior disponibilidade do nutriente para as plantas na maior dose de P aplicada, não tendo sido verificada interação significativa também para a característica de concentração de P nas partes da planta.
- A acumulação total de P na parte aérea e raízes dos genótipos foi maior na dose mais elevada do nutriente, refletindo o seu efeito na produção de matéria seca e concentração de P, e o sistema radicular acumulou menores quantidades de P do que a parte aérea.
- Para a eficiência de utilização de P, os maiores valores foram obtidos, de maneira geral, na maior dose aplicada, exceto para o híbrido P 6875, que constituiu o genótipo que mais eficientemente utilizou o P absorvido em ambas as doses.
- As variedades locais Amarelão, Carioca, Quarentão, Asteca, Caiano de Sobrália e a variedade selecionada BR 105 também se destacaram pela elevada eficiência nos níveis de disponibilidade de P avaliados, dando indicações de que os materiais derivados dos Tuxpeños são mais eficientes que as originárias dos Catetos.
- Houve correspondência entre os resultados obtidos pelos critérios de eficiência nutricional utilizados.

5.2. Experimento 2

- O experimento conduzido a campo permitiu determinar o comportamento de genótipos de milho quanto à produção de grãos, sob o efeito de seis doses crescentes de adubo fosfatado, sendo possível a confirmação das indicações fornecidas pelo ensaio de casa de vegetação.
- Os genótipos diferiram entre si para a produção de grãos, entretanto, materiais não melhorados e melhorados apresentaram desempenhos semelhantes.
- Na média dos genótipos, entre as variedades locais, Carioca apresentou o mais elevado rendimento de grãos, comparável ao do híbrido P 6875, seguido de Caiano de Sobrália, Cravinho e Asteca, dos quais não diferiu. Nitroflint e Catetão alcançaram as menores produtividades.
- Na ausência de adubação fosfatada os genótipos apresentaram diferentes rendimentos. Caiano de Sobrália obteve a maior produção de grãos, seguido pelas variedades locais Asteca e Carioca e pelo híbrido P 6875. A variedade local Nitroflint e as variedades locais Cravinho e Catetão atingiram os menores rendimentos no tratamento sem adição de P.
- Os genótipos diferiram entre si quanto à magnitude de resposta apresentada em função da adição de doses crescentes de P. Cravinho, Carioca se mostraram, dentre as variedades locais, os mais responsivos, tanto quanto o P 6875. Nitroflint e Catetão atingiram menores níveis de incremento na produção.

- O requerimento externo, ou nível crítico de P para a obtenção da máxima produção de grãos, bem como o rendimento alcançado pelos genótipos, foram diferentes entre os mesmos.
- Na relação entre a máxima produção de grãos e a dose requerida para sua obtenção, o genótipo P 6875 atingiu a maior produção por unidade de P aplicada, mostrando-se mais eficiente sob este aspecto entre os genótipos avaliados. Seguiram-se a ele as variedades locais Cravinho e Carioca com desempenhos intermediários semelhantes, e Catetão e Nitroflint com desempenhos inferiores semelhantes.
- Asteca e Caiano de Sobrália, apesar de não terem suas características de responsividade, nível crítico e produção máxima por unidade do nutriente absorvido evidenciadas em função da ausência do ajuste matemático para os dados de rendimento de grãos, se destacaram pela elevada produtividade e estabilidade da produção alcançada, independente da disponibilidade do nutriente.
- Os genótipos com melhor desempenho para os parâmetros de produção de grãos possuem origem genética comum na raça Tuxpeño.
- Na relação entre a produção de grãos e a quantidade de P acumulado nos mesmos, o híbrido P 6875 apresentou o mais elevado rendimento com uma menor acumulação do nutriente, mostrando-se mais eficiente também sob este aspecto. A este genótipo seguiram-se as variedades locais Caiano de Sobrália, Asteca e Carioca com relação intermediária entre produto colhido e P acumulado, e, com desempenhos inferiores, Catetão, Nitroflint e Cravinho.

5.3. Conclusões gerais

Os resultados deste estudo confirmaram a existência do controle genético da eficiência à P em milho por ter-se observado a variabilidade entre os genótipos testados para este parâmetro em diferentes níveis de disponibilidade do nutriente no solo. Fazem-se necessários trabalhos posteriores que esclareçam as causas destas diferenças, que podem residir tanto nas características morfológicas quanto fisiológicas dos materiais.

