

DIFERENÇAS ENTRE LINHAGENS DE MILHO CULTIVADAS EM SOLUÇÃO NUTRITIVA QUANTO À ABSORÇÃO E UTILIZAÇÃO DE NITROGÊNIO (1)

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

RESUMO

Foram conduzidos dois ensaios em casa de vegetação, no período de outubro de 1982 a fevereiro de 1983, no Centro Experimental de Campinas, para o estudo diferencial de trinta e nove linhagens de milho (*Zea mays* L.) quanto ao crescimento, absorção e utilização de N, em solução nutritiva. No primeiro ensaio, cinco linhagens foram cultivadas com 30, 60, 120, 180 e 240 mg/litro de N, em vasos de 2,8 litros, até aos trinta dias de idade, a fim de se definir o nível mais adequado para diferenciação das plantas. No segundo ensaio, as linhagens foram selecionadas com 120 mg/litro de N, no mesmo sistema de crescimento. Ambos os ensaios foram dispostos em blocos casualizados com quatro repetições. As soluções nutritivas, continuamente arejadas, não foram renovadas e o pH foi periodicamente reajustado para o valor inicial (5,0), durante os experimentos. Observaram-se diferenças entre as linhagens na produção de matéria seca da parte aérea e das raízes, nos teores de N, nos conteúdos totais de N e nas relações de eficiência (matéria seca produzida por unidade de N absorvida). A variação nos conteúdos totais de N (CV das médias = 8,7%) foi correlacionada com os pesos de matéria seca total ($r = 0,87$). A variação nas relações de eficiência (CV das médias = 16,1%) também foi correlacionada com os pesos de matéria seca total ($r = 0,92$). Portanto, os processos de absorção e de utilização de N limitaram o desenvolvimento das plantas, sendo, entretanto, este último, o principal fator de variação entre as linhagens. Estas foram classificadas de acordo com a produção de matéria seca total em eficientes, medianamente eficientes e ineficientes.

Termos de indexação: nitrogênio; milho; eficiência; absorção de N; utilização de N; solução nutritiva; seleção de plantas.

(1) Com auxílio da FINEP. Apresentado na XVI Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo, Itabuna (BA), 22-27/7/84. Recebido para publicação em 12 de junho de 1984.

(2) Seção de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, IAC, CP 28, 13100 Campinas (SP). Com bolsa de suplementação do CNPq.

(3) Seção de Genética, IAC. Com bolsa de suplementação do CNPq.

1. INTRODUÇÃO

A necessidade crescente de aproveitamento de vastas extensões de solos subfértiles e a constante elevação dos preços dos fertilizantes vêm despertando um interesse cada vez maior em alterar geneticamente as plantas no sentido de obter produções razoáveis em tais solos. Essa possibilidade se deve a inúmeras evidências que vêm sendo obtidas sobre variações entre plantas, quanto à capacidade de absorver e utilizar nutrientes (BAKER et alii, 1970; CLARK & BROWN, 1974; EPSTEIN & JEFFERIES, 1964; GABELMAN, 1976; GERLOFF, 1976; HUCKLESBY et alii, 1971; LINDGREN et alii, 1977; NIELSEN & BARBER, 1978; O'SULLIVAN et alii, 1974).

Plantas mais eficientes na absorção e utilização de nitrogênio teriam, idealmente, sistemas radiculares bem desenvolvidos, maior capacidade de absorção e de translocação de N e maior eficiência de conversão metabólica do N-mineral em N-orgânico, em presença de teores mais baixos nos meios de crescimento. Num trabalho com sorgo (MARANVILLE et alii, 1980), foram avaliados doze híbridos quanto à produção de matéria seca total por unidade de N absorvido (NE1), e de grãos por unidade de N absorvido (NE2), e o produto de NE2 pela relação do conteúdo de N no grão e na palha (NE3). Detectou-se uma diferença de 20% entre o melhor e o pior híbrido para o parâmetro NE1. Entretanto, a distribuição de N no grão e na palha foi o fator que apresentou diferenças mais marcantes entre os híbridos. Salientaram-se também variações anuais de comportamento devidas à influência do meio ambiente.

Poucos trabalhos têm sido desenvolvidos com milho nesse sentido, mas evidências de diferenças genéticas na absorção, translocação e/ou distribuição de N na planta têm sido obtidas por alguns pesquisadores.

Diferenças altamente significativas na capacidade geral e específica de combinação de dez linhagens de milho duro com nove linhagens de dentado quanto à absorção de N em diferentes fases de crescimento e quanto a sua translocação foram observadas por POLLMER et alii (1979). Em função desses resultados, os autores postularam que os híbridos com alta produção de grãos e alta porcentagem de proteína possuiriam alta taxa de absorção de N, uma fase mais longa de absorção e alta capacidade de sua translocação. Entretanto, salientaram que a importância desses fatores pode variar com diferentes genótipos e com o meio ambiente.

Em milheto, observaram-se diferenças significativas entre cultivares na habilidade de utilização de N, para crescimento e produção de grãos, mas não se observaram diferenças significativas na absorção de N (ALAGARSWAMY & BIDINGER, 1982).

Em solução nutritiva, foram determinadas diferenças entre genótipos de sorgo, na produção de matéria seca, na absorção, distribuição e utilização de N em diferentes idades da planta (FRANÇA, 1983). Quarenta e quatro genótipos foram selecionados, com baixo nível de N, sendo observadas respostas diferenciais com variações de 131% na produção de matéria seca, 75% no conteúdo de N, 59% na relação entre o conteúdo de N da parte aérea e das raízes, e 34% na matéria seca por unidade de N absorvido.

O estudo em solução nutritiva traz vantagens no sentido de poder controlar as condições de crescimento das plantas, estudar o desenvolvimento do sistema radicular e comparar um número relativamente grande de genótipos num curto espaço de tempo. Torna-se essencial, entretanto, a obtenção de dados comparativos em solo para concluir se a técnica em solução nutritiva pode ser usada como ferramenta auxiliar na seleção e melhoramento de plantas, quanto às características nutricionais.

Este trabalho tem por objetivo definir condições de crescimento em solução nutritiva e estudar o comportamento de linhagens de milho, quanto à absorção e utilização do N, em baixos níveis, mediante medição da produção de matéria seca da parte aérea e das raízes, do teor de N nas partes da planta, do conteúdo total de N nas plantas e da produção de matéria seca total por unidade de N absorvido, em plantas jovens.

