



Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo
Ministério da Agricultura e do Abastecimento
Rod. MG 424 km 65 - Caixa Postal 151 35701-970 Sete Lagoas, MG
Fone (031) 779 1000 Fax (031) 779 1088

PESQUISA EM ANDAMENTO



PA nº 26, maio/98. 10p.

FATORES LIMITANTES NA PRODUTIVIDADE DE MILHO EM LATOSSOLOS

*Carlos Alberto Vasconcellos¹
Vera Maria C. Alves¹
Morethson Resende¹
Gilson Villaça E. Pitta¹
Christiane A. Oliveira²
Carla Cristina M. França²*

A cultura do milho, através do melhoramento genético e da evolução tecnológica, apresenta alto potencial produtivo, como evidenciado por produtividades da ordem de 17 t/ha de grãos, alcançadas por produtores em diferentes condições de cultivo, em Minas Gerais (Metzker 1994). Apesar desse potencial, a produtividade média do Brasil não ultrapassa os 2.300 kg/ha (Büll 1993). Provavelmente, a fertilidade e o manejo do solo, da água e dos fertilizantes ainda sejam alguns dos principais fatores responsáveis por essa baixa produtividade.

O fósforo, na maioria dos solos tropicais e subtropicais, apresenta baixa disponibilidade e é um dos elementos que mais limitam a produtividade. Seu transporte da solução do solo até à superfície das raízes ocorre fundamentalmente por difusão, havendo uma relação entre os coeficientes de difusão na solução do solo e o seu teor de umidade.

Com relação ao solo, a textura, a compactação e o teor de matéria orgânica, dentre outros, influenciam no armazenamento de água, na distribuição do sistema radicular e na fertilidade do solo. De modo geral, esses fatores determinam a facilidade do solo em ceder o elemento para a planta.

Com relação à planta, Khasawneh & Copeland (1973), Jungk & Barber (1974) e Silva & Magalhães (1987), por exemplo, demonstraram a estreita relação entre o comprimento de raízes e a absorção iônica de fósforo. Stryker et al. (1974), Anghinoni & Barber (1980) demonstraram haver estresse nutricional quando apenas uma parte do sistema radicular do milho estava sendo adequadamente suprida por fósforo. Esses autores sugerem que, para o máximo desenvolvimento das plantas, há necessidade de todo o sistema radicular ser suprido com quantidades adequadas de nutrientes.

Portanto, supõe-se que uma das causas das baixas produtividades do milho, em relação ao seu real potencial genético, esteja associada a estresse nutricional acarretado pela distribuição dos nutrientes no perfil do solo.

O objetivo desta pesquisa foi procurar desenvolver, em campo, condições que permitissem controlar, durante o ciclo de desenvolvimento do milho, o fornecimento de nutrientes e estabelecer limites e causas nutricionais para aumentar a produção.

¹ Pesquisadores da Embrapa Milho e Sorgo. Caixa Postal 151. CEP 35701-970 Sete Lagoas, MG.

² Bolsistas do CNPq-Embrapa Milho e Sorgo.

Essas condições foram estabelecidas em dois tubos de PVC com 30 cm de diâmetro e 3 m de comprimento, com uma fenda longitudinal de 15 cm. Numa das extremidades do tubo isolou-se uma abertura com 35 cm de comprimento, para o controle do nível de água no restante do tubo (Figura 1). As raízes das plantas foram divididas de tal forma que parte estaria recebendo os elementos nutritivos através de uma solução nutritiva distribuída na areia, sem influência de fatores que pudessem acarretar decréscimo de sua disponibilidade para as plantas, como o que ocorre no solo, onde o fósforo sofre processos de adsorção e precipitação.

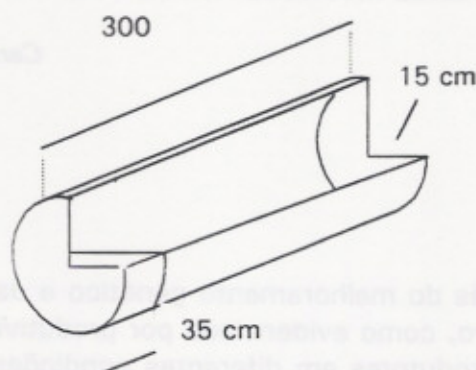


FIGURA 1. Esquema ilustrativo dos tubos de PVC. A unidade experimental foi composta por dois tubos.