As indicações sugeridas pelos dados do experimento conduzido em casa de vegetação mostraram-se em concordância com os resultados obtidos sob condições de campo para os genótipos avaliados nos dois experimentos, tendo sido possível identificar materiais promissores para o cultivo sob limitações de P, bem como fonte genéticas para maior ou menor eficiência ao nutriente.

A detecção da variabilidade entre as raças de milho reveste-se de extrema importância, uma vez que os trabalhos que tratam da avaliação de genótipos para qualquer aspecto de eficiência nutricional não fazem consideração alguma sobre a origem dos mesmos e são sempre realizados com linhagens ou híbridos, raramente com variedades. Há que se considerar, no entanto, que as observações feitas na comparação das raças constituem-se apenas de indicativos um tanto incipientes, visto que a grande maioria dos materiais avaliados não são puros e as variedades locais encontram-se sob processos de erosão genética e seleção. Entretanto, servem como indicadores para estudos futuros mais profundos tanto na área de

melhoramento como na de nutrição fosfatada, na busca dos determinantes genético - fisiológicos da eficiência à P.

A viabilidade do emprego das variedades locais também foi confirmada dadas as características peculiares identificadas e os índices de produtividade alcançados, comparáveis, em maior ou menor grau aos rendimentos dos materiais melhorados e, sendo até mesmo superiores a alguns. Aliado a isso há o fato de constituírem materiais possíveis de serem multiplicados, selecionados e combinados entre si pelos próprios agricultores que deles fazem uso, com o objetivo de melhorar a performance dos mesmos.

Os resultados aqui obtidos, juntamente com aqueles verificados nos Ensaio Nacionais de Milho Crioulo, possibilitaram também, apesar da precocidade de conclusões decorrentes de um único ano experimental, adequar o uso de todos estes genótipos avaliados em função da disponibilidade, pelo produtor, de recursos e tecnologia no tocante à aquisição de sementes e adubo fosfatado, permitindo conciliar o consumo ao nível de produção desejado e cabendo a quem vai produzir a escolha do material a ser utilizado.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADEPETU, J.A. ; AKAPA, L.K. Root growth and nutrient uptake characteristics of some cowpea varieties. *Agronomy Journal*, Madison, v.69, p.940-943, 1977.
- ALMEIDA, D.L.; SANTOS, G. de A.; DE-POLLI, H. et al. **Manual de Adubação para o Estado do Rio de Janeiro**. Itaguaí: Editora Universidade Rural, 1988. 179p. (Coleção Universidade Rural. Série Ciências Agrárias, 2).
- ALVAREZ V., V. H. Avaliação da fertilidade do solo (Superfícies de resposta - modelos aproximativos para expressar a relação fator - resposta). Viçosa: Imprensa Universitária da Universidade Federal de Viçosa, 1985. 75 p.
- ALVES, V.M.C. **Frações de fósforo, de açúcares solúveis e de nitrogênio em quatro híbridos de milho submetidos à omissão e ao ressuprimento de fósforo**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1994. 160p. Tese Doutorado.
- 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, v.23, n.10, p.1083-1090, 1988.

- ANGHINONI, I.; VOLKART, C.R.; FATTORE, N. ; ERNANI, P.R.
Morfologia de raízes e cinética da absorção de nutrientes em diversas espécies e genótipos de plantas. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.13, p.355-361, 1989.
- ARNON, I. **Mineral nutrition of maize**. Bern: International Potash Institute, 1975. 452 p.
- 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, v.62, p. 103 - 106, 1970.
- BALIGAR, V.C. Phosphorus uptake parameters of alfafa and corn as influenced by P and pH. Journal of Plant Nutrition, New York, v.10, n.1, p.33-46, 1987.
- BANDEL, G. Genética. In: PATERNIANI, E. , ed. **Melhoramento e Produção de Milho no Brasil**. Piracicaba: ESALQ, Fundação Cargill, 1980. p. 97.
- BARROW, N.J. The response to phosphate of two annual pasture species. II. The specific rate of uptake of phosphate, its distribution and use for growth. Australian Journal of Agricultural Research, Victoria, v.26, p.145-156, 1975.
- 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 Agronômico, 1983. 48p. (Instituto Agronômico. Boletim, 78).
- BATTEN, G.D. A review of phosphorus efficiency in wheat. In: RANDALL, P.J.; DELHAITZE, E.; RICHARDS, R.A.; MUNNS, R. ed. **Genetic**

