EFICIÊNCIA NA ABSORÇÃO E UTILIZAÇÃO DO FÓSFORO POR GENÓTIPOS
DE MILHO (*Zea mays* L.), EM SOLUÇÃO NUTRITIVA

DEBORAH MARIA CIARELLI

ORIENTADOR: PROF. DR. ANTONIO ROQUE DECHEN

Dissertação apresentada a Es-
la Superior de Agricultura "Luiz
de Queiroz", da Universidade de
São Paulo para obtenção do Tí-
tulo de Mestre em Agronomia: Á
rea de concentração: Solos e
Nutrição de Plantas.

PIRACICABA
ESTADO DE SÃO PAULO - BRASIL
FEVEREIRO - 1989

Aos meus irmãos

Carmencita e
Fábio Fernando

ofereço

À meus pais

Carmello e
Fabíola Alice

Dedico

AGRADECIMENTOS

Desejo expressar meus agradecimentos às seguintes pessoas e entidades que tornaram possível a execução deste trabalho:

- ao Dr. Antonio Roque Dechen, pela orientação e apoio prestado durante o desenvolvimento deste trabalho.
- à Drª Ângela Maria Cangiani Furlani, da Seção de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas - IAC, pelas orientações seguras, ensinamentos e atenção dedicadas a nossa pessoa.
- à Drª Marlene Lima, da Seção de Genética - IAC, pelos cruzamentos efetuados e pelas sementes cedidas para o estudo:
- ao Dr. Ondino Cleante Bataglia, da Seção de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas - IAC, pelo constante estímulo à realização deste.
- ao Dr. Orivaldo Brunini, da Seção de Climatologia Agrícola - IAC, pela colaboração durante o desenvolvimento deste trabalho.
- ao Dr. Ruter Hiroce, da Seção de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas - IAC, por ter possibilitado minha participação no curso de Pós-graduação e pelas facilidades oferecidas durante a execução deste.
- à Seção de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas - IAC, onde foi realizada a parte experimental.

- Aos colegas da Seção de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas - IAC: Maria Eunice L. Pereira, Maria Luiza Penteadó N. Targon, Maria Tereza F. Amaral, Marlene Maria T. Braz da Silva, Tereza D. Biondi e Wagner R. dos Santos pela colaboração e auxílio neste trabalho.
- à Desenhista Carmencita Ciarelli Brunini, da Seção de Climatologia Agrícola - IAC pela confecção dos gráficos.
- ao CNPq pela bolsa concedida.
- ao Instituto Agronômico de Campinas pelas facilidades, e à Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) pelo apoio financeiro.

	Página
3.3.5.2.1 Soluções utilizadas	24
3.3.5.2.2 Procedimento	25
3.3.6 Análise do material vegetal	25
3.3.7 Comprimento da raiz	26
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
4.1 Matéria seca total	28
4.2 Comprimento de raiz, relação parte aérea/ /material seco das raízes	33
4.3 Estudo da velocidade de absorção de P	39
4.4 Teor de P na planta	53
4.5 Quantidade de P absorvido	68
4.6 Relação de eficiência na utilização do P .	85
4.7 Índice de eficiência na utilização do P ...	86
4.8 Considerações gerais	100
5. CONCLUSÕES	101
6. LITERATURA CITADA	102

EFICIÊNCIA NA ABSORÇÃO E UTILIZAÇÃO DO FÓSFORO POR GENÓTIPOS DE MILHO (*Zea mays* L.) EM SOLUÇÃO NUTRITIVA

DEBORAH MARIA CIARELLI

ORIENTADOR: DR. ANTÔNIO ROQUE DECHEN

RESUMO

Este estudo foi conduzido com genótipos de milho (*Zea mays* L.) crescidos sob condições de casa de vegetação em solução nutritiva, com diferentes níveis de fósforo, com o objetivo de: caracterizar genótipos de milho previamente selecionados como eficientes e ineficientes na absorção e utilização do P, quanto ao peso de matéria seca, desenvolvimento do sistema radicular, velocidade de absorção, teor de P, acúmulo de P, e relação e índice de eficiência na utilização do P.

Foram conduzidos dois ensaios: no ensaio 1 o material vegetal utilizado constituiu-se de três híbridos de milho: HS 1227, HS 7777 e o híbrido duplo HD 7974; no ensaio 2 foram utilizados quatro linhagens e quatro híbridos, sendo as linhagens: 1) Ip 48.5.3(L4); 2) 11.23.3.1(L40); 3) 10.11.11(L29); 4) 11.30.11(L42); e os híbridos: 1) AG 401; 2) HS₁(L29 x L42); 3) HS₂(L40 x L04); 4) HS₃(L4 x L29).

O delineamento utilizado foi o de blocos casualizados.

As plantas foram crescidas em solução nutritiva sob condições de casa de vegetação com 4 mg de P/litro de solução por um período de 29 dias (Ensaio 1) e 21 dias (Ensaio 2) e após esse período as plantas foram transferidas para a câmara de crescimento sob condições controladas onde foram mantidas por 24 horas em solução sem P. Após esse período estas foram colocadas em solução nutritiva completa com três níveis de P: 2,0; 4,0 e 8,0 mg P/litro.

Foram retiradas alíquotas destas soluções em intervalos de tempo cronometrados de 30 minutos (Ensaio 1) e 45 minutos (Ensaio 2) num total de sete intervalos.

As taxas de absorção de P foram calculadas do decréscimo de P, na solução nutritiva, a cada intervalo de tempo. Após esse período as plantas foram colhidas e separadas em parte aérea e raízes para as seguintes determinações: comprimento de raiz, peso da matéria seca e concentração de P nas várias partes da planta. Outros parâmetros foram calculados como conteúdo na parte aérea e raiz, índice de eficiência do uso; e razão comprimento de raízes/matéria seca na parte aérea.

Através dos resultados obtidos verificou-se que as linhagens de milho previamente selecionadas como eficientes, apresentaram maiores sistemas radiculares (comprimento de raízes), maiores velocidades de absorção de P ($\mu\text{mol P/h/vaso}$) maiores conteúdos de P e maior eficiência na utilização de P para produção de matéria seca. As linhagens

L29 e L42 (eficientes) mostraram uma tendência superior as linhagens L40 e L04 (ineficientes). No caso dos híbridos, estes mostraram-se, de maneira geral, superiores às linhagens e os híbridos derivados da linhagem L29 salientaram-se aos demais. Também o HD 7974 mostrou-se superior aos HS 7777 e HS 1227, indicando que as características avaliadas são herdáveis e estão sob controle genético.

PHOSPHORUS UPTAKE AND USE EFFICIENCY OF CORN (*Zea mays* L.)
GENOTYPES IN NUTRIENT SOLUTION.

DEBORAH MARIA CIARELLI

ADVISOR: ANTONIO ROQUE DECHEN

SUMMARY

Two experiments were carried out under greenhouse conditions in nutrient solutions with different levels of phosphorus and corn (*Zea mays* L.) genotypes. The objective was to characterize previously selected P-efficient and P-inefficient corn genotypes as to top dry matter yield, root dry matter yield, root length, P uptake rate, P concentration, P content and efficiency of use index.

In the first experiment, three hybrids were used: HS 1227, HS 7777 and HD 7974. In the second experiment four inbred lines and four hybrids were used: 1) Ip 48.5.3(L4); 2) 11.23.3.1(L40); 3) 10.11.11(L29); 4) 11.30.11(L42); and the hybrids: 1) AG 401; 2) HS₁(L29 x L42); 3) HS₂(L40 x L04); 4) HS₃(L4 x L29).

Both experiments were set in randomized complete block designs.

Young plants were grown in nutrient solutions with 4 mg P/liter (2.8 liter pots) during

29 days (experiment 1) and 21 days (experiment 2). After that, plants were transferred to 2.8 liter pots containing new P-free nutrient solutions, in growth-chamber with controlled temperature and light conditions. After 24 hours three levels of P were added to the pots: 2.0; 4.0 and 8.0 mg P/liter. Phosphorus depletion in the nutrient solution was determined in seven intervals of 45 minutes in the experiment 1, and of 30 minutes in the experiment 2. The rates of P uptake were calculated from the P contents in the nutrient solutions in each time interval.

After that, plants were harvested, separated in tops and roots for the following determinations: root length (fresh material), dry matter weights, and P concentrations in plants parts. Other parameters were calculated as P content in tops and roots, efficiency of use index; and root length/top dry matter ratio.

The results indicated that previously selected P-efficient corn inbred lines (L29 e L42) showed greater root systems (longer roots), higher P uptake rates expressed by the whole root system ($\mu\text{mol P/h/vaso}$), higher P contents in plant parts and higher efficiency of use index.

In general, hybrids showed superior behavior, but those derived from the P-efficient L29 were the best. The HD 7974 derived from the HS 7777 x HS 1227 showed also better results, indicating that the P-efficiency characters studied are heritable and under genetic control.

1. INTRODUÇÃO

O conceito de eficiência de plantas em relação a um nutriente pode ser definido como o processo pelo qual ela absorve, transloca, acumula e utiliza melhor este nutriente para produção de matéria seca ou grãos, em condições nutricionais adversas ou normais.

Trabalhos como os de CLARK (1974), LINDGREN, (1977), BARBER (1980), indicam que existem variações intra-específicas nos mecanismos nutricionais de absorção e utilização de nutrientes, e que estes estariam sob controle genético, especialmente aqueles relacionados com a absorção, translocação e utilização de um dado nutriente.

Quando variedades diferem com respeito à absorção de certos nutrientes minerais mas não de outros, há a hipótese de que tal diferença seja devida a mecanismos geneticamente controlados. Quando as variações são quantitativas o processo é provavelmente controlado por numerosos genes (EPSTEIN & JEFFERIES, 1964).

Esses mecanismos precisam ser melhor estudados e avaliados para que um programa de seleção e melhoramento possa ser conduzido para uma determinada espécie,

visando a adaptação da planta para áreas de baixa fertilidade, com problemas de acidez ou presença de elementos tóxicos, ou mesmo para maior eficiência em condições normais de fertilidade do solo.

Efetivamente a utilização de um nutriente tornou-se uma questão econômica muito importante. Um dos problemas básicos da produção é a seleção de cruzamentos de genótipos e variedades que tenham eficiência na absorção de nutrientes e nos sistemas de translocação e utilização (EPSTEIN, 1975).

A necessidade crescente de aproveitamento de áreas extensas de solos com baixa fertilidade e a constante elevação dos preços dos fertilizantes mostram a importância dos programas de seleção genética, no sentido de se obter materiais vegetais com alta eficiência de absorção e de aproveitamento dos nutrientes. Isto significaria a obtenção de produções razoáveis nesses solos de baixa fertilidade. Entretanto os programas de melhoramento genético, via de regra, têm sido realizados em condições ambientais onde níveis ótimos de fertilizantes são normalmente empregados (ESTEVES, 1985).

Torna-se imperativo portanto o desenvolvimento de técnicas que possam levar a um conhecimento, o mais completo possível, sobre processos relacionados com a nutrição mineral de plantas a fim de maximizar a eficiência de aproveitamento de fertilizantes pelas culturas (NIELSEN &

BARBER, 1978).

No Brasil as reservas de fósforo estão estimadas em cerca de 240 milhões de toneladas (calculadas em P_2O_5), e devido ao seu baixo teor disponível no solo é chamado de "elemento problema" e em razão disto vem sendo estudado intensamente por vários investigadores (CARDOSO et alii 1980).

Considerando-se que os teores de fósforo disponível comumente encontrados nos solos brasileiros são baixos devido a acidez e à alta capacidade de fixação desses solos, é de grande importância a seleção de plantas eficientes no uso deste nutriente de modo que se obtenham produções razoáveis em solos com baixos níveis de P, e resposta na produção à doses adequadas de fertilizantes. Calcula-se que apenas 10% do P adicionado ao solo é recuperado pelas plantas e que existem diferenças entre espécies quanto à capacidade de absorção e utilização de P para a produção de matéria seca (BARBER, 1980).

No presente trabalho foi utilizado a cultura do milho pois é de fundamental importância para a alimentação animal e humana, e constitui hoje uma das principais espécies de plantas econômicas em cultivo no país, ocupando uma área de aproximadamente 13 milhões de hectares. Essa área de plantio corresponde à mais de 25% da totalidade dos solos cultivados com espécies econômicas (48.485.000ha) no país (ROCHA, 1980).

Com base nos aspectos acima expostos o objetivo da presente dissertação foi adequar uma metodologia para estudo de eficiência do P e utilização desta para caracterizar genótipos previamente selecionados como eficientes e ineficientes na absorção e utilização do P quanto a: peso da matéria seca, desenvolvimento do sistema radicular, velocidade de absorção, teor de P, acúmulo de P, relação e índice de eficiência na utilização do P.

2. REVISÃO DA LITERATURA

O emprego de fertilizantes em nossos solos cresceu sensivelmente nos últimos anos e devido à participação nacional na produção de fertilizantes, o aumento no consumo tende a se manifestar numa constante elevação no custo do produto agrícola (ESTEVES, 1985).

Das culturas agrícolas, o milho tem mostrado uma exigência em nutrientes muito alta, correspondendo a aproximadamente 60% da demanda de fertilizantes das culturas agrícolas no país (ROCHA, 1980).

O fósforo (P) representa cerca de 0,12% da crosta terrestre (CATHCART, 1980). Para reduzir o custo da adubação fosfatada procura-se aumentar a utilização do fósforo nativo no solo, empregando-se fontes alternativas (rochas fosfatadas), ou mesmo usando informações sobre a reciclagem de nutrientes na adubação.

