

**UTILIZAÇÃO DE SOLUÇÃO NUTRITIVA COMO TÉCNICA PARA
A SELEÇÃO DE VARIEDADES DE TRIGO
TOLERANTES AO ALUMÍNIO**

JUVENAL CALDAS LEITE

Engenheiro Agrônomo
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

Orientador : DR. PAULO SODERO MARTINS

Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura
"Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo,
para obtenção do título de Mestre em Genética
e Melhoramento de Plantas.

P I R A C I C A B A
Estado de São Paulo - Brasil
Março - 1978

BIOGRAFIA DO AUTOR

JUVENAL CALDAS LEITE, filho de Jurandir Araguaia Leite e Benedita Caldas Leite, nasceu em Itaberai - Goiás, aos 28 dias do mês de fevereiro de 1946. Em 1967 ingressou na Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade de Brasília, em 25 de março de 1971 obteve o diploma de Engenheiro Agrônomo. Em setembro de 1971, iniciou o desempenho de suas atividades profissionais, em Sete Lagoas - MG., como pesquisador do ex-Departamento Nacional de Pesquisa e Experimentação Agropecuária (DNPEA), indo posteriormente para a ex-Estação Experimental de Brasília, hoje Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (CPAC), órgão da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), desenvolvendo, desde o início de sua carreira, trabalhos de pesquisa com a cultura do trigo na região do Planalto Central do Brasil.

À minha esposa e filho,

À minha mãe e irmãos,

À memória de meu pai,

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Os meus sinceros agradecimentos,

- Ao Prof. Dr. Paulo Sodero Martins, pela orientação na realização desse trabalho.
- Ao Prof. Dr. Natal Antonio Vello, pelas valiosas sugestões e críticas.
- Ao Prof. Dr. Roland Vencovsky, pela orientação nas análises estatísticas e pelas sugestões apresentadas.
- Ao Prof. Dr. Ernesto Paterniani, pelas facilidades concedidas como Diretor do Departamento de Genética.
- A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), pela oportunidade de aperfeiçoamento.
- Aos docentes do Departamento de Genética da ESALQ/USP, pelos exemplos e ensinamentos.
- Aos funcionários do Departamento de Genética da ESALQ/USP, pelas atenções recebidas.

--ooo000||000ooo--

Í N D I C E

	<u>Página</u>
1. RESUMO	01
2. INTRODUÇÃO	03
3. REVISÃO DE LITERATURA	06
4. MATERIAL E MÉTODOS	12
4.1. Material	12
4.1.1. Variedades	12
4.1.2. Equipamentos	13
4.1.3. Solução nutritiva	15
4.2. Métodos	15
4.2.1. Procedimento	15
4.2.2. Coleta de dados	16
4.2.3. Análise estatística	18
5. RESULTADOS	19
6. DISCUSSÃO	22
7. CONCLUSÕES	35
8. SUMMARY	37
9. LITERATURA CITADA	39
10. APÊNDICE (Tabelas e Figuras)	44

1. RESUMO

O objetivo do presente trabalho foi verificar, através do comportamento de quatro variedades de trigo de tipos diferentes e de origens diversas e que diferem em tolerância ao Al, a viabilidade da utilização de solução nutritiva como técnica para selecionar variedades tolerantes a este elemento.

Para isto, foram realizadas no Departamento de Genética da ESALQ/USP quatro experimentos em condições controladas onde se testaram quatro variedades de trigo nas concentrações de 0, 4, 8 e 12 ppm de Al.

Os caracteres utilizados para classificar as variedades de trigo em relação à tolerância ao Al, foram: comprimento máximo das raízes, comprimento total das raízes, peso das raízes, comprimento máximo da parte aérea e peso da parte aérea.

Foi verificado, nas condições do presente trabalho, que os caracteres referentes às raízes são mais sensíveis para classificar as respostas das variedades ao Al, do que os caracteres referentes à parte aérea,

destacando-se o caráter comprimento total das raízes pela sua precisão e o caráter comprimento máximo das raízes pela sua utilidade prática.

Observou-se uma tendência linear de variação, na redução de todos os caracteres estudados, à medida que as concentrações de Al aumenta. Considerações estatísticas são feitas com relação à esta variação.