- Aspects of Plant Mineral Nutrition.** Dordrecht: Kluwer Academic, 1993. p.215-220. (Developments in Plant and Soil Sciences, 50).
- BATTEN, G.D. The uptake and utilization of phosphorus and nitrogen by diploid, tetraploid and hexaploid wheats (*Triticum* spp). *Annals of Botany*, London, v.58, n.1, p.49-59, 1993.
- BIELESKI, R.L. Phosphate pools, phosphate transport, and phosphate availability. *Annual Review of Plant Physiology*, Palo Alto, v.24, p.225-252, 1973.
- BLAIR, G. Nutrient efficiency - what do we really mean? In: RANDALL, P.J.; DELHAITZE, E.; RICHARDS, R.A.; MUNNS, R. ed. **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, v.68, p. 521 - 523, 1976.
- BUSO, G.S.C. ; BLISS, F.A. Variability among lettuce cultivars grown at two levels of available phosphorus. *Plant and Soil*, Dordrecht, v.111, p.67-73, 1988.
- CARADUS, J.R. ; SNAYDON, R.W. Aspects of phosphorus nutrition of white clover populations. IV. Root growth and morphology. *Journal of Plant Nutrition*, New York, v.11, n.3, p.277-287, 1988a.
- CARADUS, J.R. ; SNAYDON, R.W. Aspects of phosphorus nutrition of white clover populations. V. Partitioning of dry matter. *Journal of Plant Nutrition*, New York, v.11, n.3, p.289-302, 1988b.
- CARADUS, J.R. Heritability of and relationships between phosphorus and nitrogen concentration in shoot, stolon and root white clover (*Trifolium repens* L.). In: RANDALL, P.J.; DELHAITZE, E.; RICHARDS, R.A.;

- MUNNS, R. (eds.). **Genetic aspects of plant mineral nutrition**, Dordrecht, 1993. p.261-269.
- CARADUS, J.R.; MACKAY, A.D.; WEWALA, S.; DUNLOP, J.; HART, A.; VAN DEN BOSCH, J.; CAMBERT, M.G. ; HAY, M.J.M. Inheritance of phosphorus response in white clover (*Trifolium repens* L.). In: RANDALL, P.J.; DELHAITZE, E.; RICHARDS, R.A.; MUNNS, R. ed. **Genetic Aspects of Plant Mineral Nutrition**. Dordrecht: Kluwer Academic, 1993. p.251-260. (Developments in Plant and Soil Sciences, 50).
- CARVALHO, M.M.; SARAIVA, O.F. ; VERNEQUE, R.S. Níveis críticos externos e internos de fósforo de duas leguminosas tropicais em um solo ácido. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.13, p.311-314, 1989.
- CHISHOLM, R.H. ; BLAIR, G.J. Phosphorus efficiency in pasture species. I. Measures based on total dry weight and P content. *Australian Journal of Agricultural Research*, Victoria, v.39, p.807-816, 1988a.
- CHISHOLM, R.H. ; BLAIR, G.J. Phosphorus efficiency in pasture species. II. Differences in the utilization of P between major chemical fractions. *Australian Journal of Agricultural Research*, Victoria, v.39, p.817-826, 1988b.
- CHISHOLM, R.H. ; BLAIR, G.J. Phosphorus efficiency in pasture species. III. Correlation of dry matter accumulation with phosphorus pool sizes and their net transfer rate. *Australian Journal of Agricultural Research*, Victoria, v.39, p.827-836, 1988c.
- CHISHOLM, R.H.; BLAIR, G.J.; BOWDEN, J.W. ; BOFINGER, V.J. Improved estimates of "critical" phosphorus concentration from