Existe uma grande interação solo-planta e a nutrição de P das plantas (BARBER, 1980). Essas interações estão relacionadas com as formas de P no solo, formas nativas e as fontes de fertilizantes, que são muito importantes para considerar sua disponibilidade para as plantas. (OLSEN et alii, 1977). Essa disponibilidade de nutriente no solo e

em particular do P é um dos primeiros fatores que determinaram a distribuição do sistema radicular da planta e sua produtividade.

Todavia não há mecanismo geral aceito pelo qual as plantas estejam adaptadas para solos de diferentes fertilidades (CHAPIN, 1980).

Esses mecanismos também estão relacionados com outros fatores como luz, água e temperatura. As adaptações importantes que os vegetais poderiam ter em solos inférteis são: taxa de crescimento lento para evitar exaustão das reservas de nutrientes (CLARKSON, 1967; RORISON, 1968; CHAPIN et alii, 1982); alta capacidade de extração de nutrientes do solo (BARROW, 1977; BLAIR e CORDERO, 1978); e a diferença no metabolismo do nutriente e eficiência do nutriente usado na produção da nova biomassa (ASHER e LONERAGAN, 1967; CHAPIN, 1980; CHAPIN et alii, 1982).

CHAPIN (1980) observou que uma baixa capacidade de absorção pode ser esperada em plantas adaptadas para solos inférteis, porque nesses solos a difusão para a superfície da raiz é a maior limitação e não pode ser superada com aumento da velocidade de absorção de P (NYE, 1966, 1977; SCHENK e BARBER, 1979). POWELL (1974) observou que a taxa de absorção de P por unidade de crescimento de raiz aumentou com adição de P. A maior determinante da taxa de absorção de P é a demanda de nutriente para dar suporte ao crescimento (CLARKSON e HANSON, 1980) e pode ser mais alta em plantas de crescimento rápido. Assim, taxas elevadas de

absorção de nutrientes são comuns em algumas espécies com crescimento rápido e em populações adaptadas para habitat fértil comparadas com espécies de crescimento lento adaptadas para habitat infértil (BRADSHAW et alii, 1960; NASSERY, 1970; CHRISTIE & MOORBY, 1975; HARRISON & HELLIWELL, 1979; CHAPIN, 1980; CHAPIN et alii, 1982).

BARBER (1980) estudando o mecanismo de suprimento de P para raízes de plantas crescidas em solos observou que a difusão do P entre o solo e raiz é o mecanismo dominante de movimento do P, sendo muito importante porque todos os fatores que governam a taxa de difusão de P para a raiz afetarão diretamente o processo de absorção de P pelas plantas. Portanto, a taxa de difusão e a extensão do crescimento de raízes são importantes na determinação da disponibilidade de P para as plantas crescidas em solo (BARBER, 1980).

A estimulação do crescimento de raízes com P pode ser observada em estudos em solução nutritiva com milho (STRYKER et alii, 1974) e com cevada (DREWE & SAKE, 1978). Em plântulas de milho, ANGHINONI e BARBER (1980) observaram um aumento no peso e no comprimento do sistema radicular e diminuição no raio das raízes com o aumento de número de dias sob deficiência de P. Tal aspecto foi considerado como uma ativação de um mecanismo adaptativo quando a concentração de P era baixa. SCHENK e BARBER (1979) também observaram que o comprimento total da raiz de plantas de milho

crescidas em solos deficientes de P foram significativamente maiores do que o de plantas crescidas em solos ricos em P.

A recuperação do P dos solos pelas plantas variam não somente entre espécies mas também entre genótipos de milho (SCHENK e BARBER, 1979a).

ROSAND e MARIANO (1985) estudando a absorção diferencial de P em culturas de cacau observaram que a extensão do sistema radicular das culturas influe significativamente na absorção do P. Verificaram também uma estreita associação da absorção de P com o comprimento e a área das raízes secundárias.

NILSEN e BARBER (1978) mostraram grandes diferenças entre genótipos de milho na absorção de P, relacionadas com as características morfológicas e fisiológicas das raízes. As respostas diferenciais dos genótipos sugeriram que variedades de milho poderiam ser melhoradas selecionando-se sistemas radiculares com raízes finas e ramificadas, que resultassem em maiores superfícies de raiz por unidade de parte aérea, melhorando assim a exploração do solo por fósforo.

JUNGK e BARBER (1975), estudando a idade da planta e as características de absorção de P em milho, observaram que o máximo fluxo (V_{max}) ocorreu aos 28 dias, após o que decresceu atingindo um mínimo aos 80 dias. Em estudos em solução nutritiva em casa de vegetação WARNCKE e BARBER

(1974) também demonstraram que a medida de influxo de P (taxa de absorção por metro de raiz) para raízes de milho é alta em plantas jovens e diminui com o desenvolvimento das plantas. Entretanto, a acumulação e o transporte de P para a parte aérea é geneticamente controlada em milho e estão associados com processos fisiológicos dentro da planta que são independentes da profundidade ou tamanho das raízes (BAKER et alii, 1979; BAKER et alii, 1971). É conhecido que as diferentes características de absorção de íons de muitas espécies são geneticamente controladas (EPSTEIN & JEFFERIES, 1964, BAKER et alii, 1970; WUENSCHER & GERLOFF, 1971; CLARK & BROWN, 1974). FOX (1978), selecionando 73 linhagens de híbridos de milho para eficiência ao P, crescidos em casa de vegetação por 2 a 4 semanas sob condições de baixa e alta disponibilidade de P tanto em solução nutritiva como em solo, observou diferenças na eficiência de uso de P e também na produtividade em baixa e média disponibilidade de P. Estas variações foram notadas no início do crescimento caracterizadas pelo vigor das plantas.

MARTINEZ & HAAG (1980) estudando o comportamento de diferentes espécies de forrageiras em função do teor de P na solução observaram que a eficiência de absorção e utilização do P variou grandemente entre as diferentes espécies indicando um comportamento genético diferenciado na utilização deste elemento.

Não só a diferença afeta a absorção e utilização

buição do P na planta. HAAG et alii (1971) observaram que para a cultura do algodoeiro a absorção e distribuição deste elemento é afetado pela doença chamada murcha do algodoeiro e que variedades resistentes (IAC-RM4) a murcha mesmo em presença do Fusarium absorve menor quantidade de P enquanto a variedade suscetível (IAC-12) reduz em 45% sua capacidade de absorver o P.

CLARK et alii (1977) estudando o crescimento de linhagens de sorgo em solo deficiente em P observaram diferenças entre genótipos quanto às produções de matéria seca, conteúdo de P, e relação de eficiência (produção de matéria seca/unidade de P), e essas diferenças desapareceram quando as plantas foram crescidas em solos com teor suficiente de P.

O efeito do P sob a nutrição mineral do sorgo granífero em solução nutritiva sob 3 níveis de P foi estudado por ROSOLEM et alii (1980) e observaram que os níveis de P não afetam significativamente a produção de matéria seca total, contudo as produções de grãos foram diminuídas nos tratamentos com menor disponibilidade de P havendo uma resposta diferencial dos cultivares com relação a deficiência deste elemento. As quantidades de P contidas nos grãos de sorgo sofreram influência dos níveis de P no substrato.

CORDEIRO et alii (1980) observaram que a concentração de P em culturas de soja variam com a idade da planta e com o nível de P notaram também, uma variação na

concentração de P ao longo da planta.

Outros estudos de absorção de P (NIELSEN & BARBER, 1978), mostraram que linhagens e híbridos variaram no tipo e tamanho (peso seco e comprimento) de suas raízes, taxa de $V_{\max}$ (velocidade máxima), constante de Michaelis-Menten (K_m) e valores de $C_{\min}$ (concentração de P na solução quando o influxo líquido for zero).

Genótipos de milho mostraram grande variabilidade nas características morfológicas da raiz e nos parâmetros cinéticos de absorção de P (NIELSEN & BARBER, 1978; SCHENK & BARBER, 1979), indicando que genótipos de milho mais eficientes poderiam ser identificados.

Grandes variações na taxa de absorção de P foram também notados entre genótipos de sorgo crescidos em solo (CLARK et alii, 1977, 1978) e em solução nutritiva (FURLANI et alii, 1984) com baixos níveis de P.

Na maioria dos estudos, procuraram identificar plantas que crescessem melhor e acumulassem diferentes quantidades de P em baixos níveis e relacionar esses aspectos com a herança (NYE & FORSTER, 1958; LONERAGAN & ASHER, 1967; BAKER et alii, 1979; CLARK & BROWN, 1974; O'SULLIVAN et alii, 1974; BARROW, 1975; GABELMAN, 1976; GERLOFF, 1976; WHITEAKER et alii, 1976; BROWN et alii, 1977; BROWN & JONES, 1977; MAKMUR et alii, 1978; BARBER, 1980; FURLANI et alii, 1984, 1987).

GORSLINE et alii (1964) estudando a herança na concentração de elementos nutricionais em folhas e grãos de milho observaram que a concentração de nutrientes na folha da espiga não foi fenotipicamente associada com a concentração nos grãos, sugerindo que fatores genéticos diferentes foram envolvidos agindo durante a distribuição e decomposição dos nutrientes.

BARBER et alii (1967) estudando a herança em relação a acumulação de P em milho observaram que genótipos acumularam quantidades diferentes de P no tecido da folha madura. Mas estas quantidades não estiveram relacionadas com a quantidade disponível para as plantas em solo com baixo teor de P.

Avaliando genótipos de arroz quanto a eficiência na utilização do P em solução nutritiva FURLANI et alii (1983) observaram que as variedades de sequeiro mostraram maior capacidade de absorção do P adicionado à solução nutritiva. Para 96% dos genótipos de sequeiro houve recuperação de 80 a 100% do fósforo na solução nutritiva enquanto que para variedades irrigadas 96% dos materiais recuperaram de 60 a 90% do P.

De maneira geral as variedades de sequeiro foram mais eficientes na absorção do P enquanto que as variedades irrigadas foram mais eficientes na utilização do P para produção de matéria seca. Esses mesmos autores concluíram que a produção de matéria seca, o índice de relação de

eficiência e o conteúdo total de P mostraram serem bons parâmetros para a avaliação da eficiência na absorção e utilização do P pelas plantas.

FURLANI et alii (1984 e 1987) estudando linhagens e híbridos de sorgo com relação a eficiência na absorção e distribuição de P na planta, em baixos níveis na solução nutritiva, concluíram que, estas características são geneticamente controladas, e que as determinações de matéria seca ou fresca total, tamanho e peso do sistema radicular podem ser usados como critérios para seleção.

A relação entre a taxa de absorção de um íon por raízes de planta e a concentração externa do íon é importante para estudos de nutrição de plantas para investigar o mecanismo de absorção do íon, e para avaliar mecanismo de suprimento destes nutrientes para raízes de plantas crescidas em solos (MENGEL & FARBER, 1974).

Vários métodos têm sido propostos para avaliar a taxa de absorção de P sendo que CLAASSEN & BARBER (1974) sugeriram que a taxa de absorção por plantas intactas seja medida sob período de tempo prolongado, em horas ou dias.

LINDGREN et alii (1977) estudando a variabilidade de absorção e translocação do P entre linhagens de feijão, sob estresse de P, observou que o estudo com plantas intactas foi mais conclusivo do que quando se utilizaram raízes destacadas. Assim, um alto valor de absorção de P

determinado em raízes destacadas não reflete ou expressa se essa linhagem efetivamente transloca P para a parte aérea. Os resultados obtidos com raízes destacadas não se correlacionaram os obtidos com plantas intactas. Exaltaram a importância de se utilizar plantas intactas para estudos de seleção e herança genética.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

No desenvolver do estudo foram realizados dois ensaios independentes com diferentes genótipos que, estão relacionados como experimento 1 e 2. Em muitos aspectos a metodologia utilizada foi semelhante, e os ensaios são descritos separadamente, naqueles em que diferem entre si.

3.1 Local

Os estudos foram desenvolvidos no Instituto Agronômico de Campinas, nos laboratórios e casa de vegetação da Seção de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas.

3.2 Material

3.2.1 Material vegetal

O ensaio 1 foi desenvolvido com três híbridos de milho, a saber: os híbridos simples HS 1227 e HS 7777 e o híbrido duplo HD 7974, derivado dos dois primeiros. No ensaio 2 foram estudadas quatro linhagens e quatro híbridos de milho, a saber: linhagens 1) Ip 48.5.3 (L4); 2)

11.23.3.1(L₄₀); 3) 10.11.1.1(L₂₉); 4) 11.30.1.1.(L₄₂); híbridos 1) AG 401; 2) HS₁(L₂₉ x L₄₂); 3) HS₂(L₄₀ x L₀₄); 4) HS₃(L₄ x L₂₉).

As linhagens utilizadas foram previamente selecionadas por FURLANI et al. (1985), sendo as L₄ e L₄₀ consideradas ineficientes na absorção e uso do P em solução nutritiva e as L₂₉ e L₄₂, eficientes. Os híbridos simples HS₁, HS₂ e HS₃ são alguns dos cruzamentos obtidos com essas linhagens, efetuados pela Dr^a Marlene Lima na Seção de Genética do Instituto Agronômico de Campinas, escolhidos para serem comparados no estudo da cinética da absorção do P.

3.2.2. Solução nutritiva

A solução nutritiva para crescimento das plantas nos dois ensaios foi uma solução com baixo nível de P, como recomendada para milho por FURLANI et al., (1985), cuja composição é mostrada no quadro 1, retirado de FURLANI & FURLANI (1988). As plantas permaneceram nessa solução 29 dias após a germinação, no ensaio 1 e 21 dias no ensaio 2.