2. MATERIAL E MÉTODOS

1. Ensaio com cinco linhagens de milho, em solução nutritiva, com diferentes níveis de N

O ensaio foi conduzido em casa de vegetação, no período de outubro a novembro de 1982, no Centro Experimental de Campinas. Utilizaram-se vasos de 2,8 litros (caixas plásticas com tampa), revestidos de folha de alumínio. As tampas foram pintadas com tinta prateada e furadas: um furo central de cerca de 2,5cm de diâmetro e um lateral de cerca de 0,5cm de diâmetro. No furo central, foi introduzida uma plântula sustentada e protegida por uma tira de esponja ao redor do caulículo. O furo lateral recebeu um tubo de aeração. As sementes de milho foram germinadas em rolos de papel de germinação e as plântulas, com sete dias de idade, foram transplantadas para os vasos, contendo solução nutritiva com 30, 60, 120, 180 e 240 mg/litro de N. Utilizaram-se as linhagens seguintes: IA 2876.3.1.2.3; 11.19.3.3; 10.11.1.1; 11.21.1.1 e 11.1.3.1.

No quadro 1, acha-se a composição das soluções nutritivas, cujo pH foi ajustado para 5,0, registrado periodicamente e reajustado para o valor inicial, três vezes por semana, com solução de H_2SO_4 0,1 N.

QUADRO 1 – Composição das soluções nutritivas utilizadas nos ensaios

Elemento (¹)	Tratamentos (Níveis de N)				
	1	2	3	4	5
	————— Miligrama do elemento/litro solução —————				
N-NO ₃ ⁻	26,7	53,3	106,7	160,0	213,3
N-NH ₄ ⁺	3,3	6,7	13,3	20,0	26,7
Ca	200,0	200,0	200,0	200,0	200,0
K	212,5	212,5	212,5	212,5	212,5
Mg	40,5	40,5	40,5	40,5	40,5
P	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0
S	83,2	83,2	83,2	68,3	68,3
Cl	416,0	356,4	237,6	151,8	33,0
Fe	4,85	4,85	4,85	4,85	4,85
Mn	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67
B	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
Zn	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
Cu	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Mo	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11

(¹) O Fe foi adicionado na forma de Fe-EDTA; preparado com $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ e Na-EDTA; os demais nutrientes foram adicionados na forma dos sais: $Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$, KNO_3 , K_2SO_4 , KCl , NH_4NO_3 , $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, $MnCl_2 \cdot 4H_2O$, H_3BO_3 , $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$, $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ e $(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O$.

A solução foi continuamente arejada, durante o decorrer do experimento, não sendo renovada, e, o volume dos vasos, completado diariamente com água destilada.

O experimento consistiu em blocos casualizados com quatro repetições, totalizando 100 vasos, com uma planta por vaso. As médias das temperaturas máximas e mínimas na casa de vegetação, durante o período de crescimento das plantas, foram 35 ± 5 e $23 \pm 5^\circ C$ respectivamente.

As plantas foram colhidas aos 30 dias de idade (23 dias em solução nutritiva), quando foi anotado o número de folhas e avaliado o grau de deficiência de nitrogênio pelos sintomas visuais apresentados. A seguir, as plantas foram lavadas com água destilada e separadas em folhas, caules mais bainhas e raízes, sendo as partes assim separadas secas em estufa a 70°C, pesadas e moídas. As amostras foram então digeridas com ácido sulfúrico (em presença de catalisadores) e submetidas à análise química do N, pelo método colorimétrico do indofenol, utilizando um auto-analisador II Technicon, de acordo com o procedimento descrito por BATAGLIA et alii (1983).

2. Seleção de trinta e nove linhagens de milho, quanto ao crescimento, absorção e utilização do N, em solução nutritiva

O ensaio foi conduzido em casa de vegetação, no período de janeiro-fevereiro de 1983, no Centro Experimental de Campinas.

Utilizou-se o mesmo sistema descrito no ensaio anterior. A composição da solução nutritiva utilizada correspondeu à do tratamento 3 (120mg/litro de N), descrita no quadro 1.

O ensaio consistiu em blocos casualizados, com quatro repetições, totalizando 156 vasos, com duas plantas por vaso, os quais foram espaçados e redistribuídos ao acaso na casa de vegetação, quando as plantas estavam mais desenvolvidas. As médias das temperaturas máximas e mínimas na casa de vegetação, durante o período de crescimento das plantas, foram 37 ± 4 e $19 \pm 4^{\circ}\text{C}$ respectivamente.

As plantas foram colhidas aos 27 dias de idade (20 dias em solução nutritiva), lavadas com água destilada e separadas em folhas, caules + bainhas e raízes. Foram anotados e avaliados os sintomas visuais de deficiência de N, por meio de graus ou notas, de acordo com a severidade dos sintomas das plantas. Determinaram-se os pesos da matéria seca das partes, que foram moídas e submetidas à análise química de N.

Os genótipos foram classificados, segundo o intervalo de confiança obtido para a média geral de matéria seca total, com 99,9% de probabilidade e 38 graus de liberdade, numa distribuição t: $\bar{x} \pm t(0,001; 38) \cdot s(\bar{x})$.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

1. Ensaio com cinco linhagens de milho, em solução nutritiva, com diferentes níveis de N

Os resultados obtidos encontram-se nos quadros 2 e 3 e nas figuras 1 e 2. Observou-se resposta no crescimento das plantas até o nível de 120mg/litro de N para todas as linhagens. Acima desse nível, as linhagens

11.19.3.3(B) e 11.21.1.1(D), continuaram a se desenvolver, e as linhagens IA 2876.3.1.2.3(A) e 10.11.1.1(C) tiveram seus crescimentos reduzidos (Quadro 2, Figuras 1 e 2). Maior variabilidade entre linhagens, na produção de matéria seca, foi observada para os níveis de 60 e 120mg/litro de N (CV entre 16 e 17%). Nos demais níveis de N, a variabilidade entre linhagens diminuiu, principalmente com relação ao desenvolvimento da parte aérea (CV entre 3,7 e 11,9%). Os teores de N atingiram valores máximos nas folhas, seguidos daqueles nos caules + bainhas, e, por último, nas raízes. De modo geral, os teores de N nas partes das plantas tenderam a aumentar com

QUADRO 2 – Matéria seca produzida por cinco linhagens de milho cultivadas até aos trinta dias de idade, em solução nutritiva com níveis de nitrogênio (uma planta/vaso de 2,8 litros, quatro repetições)

Níveis de N mg/litro	Linhagens ⁽¹⁾				
	A	B	C	D	E
	g/planta				
	Matéria seca da parte aérea ⁽²⁾				
30	6,96	6,50	6,89	7,42	7,05
60	10,83	8,28	11,55	9,41	12,51
120	12,28	10,16	14,76	10,52	14,33
180	12,49	10,48	12,51	11,30	12,22
240	11,65	11,52	12,34	11,53	14,84
	Matéria seca de raízes ⁽²⁾				
30	1,70	1,63	1,87	1,54	1,67
60	2,18	1,61	2,49	1,77	2,53
120	3,20	1,90	3,04	2,78	3,11
180	2,91	2,26	3,48	3,47	2,59
240	2,63	2,64	2,84	3,40	3,84
	Matéria seca total ⁽²⁾				
30	8,67	8,10	8,76	8,96	8,72
60	13,02	9,89	14,05	11,18	15,04
120	15,48	12,06	17,81	13,32	17,45
180	15,40	12,74	15,99	14,77	14,81
240	14,28	14,16	15,18	14,93	18,68

(¹) A = IA 2876.3.1.2.3; B = 11.19.3.3; C = 10.11.1.1; D = 11.21.1.1; E = 11.1.3.1.