- considerations of plant phosphorus chemistry. *Communications in Soil Science Plant Analysis*, New York, v.12, n.10, p.1059-1065, 1981.
- CLARK, R. B. Mineral element concentrations of corn plant parts with age. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, New York, v. 6, n.4, p. 451 - 464, 1975.
- CLARK, R.B. ; BROWN, J.C. Differential phosphorus uptake by phosphorus-stressed corn inbreds. *Crop Science*, Madison, v.14, p.505-508, 1974a.
- CLARK, R. B. ; BROWN, J. C. Differential mineral uptake by maize inbreds. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, New York, v.5, n.3, p. 213 - 227, 1974b.
- CLARKSON, D.T. Adaptações morfológicas e fisiológicas das plantas em ambientes de baixa fertilidade. In: SIMPÓSIO SOBRE RECICLAGEM DE NUTRIENTES E AGRICULTURA DE BAIXOS INSUMOS NOS TRÓPICOS, Ilhéus, 1984. **Anais...** Ilhéus: CEPLAC/SBCS, 1985a. p.45-75.
- CLARKSON, D.T. Factors affecting mineral nutrient acquisition by plants. *Annual Review of Plant Physiology*, Palo Alto, v.36, p.77- 115, 1985b.
- CORDEIRO, A. ; MARCATTO, C. Milho: a volta das variedades crioulas. In: GAIFAMI, A.; CORDEIRO, A., ed. **Cultivando a Diversidade:** recursos genéticos e segurança alimentar local. Rio de Janeiro: AS-PTA, 1994. p.139-162.
- ELLIOT, G.C. ; LAUCHLI, A. Phosphorus efficiency and phosphate-iron interation in maize. *Agronomy Journal*, Madison, v.77, p.399-403, 1985.

- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solo. Rio de Janeiro. **Manual de Métodos de Análise de Solos** Rio de Janeiro: SNCLS, n.p., 1979.
- FAGERIA, N.K. ; BARBOSA FILHO, M.P. Avaliação de cultivares de arroz em função de suas tolerâncias ao baixo nível de fósforo disponível do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.6, p.146-151, 1982.
- FAGERIA, N.K.; WRIGHT, R.J. ; BALIGAR, V.C. Rice cultivar evaluation for phosphorus use efficiency. *Plant and Soil*, Dordrecht, v.111, p.105-109, 1988.
- FATTORE, N.; ANGHINONI, I. Eficiência de absorção de nutrientes por espécies forrageiras de inverno. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.27, n.2, p.251-258, 1992.
- FÖHSE, D.; CLAASSEN, N.; JUNGK, A. Phosphorus efficiency of plants. I. External and internal P requirement and P uptake efficiency of different plant species. *Plant and Soil*, Dordrecht, v.110, p.101-109, 1988.
- FÖHSE, D.; CLAASSEN, N.; JUNGK, A. Phosphorus efficiency of plants. II. Significance of root radius, root hairs and cation-anion balance for phosphorus influx in seven plant species. *Plant and Soil*, Dordrecht, v.132, p.261-272, 1991.
- FONSECA, D.M. da; ALVAREZ V.,V.H.; NEVES, J.C.L.; GOMIDE, J.A.; NOVAIS, R.F. de; BARROS, N.F. de. Níveis críticos de fósforo em amostras de solos para o estabelecimento de *Andropogon gayanus*, *Brachiaria decumbens* e *Hyparrhenia rufa*. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.12, p.49-58, 1988.

- FOX, R. H. Selection for phosphorus efficiency in corn. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, New York, v.9, n.1, p.13-37, 1978.
- FOX, R.L. External phosphorus requirements of crops. In: *Chemistry in the Soil Environment*. Madison: American Society of Agronomy, 1981. p.223-239. (ASA Special Publication, 40).
- 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, v.7, p.57-63, 1972.
- FURLANI, A.M.C. Variações em parâmetros de cinética de absorção de fósforo em três linhagens de arroz. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.12, p.77-80, 1988.
- 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, v.7, p.291-303, 1983.
- 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, v.44, n.1, p.129-147, 1985.
- FURLANI, A.M.C.; CLARK, R.B.; ROSS, W.M. ; MARANVILLE, J.W. Differential phosphorus uptake, distribution and efficiency by sorghum inbred parents and their hybrids. In: GABELMAN, H.W. ; LOUGHMAN, B.C., ed. *Genetic Aspects of Plant Mineral Nutrition*. Dordrecht: Martinus Nijhoff Publishers, 1987. p.287-298.
- 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, v. 21, p. 566-660.
- GERLOFF, G. C. ; GABELMAN, W.H. Genetic basis of inorganic plant nutrition. In: LÄUCHLI, A. ; BIELESKI, R. L., ed. Encyclopedia of Plant Physiology. New York: Springer-Verlag, 1983. p.453 -480. (New Series vol 15B).
- GOMES, F. P. Curso de Estatística Experimental. 10.ed. Piracicaba: Editora Nobel, 1982. 466p.
- GOODMAN, M.M. ; SMITH, J.S.C. Botânica. In: PATERNIANI, E. , ed. Melhoramento e Produção de Milho no Brasil. Piracicaba: ESALQ, Fundação Cargill, 1980. 650p.
- GORSLINE, G. W.; BAKER, D. E. ; THOMAS, W. I. Accumulation of eleven elements by field corn (*Zea mays* L.). Pennsylvania Stat. Univ. Bull. 725: 1 - 33, 1965.
- GOURLEY, C. J. P.; ALLAN, D. L. ; RUSSELLE, M. P. Plant nutrient efficiency: A comparison of definitions and suggested improvement. Plant and Soil, Dordrecht, v.158, p.29 -37, 1994.
- GUERRA, J. G. M. Produção sazonal de *Brachiaria decumbens* (Stapf), conteúdo de fósforo orgânico e microbiano em solos tropicais de baixa fertilidade natural. Itaguaí: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 1993. 234p. Tese Doutorado.
- HAJABBASI, M. A. ; SCHUMACHER, T. E. Phosphorus effects on root growth and development in two maize genotypes. Plant and Soil, Dordrecht, v.158, p.39-46, 1994.