Esses tubos foram enterrados em LEd, cujo resultado das análises de fertilidade revelou os seguintes dados: pH 6,2; Ca 5,25 $\text{cmol}\cdot\text{dm}^{-3}$; Mg 0,96 $\text{cmol}\cdot\text{dm}^{-3}$; Ca 5,25 $\text{cmol}\cdot\text{dm}^{-3}$; K 75 $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$; P (Mehlich 1) 18 $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$. Houve o cuidado de nivelar a base da abertura longitudinal com o solo.

Posteriormente, através da fenda, esses tubos foram preenchidos com areia lavada em água corrente, passando em peneira de 2 mm de malha.

Sementes do milho híbrido BR 201 foram germinadas em papel toalha e desenvolvidas em solução de Hoagland diluída a 1/5, por um período de dez dias, quando foram transplantadas, mantendo-se metade do sistema radicular na areia e a outra metade no solo. Por ocasião do transplante, a raiz seminal foi seccionada.

O experimento constituiu-se do delineamento em blocos ao acaso, com três repetições, e com os seguintes tratamentos: suprimento com solução nutritiva contendo todos os nutrientes (tratamento completo), suprimento com solução nutritiva contendo apenas fósforo (tratamento fósforo) e suprimento com água (tratamento água). Estabeleceram-se também duas testemunhas no solo, uma contendo plantas desenvolvidas em solução nutritiva e transplantadas para o solo (tratamento solo) e outra de plantas crescidas diretamente na linha de plantio (tratamento solo teste).

Todos os tratamentos receberam adubação de plantio no solo, com 500 kg/ha de 4-14 -8, e adubação de cobertura com 280 kg/ha de uréia, 35 dias após o plantio.

O sistema radicular em contato com a areia nos tubulões recebeu, a cada dois dias, aportes de solução nutritiva compondo os tratamentos pré-estabelecidos.

Por ocasião do florescimento, coletaram-se folhas para a análise foliar, conforme metodologia descrita por Sarruge & Haag (1974) e quantificou-se o diâmetro dos colmos no colo da planta e a altura.

Na maturação fisiológica, cinco plantas de cada tratamento foram colhidas, separadas em folhas, colmos, pendão, brácteas e grãos. Quantificaram-se o peso seco e a extração de nutrientes. A determinação dos elementos nos extratos foi efetuada por espectrometria de emissão plasma, Shimadzu, model ICPQ.

Desenvolvimento Vegetativo

A análise foliar, o diâmetro de colmos e a altura das plantas por ocasião do florescimento evidenciaram que o tratamento com a adubação completa apresentou plantas com melhor desenvolvimento vegetativo e nutricional do que os demais tratamentos (Tabela 1). O diâmetro dos colmos, sendo estatisticamente superior em plantas com altura similar, indica plantas com melhor desenvolvimento vegetativo e nutricional, estatisticamente superior às plantas cultivadas no solo, principalmente quando se observa o percentual de fósforo, que é superior nos tratamentos completo e com a aplicação de fósforo apenas.

TABELA 1. Análise foliar, altura e diâmetro das plantas por ocasião do florescimento. Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG, 1997.

Parâmetro	Tratamento ¹				
	CV (%)	Completo	Solo	Água	Fósforo
Diâmetro (cm)	4,25	9,37 A	7,86 C	7,52 C	8,65 B
Altura (m)	6,14	2,02 A	1,92 A	1,70 B	2,00 A
N (%)	5,50	3,17 A	2,97 A	3,24 A	3,11 A
P (%)	6,80	0,41 A	0,29 B	0,31 B	0,40 A
K (%)	6,15	2,26 A	2,21 A	2,27 A	2,13 A
Ca (%)	10,7	1,25 A	1,14 A	0,92 B	1,20 A
Mg (%)	15,4	0,30 A	0,34 A	0,26 A	0,30 A
Zn (mg/kg)	40,7	17,0 A	37,0 A	31 AB	21AB
Mn (mg/kg)	10,50	74,0 B	61,0 C	58,0 C	86,0 A

¹Médias seguidas pelas mesmas letras não apresentam diferenças significativas entre si, ao nível de 5%, pelo Teste de Tukey.

O percentual de cálcio, embora não diferenciado pela estatística, as condições de desenvolvimento vegetativo das plantas dos tratamentos completo, solo e fósforo permitem inferir sua maior absorção quando em maiores produções de massa seca total.