(²) Teste F (0,01) significativo para linhagens e níveis de N. Interação níveis x linhagens não significativa.

os níveis crescentes de N na solução nutritiva, sendo que seus acréscimos foram mais acentuados do primeiro (30mg/litro) para o segundo (60mg/litro) e do segundo para o terceiro (120mg/litro) níveis de N, como se vê no quadro 3, onde constam também os graus de deficiência de N, avaliados mediante sintomas visuais exibidos pelas plantas.

QUADRO 3 – Teores de nitrogênio (N) na matéria seca e grau de deficiência de N nas plantas de cinco linhagens de milho, cultivadas até os trinta dias de idade em solução nutritiva, com níveis de N (uma planta/vaso de 2,8 litros, quatro repetições)

Níveis de N	Linhagens ⁽¹⁾				
	A	B	C	D	E
mg/litro	N em folhas (%) ⁽²⁾				
30	1,26	1,31	1,26	1,17	1,12
60	1,76	2,27	1,45	1,71	1,32
120	2,82	2,84	2,87	2,81	3,16
180	3,03	3,61	3,58	2,94	2,98
240	2,85	3,19	2,76	2,93	3,34
	N em caules e bainhas (%) ⁽²⁾				
30	0,77	1,00	1,46	0,99	0,86
60	1,18	1,66	1,27	1,06	1,05
120	2,20	2,49	2,01	2,31	2,25
180	2,66	2,66	2,54	2,12	2,22
240	2,90	3,06	2,51	2,35	2,42
	N em raízes (%) ⁽²⁾				
30	0,87	0,96	0,87	0,95	0,82
60	1,18	1,49	0,95	1,36	1,06
120	1,59	2,02	1,45	1,99	1,60
180	2,40	2,46	2,54	2,16	2,40
240	2,58	2,84	2,69	2,73	1,96
	Grau de deficiência de N ⁽³⁾				
30	3,4	2,9	3,4	3,1	3,4
60	2,5	2,6	2,4	1,9	2,6
120	1,5	1,5	2,3	1,1	2,0
180	1,8	1,3	1,3	1,4	1,4
240	1,3	1,4	1,8	1,8	1,3

⁽¹⁾ A = IA 2876.3.1.2.3; B = 11.19.3.3; C = 10.11.1.1; D = 11.21.1.1; E = 11.1.3.1.

⁽²⁾ Teste F (0,01) significativo para linhagens e níveis de N. Interação níveis x linhagens não significativa.

⁽³⁾ 0 = nenhuma; 4 = severa.

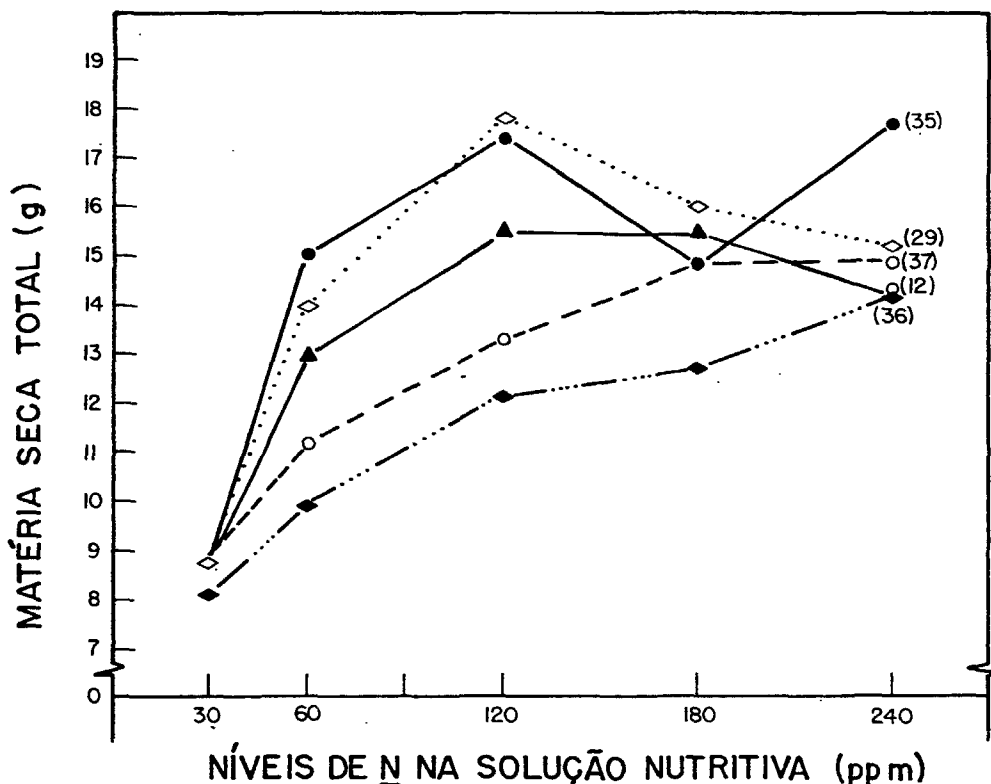


FIGURA 1 – Matéria seca total produzida por linhagens de milho cultivadas até aos trinta dias de idade, em solução nutritiva com níveis de nitrogênio (médias de quatro repetições).

O objetivo deste experimento foi definir, na solução nutritiva, um nível de N adequado para diferenciação das linhagens, quanto à eficiência na absorção e sua utilização nos níveis mais baixos, a fim de selecionar materiais genéticos menos exigentes e/ou com maiores capacidades de absorção, metabolização e emprego do nutriente para o crescimento. Pelos resultados obtidos neste ensaio, os níveis entre 60 e 120mg/litro de N mostraram-se mais adequados ao objetivo proposto, pois, abaixo deles, as plantas se mostraram severamente deficientes e as linhagens não puderam ser diferenciadas pelos pesos de matéria seca total; acima desses níveis, algumas linhagens apresentaram crescimento reduzido.