- 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, v.54, p.222 - 229, 1962.
- HART, A.L. ; COLVILLE, C. Differences among attributes of white clover genotypes at various levels of phosphorus supply. *Journal of Plant Nutrition*, New York, v.11, n.2, p.189-207, 1988.
- HART, A.L. ; JESSOP, D. Concentration of total, inorganic and lipid phosphorus in leaves of white clover and stylosanthes. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, Wellington, v.25, p.69-76, 1982.
- HORST, W.J.; ABDOU, M.; WIESLER, F. Genotypic differences in phosphorus efficiency of wheat. *Plant and Soil*, Dordrecht, v. 155/156, p. 293-296, 1993.
- IBGE. Anuário Estatístico do Brasil, Rio de Janeiro, v.53, p.1-1,8-30, 1993.
- ISRAEL, D.W. ; RUFTY Jr., T.W. Influence of phosphorus nutrition on phosphorus and nitrogen efficiencies and associated physiological responses in soybean. *Crop Science*, Madison, v.28, p.954-960, 1988.
- JARREL, W. M. ; BEVERLY, R. B. The dilution effect in plant nutrition studies. *Advances in Agronomy*, Madison, v.34, p.197-224, 1981.
- JONES, M.B.; RUCKMAN, J.E. ; LAWLER, P.W. Critical levels of P in subclover (*Trifolium subterraneum* L.). *Agronomy Journal*, Madison, v.64, p.695-698, 1972.
- KEMPTHORNE, O. *The Design and Analysis of Experiments*. Huntington, NY: Robert E. Krieger Publishing Company, 1975. 631 p.
- KHAMIS, S.; CHAILLOU, S. ; LAMAZE, T. CO₂ assimilation and partitioning of carbon in maize plants deprived of orthophosphate. *Journal of Experimental Botany*, London, v. 41, n.233, :1619 - 1625, 1990.

- LIPSETT, J. The phosphorus content and yield of grain of different wheat varieties in relation to phosphorus deficiency. Australian Journal of Agricultural Research, Victoria, v.15, p.1-8, 1964.
- LOBATO, E.; KORNELIUS, E. ; SANZONOWICZ, C. Adubação fosfatada em pastagens. In: MATTOS, H. B.; WERNER, J.C.; YAMADA, T.; MALAVOLTA, E. , ed. Calagem e Adubação de Pastagens. Piracicaba: Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1986. p.145-174.
- MACHADO, A.T. Avaliação de cruzamentos intervarietais de milho (*Zea mays* L.) utilizando o esquema dialélico parcial incompleto. Piracicaba: ESALQ/USP, 1986. 121p. Tese Mestrado.
- MACHADO, A.T.; MAGALHÃES, J.R.; MAGNAVACA, R. ; SILVA, M.R. Deteminação da atividade de enzimas envolvidas no metabolismo do nitrogênio em diferentes genótipos de milho. Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal, Viçosa, v.4, n.1, p.45-47, 1992.
- MACHADO, A.T. ; MAGNAVACA, R. Estresse Ambiental: O milho em perspectiva. Rio de Janeiro: AS-PTA. 1991. 47p.
- MAGNAVACA, R. ; PARENTONI, S.N. Cultivares x Híbridos - Conceitos básicos. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v.14, n.165, p.5-8, 1990.
- MALAVOLTA, E.; DANTAS, J.P. Nutrição e adubação do milho. In: PATERNIANI, E.; VIEGAS, G.P. (ed.). Melhoramento e produção do milho. 2ed. Campinas: Fundação Cargill, 1987, p.541-593.
- MELO FILHO, G.A. Aspectos Sócio-Econômicos. In: EMBRAPA. Unidade de Execução de Pesquisa de Âmbito Estadual de Dourados (MS). Milho - Informações Técnicas. Dourados: UEPAE, 1991. (EMBRAPA/UEPAE Dourados. Circular Técnica, 20).