3.2.3. Equipamentos

Tanto para o ensaio 1 como para o ensaio 2 foram utilizados os seguintes equipamentos:

a) medidor de pH: utilizado para monitorar e reajustar o pH das soluções nutritiva nas quais as plantas cresceram,

durante todo o período do ensaio (potenciômetro Micronal portátil, modelo B-378, equipado com elétrodo de vidro combinado):

b) termohigrógrafo: para avaliação dos parâmetros do ambiente durante os ensaios foram registrados as temperaturas e umidades relativas dentro da casa de vegetação (termohigrógrafo de marca Fuess modelo 115r com rotação semanal);

c) estufas: após a colheita das plantas, as amostras de plantas foram secas em estufas com circulação forçada de ar e temperatura variando 65 a 70°C;

d) moinho: as amostras de plantas foram moídas em moinho de acordo com as instruções de BATAGLIA et alii (1983). (Moinho tipo Willey com câmara de aço inoxidável com peneira de malha 20 = 20 malhas por polegada linear);

e) autoanalisador: para determinação do fósforo nos extratos do material vegetal, através de circuito fechado, automatizado (Autoanalisador II da Technicon);

f) espectrofotômetro: para determinação do fósforo nas soluções nutritivas (espectrofotômetro modelo 634 Varian, equipado com célula de fluxo contínuo).

Quadro 1. Composição da solução nutritiva utilizada neste trabalho (FURLANI & FURLANI, 1988)

Nº	Solução estoque		Relação estoque/S.N.	Solução nutritiva (S.N.)	
	Componentes	Concentração g/l		Nutrientes	Concentração mg/litro
1	Ca(NO ₃) 2.4H ₂ O NH ₄ NO ₃	270,0 33,8	3,3	Ca	151,0
				K	141,0
2	KCl K ₂ SO ₄ KNO ₃	18,6 44,0 24,6	3,6	Mg	17,0
				N-NO ₃ ⁻	138,0
				N-NH ₄ ⁺	20,0
				S	56,0
3	MgSO ₄ .7H ₂ O	136,9	1,4	Cl	33,0
				Fe	3,6
4	FeSO ₄ .7H ₂ O ⁽¹⁾ NaEDTA	24,1 25,1	0,75	Mn	0,5
				B	0,27
5	MnCl ₂ .4H ₂ O H ₃ BO ₃ ZnSO ₄ .7H ₂ O CuSO ₄ .5H ₂ O Na ₂ MoO ₄ .2H ₂ O	2,34 2,04 0,88 0,20 0,26	0,75	Zn	0,15
				Cu	0,04
				Mo	0,08
				P	4,0
6	KH ₂ PO ₄	8,77	1,00		

(1) Esta solução foi preparada, dissolvendo-se FeSO₄.7H₂O em aproximadamente 400 ml de água destilada e o NaEDTA em aproximadamente 400 ml de água destilada quente misturando-se as duas soluções frias, completando-se o volume para 1 litro; borbulhando-se a solução final com ar, durante aproximadamente 12 horas no escuro. O uso desta solução confere a Solução I um pH = 3, havendo necessidade de ajuste com solução de NaOH 0,1N para pH = 5,0. Em substituição a esta solução pode-se usar o complexo Fe-EDTA, pH = 4,0 que confere a solução I um pH em torno de 5,0, dispensando-se o ajuste final.

3.3. Métodos

3.3.1. Germinação e transplante

Os ensaios foram conduzidos inicialmente em casa de vegetação da Seção de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas do Instituto Agronômico de Campinas.

As sementes foram germinadas em rolos de papel de germinação mergulhadas em água e com aeração constante durante 7 a 8 dias, para obter plântulas com tamanho adequado para transplante nos vasos.

Após esse período, as plântulas foram selecionadas e transplantadas para vasos plásticos com 2,8 litros de capacidade (duas plantas por vaso), contendo a solução nutritiva descrita no quadro 1. Esses vasos foram anteriormente revestidos com folhas de alumínio, para aumentar a reflexão da luz solar e evitar o aquecimento excessivo da solução.

A aeração constante da solução nutritiva foi feita através de tubos plásticos com pedras de aeração numa extremidade e agulhas hipodérmicas na outra extremidade ligados a um compressor de ar, através de tubos de latex. Cada vaso recebeu um tubo, com uma pedra de aeração.

3.3.2. Delineamento estatístico

Para o ensaio 1, foram instalados 15 repetições de cada híbrido num só nível de P, as quais se destinaram ao seguinte delineamento para o estudo de absorção:

3 híbridos x 3 níveis P x 5 repetições = 45 vasos

Tanto para o crescimento das plantas como o estudo de absorção foi conduzido em blocos ao acaso.

Para o ensaio 2, cultivaram-se 20 repetições de cada linhagem ou híbrido (160 vasos). Essas 20 repetições foram utilizadas para determinações de peso seco e comprimento de raiz. Entretanto para o estudo de absorção, por motivo de limitação de espaço os vasos foram selecionados de forma a seguir o esquema:

8 híbridos x 3 níveis P x 4 repetições = 96 vasos

Também no ensaio 2, tanto para o crescimento das plantas como para o estudo de absorção foi utilizado o delineamento em blocos ao acaso.

3.3.3. Crescimento das plantas em solução nutritiva

As plantas foram cultivadas em solução com 4mg de P/litro de solução nutritiva, até a idade de 29 dias no ensaio 1, e a idade de 21 dias no ensaio 2. Durante esse período não se observaram sintomas visuais de deficiência de fósforo nas plantas.

O pH das soluções foi mantido próximo a 5,0, em cada vaso, através de reajuste com solução de NaOH 0,1N, em dias alternados.

Os volumes das soluções nos vasos foram mantidos constantes, com adições diárias de água destilada, sem

renovação dos nutrientes, de acordo com a técnica adotada por FURLANI et alii (1985).

As temperaturas máximas e mínimas registradas na casa de vegetação tiveram uma média de $24,6^{\circ}\text{C}$ e uma amplitude de $14,9^{\circ}\text{C}$ a $31,4^{\circ}\text{C}$.

O crescimento das plantas foi programado em cerca de 20 dias para o estudo subsequente de absorção de fósforo, pois a faixa de idade adequada para determinação de taxas de absorção em plantas de milho tem sido considerada entre 20 e 35 dias de idade (JUNGK e BARBER, 1975).

3.3.4. Preparo para o estudo da taxa de absorção de fósforo

3.3.4.1 Preparo das plantas

Tanto no ensaio 1 como no ensaio 2, as plantas foram transferidas para outros vasos de 2,8 litros em câmara de crescimento de plantas, contendo novas soluções nutritivas, de composição idêntica à anterior, porém isentas de fósforo. Foram deixadas nessas condições durante 24 horas com aeração constante.

3.3.4.2 Câmara de crescimento de plantas

Este estudo foi conduzido numa câmara de crescimento de plantas da Seção de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas com condições controladas, contendo:

1) uma mesa de 2,00m x 1,40m ($2,80\text{m}^2$) equipada com suporte de lâmpadas, fixo na altura de 1,35m;

2) lâmpadas de vapor de mercúrio de 205W, alternadas com lâmpadas fluorescentes, luz do dia, de 40W, totalizando 4.000W;

3) um condicionador de ar que manteve a temperatura do dia próximo a $28 \pm 1^\circ\text{C}$, e a da noite em aproximadamente $24 \pm 1^\circ\text{C}$;

4) dois vaporizadores de ar e dois ventiladores que ficaram continuamente ligados, auxiliando na umidificação do ar e na uniformização da temperatura e umidade;

5) ar comprimido para aeração da solução nutritiva.

Durante o experimento foram mantidas 12 horas de luz e 12 horas de escuro.

As oscilações na temperatura e umidade relativa, dentro da câmara de crescimento foram registradas por termohigrôgrafo.

3.3.5 Determinação do decréscimo e da quantidade de fósforo na solução nutritiva

3.3.5.1. Parte experimental

Após as plantas serem mantidas por um período de 24 horas em solução nutritiva sem fósforo, adicionaram-se aos vasos três concentrações de P: 2,0; 4,0 e 8,0mg

P/litro, utilizando-se uma solução de KH_2PO_4 contendo 0,56 mg p/ml.

Para isto, as plantas de cada vaso foram levantadas juntamente com a tampa de suporte, a solução de P foi adicionada, homogeneizada e a seguir as plantas foram recolocadas no vaso. Neste momento teve início a cronometragem do tempo, e entre um vaso e outro foi marcado um intervalo de 30 a 45 segundos para a adição da solução de KH_2PO_4 . Assim foi procedido até o último vaso.

Após um intervalo de 45 minutos para o ensaio 1 a 30 minutos para o ensaio 2, retirou-se outra alíquota de 5ml de cada vaso, respeitando o intervalo de 30 a 45 segundos entre um vaso e outro. Assim foi feito sucessivamente, num total de sete intervalos.

Antes de iniciar a retirada das alíquotas nos intervalos sucessivos, o volume do vaso foi reajustado para o inicial com água destilada, (com as plantas mergulhadas) sempre que necessário, numa tentativa de compensar a evotranspiração.

As alíquotas coletadas foram imediatamente transferidas para frascos de vidro previamente numerados e providos de tampas plásticas. Esses frascos foram conservados em geladeira (4°) até o momento das análises químicas de fósforo.

3.3.5.2 Determinação colorimétrica do P

A determinação do P nas alíquotas das soluções foi feita pelo método de MURPHY e RILEY (1962).

3.3.5.2.1 Soluções utilizadas

a) Solução padrão

Os padrões de fósforo foram preparados a partir de uma solução estoque de KH_2PO_4 contendo 0,56mg P/ml.

Desta solução foram retiradas alíquotas contendo 0,025; 0,050; 0,10; 0,20; 0,40 ug P/ml.

b) Reagentes

Para determinação do P foram utilizados os seguintes reagentes:

- solução de molibdato de amônio: 20,0g de molibdato de amônio foram transferidos para balão volumétrico de 500ml e o volume completado com água deionizada.
- solução de ácido ascórbico 0,1M: foram pesados 1,76g deste ácido e transferidos para balão volumétrico de 100ml e completou-se o volume com água deionizada.
- solução de ácido sulfúrico 5N: foram transferidos 50ml de ácido sulfúrico 10N para balão volumétrico de 100ml e completou-se o volume com água deionizada.
- solução de tartarato de potássio e antimônio: 1,3715g do sal foram transferidos para balão volumétrico de 500ml, dissolvidos em água deionizada e o volume foi completado.

- Reagente combinado: transferiu-se para balão volumétrico de 100 ml, 50 ml de H_2SO_4 (5N), 5 ml $\text{K}(\text{SbO})\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$; 1 ml de molibdato de amônio e 30 ml de ácido ascórbico 0,1M e completou-se o volume com água deionizada.

3.3.5.2.2 Procedimento

a) Determinação da curva padrão

Pipetaram-se 4 ml de soluções de KH_2PO_4 (0,025; 0,050; 0,10; 0,20 e 0,40 $\mu\text{g P/ml}$) para tubos de ensaio e adicionou-se 1 ml do reagente combinado, agitou-se e procedeu-se a leitura a 715nm no espectrofotômetro (modelo 634 Varian) com fluxo contínuo.

b) Determinação do P nas amostras

Com as leituras dos padrões e determinada a sua concentração, calculou-se um fator que multiplicado pela leitura dava-nos a concentração de P na amostra.

3.3.6 Análise do material vegetal

Imediatamente após a retirada das alíquotas das soluções nutritivas, as plantas foram lavadas com água destilada e separadas em folhas, caules e raízes e colocadas para secar em estufa a 70°C com ventilação, para determinação do peso da matéria seca. Posteriormente, as diferentes partes do material vegetal fo-

ram moídas para determinação dos teores de fósforo pelo método descrito em BATAGLIA et alii (1983).

No caso das raízes separou-se uma parte do sistema radicular ainda fresco, para determinação do comprimento de acordo com o método de TENNANT (1975) como descrito em 3.3.7.

A determinação química de fósforo no material vegetal foi realizada na Seção de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, do IAC conforme métodos descritos por BATAGLIA et alii (1983).

Determinação do P: foi realizada por determinação colorimétrica do complexo fosfovanadomolibdico, formado na reação do fósforo com a solução de molibdavanadato.

3.3.7 Comprimento da raiz

Uma amostra do sistema radicular (matéria fresca) de cada vaso foi utilizada para determinação do comprimento de raiz pelo método de TENNANT (1975), para cujo procedimento, adotou-se a metodologia abaixo.

Retirou-se uma amostra de aproximadamente 1g do sistema radicular da parte média das raízes e colocadas sobre um papel quadriculado com área de 360 cm^2 e 398cm de comprimento de linhas retas. Foram contados os números de intersecções horizontais e verticais que passavam pelas retas. Com o número de intersecções horizontais e verticais, com o comprimento das linhas retas e a área quadriculada foi

calculado o comprimento da raiz.

$$RA = N \times F$$

onde:

RA = comprimento da amostra da raiz (cm)

N = número de interseções horizontais + verticais

$$RT = \frac{RA \times Pst}{Psa}$$

onde:

RT = comprimento total da raiz (cm)

Pst = peso seco total da raiz

Psa = peso seco da amostra da raiz

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Matéria seca total

No quadro 2 são apresentados os pesos de matéria seca total e das diferentes partes da planta dos híbridos de milho utilizados no ensaio 1.

Os resultados mostraram que o híbrido duplo 7974 apresentou maior peso de matéria seca em relação aos híbridos simples, e destes o HS 7777 foi superior ao híbrido HS 1227.

O peso da matéria seca total e das diferentes partes da planta, relativos aos estudos com quatro linhagens e quatro híbridos utilizados no ensaio 2 são apresentados no quadro 3. Observa-se que os híbridos apresentaram valores mais altos de peso da matéria seca do que as linhagens, segundo a ordem $H(29 \times 42) > H(04 \times 29) > H(AG 401) > H(40 \times 04) > L29 > L42 > L40 > L04$.

As análises estatísticas referentes aos dois ensaios são apresentados nos quadros 4 e 5.