FIGURA 2 – Aspecto de quatro linhagens de milho cultivadas até aos trinta dias de idade, em solução nutritiva com níveis de nitrogênio (médias de quatro repetições).

Foi adotado, então, o nível de 120mg/litro de N para o experimento subsequente, no qual foram testadas trinta e nove linhagens, no mesmo sistema, utilizando-se duas plantas por vaso.

Na figura 3, estão registradas as variações de pH para a linhagem 11.01.3.1(E) cultivada com diferentes níveis de N na solução nutritiva, antes de serem feitas as correções ou reajustes. Observou-se que no nível mais baixo de N, o pH começou a se elevar acima de 6,0 após o 8º dia de crescimento das plantas em solução, e, à medida que o nível de N foi aumentando, mais tempo demorou para ocorrer tal elevação. No nível de 240mg/litro, o pH começou a elevar-se somente após o 15º dia de crescimento das plantas em solução (para algumas linhagens, não chegou a ultrapassar 6,0 até o dia da colheita).

Isso ocorreu devido à presença de quantidades crescentes de NH_4^+ na solução. Em todos os níveis de N, foi mantida a proporção $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+ = 8$ (Quadro 1). Já é sabido que fontes de N influenciam a direção que o pH toma

(BERNARDO et alii, 1982; CLARK, 1982; CLARK & BROWN, 1974; FLEMING, 1983); ele aumenta para cerca de 7,0 ou 8,0 em soluções contendo apenas NO_3^- como fonte de N, e diminui para cerca de 4,0 em soluções contendo algum NH_4^+ . Entretanto, o pH aumentará se a proporção de NH_4^+ em relação ao NO_3^- for muito baixa (BERNARDO et alii, 1982; CLARK, 1982; FLEMING, 1983), ou quando o NH_4^+ desaparece da solução, deixando apenas NO_3^- (BERNARDO et alii, 1982). Essas variações ocorrem em vista da habilidade que as plantas têm de absorver íons da solução e liberar H^+ e OH^- ou HCO_3^- , num sistema de troca em resposta ao crescimento e metabolismo (HIAT & LEGGETT, 1974).

Para evitar problemas de deficiências nutricionais nas plantas, pela elevação do pH na solução nutritiva, seus valores foram medidos em cada vaso de dois em dois dias e reajustados com solução de H_2SO_4 0,1 N.

A necessidade de reajuste do pH variou com o nível de N na solução e com a linhagem, evidenciando variações na capacidade das plantas em alterar o pH das soluções, em consequência da diferente atividade de suas raízes.

Como já foi discutido, a fase de elevação do pH da solução teve início quando o NH_4^+ se esgotou, ficando apenas NO_3^- na solução, para todas as linhagens em todos os níveis. Entretanto, para os níveis de 30 e 60mg/litro de N, observou-se que, quando o NO_3^- se esgotou da solução, o pH decresceu para valores ao redor de 4,0, onde permaneceu até o final do experimento, dispensando reajustes, visto que, nessa faixa de pH, não havia danos às plantas (FURLANI et alii, 1985). Nos níveis mais elevados (120, 180 e 240mg/litro de N), isso não ocorreu, pois o NO_3^- não foi completamente esgotado na solução.

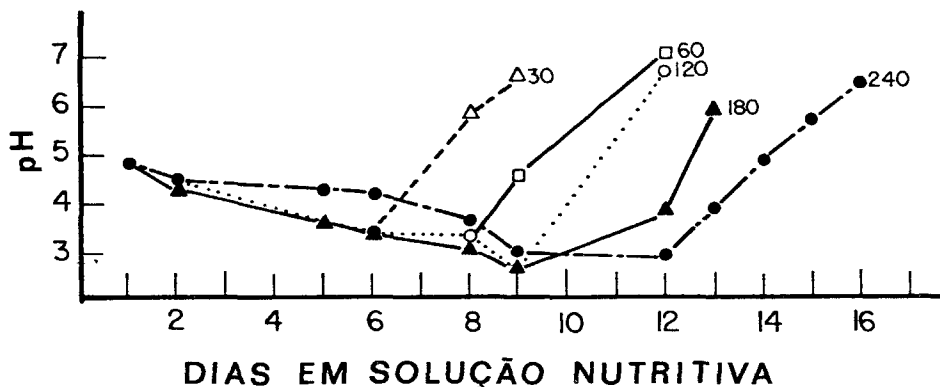


FIGURA 3 — Variação do pH da solução nutritiva com o crescimento das plantas da linhagem 11.01.3.1, em função dos níveis de nitrogênio: 30, 60, 120, 180 e 240mg/litro de N (médias de quatro repetições).

2. Seleção de trinta e nove linhagens, quanto à absorção e utilização de N, em solução nutritiva

No quadro 4, são apresentados os dados de produção de matéria seca de 39 linhagens cultivadas durante 20 dias em solução nutritiva com 120mg/litro de N. Os dados foram colocados em ordem crescente de produção de matéria seca total. A análise de variância revelou diferenças significativas entre os genótipos ($\alpha = 0,01$) para peso seco de parte aérea, de raízes e da planta inteira, com amplitudes de variação de 5,09 a 11,58, 0,88 a 2,97 e 6,20 a 14,32 respectivamente. Foi observada maior variabilidade no peso seco de raízes, expressa pelo coeficiente de variação das médias (28,5%). Na figura 4, pode-se observar o aspecto de algumas linhagens no momento da colheita.

As linhagens cujas médias de matéria seca total se enquadraram abaixo do intervalo de confiança (8,64 a 11,10g), foram classificadas como ineficientes (I), acima do intervalo como eficientes (E) e dentro do intervalo como medianamente eficientes (ME) (Quadro 4).

De modo geral, a maior produção de matéria seca total pelas plantas das linhagens eficientes foi consequência do maior crescimento tanto da parte aérea como das raízes. Entretanto, algumas das linhagens classificadas como eficientes se salientaram pelo melhor desenvolvimento do sistema radicular, apresentando menor relação parte aérea/raízes, como as de número 2, 25, 32 e 42.

Dentre as medianamente eficientes, as de números 28, 41, 3 e 24 também mostraram sistemas radiculares bem desenvolvidos (Quadro 4).

No estudo envolvendo seleção de linhagens de milho em baixo nível de P (FURLANI et alii, 1985), sua classificação não seguiu a mesma ordem, mas as de números 42, 25, 43 e 41, classificadas como eficientes em baixo P, salientaram-se também pelo desenvolvimento radicular, e as de números 34-L 42, 25, 43 e 39 foram classificadas como eficientes tanto para baixo P como para baixo N.