- MENGEL, D.B. ; BARBER, S.A. Rate of nutrient uptake per unit of corn root under field conditions. *Agronomy Journal*, Madison, v.66, p.399-402, 1974.
- MENGEL, K. ; KIRKBY, E.A. Principles of plant nutrition. 4.ed. Bern: International Potash Institute, 1987. 687p.
- MILAN, P.A.; RITTER, W. ; DALL'AGNOL, M. Seleção de leguminosas forrageiras tolerantes a Al e eficientes na utilização de P. I. Leguminosas nativas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.26, n.1, p.119-124, 1991.
- MIRANDA FILHO, J. B. Princípios de experimentação e análise estatística. In: PATERNIANI, E. ; VIÉGAS, G. P. , ed. *Melhoramento e Produção do Milho*. 2.ed. Campinas: Fundação Cargill, 1987. p. 765-795.
- MONTEIRO, J.A. Estresse Ambiental: Considerações Econômicas. In: MACHADO, A.T. et al. , ed. *Simpósio Internacional sobre Estresse Ambiental. O Milho em Perspectiva*, 1, 1992, Belo Horizonte, MG. Anais. Sete Lagoas: EMBRAPA/CNPMS. México: CIMMYT/UNDP, 1995. p. 13-40.
- MONTEIRO, J.A. O milho no Brasil: Considerações Econômicas. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v.14, n.164, p.5-8, 1990.
- MUZILLI, O.; OLIVEIRA, E.L. Nutrição e Adubação. In: *O milho no Paraná*. Londrina: Fundação Instituto Agrônomo do Paraná, 1982. p.83-104. (Circular IAPAR, 29).
- NIELSEN, N.E. ; BARBER, S.A. Differences among genotypes of corn in the kinetics of P uptake. *Agronomy Journal*, Madison, v.70, n.5, p.695-698, 1978.
- OZANNE, P.G. Phosphate nutrition of plants - A general treatise. In: KHASAWNELL, F.E.; SAMPLE, E.C.; KAMPRATH, E.J., ed. *The*

- Role of Phosphorus in Agriculture. Madison: American Society of Agronomy, 1980. p.559-590.
- PATERNIANI, E. ; GOODMAN, M.M. Races of maize in Brazil and Adjacent Areas. México: CIMMYT, 1978. 95p.
- RAJU, P.S.; CLARK, R.B.; MAITI, R.K. ; MARANVILLE, J.W. Phosphorus uptake, distribution and use by glossy and nonglossy sorghum. Journal of Plant Nutrition, New York, v.10, n.9-16, p.2017-2024, 1987.
- SALINAS, J.G.; SANCHEZ, P.A. Soil-plant relationships affecting varietal and species differences in tolerance to low available soil phosphorus. Ciência e Cultura, São Paulo, v.28, n.2, p.156-168, 1976.
- SANCHEZ, P.A.; SALINAS, J.G. Low-input technology for managing oxisols and ultisols in Tropical America. Advances in Agronomy, New York, v.34, p.279-406, 1981.
- SCHAUN, N.M. Sementes de Variedades de Milho x Pequenos Agricultores Brasileiros. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v.14, n.165, p.8-12, 1990.
- SCHENK, M.K.; BARBER, S.A. Phosphate uptake by corn as affected by soil characteristics and root morphology. Soil Science Society of America Journal, Madison, v.43, n.4, p.880-883, 1979.
- 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, v.54, p.65-76, 1980.
- SCHJORRING, J.K. ; NIELSEN, N.E. Root length and phosphorus uptake by four barley cultivars grown under moderate deficiency of phosphorus in

- field experiments. *Journal of Plant Nutrition*, New York, v.10, n.9-16, p.1289-1295, 1987.
- SILBERBUSH, M. ; BARBER, S.A. Root growth, nutrient uptake and yield of soybean cultivars grown in the field. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, New York, v.16, n.1, p.119-127, 1985.
- 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, v.4, n.3, p.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., ed. *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., ed. *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 Oxissol. *Agronomy Journal*, Madison, v.82, p.305-309, 1990.
- TISDALE, S.L.; NELSON, W.L. ; BEATON, J.D. *Soil Fertility and Fertilizers*. New York: MacMillan, 1985. 754p.
- VAN RAIJ, B. *Avaliação da Fertilidade do Solo*. Piracicaba: Instituto da Potassa e Fosfato (EUA)/Instituto Internacional da Potassa , 1983. 142 p.