Estas análises indicam que os resultados foram significativamente diferentes, ao nível de 5% de proba-

Quadro 2. Matéria seca das partes da planta dos híbridos de milho HS 1227, HS 7777 e HD 7974 cultivados em solução nutritiva com 4mg de P/vaso até aos 21 dias de idade (Médias de 15 repetições)

Genótipos	Matéria seca ⁽¹⁾			Total
	Folhas	Caule x Bainhas	Raízes	
	g			
HD 7974	2,26 a	1,05 a	2,15 a	5,46
HS 1227	1,28 c	0,50 c	0,77 c	2,25
HS 7777	1,98 b	0,93 b	1,85 b	4,76

(1) Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Duncan (0,05).

Quadro 3. Matéria seca das partes das plantas de quatro linhagens e quatro híbridos simples de milho, cultivados em solução nutritiva com 4mg de P/vaso até aos 21 dias de idade (Médias de 20 repetições).

Genótipos	Matéria seca ⁽¹⁾			Total
	Folhas	Caules x bainhas	Raízes	
	g			
	<u>Linhagens</u>			
L04	1,13 e	0,57 d	0,47 f	2,16
L42	1,81 d	0,90 c	1,03 e	3,75
L40	1,70 d	0,91 c	0,93 e	3,53
L29	2,34 c	1,11 b	1,27 d	4,72
	<u>Híbridos</u>			
AG 401	2,53 b	1,37 a	1,63 c	5,52
29 x 42	2,67 a	1,34 a	2,08 a	6,08
40 x 04	2,35 c	1,38 a	1,86 b	5,59
04 x 29	2,64 ab	1,36 a	2,06 a	6,06

(¹) Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Duncan a (0,05).

Quadro 4. Análise da variância referente ao peso seco da folha, caule + bainha e raízes de milho de três híbridos simples (ensaio 1).

FV	GL	SQ	QM	F
<u>Matéria seca de folhas</u>				
Bloco	14	0,4079	0,0291	0,8007
Híbrido	2	7,6779	3,8390	105,4930
Resíduo	28	1,0189	0,0364	
Total	44	9,1048		
CV = 10,37%				
<u>Matéria seca de caule + bainha</u>				
Bloco	14	0,1779	0,0127	1,1149
Híbrido	2	2,5366	1,2683	111,2610
Resíduo	28	0,3192	0,0114	
Total	44	3,0337		
CV = 12,94%				
<u>Matéria seca de raízes</u>				
Bloco	14	0,887	0,0635	0,8004
Híbrido	2	15,7127	7,8563	99,0683
Resíduo	28	2,2205	0,0793	
Total	44	18,8218		
CV = 17,73%				

Quadro 5. Análise da variância referente ao peso seco de folhas, caule + bainha e raízes de quatro híbridos e quatro linhagens de milho (ensaio 2)

FV	GL	SQ	QM	F
<u>Matéria seca de folhas</u>				
Bloco	19	19,7515	1,0396	24,0503
Genótipo	7	41,5594	5,9371	137,3550
Resíduo	133	5,7488	0,0432	
Total	159	67,0597		
CV = 9,70%				
<u>Matéria seca de caule + bainhas</u>				
Bloco	19	6,6341	0,3492	14,4869
Genótipo	7	12,5485	1,7926	74,3780
Resíduo	133	3,2055	0,0241	
Total	159	22,3881		
CV = 13,88%				
<u>Matéria seca de raízes</u>				
Bloco	19	53,9831	2,8412	30,2848
Genótipo	7	47,9861	6,8552	73,0697
Resíduo	133	12,4776	0,0938	
Total	159	114,4468		
CV = 21,64%				

bilidade, pelo teste F. Contudo não se fez análise global dos ensaios 1 e 2 pois os mesmos foram realizados em épocas diferentes.

O teste de comparação de médias (Duncan 5%) indicou que para ambos os ensaios houveram diferenças entre os totais de matéria seca como pode ser observado nos quadros 2 e 3 onde os híbridos simples sempre foram superiores às linhagens e o HD superior aos HS, mostrando que materiais geneticamente selecionados (híbridos) possuem melhores condições de desenvolvimento vegetativo.

4.2 Comprimento de raiz, relação parte aérea/comprimento de raiz, e parte aérea/peso do material seco de raízes

Quando se estuda o desenvolvimento de uma planta além de se observar o crescimento de suas várias partes é importante que se analise a relação entre elas, principalmente no que se refere à proporção entre o peso do material seco da parte aérea e o peso do material seco das raízes e a proporção entre o peso do material seco da parte aérea e o comprimento total das raízes. Estas relações são apresentadas nos quadros 6 e 7 para os dois ensaios.

Com relação às variáveis do ensaio 1, o HD 7974 apresentou um comprimento de raiz superior aos HS 7777 e HS 1227. A relação comprimento de raiz/parte aérea também foi superior para o HD 7974. Quanto à relação par-

Quadro 6. Relação parte aérea/raízes, comprimento de raízes e relação comprimento de raiz/parte aérea de híbridos de milho HS 1227, HS 7777 e HD 7974 cultivados em solução nutritiva com 4mg de P/vaso até aos 29 dias de idade. (Médias de 15 repetições)

Genótipos	Relação Parte aérea (P.A)	Comprimento ⁽¹⁾	Relação
	raízes	de raízes	c/P.A.
	g/g	m	m/g
HD 7974	1,54	447,69 a	135,29
HS 1227	2,31	235,46 c	132,28
HS 7777	1,57	373,32 b	128,29

(1) Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo teste Duncan a (0,05).

Quadro 7. Relação parte aérea/raízes, comprimento de raízes e relação comprimento de raiz/parte aérea de quatro linhagens e quatro híbridos simples de milho cultivados em solução nutritiva com 4mg de P/vaso até aos 21 dias de idade. (Médias de 20 repetições)

Genótipos	Relação parte aérea(P.A.)	Comprimento ⁽¹⁾	Relação
	Raízes	de raízes (C)	C/P.A.
	g/g	m	m/g
<u>Linhagens</u>			
L04	3,63	87,40 f	51,28
L42	2,63	146,66 de	54,09
L40	2,82	121,71 ef	46,71
L29	2,72	166,46 d	48,21
<u>Híbridos</u>			
AG 401	2,39	249,31 c	64,07
29 x 42	1,93	304,45 b	76,05
40 x 04	2,01	267,96 bc	71,81
04 x 29	1,94	344,77 a	86,25

(1) Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Duncan (0,05).

te aérea/raízes (g/g) o HS 1227 mostrou valor superior aos outros híbridos, indicando que possui menor peso do material seco das raízes por unidade de peso seco da parte aérea (Quadro 6). Com relação aos dados do ensaio 2 observou-se que as linhagens mostraram uma maior relação peso do material seco da parte aérea/peso de material seco das raízes do que os híbridos, têm menor proporção do sistema radicular em relação à parte aérea, e que os híbridos já apresentam um sistema radicular mais desenvolvido. Isto também pode ser observado para os valores de comprimento de raiz (Quadro 7) e peso de matéria seca (Quadro 3).

As análises estatísticas referentes aos dados de comprimento de raiz obtidos nos ensaios 1 e 2 são apresentados nos quadros 8 e 9.

Os dados indicam que houveram diferenças estatisticamente significativas entre os genótipos (teste F 0,05 e Duncan 0,05) . No ensaio 1, o híbrido duplo 7974 mostrou um maior comprimento radicular em relação aos híbridos simples. No ensaio 2, os híbridos mostraram maiores comprimentos de sistemas radicular em relação às linhagens e dentre aqueles, salientou-se o híbrido 04 x 29 com o maior sistema radicular. A linhagem L04 foi a que apresentou o menor comprimento de raiz em relação aos demais genótipos utilizados.

Quadro 8. Análise de variância referente ao comprimento de raiz de três híbridos de milho (ensaio 1)

FV	GL	SQ	QM	F
Bloco	14	133987,8468	9570,5605	1,1519
Híbrido	2	442858,6057	221429,3028	26,6512
Resíduo	28	232635,9863	8308,4281	
Total	44	809482,4388		
CV = 25,17%				

Quadro 9. Análise de variância referente ao comprimento de raiz de quatro linhagens e quatro híbridos de milho (ensaio 2)

FV	GL	SQ	QM	F
Bloco	19	260352,9722	13702,7880	3,8212
Genótipo	7	1214211,0605	173458,7229	48,3718
Resíduo	133	476930,8987	3585,9466	
Total	159	1951494,9314		
CV = 28,37%				

4.3. Estudo da velocidade de absorção de fósforo

A velocidade ou taxa de absorção de P pelos diferentes híbridos e linhagens de milho foi determinada em função do decréscimo da concentração deste nutriente em solução devido a absorção pelas plantas submetidas a diferentes níveis de P.

Os dados obtidos no ensaio 1, com três híbridos de milho, estão apresentados nos quadros 10, 12 e 18 e a taxa de absorção foi expressa por metro de raiz, grama de raiz e por vaso.

Com relação à taxa de absorção por comprimento de raiz os resultados do ensaio 1 indicaram que o híbrido simples 1227 teve a mais alta taxa de absorção de P em qualquer dos tratamentos (Quadro 10).

Observa-se também que à medida que aumentou a concentração do elemento na solução (2 para 8 ppm) houve um acréscimo na absorção para todos os híbridos, indicando que há uma resposta crescente e quase linear na velocidade de absorção em função do nível do elemento na solução, estatisticamente diferente entre genótipos, ao nível de 5% de probabilidade (F 0,05 e Duncan 0,05, Quadros 10 e 11).

A elevada velocidade de absorção de P (expressa por unidade de comprimento de raiz) do híbrido 1227 em relação aos demais (melhor visualizada na Figura 1), talvez possa ser explicada como uma compensação da planta pelo seu reduzido sistema radicular.

Quadro 10. Velocidades de absorção determinadas para três híbridos de milho, em solução nutritiva com três níveis de fósforo (plantas com 29 dias de idade, médias de 5 repetições)

Genótipos	Níveis de fósforo (ppm)			Média (1)
	2	4	8	
———— μmol/P/h/m raiz x 10 ³ ————				
HD 7974	125	164	246	178 B
HS 1227	171	215	377	254 A
HS 7777	121	178	295	198 B
Médias (1)	139 C	185 B	306 A	

(¹) Médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan (0,05).

Quadro 11. Análise de variância referente à velocidade de absorção de P por três híbridos de milho (ensaio 1) expressa em $\mu\text{mol/h/m}$ de raiz

EV	GL	SQ	QM	F
Bloco	4	0,0167	0,0042	2,5856
Híbrido	2	0,0468	0,0234	14,5294
Nível	2	0,2225	0,1112	69,0270
Híbrido x nível	4	0,0119	0,0030	1,8514
Resíduo	32	0,0516	0,0016	
Total	44	0,3495		
CV = 19,11%

Figura 1. Velocidades de absorção obtidas para três híbridos de milho, em solução nutritiva com três níveis de P (plantas com 29 dias de idade, médias de 4 repetições).

Os dados do ensaio 2 mostraram dois tipos distintos de comportamento: as linhagens apresentaram um máximo de absorção a 4 ppm de P e um decréscimo a 8 ppm exceto para as linhagens L29 e L42 (Quadro 13 e Figura 2). No caso dos híbridos observou-se que entre 4 e 8 ppm de P houve pequeno acréscimo ou quase estabilização na taxa de absorção.

Isto mostra que o nível de 4 ppm de P seria o mais apropriado para a máxima velocidade de absorção das linhagens. Ao nível de 8 ppm de P esta velocidade manteve-se quase que inalterada para os híbridos.

Embora não houvessem diferenças estatisticamente significativas entre as médias particularmente a 4 e 8 ppm (Quadro 13 e 14), observou-se que a linhagem L40 teve a mais alta taxa de absorção a 4 ppm e o híbrido AG 401 a 8 ppm.

Observando-se os dados de taxa de absorção de P expressa por grama de raiz seca, os resultados do ensaio 1 mostraram a mesma tendência, com respostas quase lineares aos níveis de P na solução. (Quadro 12 e 15 e Figura 3). Entretanto a diferenciação entre os três híbridos, ficou prejudicada com este tipo de parâmetro.

No quadro 16 tem-se taxa de absorção de P por grama de raiz referente ao ensaio 2. Do mesmo modo que os resultados por comprimento de raiz (Quadro 13) há um decréscimo na taxa de absorção de P ao nível de 8 ppm para a li-

Quadro 13. Velocidade de absorção determinadas para quatro linhagens e quatro híbridos de milho em solução nutritiva com três níveis de P (Plantas com 21 dias de idade, médias de 4 repetições)

Genótipos	Níveis de fósforo (ppm)			Média
	2	4	8	
$\mu\text{mol P/h/m raiz} \times 10^3$				
<u>Linhagens</u>				
L04	121	176	156	151
L42	122	205	256	194
L40	147	280	187	205
L29	150	211	237	199
<u>Híbridos</u>				
AG 401	145	234	246	208
29 x 42	88	209	214	170
40 x 04	108	193	218	173
04 x 29	93	178	211	161
Média (¹)	122 B	211 A	216 A	

(¹) Médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste Duncan (0,05).

Figura 2. Velocidade de absorção obtidas para quatro linhagens e quatro híbridos de milho, em solução nutritiva com três níveis de P (plantas com 21 dias de idade, 4 repetições).