Apesar desses benefícios acarretados pelo fornecimento de nutrientes ao sistema radicular no ambiente controlado, não foi possível avaliar diferenças quanto à produtividade de grãos entre os tratamentos completo e a testemunha com as plantas sem transplante e cultivada com todo o sistema radicular em contato com o solo (Tabela 2).

A taxa de conversão (assim como a eficiência nutricional), por ser uma relação entre duas variáveis com distribuição normal, deve ser qualificada em comparação com os resultados obtidos por diferentes autores. Os tratamentos estudados apresentaram uma conversão média da matéria seca total em grãos de 45%, com pouca variabilidade entre tratamentos. Portanto, em termos de expressão da taxa de conversão em grãos, não se observaram diferenças entre os tratamentos. Arnon (1975) também indicou o percentual médio de 45% para a conversão da matéria seca total em grãos. Andrade et al. (1975) demonstraram que a acumulação diferencial de matéria seca na parte vegetativa não se traduz, necessariamente, em aumento de produção de grãos. Portanto, é possível haver maiores acúmulos de matéria seca, sem, contudo, haver maior conversão de grãos.

A comparação somente entre os tratamentos nos quais as plantas foram transplantadas permitiu avaliar o benefício das adubações parceladas ao sistema radicular em contato com a areia dos tubulões. Nesse caso, houve menor produção de massa seca total quando as plantas receberam apenas água. Os tratamentos com todo o sistema radicular no solo com e sem transplante indicaram que o transplante acarretou prejuízos ao desenvolvimento das plantas. Como os tratamentos com adubação completa e com fósforo superaram a produção do tratamento com água, é possível inferir que o fornecimento das adubações parceladas permitiu uma recuperação parcial desse prejuízo.

TABELA 2. Distribuição de massa seca em função dos diferentes tratamentos de adubação complementar. Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG, 1997.

Parte da Planta	Tratamentos ¹				
	Solo Teste	Água	Fósforo	Solo	Completo
	----- M.S-g/planta -----				
Folhas (CV 7,7%)	37,94 A	22,06 C	32,21 B	31,28 B	33,32 B
Colmos (CV 8,8%)	92,13 A	55,66 C	82,56 AB	72,84 B	77,37 B
Pendão (CV 12%)	4,00 A	2,88 B	3,86 A	3,97 A	3,86 A
ESPIGAS					
Grãos	159,5 A	114,3 B	128,5 B	124,3 B	135,5 B
Sabugos	27,30 A	21,40 B	27,20 A	23,20 B	23,20 B
Brácteas	34,60 A	22,60 B	32,70 A	26,3 BC	31,1 AB
TOTAL	355,44 A	238,9 C	307,03 B	281,85 B	304,35 B
Eficiência Kg de grãos/100 Kg de MS	44,90	47,80	41,80	44,10	44,5

¹ DMS - Teste de Tukey, 5% de probabilidade compara diferença entre tratamentos.

Por outro lado, ao se avaliar o conteúdo total de nutrientes N, P, K (Tabela 3) e Ca, Mg, Zn e Mn (Tabela 4), observou-se que as plantas cultivadas no tratamento completo apresentaram, significativamente, maior extração desses elementos. Contudo, não houve uma mobilização correspondente das diferentes partes das plantas para os grãos.

A maior taxa de conversão de P e grãos foi observada no tratamento em que as plantas foram cultivadas no solo (214 kg de grãos / kg de fósforo absorvido). Desta forma, seria possível, para o tratamento completo, um aumento de 40% na produção de grãos, ou seja, uma produtividade de 190 g/planta, aproximadamente, 5.500 kg/ha.

No tratamento solo, a produtividade média foi de 8.000 kg/ha. Portanto, apesar de a fertilidade do solo ser alta, haver aplicação de adubação e efetivo controle de umidade, houve limitações para alcançar a produtividade máxima. Esse fato indica, pelo lado nutricional, a necessidade de estudos que favoreçam o processo de difusão e diminuam a energia de retenção iônica e de fatores que impeçam a conversão do assimilado em produção de grãos.

Na Tabela 4 está apresentada a distribuição do conteúdo de cálcio, magnésio e enxofre nas partes das plantas, nos tratamentos em estudo. Esses dados demonstraram haver uma correlação positiva e significativa (Figura 2) entre o teor total de magnésio, de enxofre e de boro extraído e a produção de grãos. Esses elementos, de forma geral, estiveram diretamente associados à produção de grãos.