No quadro 5, estão relacionados os teores de N nas partes das plantas, seguindo-se a mesma ordem de colocação dos dados de matéria seca total. Os teores de N foram mais elevados nas partes das plantas que se desenvolveram menos, decrescendo gradativamente nas que se desenvolveram mais (coeficientes de correlação, r , negativos), evidenciando um efeito de diluição ocorrido com o maior crescimento das plantas.

A partir dos teores de N e dos pesos de matéria seca das partes das plantas, foram calculados os conteúdos de N nas plantas inteiras de cada linhagem, a relação parte aérea/raízes desse conteúdo e a relação de eficiência (matéria seca produzida por unidade de N absorvida) (Quadro 6).

QUADRO 4 – Matéria seca produzida por trinta e nove linhagens de milho cultivadas até aos vinte e sete dias de idade em solução nutritiva com 120mg/litro de N (duas plantas por vaso de 2,8 litros, quatro repetições)

Nº	Linhagem Código	Matéria seca			Classifi- cação ⁽¹⁾
		Parte aérea	Raízes	Total	
		g/duas plantas —			
04	Ip 48.5.3	5,09	1,11	6,20	I
26	745	5,59	1,03	6,61	I
01	Porto Rico 70.D.2	5,46	1,20	6,65	I
40	11.23.3.1	5,44	1,35	6,80	I
27	820	6,07	0,88	6,95	I
05	Ip 365.4.1	5,67	1,36	7,03	I
13	IA.2992.1.1.2.3	6,06	1,44	7,50	I
15	T.8 x Asteca 10.10.1.2.12	6,17	1,53	7,68	I
18	490	6,13	1,87	8,00	I
37	11.21.1.1	6,49	1,56	8,05	I
11	Pm 624.2.1	6,42	1,68	8,10	I
30	10.13.1.1	6,91	1,43	8,33	I
23	532	6,74	1,63	8,37	I
36	11.19.3.3	7,34	1,37	8,71	ME
06	Ip 837.1.1.1	7,15	1,61	8,76	ME
10	Ip 421.2.1.1	7,29	1,80	9,10	ME
07	Ip 321	7,35	1,91	9,26	ME
24	535.2	7,34	2,41	9,75	ME
31	10.19.1.1	7,85	2,10	9,94	ME
12	IA 2876.3.1.2.3	8,38	1,71	10,08	ME
03	Ip 701.1.1	7,85	2,29	10,15	ME
34-A	10.40.1	8,25	2,05	10,30	ME
44	723.4	8,19	2,17	10,39	ME
33	10.36.1	8,89	1,65	10,53	ME
41	11.24.1.1	8,45	2,53	10,98	ME
28	10.8.2.1	8,44	2,65	11,08	ME
02	SLP 103.3.2	8,78	2,57	11,35	E
20	519	9,32	2,19	11,51	E
21	137	9,39	2,44	11,83	E
16	V 2017 Cuban Dent.	9,67	2,21	11,88	E
25	641.2	8,93	2,97	11,89	E
39	11.22.2.3	9,87	2,03	11,90	E
32	10.20.3.1	9,04	2,90	11,94	E
43	124.3.15.1	9,53	2,47	11,99	E
42	11.30.1.1	9,42	2,73	12,14	E
29	10.11.1.1	9,92	2,59	12,51	E
35	11.01.3.1	10,59	2,32	12,91	E
34-L	10.40.1	10,92	2,69	13,60	E
22	531	11,58	2,73	14,32	E
CV das médias %		21,2	28,5	21,7	
Amplitude de variação		5,09-11,58	0,88-2,97	6,20-14,32	
Intervalo de confiança ⁽²⁾				9,87 ± 1,23	

⁽¹⁾ I = ineficiente; ME = medianamente eficiente; E = eficiente.

⁽²⁾ Intervalo de confiança para a média, calculado com 99,9% de probabilidade, numa distribuição t: $\bar{x} \pm t(0,001; 38) \cdot s(\bar{x})$.