Quadro 14. Análise de variância referente a velocidade de absorção de P por quatro linhagens e quatro híbridos de milho (ensaio 2) expressa em $\mu\text{mol P/h/m}$ de raiz

FV	GL	SQ	QM	F
Bloco	3	0,146071	0,048690	8,5541 **
P	2	0,178590	0,089295	15,6876 **
Genótipo	7	0,039175	0,005596	0,9832 **
P x gen	14	0,038699	0,002764	0,4856 ns
Resíduo	69	0,392752	0,005692	
Total	95	0,795288		
CV = 41,29%				

Quadro 12. Velocidade de absorção determinadas para três híbridos de milho, em solução nutritiva com três níveis de P (plantas com 29 dias de idade, médias de 5 repetições)

Genótipos	Níveis de fósforo (ppm)			Média
	2	4	8	
_____umol P/h/g raiz_____				
HD 7974	25 b	34 b	55 b	38 B
HS 1227	52 a	68 a	126 a	82 A
HS 7777	22 b	38 b	56 b	39 B
Médias	33 C	47 B	79 A	

Valores seguidos de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste Duncan (0,05).

Figura 3. Velocidade de absorção obtidas para três híbridos de milho, em solução nutritiva com três níveis de P (plantas com 29 dias de idade, mé dias de 4 repetições).

Quadro 15. Análise de variância referente à velocidade de absorção de P por três híbridos de milho (ensaio 1) expressa em $\mu\text{mol P/h/g}$ de raiz

FV	GL	SQ	QM	F
Bloco	4	283,6743	70,9186	0,7879
Híbrido	2	19348,5902	9674,2951	107,4790
Nível	2	16412,6769	8206,3385	91,1703
Híbrido x nível	4	3684,3793	921,0948	10,2331
Resíduo	32	2880,3547	90,0111	.
Total	44	42609,6754		
CV = 17,90%				

Quadro 16. Velocidade de absorção determinada para quatro linhagens e quatro híbridos de milho em solução nutritiva com três níveis de P (plantas com 21 dias de idade, médias de 4 repetições)

Genótipos	Níveis de fósforo (ppm)			Média (¹)
	2	4	8	
<hr/>				
µmol P/h/g raiz				
<u>Linhagens</u>				
L04	23	27	33	31 a
L42	17	28	35	27 abc
L40	16	32	30	26 abc
L29	17	25	30	24 bc
 <u>Híbridos</u>				
AG 401	19	30	37	29 ab
29 x 42	13	22	27	21 c
40 x 04	15	24	24	21 c
04 x 29	16	22	24	21 c
Média (¹)	17 B	28 A	30 A	

(¹) Médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste Duncan (0,05)

Figura 4. Velocidade de absorção obtidas para quatro linhagens e quatro híbridos de milho, em solução nutritiva com três níveis de P (plantas com 21 dias de idade, médias de 4 repetições).

Quadro 17. Análise de variância referente a velocidade de absorção de P por quatro linhagens e quatro híbridos de milho (ensaio 2) expressa em $\mu\text{mol/h/g}$ raiz

FV	GL	SQ	QM	F
Bloco	3	3435,1257	1145,0414	19,2655 **
P	2	3055,4312	1527,7156	25,7040 **
Genótipo	7	1300,6804	185,8115	3,1263 **
P x gen	14	422,6196	30,1871	0,5079 ns
Resíduo	69	4101,0087	59,4349	
Total	95	12314,8656		
CV = 31,07%				

nhagem L40 e L29 enquanto para os híbridos o acréscimo de absorção entre 4 e 8 ppm foi ligeiramente superior (Figura, 4).

As análises estatísticas (teste F) para esta variável não se mostrou significativa ao nível de 5% de probabilidade quando se comparou os ensaios isoladamente (Quadros 16 e 17).

A absorção global de P pelos diferentes híbridos e linhagens tanto do ensaio 1 como ensaio 2 são apresentados nos quadros 18 e 19 assim como nas figuras 5 e 6.

Observa-se para o ensaio 1 (Quadro 18) que o híbrido duplo 7974 teve maior taxa de retirada de P na solução do que os HS; isto provavelmente se deve ao seu sistema radicular mais desenvolvido (Quadro 6). Quando se comparou híbridos e linhagens (Quadro 19) tivemos que os híbridos apresentaram maior taxa de retirada de P na solução principalmente a altas concentrações isto também está aliado ao maior desenvolvimento do sistema radicular desses híbridos (Quadro 7).

A análise estatística dos dois ensaios independentemente com relação a unidade global (vaso) é mostrado nos quadros 20 e 21.

4.4. Teor de P na planta

Nos quadros 22 a 24 são mostrados os teores de P nas folhas, caule + bainhas e raízes das plantas do ensaio 1. Embora as plantas tenham ficado poucas horas em

Quadro 18. Velocidade de absorção determinadas para três híbridos de milho, em solução nutritiva com três níveis de P (plantas com 29 dias de idade, médias de 5 repetições)

Genótipos	Níveis de fósforo (ppm)			Médias (¹)
	2	4	8	
	———— mmol P/h/vaso ————			
HD 7974	0,0512	0,0751	0,1167	0,7770 a
HS 1227	0,0381	0,0527	0,0973	0,6270 b
HS 7777	0,0421	0,0570	0,0970	0,6538 b
Médias (¹)	0,0405 c	0,0616 b	0,1037 a	

(¹) Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste Duncan (0,05).

Figura 5. Velocidade de absorção obtidas para três híbridos de milho em solução nutritiva com três níveis de P plantas com 29 dias de idade. (Médias de 5 repetições).

Quadro 20. Análise de variância referente à velocidade de absorção de P por três híbridos de milho (ensaio 1) expressa em $\mu\text{mol P/h/vaso}$

FV	GL	SQ	QM	F
Bloco	4	0,0004	0,0001	1,2085
Híbrido	2	0,0019	0,0010	11,2694
Nível	2	0,0311	0,0155	182,4130
Híbrido x nível	4	0,0008	0,0002	2,3919
Resíduo	32	0,0027	0,0001	.
Total	44	0,0369		
CV = 13,45%				

Quadro 19. Velocidade de absorção determinada para quatro linhagens e quatro híbridos de milho em solução nutritiva com três níveis de P (plantas com 21 dias de idade, média de 4 repetições)

Genótipos	Níveis de fósforo (ppm)			Média
	2	4	8	
———— mmol/P/h/vaso ————				
<u>Linhagens</u>				
L04	0,0122 d	0,0154 c	0,0107 d	0,0127 D
L42	0,0143 d	0,0305 d	0,0290 c	0,0246 BC
L40	0,0160 cd	0,0310 d	0,0224 cd	0,0232 C
L29	0,0227 bcd	0,0370 ab	0,0320 c	0,0306 B
<u>Híbridos</u>				
AG 401	0,0348 ab	0,0480 a	0,0559 ab	0,0462 A
29 x 42	0,0282 abc	0,0436 ab	0,0654 a	0,0458 A
40 x 04	0,0276 abc	0,0421 ab	0,0500 b	0,0399 A
04 x 29	0,0366 a	0,0454 a	0,0543 ab	0,0454 A
Média	0,0241 B	0,0366 A	0,0400 A	

(¹) Os valores seguidos de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste Duncan (0,05).

Figura 6. Velocidade de absorção obtidas para quatro linhagens e quatro híbridos de milho, em solução nutritiva com três níveis de P plantas com 21 dias de idade, (Médias de 4 repetições).

Quadro 21. Análise de variância referente a velocidade de absorção de P por quatro linhagens e quatro híbridos de milho (ensaio 2) expressa em $\mu\text{mol P/h/vaso}$

FV	GL	SQ	SM	F
Bloco	3	0,0022	0,0007	10,0755
P	2	0,0045	0,0022	30,5566
Genótipo	7	0,0135	0,0019	26,1447
P + gen	14	0,0024	0,0002	2,3560
Resíduo	69	0,0051	0,0001	
Total	95	0,0277		
CV = 25,56%				

Quadro 22. Teor de P determinado para três híbridos de milho em solução nutritiva com três níveis de P (plantas com 29 dias de idade, médias de 5 repetições)

Genótipos	Níveis de P (mg/litro)			Médias (1)
	2	4	8	
	———— % P (folhas) ————			
HD 7974	0,370	0,420	0,462	0,417 B
HS 1227	0,590	0,579	0,582	0,584 A
HS 7777	0,368	0,354	0,370	0,371 C
Médias	0,443	0,451	0,478	

(1) Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste Duncan (0,05).

Quadro 23. Teor de P determinado para três híbridos de milho em solução nutritiva com três níveis de P (plantas com 29 dias de idade, médias de 5 repetições)

Genótipos	Níveis de P (mg/litro)			Médias ⁽¹⁾
	2	4	8	
— % P (caules + bainha) —				
HD 7974	0,321	0,345	0,331	0,333 B
HS 1227	0,542	0,532	0,555	0,543 A
HS 7777	0,331	0,342	0,367	0,347 B
Médias	0,399	0,406	0,418	

(¹) Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste Duncan (0,05).

Quadro 24. Teor de P determinado para três híbridos de milho em solução nutritiva com três níveis de P (plantas com 29 dias de idade, médias de 5 repetições)

Genótipos	Níveis de P (mg/litro)			Médias (1)
	2	4	8	
	———— % P (raízes) ————			
HD 7974	0,190 c (b)	0,242 b (b)	0,290 a (ab)	0,241 B
HS 1227	0,297 a (a)	0,302 a (a)	0,308 a (a)	0,302 A
HS 7777	0,202 b (b)	0,222 b (b)	0,266 a (b)	0,230 B
Médias (1)	0,230 C	0,256 B	0,288 A	

(1) Médias seguidas de letras iguais não diferem pelo teste Duncan (0,05); letras minúsculas se referem a comparação entre níveis, para cada híbrido e dentro do parêntesis, à comparação entre híbridos dentro de cada nível; letras minúsculas comparam médias de tratamentos.

Quadro 25. Análise de variância do teor de fósforo nas folhas, caules + bainhas e raízes de 3 híbridos de milho (ensaio 1)

FV	GL	SQ	QM	F
<u>Folhas</u>				
Bloco	4	0,0056	0,0014	0,6943 ns
Híbrido	2	0,3766	0,1883	92,9308 **
Nível	2	0,0102	0,0051	2,5063 ns
Híbrido x nível	4	0,0149	0,0037	1,8411
Resíduo	32	0,0648	0,0020	
Total	44	0,4721		
CV = 9,84%				
<u>Caules + bainhas</u>				
Bloco	4	0,0304	0,0076	3,0262 *
Híbrido	2	0,4151	0,2075	82,5728 **
Nível	2	0,0028	0,0014	0,5526 ns
Híbrido x nível	4	0,0031	0,0008	0,3128 ns
Resíduo	32	0,0804	0,0025	
Total	44	0,5318		
CV = 12,30%				
<u>Raízes</u>				
Bloco	4	0,0038	0,0010	1,1392 ns
Híbrido	2	0,0455	0,0227	26,9683 **
Nível	2	0,0256	0,0128	15,1533 **
Híbrido x nível	4	0,0106	0,0026	3,1413 *
Resíduo	32	0,0270	0,0008	
Total	44	0,1124		
CV = 11,27%				

contato com níveis crescente de P, o HD 7974 mostrou concentrações crescentes e o HS 1227 apresentou as maiores concentrações nas folhas (Quadro 22). O HS 7777 foi o que mostrou as menores concentrações de P nas folhas, em relação aos outros híbridos, como tendência de aumento no nível mais alto. Os teores de P nos caules + bainhas e raízes seguiram a mesma tendência (Quadros 23 e 24).

A análise de variância dessas variáveis está apresentada no quadro 25.

No ensaio 2, os teores de P foram maiores nas linhagens do que nos híbridos, para todas as partes da planta (Quadros 26, 27 e 28).

As linhagens apresentaram teores de P mais elevados do que os híbridos, embora os valores de matéria seca (Quadro 3) tenha sido mais baixos. Isto talvez mostre que o teor de P expresso em porcentagem não indica que esses materiais absorvam maior quantidade do elemento. Uma análise mais ampla é a do conteúdo de P.

No quadro 29 está a análise de variância pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade.

4.5 Quantidade de P absorvido

Nos itens anteriores foram descritos os teores de P, nas várias partes da planta, e a cinética de sua absorção numa tentativa de correlacionar esses parâmetros com a eficiência de absorção de P.

Quadro 26. Teor de P determinado para quatro linhagens e quatro híbridos de milho em solução nutritiva com três níveis de P (plantas com 21 dias de idade, média de 4 repetições)

Genótipos	Níveis de P (mg/litro)			Médias (1)
	2	4	8	
———— % P (folhas) —————				
<u>Linhagens</u>				
L04	0,556	0,587	0,675	0,606 A
L42	0,450	0,416	0,452	0,440 B
L40	0,407	0,435	0,495	0,446 B
L29	0,302	0,332	0,361	0,331 C
<u>Híbridos</u>				
AG 401	0,275	0,395	0,416	0,362 C
29 x 42	0,261	0,354	0,347	0,321 C
40 x 04	0,322	0,355	0,406	0,361 C
04 x 29	0,313	0,361	0,402	0,359 C
Médias (1)	0,361 C	0,404 B	0,444 A	

(¹) Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan (0,05)

Quadro 27. Teor de P determinado para quatro linhagens e quatro híbridos de milho em solução nutritiva com três níveis de P (plantas com 21 dias de idade, médias de 4 repetições)

Genótipos	Níveis de P (mg/litro)			Médias (1)
	2	4	8	
———— % P caules + bainha ————				
<u>Linhagens</u>				
L04	0,662	0,726	0,890	0,759 A
L42	0,410	0,392	0,412	0,404 BC
L40	0,458	0,427	0,495	0,460 B
L29	0,323	0,325	0,299	0,315 CD
<u>Híbridos</u>				
AG 401	0,253	0,293	0,293	0,280 D
29 x 42	0,241	0,284	0,263	0,262 D
40 x 04	0,243	0,288	0,333	0,288 D
04 x 29	0,264	0,309	0,287	0,286 D

(¹) Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste Duncan (0,05).