No tratamento completo, apesar de apresentar maior conteúdo de N, P, K Ca e de S, não houve maiores produções, provavelmente em função de fatores que limitaram a absorção de magnésio e/ou de micronutrientes. Ou seja, houve fatores que limitaram a expressão ou conversão do total de nutrientes absorvidos em produção efetiva de grãos.

A correlação entre os teores totais de Mg com a extração total dos demais nutrientes demonstrou que essas quantidades de Mg estavam associadas aos teores totais de P ($r = 0,79^{**}$), N ($r = 0,89^{***}$), e B ($r = 0,98^{***}$).

Conforme Stryker et al. (1974), Anghinoni & Barber (1980), é necessário, para uma nutrição adequada, haver contato de todo o sistema radicular com quantidades adequadas de nutrientes; todavia, mesmo não existindo equilíbrio de concentração entre o split do sistema radicular, é possível aumentar a produção de grãos através do fornecimento de nutrientes de modo controlado. Entretanto, é necessário haver equilíbrio entre a concentração dos diferentes nutrientes, favorecendo a efetiva conversão do absorvido em grãos.

TABELA 3. Acúmulo diferencial de nitrogênio, fósforo e potássio em função dos tratamentos de adubação complementar. Sete Lagoas, MG, 1997.

Elemento	Parte da Planta	Tratamento ¹				
		Solo Teste	Água	Fósforo	Solo	Completo
		----- M.S - g/planta -----				
N	Folhas	407 B	256 C	412 B	361 B	518 A
	Colmos	540 B	252 C	528 B	422 B	834 A
	Pendão	39 AB	32 B	46 A	44 A	40 AB
	Brácteas	145 AB	72 C	107 BC	107 ABC	149 A
	Sabugo	135 AB	105 B	151 A	120 AB	146 A
	Grãos	2515 A	1876 C	2304 ABC	2011BC	2423 AB
	Total	3781 A	2593 C	3547 AB	3066 BC	4111 A
	Eficiência Kg de grãos/kg de N	42	44	36	41	33
P	Folhas	31 B	14 B	60 A	23 B	53 A
	Colmos	37 B	11 B	84 A	17 B	105 A
	Pendão	3 BC	3 C	5 AB	4 BC	6 A
	Brácteas	12 BC	3 C	19 AB	5 C	24 A
	Sabugo	7 B	6 B	15 A	5 B	13 A
	Grãos	781B	496C	764 B	527 C	853 A
	Total	872 B	534 C	948 AB	581 C	1053 A
	Eficiência Kg de grãos/kg de N	184	213	136	214	129
K	Folhas	320 AB	242 B	305 B	339 AB	450 A
	Colmos	1529 B	749 C	1156 BC	1269 BC	2612 A
	Pendão	6 A	7 A	8 A	7 A	7 A
	Brácteas	212 A	110 B	132 B	142 B	247 A
	Sabugo	141 AB	101 B	121 A	111 B	149 AB
	Grãos	1112A	742 C	963 B	749 C	1092 AB
	Total	3321 B	1951 C	2684 BC	2616 BC	4556 A
	Eficiência Kg de grãos/kg de N	48	58	48	48	30

¹ DMS - Teste de Tukey, 5% de probabilidade, compara diferença entre tratamentos.

TABELA 4. Acúmulo diferencial de cálcio, magnésio e enxofre em função dos tratamentos de adubação complementar. Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG, 1997.

Elemento	Parte da Planta	Tratamento ¹					
		Solo Teste	Água	Fósforo	Solo	Completo	
		----- M.S-g/planta -----					
Ca	Folhas	495 AB	278 C	526 AB	420 B	578 A	
	Colmos	295 B	208 C	378 A	290 B	414 A	
	Pendão	29 A	19 B	27 A	27 A	28 A	
	Brácteas	44 A	29 B	52 A	32 B	55 A	
	Sabugo	4 B	4 B	6 A	4 B	5 AB	
	Grãos	20 A	11 A	16 A	12 A	17 A	
	Total	886 BC	549 D	1006 BC	784 C	1096 A	
	Eficiência Kg de grãos/kg de N	181	207	128	158	124	
	Mg	Folhas	115 A	73 C	115 B	122 AB	106 BC
		Colmos	166 A	99 B	146 A	137 A	143 A
Pendão		6 A	5 B	5 AB	5 AB	5 A	
Brácteas		42 A	26 C	33 BC	28 BC	34 AB	
Sabugo		9 A	6 B	9 A	6 B	7 AB	
Grãos		344 A	228 B	310 A	239 B	344 A	
Total		722 A	437 D	618 BC	538 C	639 AB	
Eficiência Kg de grãos/kg de N		222	261	208	231	212	
S		Folhas	41 A	28 B	41 A	33 AB	43 A
		Colmos	35 A	21 B	35 A	28 AB	38 A
	Pendão	3 A	3 A	3 A	3 A	3 A	
	Brácteas	12 A	7 B	10 AB	8 B	12 A	
	Sabugo	9 A	8 A	9 A	8 A	8 A	
	Grãos	103 A	79 A	86 A	74 A	96 A	
	Total	204 A	146 B	184 AB	153 B	200 A	
	Eficiência Kg de grãos/kg de N	785	782	697	812	678	