- WALKER, W.M. ; RAINES, G.A. Effect of corn cultivar, phosphorus and potassium on yield and chemical composition. *Journal of Plant Nutrition*, New York, v.11, n.12, p.1715-1726, 1988.
- WARNECKE, D.D. ; BARBER, S.A. Root development and nutrient uptake by corn grown in solution culture. *Agronomy Journal*, Madison, v.66, p.514-516, 1974.
- WIENEKE, J. Phosphorus efficiency and phosphorus remobilization in two sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) cultivars. *Plant and Soil*, Dordrecht, v.123, p.139-145, 1990.
- 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, v.43, p.338-343, 1979.
- YOUNGDAHL, L.J. Differences in phosphorus efficiency in bean genotypes. *Journal of Plant Nutrition*, New York, v.3, n.11, p.1381-1392, 1990.

7. ANEXOS

Valor F, coeficiente de variação (CV) e eficiência do látice da análise de variância para a produção de matéria seca da parte aérea (MSPA) e raízes (MSR), relação entre a produção de matéria seca da parte aérea e raízes (PA/R), conteúdo de P na parte aérea (CPA) e raízes (CPR), acumulação de P na parte aérea (APA) e raízes (APR) e eficiência de utilização de P (EUP).

Fonte de Variação	Valor F							
	MSPA (g.planta ⁻¹)	MSR (g.planta ⁻¹)	PA/R	CPPA (%)	CPR (%)	APA (mg.planta ⁻¹)	APR (mg.planta ⁻¹)	EUP (g ² .mg ⁻¹ P)
Fósforo (P)	868,158**	205,065**	13,645**	4,856*	253,226**	1053,924**	669,339**	263,826**
Genótipo (G)	4,227**	6,594**	4,777**	4,812**	3,146**	2,294**	4,172**	8,709**
P x G	1,473 ^{ns}	1,2877 ^{ns}	1,352 ^{ns}	1,090 ^{ns}	1,326 ^{ns}	1,933**	1,649	1,873*
CV (%)	13,03	21,14	21,76	12,90	12,94	12,54	18,94	17,17
Ef. látice (%)	ne	ne	ne	ne	ne	121,51	119,86	120,92

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade;

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade;

^{ns} Não significativo;

^{ne} Látice não eficiente quando comparado com o delineamento em blocos ao acaso.

Valor F e coeficiente de variação (CV) da análise de variância para a produção de grãos (PG), altura da planta (AP), altura da inserção da espiga (AE), conteúdo de P nos grãos (CG), acumulação de P nos grãos (AG) e relação entre produção de grãos e acumulação de P nos grãos (RPA).

Fonte de Variação	Valor F					
	PG (g.ha ⁻¹)	AP (cm)	AE (cm)	CG (g P.kg ⁻¹)	AG (kg P.ha ⁻¹)	RPA (kg.kg ⁻¹)
Fósforo (P)	11,899**	0,516 ^{ns}	1,597 ^{ns}	5,955**	12,847**	4,714*
Genótipo (G)	13,775**	6,987**	18,558**	7,492**	5,677**	5,752**
Variedades locais	18,936**	2,433 ^{ns}	4,397**	12,319**	8,347**	4,775**
Materiais melhorados	6,852*	2,681 ^{ns}	1,654 ^{ns}	13,316**	0,145 ^{ns}	12,720**
Grupos de genótipos	0,052 ^{ns}	29,508**	92,107**	2,911 ^{ns}	0,530 ^{ns}	2,690
P x G	1,170 ^{ns}	0,737 ^{ns}	0,872 ^{ns}	1,257 ^{ns}	1,116 ^{ns}	0,904
CV (%)	17,14	10,18	14,54	9,32	20,46	10,06

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade;

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade;

^{ns} Não significativo.