Quadro 28. Teor de P determinado para quatro linhagens e quatro híbridos de milho em solução nutritiva com três níveis de P (plantas com 21 dias de idade, médias 4 repetições)

Genótipos	Níveis de P (mg/litro)			Médias (1)
	2	4	8	
% P (raízes)				
<u>Linhagens</u>				
L04	0,279	0,279	0,308	0,288 A
L42	0,289	0,319	0,283	0,297 A
L40	0,252	0,297	0,310	0,286 A
L29	0,212	0,291	0,279	0,261 AB
<u>Híbridos</u>				
AG 401	0,179	0,255	0,240	0,224 B
29 x 42	0,168	0,219	0,241	0,207 B
40 x 04	0,190	0,232	0,256	0,226 B
04 x 29	0,168	0,221	0,252	0,214 B
Médias (1)	0,216 B	0,264 A	0,271 A	

(1) Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste Duncan (0,05).

Quadro 29. Análise de variância referente ao teor de fósforo em folhas, caule + bainhas e raízes de quatro linhagens e quatro híbridos de milho (ensaio 2)

FV	GL	SQ	QM	F
<u>Folhas</u>				
Bloco	3	0,3522	0,1174	30,7287
Genótipo	7	0,7394	0,1056	27,6504
Nível P	2	0,1117	0,0559	14,6218
Gen + nível	14	0,0429	0,0031	0,8021
Resíduo	69	0,2636	0,0038	
Total	95	1,5098		
CV = 15,34%				
<u>Caules + bainhas</u>				
Bloco	3	0,5765	0,1922	13,2974
Genótipo	7	2,3511	0,3359	23,2424
Nível P	2	0,0436	0,0218	1,5101
Gen + nível	14	0,1067	0,0076	0,5272
Resíduo	69	0,9971	0,0145	
Total	95	4,0749		
CV = 31,49%				
<u>Raízes</u>				
Bloco	3	0,1958	0,0653	18,2997
Genótipo	7	0,1133	0,0162	4,5356
Nível P	2	0,0578	0,0289	8,0990
Gen + nível	14	0,0205	0,0015	0,4115
Resíduo	69	0,2461	0,0036	
Total	95	0,6335		
CV = 23,85%				

O teor de P indica a porcentagem deste elemento existente na planta, mas não expressa a quantidade acumulada pelos diferentes genótipos nas diferentes partes da planta. O conteúdo de P auxilia na avaliação da quantidade total de P absorvida pela planta.

O conteúdo de P na planta, pode ser determinado pela relação

$$CP(mg) = MS(g) \times \text{conc. P}(\%) \times 10$$

sendo:

CP = conteúdo de P em mg

MS = matéria seca do vegetal (g)

Conc. P = concentração (%) de P nas diferentes partes da planta

Os quadros 30 a 33 e figura 7 apresentam o acúmulo de P para o ensaio 1. Nestes se observa que o HD 7974 apresenta um acúmulo maior que os outros dois híbridos simples, e o HD 7777 acumulou mais P do que o HS 1227, sendo estas diferenças estatisticamente significativas como apresentadas no quadro 34.

Nos quadros 35 a 38 e figuras 8 a 11 mostraram que o acúmulo de P foi maior nos híbridos em relação as linhagens. A linhagem L4 foi a que apresentou um menor acúmulo de P em relação a todos os outros genótipos, contudo na análise do conteúdo de P no caule não houve diferença entre híbridos e linhagens. Dos híbridos o que apresentou acúmu-

Quadro 30. Acúmulo de P na folha de três híbridos de milho aos 29 dias de idade colocadas em solução nutritiva com três níveis de P durante 3 horas (médias de 5 repetições)

Genótipo	Acumulo de P						$\bar{M}$ (1)
	Níveis de P (mg/l)						
	2		4		8		
	mg/vaso						
HD 7974	8,186	c	9,5135	b	10,4438	a	9,381 A
		(a)		(a)		(a)	
HS 1227	7,195	a	7,5706	a	7,4834	a	7,416 B
		(b)		(b)		(b)	
HS 7777	7,220	a	6,9712	a	7,6417	a	7,278 B
		(b)		(b)		(b)	
$\bar{M}$ (1)	7,534	C	8,018	B	8,523	A	

(1) Médias com letras iguais não diferem pelo teste Duncan (0,05); letras minúsculas usada na comparação de materiais e as letras minúsculas entre parênteses usada na comparação de tratamentos.

Quadro 31. Acúmulo de P no caule de três híbridos de milho aos 29 dias de idade colocadas em solução nutritiva com três níveis de P durante 3 horas (médias de 5 repetições)

Genótipos	Acúmulo de P			$\bar{M}$ (1)
	Níveis de P (mg/l)			
	2	4	8	
	mg/vaso			
HD 7974	3,221	3,561	3,582	3,455 A
HS 1227	2,621	2,549	2,809	2,660 C
HS 7777	3,169	3,055	3,387	3,204 B
Médias	3,004	3,055	3,260	

(1) Médias com letras iguais não diferem pelo teste Duncan (0,05).

Quadro 32. Acúmulo de P na raiz de três híbridos de milho aos 29 dias de idade colocadas em solução nutritiva com três níveis de P durante 3 horas (médias de 5 repetições)

Genótipos	Acúmulo de P			$\bar{M}$ (1)
	Níveis de P (mg/l)			
	2	4	8	
	mg/vaso			
HD 7974	3,934	5,376	6,300	5,203 A
HS 1227	2,184	2,382	2,357	2,308 C
HS 7777	3,851	4,091	4,758	4,233 B
Médias (1)	3,323 B	3,949 AB	4,475 A	

(1) Médias com letras iguais não diferem pelo teste de Duncan (0,05).

Quadro 33. Acúmulo de P total por três híbridos de milho aos 29 dias de idade colocadas em solução nutritiva com três níveis de P durante 3 horas (médias de 5 repetições)

Genótipos	Acúmulo de P						$\bar{M}$ (1)
	Níveis de P (mg/l)						
	2		4		8		
	mg/vaso						
HD 7974	15,342	b (a)	18,450	a (a)	20,326	a (a)	18,038 A
HS 1227	12,000	a (b)	12,501	a (b)	12,649	a (c)	12,383 C
HS 7777	14,240	a (a)	14,117	b (b)	15,787	a (b)	14,714 B
Médias (1)	13,860	C	15,023	B	16,254	A	

(1) Médias seguidas de letras maiúsculas iguais não diferem pelo teste Duncan (0,05); letras minúsculas usadas para comparação de médias e minúsculas entre parenteses na comparação de tratamento.

Figura 7. Variação no acúmulo de P (folhas, caule, raízes e total) obtida para três híbridos de milho aos 29 dias de idade colocadas em solução nutritiva com três níveis de P. (Médias de 5 repetições).

Quadro 34. Análise de variância referente ao acúmulo de P da folha, caule, raiz e total de três híbridos de milho (ensaio 1)

FV	GL	SQ	QM	F
<u>Acúmulo de P na folha</u>				
Bloco	4	0,7614	0,1904	0,4805
Material	2	41,5292	20,7646	52,4162
Tratamento	2	7,3443	3,6721	9,2696
Mat + trat	4	7,0661	1,7665	4,4593
Resíduo	32	12,6767	0,3961	
Total	44	69,3778		
CV = 7,84%				
<u>Acumulo de P no caule</u>				
Bloco	4	0,5898	0,1474	1,6249
Material	2	4,9549	2,4775	27,3024
Tratamento	2	0,5492	0,2746	3,0259
Mat + trat	4	0,3259	0,0815	0,8980
Resíduo	32	2,9037	0,0907	
Total	44	9,3235		
CV = 9,70%				
<u>Acúmulo de P na raiz</u>				
Bloco	4	1,9527	0,4882	0,5948
Material	2	65,1640	32,5820	39,6968
Tratamento	2	9,9178	4,9589	6,0418
Mat + trat	4	6,6187	1,6547	2,0160
Resíduo	32	26,2647	0,8208	
Total	44	109,9179		
CV = 23,14%				
<u>Acúmulo de P total</u>				
Bloco	2	1,8304	0,4576	0,2078
Material	2	242,3584	121,1792	55,0289
Tratamento	2	42,9749	21,4875	9,7577
Mat + trat	4	30,2065	7,5516	3,4293
Resíduo	32	70,4672	2,2021	
Total	44	387,8375		
CV = 9,86%				

Quadro 35. Acúmulo de P na folha de quatro linhagens e quatro híbridos de milho aos 21 dias de idade colocadas em solução nutritiva com três níveis de P durante 4 horas e 30 minutos (médias de 5 repetições)

Genótipos	Acúmulo de P						$\bar{M}$ (1)
	Níveis de P (mg/l)						
	2		4		8		
	mg/vaso						
	<u>Linhagens</u>						
L4	6,317	a (a)	6,027	a (d)	5,552	a (c)	5,965 E
L42	7,015	a (a)	7,980	a (bc)	7,225	a (b)	7,406 D
L40	6,572	a (a)	7,581	a (c)	7,756	a (b)	7,303 D
L29	6,406	b (a)	8,457	a (abc)	8,200	a (b)	7,688 CD
	<u>Híbridos</u>						
AG 401	7,452	b (a)	9,357	a (ab)	10,297	a (a)	9,035 AB
29 x 42	7,019	b (a)	8,742	a (abc)	9,932	a (a)	8,564 AB
40 x 42	7,254	b (a)	8,200	b (abc)	9,761	a (a)	8,405 BC
4 x 29	7,807	b (a)	9,696	a (a)	10,615	a (a)	9,373 A
Médias (1)	6,980	B	8,256	A	8,667	A	

(1) Médias seguidas da mesma letra não diferem pelo teste Duncan (0,05); letras minúsculas usada na comparação dos materiais; letras minúsculas entre parênteses usada na comparação dos tratamentos.

Figura 8. Variação no acúmulo de P (folha) obtida para quatro linhagens e quatro híbridos de milho aos 21 dias de idade colocadas em solução nutritiva com três níveis de P (Médias de 5 repetições).

Quadro 36. Acúmulo de P no caule de quatro linhagens e quatro híbridos de milho aos 21 dias de idade colocadas em solução nutritiva com três níveis de P durante 4 horas e 30 minutos (médias de 5 repetições)

Genótipo	Acúmulo de P			$\bar{M}$
	Níveis de P (mg/l)			
	2	4	8	
	mg/vaso			
	<u>Linhagens</u>			
L4	3,6141	3,3253	3,4019	3,4471
L42	3,0470	3,6111	3,0889	3,2490
L40	4,1158	3,8040	3,6000	3,8399
L29	3,6404	3,9314	3,1039	3,5586
	<u>Híbridos</u>			
AG 401	3,7041	3,5822	3,4583	3,5816
29 x 42	3,2763	3,6018	3,2631	3,3804
40 x 42	3,1327	4,0183	4,2671	3,8060
4 x 29	3,3781	4,0413	3,5094	3,6429
Médias	3,4886	3,7394	3,4616

Figura 9. Variação no acúmulo de P (caule) obtida para quatro linhagens e quatro híbridos de milho aos 21 dias de idade colocadas em solução nutritiva com três níveis de P (Médias de 5 repetições).

Quadro 37. Acúmulo de P na raiz de quatro linhagens e quatro híbridos de milho aos 21 dias de idade colocadas em solução nutritiva com três níveis de P durante 4 horas e 30 minutos (médias de 5 repetições)

Genótipo	Acumulo de P Níveis de P (mg/l)			Médias (1)
	2	4	8	
	mg/vaso			
<u>Linhagens</u>				
L04	1,596	1,299	1,193	1,363 E
L42	2,411	3,291	2,926	2,876 CD
L40	2,477	2,836	2,529	2,614 D
L29	2,781	4,070	3,608	3,487 CD
<u>Híbridos</u>				
AG 401	3,170	4,086	3,878	3,711 BC
29 x 42	3,832	4,193	6,179	4,735 A
40 x 42	3,436	4,353	5,585	4,458 AB
4 x 29	3,388	3,973	6,118	4,513 AB
Médias (1)	2,886 B	3,513 A	4,010 A	

(¹) Médias seguidas da mesma letra não diferem pelo teste Duncan (0,05).

Figura 10. Variação no acúmulo de P (raízes) obtida para quatro linhagens e quatro híbridos de milho aos 21 dias de idade colocados em solução nutritiva com três níveis de P (Médias de 5 repetições).

Quadro 38. Acúmulo total de P em quatro linhagens e quatro híbridos de milho aos 21 dias de idade colocadas em solução nutritiva com três níveis de P durante 4 horas e 30 minutos (médias de 5 repetições)

Genótipos	Acúmulo de P						$\bar{M}$ (1)
	Níveis de P (mg/l)						
	2		4		8		
	mg/vaso						
	<u>Linhagens</u>						
L4	11,526	a (a)	10,651	a (c)	10,148	a (c)	10,775 C
L42	12,472	a (a)	14,882	a (ab)	13,239	a (b)	13,531 B
L40	13,165	a (a)	14,221	a (b)	13,885	a (b)	13,757 B
L29	12,826	b (a)	16,459	a (ab)	14,912	ab (b)	14,733B
	<u>Híbridos</u>						
AG 401	14,324	b (a)	17,025	a (ab)	17,634	ab (a)	16,328 A
29 x 42	14,128	b (a)	16,537	b (ab)	19,374	a (a)	16,679 A
40 x 42	13,823	c (a)	16,571	b (ab)	19,613	a (a)	16,669 A
4 x 29	14,572	b (a)	17,710	a (a)	20,302	a (a)	17,528 A
Médias (1)	13,355	B	15,507	A	16,138	A	

(1) Médias seguidas da mesma letra não diferem pelo teste Duncan (0,05); letras minúsculas usada na comparação de materiais e letras minúsculas seguidas de parênteses usada nas comparações de tratamentos.