* ¹ DMS - Teste de Tukey, 5% de probabilidade, compara diferença entre tratamentos

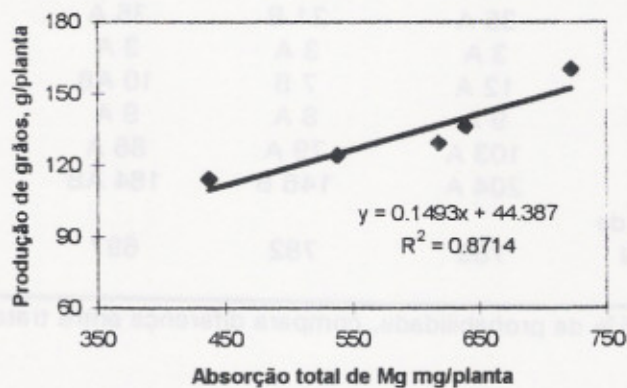
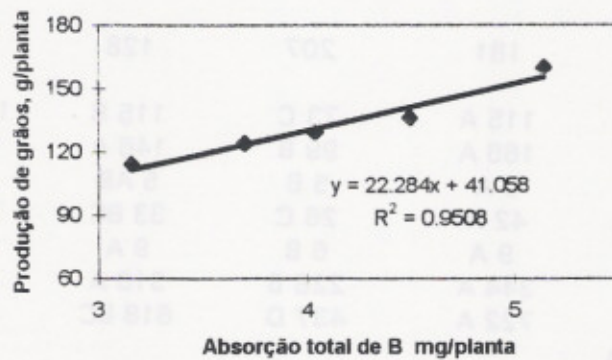
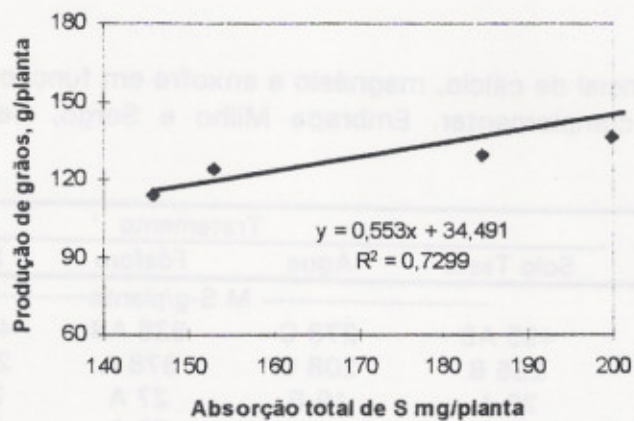


FIGURA 2. Equação demonstrativa do efeito do teor de Mg, de S e de B total absorvido sobre a produção de grãos.

Na Tabela 5, por exemplo, observou-se que também houve menor absorção dos micronutrientes zinco e cobre; todavia, a absorção total desses elementos não se correlacionou significativamente com a produção de grãos ($R^2 = 44\%$ para Zn e $R^2 = 17\%$ para Cu).

Conclui-se, portanto, que, mesmo em solo com alta fertilidade, com controle da fertilização e da irrigação, há limitação nutricional para a produtividade máxima do milho. Dessa forma, são necessários estudos de processos tecnológicos que favoreçam o processo de difusão de nutrientes no solo, diminuam a energia de retenção iônica, além, de fatores que impeçam a conversão do assimilado em produção de grão. Houve indicativo de que os teores de Mg e de B estiveram associados à limitação da produção.

TABELA 5. Acúmulo diferencial de zinco, cobre e boro em função dos tratamentos de adubação complementar. Embrapa Milho e Sorgo. Sete Lagoas, MG, 1997.