A relação entre o peso da parte aérea e o peso das raízes nas variedades tolerantes e moderadamente tolerante ao Al, permanece aproximadamente constante nas diferentes concentrações deste elemento, ao passo que na variedade suscetível esta relação não é constante.

Sugere-se a utilização de solução nutritiva como uma técnica eficiente, segura e rápida, para selecionar genótipos de trigo tolerantes ao Al, em um programa de melhoramento.

2. INTRODUÇÃO

Até há poucos anos atrás a cultura do trigo (*Triticum aestivum* L.) no Brasil, limitava-se à região de clima sub-tropical que vai do Rio Grande do Sul ao sul do Paraná. Nos últimos seis anos esta cultura se expandiu para uma área mais ampla, situada ao redor da linha do trópico de Capricórnio, constituída pelo norte e oeste do Paraná, oeste de São Paulo e sul do Mato Grosso, área esta de transição entre as regiões sub-tropical e tropical.

Esta expansão da área de cultivo vem sendo estimulada pelo governo brasileiro, que tem como uma de suas metas prioritárias na área da agricultura, o aumento da produção de trigo, justificada pela necessidade de não dispendar divisas com a importação de alimentos quando existem condições de meio para a sua produção.

Dentro desta política de expansão da cultura do trigo, uma das áreas que está sendo cogitada é a do Planalto Central. Porém, a implantação da cultura do trigo nesta vasta área que corresponde à região dos "cerrados" encontra entre outras limitações a imposta pela acidez dos so

los que apresentam altos teores de Al e Mn tóxicos.

A maioria dos técnicos recomenda a aplicação de calcário para a correção desta acidez. Esta medida, porém, apresenta certas limitações tendo em vista a dificuldade de se aplicar o calcário a profundidades superiores a 30 cm. Em geral, sua maior ação permanece ao redor dos 20 cm superficiais, e as raízes do trigo e de muitas espécies anuais são, geralmente, muito mais profundas, atingindo frequentemente um metro. O controle do Al tóxico pela aplicação do calcário, portanto, limita-se à camada superficial do solo e o excesso de Al livre no subsolo pode restringir o crescimento das raízes, tornando as plantas mais sensíveis à seca (FOY et alii, 1965a; SILVA, 1974).

Uma abordagem promissora do problema de solos ácidos com presença de Al tóxico, parece ser a seleção de cultivares de trigo melhor adaptados a esses solos, principalmente às camadas abaixo da superfície nas quais a completa neutralização da acidez é mecanicamente difícil ou economicamente impraticável.

Os métodos utilizados para a seleção de genótipos tolerantes a toxidez provocada pelo Al, são relativamente complexos quando realizados em condições de campo, daí a necessidade de se realizarem estudos prévios, em condições controladas do efeito de diversas concentrações de Al no desenvolvimento radicular de diferentes variedades de trigo.

O presente trabalho teve por objetivo estudar, em solução nutritiva, o comportamento de quatro variedades de trigo, promissoras para a região do Planalto Central, em diferentes concentrações de Al, verificando a viabilidade do uso da técnica de solução nutritiva como um método rá

pido para seleção de linhagens e variedades tolerantes ao Al em um pro
grama de melhoramento.

3. REVISÃO DE LITERATURA

O fato de serem comumente ácidos os solos dos trópicos e subtrópicos úmidos é bastante conhecido, sendo que, em muitos deles é constante a presença de teores relativamente elevados de alumínio livre associados a baixos valores de pH.

A baixa produtividade e mesmo a baixa resposta de muitos desses solos às fertilizações podem ser, em grande parte, atribuídas ao alumínio presente em níveis tóxicos.

O alumínio livre, além de ser um elemento prejudicial ao desenvolvimento do sistema radicular, interfere na absorção e movimentação de vários elementos nutritivos, inclusive Ca, Mg e P (FOY, 1974a), contribuindo ainda para a fixação do P (Mc CORMICK e BORDEN, 1972). Portanto, em solos ácidos, maiores quantidades deste elemento são necessários para compensar as deficiências causadas pelo Al.

A maioria dos solos de "cerrado" é tóxico para determinadas plantas por conterem quantidades excessivas de Al livre. JACOMINE (1969) concluiu em um trabalho sobre os tipos principais de solos de "cerrado"

que o alumínio pode chegar a 3,5 mE/100 g de solo. Então muitos solos de "cerrado" tem mais de 100 ppm de Al e BEAR (1957) relata que 10 a 20ppm já é prejudicial a muitas espécies.