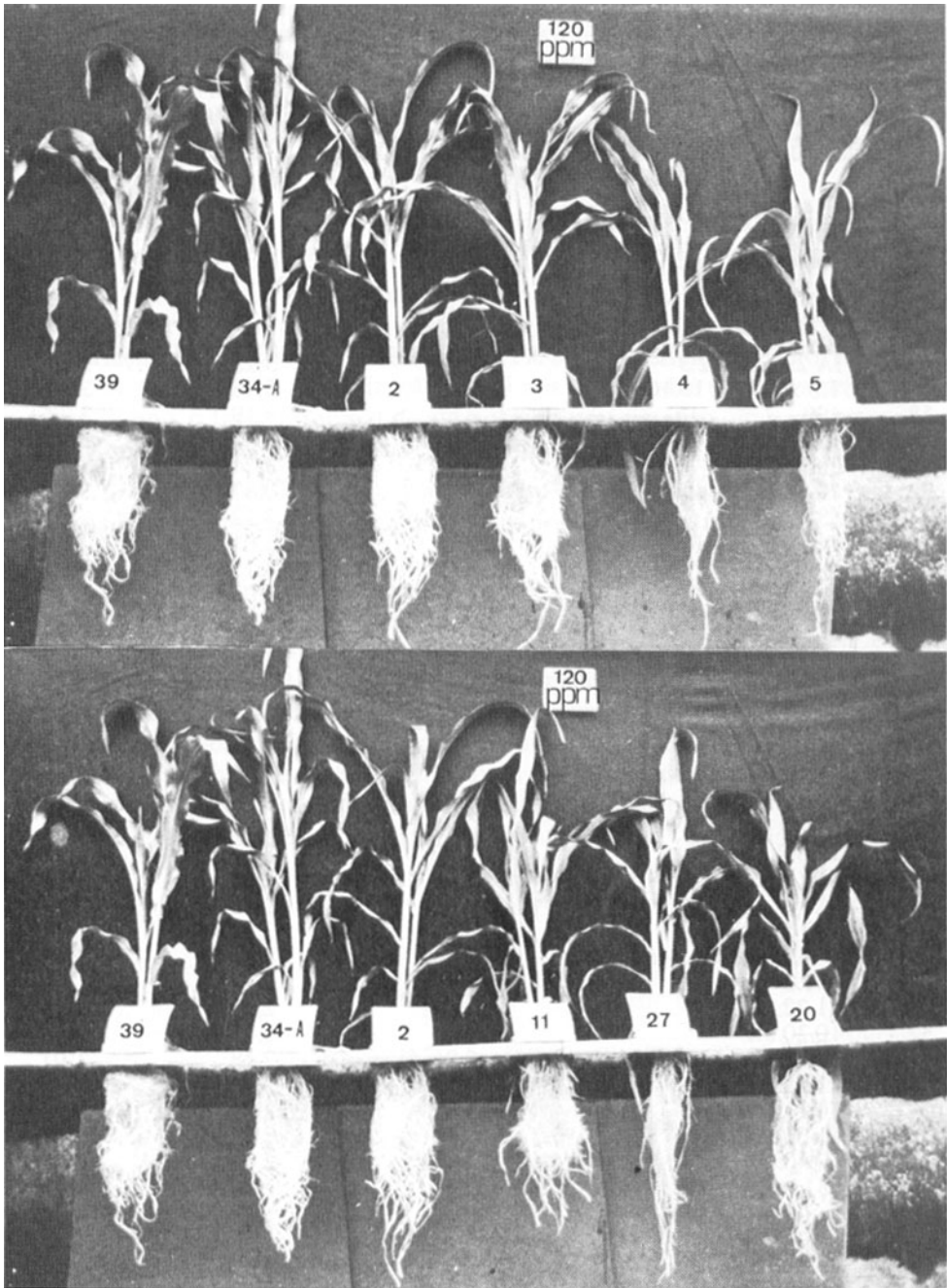


FIGURA 4 — Aspecto das linhagens de milho aos vinte e sete dias de idade, selecionadas em solução nutritiva com 120mg/litro de N: 39, 34-A, 2, 3, 4, 5, 11, 27 e 20).

QUADRO 5 – Teores de nitrogênio na matéria seca de plantas de trinta e nove linhagens de milho cultivadas até aos vinte e sete dias de idade, em solução nutritiva com 120mg/litro de N (duas plantas por vaso de 2,8 litros, quatro repetições)

Nº	Linhagem Código	Nitrogênio (¹)		
		Folhas	Caules + Bainhas	Raízes
		%		
04	Ip 48.5.3	4,40	3,67	3,82
26	745	4,40	3,95	3,29
01	Porto Rico 70.D.2	4,15	3,39	3,68
40	11.23.3.1	4,05	3,51	3,12
27	820	4,13	3,44	4,25
05	Ip 365.4.1	4,27	3,42	3,39
13	IA 2992.1.1.2.3	4,21	3,25	3,77
15	T.8 x Asteca 10.10.1.2.12	4,02	3,48	3,50
18	490	3,86	3,19	3,33
37	11.21.1.1	3,27	2,54	3,32
11	Pm 624.2.1	3,75	3,24	3,64
30	10.13.1.1	3,21	2,87	3,49
23	532	3,98	3,12	2,87
36	11.19.3.3	3,34	3,01	3,64
06	Ip 837.1.1.1	3,70	3,15	3,33
10	Ip 421.2.1.1	3,51	3,05	2,35
07	Ip 321	3,62	2,79	2,38
24	535.2	3,44	2,45	2,79
31	10.19.1.1	3,60	2,48	2,65
12	IA 2876.3.1.2.3	3,74	2,76	2,46
03	Ip 701.1.1	3,28	2,76	2,46
34-A	10.40.1	3,36	2,59	2,48
44	723.4	3,12	2,73	1,75
33	10.36.1.	4,34	2,89	2,50
41	11.24.1.1	2,95	2,89	3,10
28	10.8.2.1	3,12	2,81	2,14
02	SLP 103.3.2	3,47	2,48	2,15
20	519	3,12	2,69	2,51
21	137	3,00	2,54	2,05
16	V 2017 Cuban Dent.	2,88	2,45	2,01
25	641.2	3,40	2,27	2,00
39	11.22.2.3	3,06	2,41	2,37
32	10.20.3.1	3,07	2,47	2,51
43	124.3.15.1	2,96	2,48	2,10
42	11.30.1.1	2,98	2,19	2,05
29	10.11.1.1	2,89	2,23	2,07
35	11.01.3.1	2,95	2,22	1,92
34-L	10.40.1	2,82	2,00	2,14
22	531	2,98	2,05	1,76
CV das médias %		14,2	16,9	24,8
Amplitude de variação		2,82-4,40	2,00-3,95	1,75-4,25
Coefficiente de correlação (²)		-0,83	-0,84	-0,82

(¹) Teste F (0,01) significativo para diferenças entre linhagens.

(²) Coeficientes de correlação (r) entre pesos de matéria seca das partes das plantas e respectivos teores de N.

Embora os teores de N tenham tido uma relação inversa com a produção de matéria seca, os dados de seu conteúdo total variaram proporcionalmente com a matéria seca, apresentando um coeficiente de variação das médias de 8,7% e um coeficiente de correlação (r) de 0,87. Essa variação no conteúdo total de N é uma indicação da existência de diferenças nas capacidades das plantas em absorvê-lo.

A distribuição de N na parte aérea e nas raízes não esteve relacionada com as variações observadas na matéria seca ($r = 0,05$) (Quadro 6).

Entretanto, os dados de relação de eficiência acompanharam a variação observada na produção de matéria seca, apresentando um coeficiente de variação das médias da ordem de 16,1% e um coeficiente de correlação (r) de 0,92 (Quadro 6). A utilização do N nos tecidos das plantas aparece, portanto, como o fator principal de variação no crescimento, embora o processo de absorção também tenha tido certa influência.

No quadro 7, estão os valores de pH registrados durante os onze primeiros dias de crescimento das plantas na solução nutritiva, com 120mg/litro de N.

O pH se manteve baixo até o 8º dia de crescimento, como era esperado pelos dados obtidos no ensaio anterior. No 11º dia, elevou-se brusca-mente para a maior parte das linhagens, e foi reajustado para cerca de 5,0-5,5 com solução de H_2SO_4 0,1N, três vezes por semana, sendo os volumes gastos anotados até o final do experimento. Observou-se que para determinadas linhagens, principalmente as que mais se desenvolveram, foi necessário maior volume de solução de H_2SO_4 0,1N, para manter o pH ao redor de 5,0. As linhagens com menor crescimento apresentaram uma tendência de elevação de pH mais lenta, havendo menor gasto da solução ácida (Quadro 7).