Figura 11. Variação no acúmulo de P (total) obtida para quatro linhagens e quatro híbridos de milho aos 21 dias de idade, colocadas em solução nutritiva com três níveis de P (Médias de 5 repetições).

Quadro 39. Análise de variância referente ao conteúdo de P da folha, caule, raiz e total de três híbridos de milho (ensaio 2)

FV	GL	SQ	QM	F
<u>Acúmulo de P na folha</u>				
Bloco	3	14,0958	4,6986	4,9309
Material	7	102,0700	14,5814	15,3023
Tratamento	2	49,5058	24,7529	25,9767
Mat + trat	14	30,1770	2,1555	2,2621
Resíduo	69	65,7494	0,9529	
Total	95	261,5981		
CV = 12,25%				
<u>Acúmulo de P no caule</u>				
Bloco	3	5,0955	1,6985	4,9927
Material	7	3,4546	0,4935	1,4507
Tratamento	2	1,5024	0,7512	2,2081
Mat + trat	14	5,6626	0,4045	1,1889
Resíduo	69	23,4735	0,3402	
Total	95	39,1885		
CV = 16,37%				
<u>Acúmulo de P na raiz</u>				
Bloco	3	64,0751	21,3584	18,0156
Material	7	110,9851	15,8550	13,3736
Tratamento	2	20,2816	10,1408	8,5537
Mat + trat	14	26,5861	1,8990	1,6018
Resíduo	69	81,8030	1,1856	
Total	95	303,7309		
CV = 31,38%				
<u>Acúmulo de P total</u>				
Bloco	3	159,0033	53,0011	14,4262
Material	7	424,6551	60,6650	16,5122
Tratamento	2	136,2993	68,1496	18,5494
Mat + trat	14	121,5383	8,6813	2,3629
Resíduo	69	253,5022	3,6739	
Total	95	1094,9982		
CV = 12,78%				

lo total de P mais elevado foi o resultante do cruzamento das linhagens 04 x 29 sem contudo ser estatisticamente diferente dos outros híbridos (Quadro 39).

4.6 Relação de eficiência na utilização do P

O acúmulo de P permite avaliar a quantidade absorvida pelos genótipos mas não indica como a planta utilizou esse nutriente para o seu crescimento. Para isso existem parâmetros que permitem avaliar a eficiência dos diferentes genótipos na utilização do P, levando em consideração a matéria seca produzida.

A relação de eficiência na utilização do P pode ser definida como:

$$RE = \frac{MST \text{ (g)}}{APT \text{ (mg)}}$$

sendo: RE = relação de eficiência na utilização do P

MST = matéria seca total do vegetal (g)

APT = acúmulo de P total (mg)

ou

$$\frac{\cancel{MST}}{\cancel{MST} \text{ Conc P}} = \frac{1}{\text{Conc P}}$$

sendo:

Conc P = concentração de P%

A eficiência de utilização do P relativas ao ensaio 1 calculada por esta forma é apresentada no quadro 40 e figura 12 onde o HS 1227 foi o que apresentou uma menor relação comparado aos outros híbridos. O HS 7777 e o HD 7974 apresentaram eficiência semelhante.

No quadro 41 é apresentado a análise estatística da relação de eficiência na utilização do P referente ao ensaio 1.

No quadro 42 e figura 13 é apresentado os valores da relação de eficiência de utilização do P para o ensaio 2. Observa-se que a linhagem L4 foi a que apresentou uma menor eficiência enquanto o híbrido 29 x 42 foi o que apresentou o maior valor de eficiência de utilização do P.

No quadro 43 é apresentado a análise estatística da relação de eficiência nos diferentes materiais analisados do ensaio 2.

4.7 Índice de eficiência na utilização do P

De acordo com SIDDQI & GLASS (1981) a forma mais adequada de se caracterizar a eficiência de utilização do P pelas plantas seria através da relação de produção de matéria seca pela concentração:

$$IE = \frac{MS}{Conc P}$$

Quadro 40. Relação de eficiência de utilização do P em três híbridos de milho aos 29 dias de idade colocadas em solução nutritiva com três níveis de P durante 3 horas (médias de 5 repetições)

Genótipos	Relação de eficiência						$\bar{M}$ (1)
	Níveis de P (mg/l)						
	2		4		8		
	gMS/mgP						
HD 7974	0,3495	a (a)	0,2994	b (a)	0,2708	b (a)	0,3065 A
HS 1227	0,2049	a (b)	0,2069	a (b)	0,2034	a (b)	0,2051 B
HS 7777	0,3412	a (a)	0,3357	a (a)	0,2962	b (a)	0,3244 A
Médias (1)	0,2985	A	0,2807	A	0,2568	B	

(1) Médias seguidas pela mesma letra não diferem pelo teste Duncan (0,05); letras minúsculas refere ao material e letras minúsculas entre parêntesis refere ao tratamento.

Figura 12. Relação de eficiência na utilização do P (total) obtida para três híbridos de milho aos 29 dias de idade colocadas em solução nutritiva com três níveis de P. (Médias de 5 repetições).

Quadro 41. Análise de variância referente a relação de eficiência na utilização do P total de três híbridos de milho (ensaio 1)

FV	GL	SQ	QM	F
Bloco	4	0,0029	0,0007	0,8909
Material	2	0,1242	0,0621	76,2341
Tratamento	2	0,0131	0,0066	8,0667
Mat + trat	4	0,0088	0,0022	2,6908
Resíduo	32	0,0261	0,0008	
Total	44	0,1751		
CV = 10,24%				

Quadro 42. Relação de eficiência de utilização do P em quatro linhagens e quatro híbridos de milho aos 29 dias de idade colocadas em solução nutritiva com três níveis de P durante 3 horas (médias de 4 repetições)

Genótipos	Relação de eficiência						$\bar{M}$ (1)
	Níveis de P (mg/l)						
	2		4		8		
<hr/> gMS/mgP <hr/>							
<u>Linhagens</u>							
L4	0,2100	a (d)	0,1989	a (c)	0,1681	a (d)	0,1923 D
L42	0,2775	a (c)	0,2745	a (b)	0,2615	a (bc)	0,2712 C
L40	0,2804	a (c)	0,2601	a (b)	0,2295	a (c)	0,2567 C
L29	0,3754	a (b)	0,3307	ab (a)	0,3126	b (ab)	0,3396 B
<u>Híbridos</u>							
AG 401	0,4301	a (ab)	0,3145	b (ab)	0,3059	b (ab)	0,3502 B
29 x 42	0,4700	a (a)	0,3541	b (a)	0,3496	b (a)	0,3912 A
40 x 42	0,4106	a (b)	0,3372	b (a)	0,2988	b (ab)	0,3489 B
4 x 29	0,4183	a (ab)	0,3494	b (a)	0,3091	b (ab)	0,3589 B
Médias (1)	0,3590	A	0,3024	B	0,2794	C	

(1) Médias seguidas da mesma letra não diferem pelo teste Duncan (0,05); letras minúsculas refere ao material e letras minúsculas seguidas de parênteses refere ao tratamento.

Figura 13. Relação de eficiência na utilização do P (total) obtida para quatro híbridos e quatro híbridos de milho aos 21 dias de idade, colocadas em solução nutritiva com três níveis de P. (Médias de 4 repetições).

Quadro 43. Análise de variância referente a relação de eficiência na utilização do P de quatro linhagens e 4 híbridos de milho (ensaio 2)

FV	GL	SQ	QM	F
Bloco	3	0,3070	0,1023	75,4323
Material	7	0,3731	0,0533	39,2913
Tratamento	2	0,1075	0,0538	39,6360
Mat + trat	14	0,0364	0,0026	1,9167
Resíduo	69	0,0936	0,0014	
Toatl	95	0,9175		
CV = 11,74%				

sendo:

IE = índice de eficiência na utilização do P

MS = Matéria seca do vegetal (g)

Conc. P = concentração de P%

ou

$$IE = MS \cdot \frac{1}{\text{Conc P}}$$

$$RE = \frac{1}{\text{Conc P}}$$

$$IE = RE \times MS$$

Este índice de eficiência de utilização do P é apresentado no quadro 44 e figura 14 referente aos híbridos do ensaio 1. Observa-se que o HS 1227 foi o menos eficiente como também o fora na relação anterior.

A análise estatística e teste F é apresentado no quadro 45 referente ao ensaio 1.

Nos quadros 46 e 47 e figura 15 são apresentados os resultados do índice de eficiência na utilização do P no ensaio 2. Observa-se que o comportamento dos híbridos foi superior ao das linhagens o que também ocorrera na relação de eficiência anterior.

O híbrido 29 x 42 foi o que apresentou um maior índice de eficiência na utilização do P enquanto que a linhagem L4 apresentou um menor índice de eficiência do P.

Quadro 44. Índice de eficiência na utilização do P total em três híbridos de milho aos 29 dias de idade colocados em solução nutritiva com três níveis de P durante 3 horas (média de 5 repetições)

Genótipos	Índice de eficiência			$\bar{M}$ (1)
	Níveis de P (mg/l)			
	2	4	8	
	$\frac{g^2}{mg\ P}$			
HD 7974	1,885	1,656	1,486	1,676 A
HS 1227	0,513	0,542	0,525	0,526 B
HS 7777	1,672	1,610	1,399	1,560 A
Médias	1,357	1,269	1,137	

(1) Médias seguidas pela mesma letra não diferem pelo teste de Duncan (0,05).

Figura 14. Índice de eficiência na utilização do P (total) obtidas para três híbridos de milho, aos 29 dias de idade, colocadas em solução nutritiva com três níveis de P. (Médias de 5 repetições).

Quadro 45. Análise de variância referente ao índice de eficiência na utilização do P total de três híbridos de milho (ensaio 1)

FV	GL	SQ	QM	F
Bloco	4	0,2539	0,0635	0,8123
Material	2	12,0150	6,0075	76,8811
Tratamento	2	0,3678	0,1839	2,3536
Mat + trat	4	0,2390	0,0598	0,7647
Resíduo	32	2,5005	0,0781	
Total	44	15,3763		
CV = 22,29%				

Quadro 46. Índice de eficiência na utilização do P total em quatro linhagens e quatro híbridos de milho aos 21 dias de idade colocados em solução nutritiva com três níveis de P durante horas (médias de 4 repetições)

Genótipos	Índice de eficiência			$\bar{M}$ (1)
	Níveis de P (mg/l)			
	2	4	8	
	$\frac{g^2}{mg P}$			
	<u>Linhagens</u>			
L4	0,573	0,488	0,345	0,469 E
L42	1,085	1,218	1,022	1,108 D
L40	1,074	1,039	0,782	0,965 D
L29	1,898	1,845	1,538	1,760 C
	<u>Híbridos</u>			
AG 401	2,712	1,808	1,758	2,093 BC
29 x 42	3,246	2,157	2,369	2,591 A
40 x 42	2,468	1,950	1,763	2,060 BC
4 x 29	2,658	2,210	1,994	2,287 AB
Médias (1)	1,964 A	1,589 B	1,446 B	

(¹) Médias seguidas pela mesma letra não diferem pelo teste de Duncan (0,05).

Figura 15. Índice de eficiência na utilização do uso de P (total) obtida para quatro híbridos de milho aos 21 dias de idade colocadas em solução nutritiva com três níveis de P. (Médias de 4 repetições).

No quadro 47 são apresentados os resultados da análise estatística e teste F do ensaio 2.

Quadro 47. Análise de variância referente ao índice de eficiência na utilização do P total de quatro linhagens e quatro híbridos de milho (ensaio 2)

FV	GL	SQ	QM	F
Bloco	3	44,6398	14,8799	94,0664
Material	7	45,8795	6,5542	41,4337
Tratamento	2	4,5868	2,2934	14,4981
Mat + trat	14	3,0712	0,2194	1,3868
Resíduo	69	10,9148	0,1582	
Total	95	109,0922		
CV = 23,87%				

4.8. Considerais gerais

Observou-se que a eficiência de uma planta não pode ser avaliada somente pelo sistema radicular ou tão somente pelos parâmetros de absorção, mas conjuntamente com o uso e transporte deste nutriente como o foi neste estudo, principalmente avaliando o conteúdo do elemento nas várias partes da planta e a eficiência de utilização deste para a produção de matéria seca.

Em solos com baixo nível de P, plantas com características de maiores pesos de matéria seca e comprimento de sistemas radiculares, alta relação de peso de matéria seca raízes/parte aérea, sem contudo possuir parte aérea reduzida, teriam melhores condições de desenvolvimento e adaptação.

As características estudadas parecem ser controladas geneticamente, sendo possível orientar programas de melhoramento genético para obtenção de plantas mais eficientes na absorção e utilização do fósforo.

5. CONCLUSÕES

Em função dos resultados obtidos concluimos que:

Plantas de milho mais eficientes na absorção e utilização do P possuem: a) maiores pesos de matéria seca e comprimento de sistemas radiculares; b) alta relação de peso seco de matéria seca raízes/parte aérea, sem contudo possuir parte aérea reduzida.

A linhagem L29 (eficiente) apresentou valores maiores na quantidade de P acumulado na planta inteira, maior índice de eficiência e maior velocidade de absorção (μ mol P/h/vaso) o mesmo ocorrendo com os híbridos derivados dela.