Elemento	Partes da Planta	Tratamento ¹				
		Solo Teste	Água	Fósforo	Solo	Completo
----- M.S - g/planta -----						
Zn	Folhas	0,452 A	0,128 B	0,066 B	0,120 B	0,080 B
	Colmos	0,002 A	0,028 A	0,002 A	0,030 A	0,002 A
	Pendão	0,134 A	0,092 B	0,042 C	0,132 A	0,012 D
	Brácteas	0,066 A	0,006 B	0,002 B	0,022AB	0,002 B
	Sabugo	0,294 A	0,150 A	0,002 A	0,106 A	0,002 A
	Grãos	4,336 A	2,466 A	1,812 B	2,464 B	1,562 B
	Total	5,284 A	2,870 B	1,916 B	1,874 B	1,660 B
Cu	Folhas	0,392 A	0,290 B	0,340AB	0,338AB	0,258 B
	Colmos	0,370 A	0,170 A	0,408 A	0,258 A	0,068 A
	Pendão	0,022 A	0,016 A	0,028 A	0,026 A	0,016 A
	Brácteas	0,060 A	0,036 A	0,042 A	0,080 A	0,064 A
	Sabugo	0,146 A	0,128 A	0,110 A	0,086 A	0,104 A
	Grãos	0,064 B	0,179 B	0,164 B	0,320AB	0,448 A
	Total	1,054 A	0,818 A	1,092 A	1,108 A	0,958 A
B	Folhas	0,778 C	0,436 D	0,616 A	0,624 C	0,990 B
	Colmos	1,416 A	0,766 C	1,304 AB	0,986BC	1,092ABC
	Pendão	0,144 A	0,096 B	0,118 AB	0,120AB	0,120AB
	Brácteas	0,540 A	0,344 C	0,440ABC	0,364BC	0,468AB
	Sabugo	0,316 A	0,282 A	0,340 A	0,308 A	0,316 A
	Grãos	1,942 A	1,236 A	1,224 A	1,264 A	1,562 A
	Total	5,136 A	3,160 C	4,042 C	3,666 C	4,548AB

¹ DMS - Teste de Tukey, 5% de probabilidade, compara diferença entre tratamentos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, A. G. DE; HAAG, H. P.; OLIVEIRA, G. D. DE; SARRUGE, J.R. Acumulação Diferencial de Nutrientes por Cinco Cultivares de Milho (*Zea mays* L.). I. Acúmulo de Macronutrientes. **Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"**, Piracicaba, v.32, p.115-149, 1975.
- ANGHINONI, I; BARBER, S. A. Phosphorus Influx and Growth Characteristics of Corn Roots as Influenced by Phosphorus supply. **Agronomy Journal**, Madison, v. 22, p.685-688, 1980.
- ARNON, I. **Mineral of Maize**. Bern: Internacional Potash Institute, 1975. p.100-112.
- BÜLL, L.T. Nutrição mineral do milho. In: BÜLL, L.T.; CANTARELLA, H. ed. **Cultura do milho**; fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1993. p. 63-145.
- JUNGK, A.; BARBER, S. A. Phosphate Uptake Rate of Corn Roots as Related to the Proportion of the Roots Exposed to Phosphate. **Agronomy Journal**, Madison, v.66, p.554-557. 1974.
- KHASAWNEH, F. E.; COPELAND, J. P. Cotton Root Growth and Uptake of Nutrients: Relation of Phosphorus Uptake to Quantity, Intensity and Buffering Capacity. **Soil Science Society of America Proceeding**, Madison v.37, n.2, p.250-254, 1973.
- LOPES, N. F. **Análise de Crescimento e Conversão da Energia Solar em População de Milho (*Zea mays*, L.) em Viçosa, Minas Gerais**. Viçosa: UFV, 1973. 61p. Tese Mestrado.
- METZKER, G. Concurso de produtividade de milho: Metodologia para aumentar a produção. **Extensão em Minas Gerais**, Belo Horizonte, v.17, n.56, p.5-7, 1994.
- SARRUGE, J. R.; HAAG, H. P. **Análises Químicas em Plantas**. Piracicaba: ESALQ, 1974.
- SILVA, F. L. I. M.; MAGALHÃES, J. R. Efeito do Tipo de Substrato no Desenvolvimento Radicular e Aéreo e Absorção de Íons em Milho-Doce. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.11, p. 121-125, 1987.
- STRYKER, R. B.; GILLIAN, J. W.; JACKSON, W. A. Non uniform Phosphorus Distribution in the Root Zone of Corn: Growth and Phosphorus Uptake. **Soil Society of America Proceeding**, Madison, v. 38, p.334-340, 1974.