GOODLAND (1971) verificou que em 110 amostras de solos de "cerrado" do Triângulo Mineiro, a média de teor de alumínio foi de 75 ppm.

Segundo MALAVOLTA et alii (1977) deve-se esperar que o teor de Al trocável nos solos de "cerrado" varie entre 1,6 a 4,1 e.mg/100 g de solo em 51% dos casos e entre 0 a 1,6 e.mg/100 g de solo em 40% dos casos. O valor geralmente considerado não tóxico é de 0,5 e.mg/100 g de solo, conforme GARGANTINI et alii (1970).

Tal Al solúvel ou trocável em solos com a superfície ácida, pode ser neutralizado por calagem, mas o alumínio do subsolo pode permanecer livre e, portanto, prejudicial mesmo após a calagem. Assim, mesmo em solos tratados com calcário o excesso de Al livre no subsolo pode restringir as raízes às camadas superficiais e tornar as plantas mais sensíveis à seca (FOY et alii, 1965a).

Uma maneira de resolver o problema do estabelecimento de certas culturas em solos ácidos, constitui-se na seleção de plantas que sejam mais tolerantes ao Al.

Há muito tempo se sabe que diferentes espécies vegetais diferem em relação à resposta ao Al (McLEAN e GILBERT, 1927; LIGNON e PIERRE, 1932 e outros); mais recentemente tais diferenças foram mostradas existir também entre variedades da mesma espécie.

NEENAM (1960) mostrou que a tolerância diferencial a solos

ácidos de certas variedades de trigo e cevada estava associada com tolerância ao excesso de Al livre.

Foi também verificado por FOY et alii (1965a) que variedades de trigo e cevada apresentavam grandes diferenças quanto a sua tolerância a solos ácidos; mostraram ainda que variedades de trigo e cevada criadas em solos ácidos eram geralmente mais tolerantes ao alumínio do que aquelas criadas em solos neutros ou alcalinos. Estes autores concluíram que as variedades de trigo do Brasil foram excepcionalmente tolerantes ao Al indicando que certas variedades tem sido selecionadas para propriedades que estão associadas com sua capacidade para tolerar o alumínio em solos ácidos.

Em um trabalho posterior FOY et alii (1974b) relacionaram a tolerância diferencial de variedades de trigo com a sua região de origem, concluindo que certas variedades refletem o solo, particularmente o subsolo, em que foram selecionadas e que levando tais variedades para solos diferentes pode resultar em novos problemas de toxidez ou de deficiência de elementos nutritivos.

Essas diferenças em tolerância ao Al entre variedade de uma mesma espécie sugerem a possibilidade de se aumentar a tolerância ao Al em variedades comerciais através do melhoramento de plantas.

Um dos principais efeitos de altas concentrações de Al é a redução do sistema radicular.

FLEMING e FOY (1968) sugeriram que esta inibição do desenvolvimento radicular possa ser um indicador útil para selecionar plantas para tolerância ao Al em subsolos ácidos.

Diversos pesquisadores (FOY et alii, 1965b; MESDAG e SLOOTMAKER, 1969; REIO et alii, 1969) usaram solo para selecionar um grande número de variedades de trigo e cevada, tolerantes a solos ácidos. Porém, como afirmam FOY et alii (1973) o termo "tolerância a solos ácidos" não tem um significado específico. Mesmo no caso de solos ácidos com o mesmo pH, o fator dominante na limitação do crescimento das plantas pode diferir em tipo e quantidade. Daí, o problema resultante de se usar solo para estudar a tolerância ao Al.

A desvantagem de se usar solo, segundo KERRIDGE et alii (1971) é que o seu grau de seleção não pode ser quantitativamente controlado e considerável experimentação precisa ser levada a efeito para assegurar que o Al é o único fator tóxico presente no solo usado.

Os mesmos pesquisadores, KERRIDGE et alii (1971) relatam que o fracasso de muitos estudos da toxidez do Al em solução nutritiva, tem sido o inadequado controle do pH e do P e assim da concentração do Al, portanto, cuidadoso controle é necessário para precisão em estudos genéticos e para reprodução dos resultados no tempo.