QUADRO 6 – Conteúdo total de N, relação parte aérea/raízes do conteúdo de N, relação de eficiência e grau de deficiência de N, de trinta e nove linhagens de milho, cultivadas até aos vinte e sete dias de idade, em solução nutritiva com 120mg/litro de N (duas plantas/vaso de 2,8 litros, quatro repetições)

Nº	Linhagem Código	Conteúdo de N		Relação de eficiência mg MS/mg N	Grau de deficiência ⁽¹⁾
		Total mg	Parte aérea/ /raízes mg/mg		
04	Ip 48.5.3	247	5,0	25	1,2
26	745	269	7,1	25	2,5
01	Porto Rico 70.D.2	253	4,7	26	2,0
40	11.23.3.1	257	5,9	27	1,7
27	820	264	6,3	26	3,0
05	Ip 365.4.1	267	5,0	26	1,7
13	IA 2992.1.1.2.3	297	4,6	25	2,0
15	T.8 x Asteca 10.10.1.2.12	252	4,2	30	1,2
18	490	284	3,5	28	2,5
37	11.21.1.1	246	3,6	33	2,2
11	Pm 624.2.1	285	3,7	28	2,2
30	10.13.1.1	260	4,3	32	2,0
23	532	288	5,3	29	2,0
36	11.19.3.3	304	5,2	29	2,5
06	Ip 837.1.1.1	290	5,0	30	3,0
10	Ip 421.2.1.1	285	5,9	32	1,7
07	Ip 321	294	5,5	32	1,7
24	535.2	302	3,6	32	2,7
31	10.19.1.1	299	4,4	33	3,5
12	IA 2876.3.1.2.3	319	6,1	32	2,7
03	Ip 701.1.1	290	4,3	44	2,2
34-A	10.40.1	299	4,9	35	2,0
44	723.4	281	4,8	37	2,7
33	10.36.1	310	6,4	34	3,0
41	11.24.1.1	328	3,1	33	3,0
28	10.8.2.1	308	4,5	36	2,2
02	SLP 103.3.2	319	4,8	36	2,2
20	519	320	5,2	37	3,0
21	137	314	5,3	38	3,7
16	V 2017 Cuban Dent.	301	5,9	39	3,7
25	641.2	314	4,0	38	3,0
39	11.22.2.3	324	5,8	37	3,7
32	10.20.3.1	324	3,7	37	2,2
43	124.3.15.1	310	5,2	39	4,0
42	11.30.1.1	303	4,6	40	3,0
29	10.11.1.1	312	5,0	40	3,7
35	11.01.3.1	322	6,3	40	3,7
34-L	10.40.1	324	4,8	42	3,5
22	531	348	6,4	41	3,7
CV das médias (%)		8,7	18,6	16,1	
Amplitude de variação		246-348	3,1-7,1	25-44	1,2-4,0
Coeficiente de correlação ⁽²⁾		0,87	0,05	0,92	

⁽¹⁾ 0 = nenhuma; 4,0 = severa. Número total de folhas variou de 10 a 14.

⁽²⁾ Coeficientes de correlação (r) entre pesos de matéria seca total e conteúdos de N e relação de eficiência.

QUADRO 7 – Valores de pH registrados durante os onze primeiros dias de crescimento das linhagens em solução nutritiva, e volume de H₂SO₄ 0,1N gasto durante os últimos nove dias, para correção do pH para 5,0-5,5 (médias de quatro repetições)

Nº	Linhagem Código	Dias em solução nutritiva				Volume de
		2	4	6	8	H ₂ SO ₄ 0,1N ⁽¹⁾
		pH ⁽²⁾				ml
04	Ip 48.5.3	4,7	4,2	4,1	3,9	4,6
26	745	4,8	4,4	4,5	4,6	7,1
01	Porto Rico 70.D.2	4,8	4,2	4,1	4,2	5,4
40	11.23.3.1	4,7	4,4	4,2	3,9	5,4
27	820	4,8	4,4	4,2	4,0	5,0
05	Ip 365.4.1	4,8	4,2	4,1	4,1	4,8
13	IA 2992.1.1.2.3	4,8	4,2	4,1	4,1	7,0
15	T.8 x Asteca 10.10.1.2.12	4,8	4,6	4,6	4,5	5,3
18	490	4,7	4,1	4,1	4,1	7,0
37	11.21.1.1	4,5	3,7	3,5	3,3	3,6
11	Pm 624.2.1	4,9	4,2	4,0	4,0	6,0
30	10.13.1.1	4,7	4,5	4,4	4,2	7,0
23	532	4,8	4,2	4,2	4,1	6,4
36	11.19.3.3	4,8	4,2	4,0	3,9	6,8
06	Ip 837.1.1.1	4,6	4,2	4,1	4,2	6,1
10	Ip 421.2.1.1	4,8	4,4	4,2	4,4	6,8
07	Ip 321	4,8	4,2	4,0	3,8	6,8
24	535.2	4,7	4,4	4,2	4,3	6,6
31	10.19.1.1	4,6	3,7	3,6	3,4	6,4
12	IA 2876.3.1.2.3	4,7	4,0	3,9	3,7	7,1
03	Ip 701.1.1	4,8	4,2	4,1	4,1	6,8
34-A	10.40.1	4,7	4,0	3,7	3,5	5,2
44	723.4	4,6	4,0	3,9	3,9	7,3
33	10.36.1	4,8	4,2	4,1	3,0	5,0
41	11.24.1.1	4,7	4,0	3,9	4,0	7,1
28	10.8.2.1	4,6	3,6	3,4	3,5	7,1
02	SLP 103.3.2	4,7	3,9	3,8	3,6	7,0
20	519	4,8	4,2	4,1	4,0	6,9
21	137	4,8	4,2	4,1	4,3	7,1
16	V 2017 Cuban Dent.	4,6	4,2	4,1	4,0	7,2
25	641.2	4,6	4,1	4,0	4,1	7,2
39	11.22.2.3	4,6	4,0	3,9	3,8	6,9
32	10.20.3.1	4,6	3,8	3,7	3,7	7,2
43	124.3.15.1	4,6	3,9	3,7	4,0	7,6
42	11.30.1.1	4,7	4,0	3,9	4,0	7,3
29	10.11.1.1	4,7	3,8	3,5	3,9	7,4
35	11.01.3.1	4,8	3,9	3,7	3,8	7,4
34-L	10.40.1	4,6	3,7	3,5	3,6	7,1
22	531	4,6	3,9	3,9	4,1	7,4
CV das médias %		2,0	5,8	6,8	8,2	14,9
$\bar{x} \pm s(\bar{x})$		4,7 ± 0,1	4,1 ± 0,2	4,0 ± 0,3	3,9 ± 0,3	6,5 ± 1,0

(¹) Volume (ml) de H₂SO₄ 0,1N gastos do 13º ao 20º dia em solução nutritiva, para baixar o pH para 5,0-5,5.

(²) pH inicial = 5,0; a partir do 13º dia em solução nutritiva, o pH das soluções nutritivas foi reajustado entre 5,0 e 5,5 com H₂SO₄ 0,1N, com exceção da linhagem 37, cujos reajustes de pH tiveram início a partir do 15º dia. Os reajustes foram feitos três vezes por semana.

4. CONCLUSÕES

1. O cultivo de plantas de milho em solução nutritiva com diferentes níveis de N permitiu definir condições adequadas para a diferenciação e seleção de linhagens mais eficientes na absorção e utilização de nitrogênio.