7. LITERATURA CITADA

- ANGHINONI, I. & BARBER, S.A. Phosphorus influx and growth characteristics of corn roots as influenced by phosphorus supply. *Agron. J.*, Madison, 72(4):685-688, 1980.
- ASHER, C.J. & LONERAGAN, J.F. Response of plant to phosphate concentration in solution culture: I. Growth and phosphorus content. *Soil Sci.*, Baltimore, 103:225-233, 1967.
- BAKER, D.E.; JARRELL, A.E.; MARSHALL, L. E. & THOMAS, W.I. Phosphorus uptake from soils by corn hybrids selected for high and low phosphorus accumulation. *Agron. J.*, Madison, 62:103-106, 1970.
- BAKER, D.E.; WOODING, F.J.; JOHNSON, M.W. Chemical element accumulation by populations of corn (*Zea mays* L.) accumulation of P. *Agron. J.*, Madison, 63(3):404-406, 1971.
- BARBER, S.A. Soil plant interactions in the phosphorus nutrition of plants. In: The role phosphorus in agriculture *Am. Soc. of Agron.*, Madison, p.591-615, 1980.
- BARBER, W.D.; THOMAS, W.I. & BAKER, D.E. Inheritance of relative, phosphorus accumulation in corn (*Zea mays* L.). *Crop Sci.*, Madison, 7(2):104-107, 1967.

- 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. *Aust. J. Agric. Res.* Melbourne, 26:145-156, 1975.
- BARROW, N.J. Phosphorus uptake and utilization by tree seedlings. *Austr. J. Botany*, Victória, 25:571-584, 1977.
- BATAGLIA, O.C.; FURLANI, A.M.C.; TEIXEIRA, J.P.F. FURLANI, P. R. e GALLO, J.R. Métodos de análise química de plantas. Campinas, Instituto Agrônômico, 1983. (B. Téc. 78)
- BLAIR, G.J. & CORDERO, S. The phosphorus efficiency of three annual legumes. *Plant and Soil*, The Hague, 50:387-398, 1978.
- BRADSHAW, A.D.; CHADWICK, M.J.; JOWETT, D.; LODGE, R.W. & SNAYDON, R.W. Experimental investigations into the mineral nutrition of several grass species. Part III. Phosphate level. *J. Ecol.*, London, 48:631-637, 1960.
- BROWN, J.C.; CLARK, R.B. & JONES, W.E. Efficient and inefficient use of phosphorus by sorghum. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, 41:747-750, 1977.
- BROWN, J.C. & JONES, W.E. Fitting plants nutritionally to soils. III. Sorghum. *Agron. J.*, Madison, 69:410-414, 1977.
- CATHCART, J.B. World phosphate reserves and resources. In: The role of P in agriculture. *Am. Soc. of Agron.*, Madison, p.1-18, 1980.
- CHAPIN, F.S. III. The mineral nutrition of wild plants. *Ann. Rev. of Ecol. Systematics*, Palo Alto, 11:233-260, 1980.

- CHAPIN, F.S. III; FOLLETT, J.M. & O'CONNOR, K.F. Growth, phosphate, absorption, and phosphorus chemical fraction in two *Chinocloa* species. *J. of Ecol.*, London, 70:305-321, 1982.
- CHRISTIE, E.K. & MOORBY, J. Physiological responses of semiarid grasses. I. The influence of phosphorus supply on growth and phosphorus absorption. *Austr. J. Agric. Res.*, Melbourne, 26:423-436, 1975.
- CLAASSEN, R. & BARBER, S.A. A method for characterizing the relation between nutrient concentration and flux into roots of intact plants. *Plant Physiol.*, Lancaster, 54:564-568, 1974.
- CLARK, R.B. & BROWN, J.C. Differential mineral uptake by maize inbreds. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, New York, 5:213-227, 1974.
- CLARK, R.B.; MARANVILLE, J.W. & GORZ, H.J. Phosphorus efficiency of sorghum grown with limited phosphorus. In: A.R. FERGUSON; R.L. BIELESKI and I.B. FERGUSON (eds.). *Proc. 8th Int. Colloq. Plant Anal. Fert. Prob.*, Auckland, New Zealand, p.93-94, 1978.
- CLARK, R.B.; MARANVILLE, J.W. & ROSS, W. M. Differential phosphorus efficiency in sorghum. In: *Proc. 10th Grain Sorghum. Res. Util. Conf.*, Wichita, KS., p.1-2, 1977.
- CLARKSON, D.T. Phosphorus supply and growth rate in species of *Agrotis* L. *J. of Ecol.*, London, 55:111-118, 1967.
- CLARKSON, D.T. & HANSON, J.B. The mineral nutrition of higher plants. *Ann. Rev. of Plant Physiol.*, Palo Alto, 31:239-298, 1980.

- CORDEIRO,D.S.; SARRUGE;J.S.; HAAG,H.P. e OLIVEIRA,G.D. Concentração de macronutrientes em função da idade, doses de fósforo aplicadas em partes de soja (*Glicyne max* L. Merrill). Anais da ESALQ, Piracicaba, 37:99-142, 1980.
- DREW,M.C.; SAKER;L.R. Nutrient supply and the growth of the seminal root system in barley. III. Compensatory increases in growth of lateral roots and in rates of phosphate uptake in response to a localized supply of phosphate. J. Exper. Botany, Oxford, 29:435-451, 1978.
- EPSTEIN,E. Nutrição mineral das plantas - Princípios e perspectivas. São Paulo, Universidade de São Paulo, Livros Técnicos e Científicos, e Rio de Janeiro, Editora S. A., 341p. 1975.
- EPSTEIN,E. & JEFFERIES,R.L. The genetic basis of selective ion transport in plants. Ann. rev. Plant Physiol., Palo Alto, 15:169-184, 1964.
- ESTEVES,T.R.G. Eficiência de absorção de nitrogênio por genótipos de milho (*Zea mays* L.). Campinas, UNICAMP, Instituto de Biologia, 147f. 1985. (Dissertação de Mestrado)
- FOX,R.H. Selection for phosphorus efficiency in corn. Comm. Soil Sci. and Plant Anal., New York, 9(1):13-37, 1978.
- FURLANI,A.M.C.; BATAGLIA,O.C.; FURLANI,P.R.; AZZINI,L.E. e CAMARGO,O.B.A. Avaliação de genótipos de arroz quanto a eficiência na utilização do fósforo em solução nutritiva e em solo. R. bras. Ci. Solo, Campinas, 7:291-303, 1983.

FURLANI, A.M.C.; BATAGLIA, O.C. e LIMA, M. Eficiência de linhagens de milho na absorção e utilização de fósforo em solução nutritiva. *Bragantia*, Campinas, 44(11):129-147, 1985.

FURLANI, A.M.C.; CLARK, R.B.; MARANVILLE, J.W. & ROSS, W.M. Sorghum genotype differences in phosphorus uptake rate and distribution in plant parts. *J. Plant Nutr.*, New York, 7(7):1113-1126, 1984.

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, W.H. & LOUGHMAN, B.C. (eds.) *Genetic aspects of plant mineral nutrition*. Martinus Nijhoff Publishers, Dordrecht/Boston/Lancaster, p.287-298, 1987.

FURLANI, A.M.C. e FURLANI, P.R. Composição e pH de soluções nutritivas para estudos fisiológicos e seleção de plantas em condições nutricionais adversas. Campinas, Instituto Agrônômico, 1988. (B. Téc., 121)

GABELMAN, W.H. Genetic potentials in nitrogen phosphorus, and potassium efficiencies. In: WRIGHT, M.J. (ed.), *Plant adaptation to mineral stress in problem soils*. Ithaca, Cornell Univ. Agric. Exp. Stn., p.205-212, 1976.

GERLOFF, G.C. Plant efficiencies in the use of nitrogen, phosphorus and potassium. In: WRIGHT, M.J. (Ed.), *Plant adaptation to mineral stress in problem soils*. Ithaca, Cornell Univ. Agric. Exp. Stn., p.161-173, 1976.

- GORSLINE, G.W.; TOMAS, W.I. & BAKER, D.E. Inheritance of P, K, Mg, Cu, B, Zn, Mn, Al and Fe concentrations by corn (*Zea mays* L.) leaves and grain. *Crop Sci.*, Madison, 4(2): 207-210, 1964.
- HAAG, H.P.; BALMER, E. e KURAMOTO, M. Absorção e distribuição do fósforo no algodoeiro em variedades resistentes e suscetíveis a "murcha do algodoeiro". *Anais da ESALQ, Piracicaba*, 37:177-187, 1971.
- HARRISON, A.F. & HELLIWELL, D.R. A bioassay for comparing phosphorus availability in soils. *J. Appl. Ecol.*, London, 16:497-505, 1979.
- JUNGK, A. & BARBER, S.A. Phosphate uptake rate of corn roots as related to the proportion of the roots exposed to phosphate. *Agron. J.*, Madison, 66:554-557, 1974.
- JUNGK, A. & BARBER, A.S. Plant age and phosphorus uptake characteristics of trimmed and intrimmed corn root systems. *Plant and Soil*, The Hague, 42:227-239, 1975.
- LINDGREN, D.T.; GABELMAN, W.H. & GERLOFF, G.C. Variability of phosphorus uptake and translocation in *Phaseolus vulgaris* (L.) under phosphorus stress. *J. Am. Soc. Hort. Sci.*, New York, 102(5):674-677, 1977.
- LONERAGAN, J.F. & ASHER, C.J. Response of plants to phosphate concentration in solution culture. II. Rate of phosphate absorption and its relation to growth. *Soil Sci.*, Baltimore, 103:311-318, 1967.
- MAKMUR, A.; GERLOFF, G.C. & GABELMAN, W.H. Physiology and inheritance of efficiency in potassium utilization in tomatoes grown under potassium stress. *J. Am. Soc. Hort. Sci.*, New York, 103:545-549, 1978.

- MARTINEZ, H.E.P. e HAAG, H.P. Níveis críticos de fósforo em *Brachiaria decumbens* (Stapf.) Prain, *Brachiaria humidicola* (Rendle) Schweickhardt, *Digitaria decumbens* Stent, Pal de Beavv, *Panicum maximum* Jacq. e *Pennisetum purpureum* Schum. Anais da ESALQ, Piracicaba, 37:913-977, 1980.
- MENGEL, D.B. & FARBER, S.A. Rate of nutrient uptake per unit of corn root under field conditions. Agron. J., Madison, 66:399-402, 1974.
- MURPHY, J. & RILLEY, J.P. A modified single solution for the determination of phosphate in natural waters. Anal. Chim. Acta., Amsterdam, 27:31, 1962.
- NASSERY, H. Phosphate absorption by plants from habitats phosphate status. II. Absorption and incorporation of phosphate by intact plants. New Phytol., Oxford, 69: 197-203, 1970.
- NIELSEN, N.E. & BARBER, S.A. Differences among genotypes of corn in the kinetics of P uptake. Agron. J., Madison, 70:695-698, 1978.
- NYE, P.H. The effect of nutrient intensity and buffering power of a soil, and the absorbing power, size and root hairs of a root, on nutrient absorption by diffusion. Plant and Soil, The Hague, 25:81-105, 1966.
- NYE, P.H. & FOSTER, W.N.M. A study of the mechanism of soil-phosphate uptake in relation to plant species. Plant and Soil, The Hague, 9:338-352, 1958.

OLSEN, S.R.; BOWMAN, R.A. & WATANABE, F.S. Behavior of phosphorus in the soil and interactions with other nutrients. *Phosphorus in Agriculture*, Madison, 31(70):31-46, 1977.

O'SULLIVAN, J.; GABELMAN, W.H. & GERLOFF, G.C. Variations in efficiency of nitrogen utilization in tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Mill.) grown under nitrogen stress. *J. Am. Soc. Hort. Sci.*, New York, 99:543-547, 1974.

POWELL, C.L. Effect of P fertilizer on root morphology and P uptake of *Carex coriacea*. *Plant and Soil*, The Hague, 41:661-667, 1974.

ROCHA, M. A indústria brasileira de fertilizantes. Programa atual e perspectivas. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO, 14ª, Cuiabá, 1980. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Cuiabá, 361p. 1980.

RORISON, I.H. The response to phosphorus of some ecologically distinct plant species. I. Growth rates and phosphorus absorption. *New Phytol.*, Oxford, 67:913-923, 1968.

ROSOLEM, C.A.; MALAVOLTA, E. e BRINHOLI, O. Estudo sobre a nutrição mineral do sorgo granífero: VIII Efeitos do fósforo. *Anais da ESALQ*, Piracicaba, 37:49-61, 1980.

ROSAND, P.C. e MARIANO, A.H. Absorção diferencial de fósforo em cultivares de cacau. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, 20(2):159-167, 1985.

SCHENK, M.K. & BARBER, S.A. Phosphate uptake by corn as affected by soil characteristics and root morphology. *Soil Sci Soc. Am. J.*, Madison, 43:880-883, 1979.

- SCHENK, M.K. & BARBER, S.A. Root characteristics of corn genotypes as related to P uptake. *Agron. J.*, Madison, 71:921-924, 1979a.
- SIDDIGI, M.Y. & GASS, A.D.M. Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. *J. Plant Nutr.*, New York, 4(3):289-302, 1981.
- STRYKER, R.B.; GILLIAM, J.W. & JACKSON, W.A. Non iniform phosphorus distribution in the root zone of corn, growth and phosphorus uptake. *Soil Sci. Am. Proc.*, Madison, 38:334-340, 1974.
- TENNANT, D. A test of a modified line intersect method of estimating root length. *J. Ecol.*, London, 63:995-1001, 1975.
- WARNCKE, D.D. & BARBER, S.A. Root development and nutrient uptake by corn grown in solution culture. *Agron. J.*, Madison, 66:514-516, 1974.
- WHITEAKER, G.; GERLOFF, G.C.; GABELMAN, W.H. & LINDGREN, D. Intranspecific differences in growth of beans at stress levels of phosphorus. *J. Am. Soc. Hort. Sci.*, New York, 101:472-475, 1976.
- WUENSCHER, M.L. & GERLOFF, G.C. Growth of *Andropogon scoparius* (little bluestem) in phosphorus deficient soils. *New Phytol.*, Oxford, 70:1035-1042, 1971.