A resposta de variedades de cevada (*Hordeum vulgare* L.) ao Al em solução nutritiva e em solos ácidos, tanto em casa de vegetação como em parcelas de campo, tem mostrado uma boa concordância (MACLEOD e JACKSON, 1967; REIO et alii, 1969 e 1971).

FOY et alii (1974b) estudando a tolerância ao Al de variedades de trigo originárias de regiões diferentes, verificaram que as variedades que mostravam alta tolerância bem como aquelas que mostravam baixa tolerância ao Al em solos ácidos, confirmaram essa tolerância diferencial

ao Al em solução nutritiva.

MUGWIRA et alii (1976) mostraram que o uso de solução nutritiva foi um método eficiente para estudar e avaliar a tolerância relativa ao Al de diferentes variedades de triticales (uma nova espécie resultante do cruzamento de *Triticum aestivum* L. com *Secale cereale* L.), trigo (*Triticum aestivum* L.), centeio (*Secale cereale* L.) e cevada (*Hordeum vulgare* L.).

As correlações encontradas por LAFEVER et alii (1977) entre dados de rendimento de trigo em estudos de campo com os resultados de solução nutritiva, indicam que a técnica da solução nutritiva proporciona um método eficiente para classificar respostas de variedades a diferentes níveis de Al.

O uso de solução nutritiva, por outro lado, oferece uma grande precisão e, além disso, permite a observação imediata de um dos primeiros efeitos do Al tóxico que é a inibição do crescimento da raiz.

KERRIDGE et alii (1971) enfatizam o uso de solução nutritiva como uma técnica rápida e reproduzível em "screening" de plantas para tolerância ao Al e, que além disso, este método é útil em estudos genéticos pois possibilita distinguir claramente entre diferentes graus de tolerância ao Al e ainda, que as medidas do comprimento da raiz e da parte aérea não destroem estes órgãos e depois do "screening" as plantas jovens de uma população segregante podem ser transplantadas para o solo para uma subsequente avaliação e uso em um programa de melhoramento.

Com relação à herança do caráter resistência ao Al tóxico pouco se sabe, KERRIDGE e KRONSTAD (1968) cruzando variedades de trigo tolerantes e sensíveis, verificaram que a variação descontínua observada na

geração F₂ sugeria que a tolerância ao Al é herdada qualitativamente. Eles sugeriram que um único gene controlava esta característica.

FOY et alii (1974b) porém, num trabalho em que analisaram um grande número de variedades de trigo, assinalaram que a amplitude contínua de tolerância a solos ácidos mostrada pelas variedades era uma forte evidência de que a tolerância ao Al não é herdada de maneira simples. Afirmaram que deve haver dois ou três genes maiores controlando este caráter, assim como genes modificadores.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Material

4.1.1. Variedades

Foram utilizadas variedades de trigo de tipos bem diferentes e de origens bem diversas, mas que em vários anos de experimentação demonstraram boas possibilidades em regiões de cerrado.

Uma descrição sucinta da origem e das principais características das variedades utilizadas é dada por SILVA et alii (1976) e são mencionadas a seguir:

1. BH-1146 - Variedade criada na extinta Estação Experimental de Belo Horizonte da Secretaria da Agricultura de Minas Gerais, pelo Engenheiro Agrônomo Idelfonso Correia. Foi obtida por seleção da descendência dos cruzamentos das variedades PG1 x Fronteira x Mentana. É precoce, de porte alto, tolerante ao alumínio tóxico em solos ácidos e adapta-se bem a solos não muito férteis.

2. IAC-5 - MARINGÁ - Variedade criada na Estação Experimental de Capão Bonito pertencente ao Instituto Agronômico de Campinas, pelo Engenheiro Agrônomo Milton Alcover. Foi obtida dos cruzamentos das variedades (Frontana x Kenya) PG1. É menos precoce que as demais, de porte alto, adapta-se bem a solos não muito férteis e é tolerante ao alumínio tóxico em solos ácidos.

3. IAS-55 - Variedade criada no ex-Instituto de Pesquisa Agropecuária do Sul, em Pelotas. Foi obtida pela seleção da descendência dos cruzamentos das variedades IAS-15 x (NORIN-10 - BREVOR x YAQUI-53) YAQUI-50 KENTANA. É precoce como BH-1146, de porte médio, adapta-se menos que as anteriores a solos pouco férteis e é moderadamente tolerante ao alumínio tóxico em solos ácidos.