2. Trinta e nove linhagens, cultivadas em solução nutritiva com 120mg/litro de N, mostraram variações na produção de matéria seca da parte aérea e das raízes, no conteúdo total de N e na relação de eficiência (matéria seca produzida por unidade de N absorvida), que estiveram altamente correlacionadas entre si. As linhagens foram classificadas em grupos ineficientes, medianamente eficientes e eficientes na absorção e uso do nitrogênio, com base nos pesos de matéria seca total.

3. O processo de utilização de N pelas plantas, avaliado mediante a relação de eficiência, revelou-se fator mais significativo que o processo de absorção, no crescimento diferencial das linhagens.

SUMMARY

DIFFERENCES IN NITROGEN UPTAKE AND USE OF CORN INBRED LINES GROWN IN NUTRIENT SOLUTIONS

Two experiments were conducted in nutrient solutions, in a greenhouse, during the period of October/1982 to February/1983, in the Experimental Station of Campinas, Instituto Agrônomico, State of São Paulo, Brazil. The objective was to study the differences among thirty nine corn (*Zea mays* L.) inbred lines in relation to N uptake and use under low N conditions. At first, five corn inbred lines were grown in 2.8 liter pots with different N levels in the nutrient solutions: 30, 60, 120, 180 and 240 N/liter. In a second trial thirty nine inbred lines were tested in nutrient solutions with 120mg N/liter, in the same growth system and similar growth conditions. The solutions were continuously aerated and the initial pH was 5.0. The pH was readjusted periodically throughout the experiments. The plants were allowed to grow without N reposition up to 30 days of age, when N deficiency symptoms appeared in the leaves. Differences among lines were observed for top and root dry matter yields, for N concentrations, N contents, and efficiency ratios (dry matter produced per unit N absorbed). The N contents and the efficiency ratios averages followed, proportionally, the variation observed for dry matter yields, with correlation coefficients (r) of 0.87 and 0.92, and coefficients of variation of means (CV) of 8.7 and 16.1%, respectively. This indicated that both processes, absorption and use, varied among genotypes, but the mechanism of N use, appeared to be the main cause for the differential growth of the genotypes. The inbred lines were ranked and classified based on the plant dry matter data.

Index terms: nitrogen; corn; efficiency; N uptake; N use; nutrient solution; plant selection.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALAGARSWAMY, G. & BIDINGER, F.R. Nitrogen uptake and utilization by Pearl Millet (*Pennisetum americanum* L. Leeke). In: INTERNATIONAL PLANT NUTRITION COLLOQUIUM, 9., Coventry, UK, 1982. Proceedings. p.12-16.
- BAKER, D.E.; JARREL, A.E.; MARSHALL, L.E. & THOMAS, N.I. Phosphorus uptake from soils by corn hybrids selected for high and low phosphorus accumulation. *Agronomy Journal*, 62:103-106, 1970.
- BATAGLIA, O.C.; TEIXEIRA, J.P.F.; FURLANI, P.R.; FURLANI, A.M.C. & GALLO, J.R. Análise química de plantas. Campinas, Instituto Agrônômico, 1983. 48p. (Boletim técnico, 78)
- BERNARDO, L.M., CLARK, R.B. & MARANVILLE, J.W. Effect of nitrate/ammonium ratios on nutrient solution pH, nitrogen uptake, and dry-matter yields of sorghum. *Agronomy Abstracts*, 74:92, 1982.
- CLARK, R.B. Nutrient solution growth of sorghum and corn in mineral nutrition studies. *Journal Plant Nutrition*, 5:1039-1057, 1982.
- . & BROWN, J.C. Differential mineral uptake by maize inbreds. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 5:213-227, 1974.
- EPSTEIN, E. & JEFFERIES, R.L. The genetic basis of selective ion transport in plants. *Annual Review of Plant Physiology*, 15:169-184, 1964.
- FLEMING, A.L. Ammonium uptake by wheat varieties differing in Al tolerance. *Agronomy Journal*, 75:726-730, 1983.
- FRANÇA, G.E. de. Differences in dry matter yield and the uptake, distribution and use of nitrogen by sorghum genotypes. Lincoln, University of Nebraska, 1981. 95p. Dissertation (Ph.D.)
- FURLANI, A.M.C., BATAGLIA, O.C. & LIMA, M. Eficiência de linhagens de milho na absorção e/ou utilização de fósforo, a baixo nível, em solução nutritiva. *Bragantia*, Campinas, 44(1):129-147, 1985.
- GABELMAN, W.H. Genetic potentials in nitrogen, phosphorus and potassium efficiencies. In: WORKSHOP ON PLANT ADAPTATION TO MINERAL STRESS IN PROBLEM SOILS, Beltsville, Maryland, 1976, edited by M.J. Wright - Proceedings. Ithaca, NY, Cornell University Agricultural Experimental Station, 1976. p.205-212.
- GERLOFF, G.C. Plant efficiencies in the use of nitrogen, phosphorus and potassium. In: WORKSHOP ON PLANT ADAPTATION TO MINERAL STRESS IN PROBLEM SOILS, Beltsville, Maryland, 1976, edited by M.J. Wright - Proceedings. Ithaca, NY, Cornell University Agricultural Experimental Station, 1976. p.161-173.

- HIATT, A.J. & LEGGETT, J.E. Ionic interactions and antagonism in plants. In: CARLSON, E.W., ed. The plant root and its environment. Charlottesville, University Press of Virginia, 1974. p.101-134.
- HUCKLESBY, D.P.; BROWN, C.M.; HOWELL, S.E. & HAGEMAN, R.H. Late spring applications of nitrogen for efficient utilization and enhanced production of grain and protein of wheat. *Agronomy Journal*, 63:274-277, 1971.
- LINDGREN, D.T.; GABELMAN, W.H. & GERLOFF, G.C. Variability of Phosphorus uptake and translocation in *Phaseolus vulgaris* L. under phosphorus stress. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 102:674-677, 1977.
- MARANVILLE, J.W.; CLARK, R.B. & ROSS, W.M. Nitrogen efficiency in grain sorghum. *Journal of Nutrition*, 2(5):577-589, 1980.
- NIELSEN, N.E. & BARBER, S.A. Differences among genotypes of corn in the kinetics of P uptake. *Agronomy Journal*, 70:695-698, 1978.
- O'SULLIVAN, J.; GABELMAN, W.H. & GERLOFF, G.C. Variations in efficiency of nitrogen utilization in tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Mill.) grown under nitrogen stress. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 99:543-547, 1974.
- POLLMER, W.G.; EBERHARD, D.; KLEIN, D. & DHILLON, B.S. Genetic control of nitrogen uptake and translocation in maize. *Crop Science*, 19(1):82-86, 1979.