4. SONORA-63 - Variedade de origem mexicana, criada pelo Dr. Norman Borlaug e sua equipe. É um pouco mais precoce que as anteriores, de porte baixo e é suscetível ao alumínio tóxico em solos ácidos.

4.1.2. Equipamentos

Os equipamentos descritos a seguir são semelhantes aos utilizados por REID et alii (1971) com pequenas modificações.

Quatro aquários de aproximadamente 77 x 31 x 31 cm foram

adaptados para este trabalho. Três lados dos aquários foram pintados de preto, pelo lado de fora, até ao nível da solução nutritiva para evitar o desenvolvimento de algas. A parte da frente foi provida com uma tampa removível.

Para manter as plantas suspensas na solução nutritiva foram montadas 5 bandejas removíveis de aproximadamente 14 x 25 cm para cada tanque. A base de cada bandeja foi feita em acrílico preto de aproximadamente 6 mm de espessura, os suportes para sustentar as bandejas nos tanques, foram feitos com o mesmo material, mas transparente, colados à base. Nos suportes das bandejas foram coladas tiras do mesmo material para sustentar uma tela removível de arame de malha de 1/2 polegada, com a finalidade de sustentar a parte aérea das plantas. 40 orifícios para sementes, igualmente espaçadas, cada um com aproximadamente 3 mm de diâmetro foram furados em cada bandeja. Cada furo foi escareado do lado de cima para proporcionar um suporte para a semente, permitindo assim, que a raiz se desenvolva dentro da solução nutritiva.

No fundo de cada tanque foi colocado um tubo de aeração se-mirígido, de 70 cm de comprimento por 2 cm de diâmetro, com as extremidades vedadas e com 10 pequenos orifícios para a saída do ar. Os tubos de aeração foram sustentados no fundo dos tanques por suportes de chumbo pin-tados com tinta plástica e foram conectados com tubos flexíveis que estavam ligados a um compressor de ar principal. A aeração dos tanques foi normal e contínua e cada tanque era individualmente controlado. Os 10 orificios do tubo de aeração por tanque, forneceram suficiente aeração para um bom desenvolvimento das plantas. Eles também forneceram uma circulação contínua que resulta em um pH e uma temperatura uniforme para todos os tanques.

4.1.3. Solução nutritiva

Foi utilizada a solução de Steinberg modificada, descrita por FOY et alii (1967), com uma pequena alteração para conter apenas 0,3 ppm de P. As concentrações dos outros elementos em ppm foram: 50,8 de Ca; 6,6 de Mg; 56 de N (51,9 como NO_3^- e 4,1 como NH_4^+); 3,8 de S (como SO_4^{2-}); 29,4 de K; 0,01 de Na; 0,34 de Cl; 0,13 de Mn; 0,07 de B; 0,04 de Zn; 0,01 de Cu e 0,005 de Mo. 1 ppm de ferro foi adicionado separadamente como FeEDTA. Para o preparo da solução nutritiva foi usado água destilada. Cada tanque continha uma concentração de alumínio e estas foram: 0, 4, 8 e 12 ppm de Al adicionado como $\text{Al}(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$. A solução nutritiva de todos os tanques foi ajustada inicialmente para o pH 4,0 e para que se mantivesse este pH ele era ajustado duas vezes por dia, quando necessário, com 0,1 N NaOH ou 0,1 N H_2SO_4 . Este cuidado é importante, pois com a elevação do pH ocorre a precipitação do Al, que deixa de ser tóxico, prejudicando assim os resultados do experimento. A superfície da solução nutritiva foi mantida em contato com o fundo das bandejas por adição de água destilada quando necessário. Cada tanque continha 32 l de solução e mantinha uma relação de 160 ml/planta.

4.2. Métodos

4.2.1. Procedimento

A solução nutritiva foi preparada um dia antes do início dos experimentos.

As sementes foram colocadas para germinar em placas de Petri, em germinadores com a temperatura de 20 a 22°C, por 60 horas e depois de germinadas foram transferidas para os orifícios individuais das bandejas. Os experimentos foram conduzidos em uma câmara de crescimento "CONVIRON" do Departamento de Genética da ESALQ/USP. A temperatura da câmara foi controlada durante todo o período do experimento; foi usado um comprimento de dia de 14 horas com uma temperatura de 22°C e as 10 horas restantes simulavam noite com uma temperatura de 15°C.

O pH da solução foi mantido dentro de um limite restrito nos experimentos contendo Al. Porém no experimento que não foi adicionado Al, o pH começou a aumentar rapidamente o que requereu um ajustamento duas vezes por dia com H₂SO₄, mas mesmo assim não foi mantido no nível original, mas permanecia sempre em níveis aceitáveis. O mesmo fato foi observado por REID et alii (1971). Contudo, FOY et alii (1965b e 1967) mostraram que tal mudança de pH não afeta o desenvolvimento de cevada e trigo quando o alumínio está ausente.

O delineamento experimental usado foi o de blocos ao acaso. Na realidade cada tanque ou cada concentração de Al constituiu um experimento isolado com quatro tratamentos representados pelas quatro variedades de trigo, com cinco repetições. Os dados foram obtidos de 10 plantas por parcela.

4.2.2. Coleta de dados

Após 19 dias do início dos experimentos, as raízes foram separadas da parte aérea e foram feitas as seguintes observações em cada tra

tamento (variedade) dentro de cada concentração de Al:

a) Comprimento máximo da parte aérea, em cm. Medida tomada da base do colmo até ao ápice da maior folha.

b) Peso seco da parte aérea, em mg.

c) Comprimento máximo da raiz, em cm. Medida tomada da base do colmo até a extremidade da maior raiz.

d) Comprimento total das raízes, em cm. Soma da medida de todas as raízes de cada planta.

Como o comprimento total das raízes é um dado difícil de ser obtido, pois além de trabalhoso é demorado, foi feita uma amostragem de duas plantas por parcela em cada variedade dentro de cada concentração de Al e em apenas três repetições. Para estimar este caráter foi feita uma medida direta de todas as raízes de cada planta amostrada com o auxílio de um papel milimetrado.

Como no experimento sem Al existia um grande número de raízes bastante finas, estas foram coradas com azul de metileno para melhorar o contraste, facilitando um pouco o trabalho.

e) Peso seco da parte aérea em mg.

4.2.3. Análise estatística

Os dados obtidos para todos os caracteres em todos os expe
rimentos foram submetidos à análise individual de variância. Posteriormen
te foram realizadas as análises conjuntas de variância (PIMENTEL GOMES,
1970). A soma dos quadrados dos efeitos de níveis de A1 e da interação va
riedades por níveis de A1 foi desdobrada nas componentes de regressão li
near, quadrática e cúbica, através dos polinômios ortogonais (STEEL e
TORRIE, 1960).

5. RESULTADOS

Nas tabelas de 1 a 5 encontram-se resumidas as análises individuais de variância para todos os caracteres estudados dentro de cada um dos quatro níveis de alumínio. Em todos os casos houve significância ao nível de 1% de probabilidade somente para o efeito de tratamentos. Nestas tabelas são apresentados também os coeficientes de variação experimental, cujos valores variam de 0,7 a 8,5%.

Um resumo da análise conjunta de variância para todos os caracteres estudados encontra-se na tabela 6. Neste caso, houve significância ao nível de 1% de probabilidade, para todos os caracteres estudados, para os efeitos de variedades e de níveis de alumínio. O efeito da interação variedades por níveis de alumínio foi significativo ao nível de 1% de probabilidade para os caracteres: comprimento máximo das raízes, comprimento total das raízes, peso das raízes e peso da parte aérea e não significativo, para o caráter comprimento máximo da parte aérea.

As componentes da regressão linear, quadrática e cúbica, resultantes do desdobramento da soma dos quadrados dos efeitos de níveis de

Al e da interação variedades por níveis de Al para todos os caracteres estudados (tabela 7) mostraram-se altamente significativos para todas as quatro variedades de trigo estudadas, com exceção da componente de regressão cúbica do caráter comprimento da parte aérea da variedade IAS-55 que foi não significativo. Contudo, pela magnitude relativa dessas componentes (tabela 7 e figuras de 10 a 14), observa-se a predominância da componente linear para todos os caracteres estudados nas quatro variedades de trigo.

Nas tabelas de 8 a 12 observam-se as estimativas das médias, os coeficientes de variação entre plantas dentro de parcelas e os valores relativos de todos os caracteres estudados nas quatro variedades de trigo dentro dos quatro níveis de alumínio.

Ocorreram decréscimos nas médias de todos os caracteres à medida que se aumentou o nível de alumínio na solução. Para o caráter comprimento máximo das raízes (tabela 8) o coeficiente de variação entre plantas dentro de parcelas se mostrou relativamente semelhante nos quatro níveis de alumínio, para as variedades SONORA-63 e IAS-55; já nas variedades IAC-5 e BH-1146, ocorreram alterações substanciais no coeficiente de variação entre plantas dentro de parcelas à medida que se aumentou o nível de alumínio. Para os demais caracteres, as alterações no coeficiente de variação dentro foram relativamente pequenas, principalmente na presença de alumínio.

A tabela 13 mostra a relação existente entre o peso da parte aérea e o peso da raiz das quatro variedades nas diferentes concentrações de alumínio. Esta relação é melhor visualizada na figura 15. As variedades BH-1146, IAC-5 e IAS-55 tiveram um comportamento relativamente uniforme e constante em todos os níveis de alumínio. Já a variedade

SONORA-63 exibiu tendência de acréscimo na relação entre o peso da parte aérea e o peso da raiz com os aumentos na concentração de alumínio.

As figuras de 1 a 4 ilustram a tolerância diferencial ao Al das variedades de trigo estudados nas concentrações de 0, 4, 8 e 12 ppm de Al em solução nutritiva com pH 4,0.

Nas figuras 5 a 9 encontram-se as curvas de respostas ao Al de todos os caracteres estudados, para cada uma das quatro variedades de trigo. Tais respostas são mais facilmente interpretadas se associadas aos valores relativos das componentes linear, quadrática e cúbica, fornecidos nas figuras de 10 a 14. Nestas figuras, nota-se, em todas as variedades e em todos os caracteres considerados, uma predominância muito acentuada da componente linear sobre as demais, muito embora em praticamente todos os casos, as três componentes tenham sido estatisticamente significativas (tabela 7).

6. DISCUSSÃO

O baixo valor do coeficiente de variação encontrado (tabelas 1 a 5), para todos os caracteres estudados nos quatro experimentos, mostra uma boa precisão experimental.

As figuras 1 e 2 mostram o efeito das diferentes concentrações de Al nas variedades de trigo BH-1146 e IAC-5, notando-se claramente que com o aumento da concentração de Al há uma redução no desenvolvimento do sistema radicular acompanhado pelo engrossamento das raízes, nota-se também que as ramificações das raízes vão diminuindo com o aumento da concentração de Al. Verifica-se ainda que a redução da parte aérea nas diferentes concentrações de Al, é proporcionalmente menor que a redução do sistema radicular. O mesmo fato se verifica na variedade de trigo IAS-5 ilustrada pela figura 3, com exceção das ramificações das raízes que neste caso já são mais severamente inibidas a partir da concentração de 4 ppm de Al.

Na figura 4 observa-se, por outro lado, que a concentração

de 4 ppm de Al já inibe completamente o desenvolvimento do sistema radicular da variedade SONORA-63, que mostra pouca ou nenhuma resposta ao Al nas concentrações mais elevadas, impossibilitando assim, no presente trabalho, determinar um limite de tolerância ao Al para esta variedade, o que só poderá ser feito utilizando-se menores concentrações de Al.

Verifica-se na tabela 7, que o desdobramento da soma dos quadrados dos efeitos de níveis de Al e da interação variedades por níveis de Al nas componentes de regressão linear, quadrática e cúbica foram altamente significativos em praticamente todos os casos, mas observa-se, por outro lado, na tabela 7 e figuras de 10 a 14 uma acentuada predominância da componente linear sobre as demais. Isto indica que com o aumento da concentração de Al, são esperadas reduções aproximadamente lineares tanto nos caracteres relacionados com a parte aérea como naqueles das raízes.

As figuras de 5 a 9, mostram que as curvas de respostas ao Al da variedade SONORA-63 são bastante semelhantes para todos os caracteres medidos, verificando-se que há uma redução brusca nos mesmos, do tratamento sem Al para o tratamento com 4 ppm de Al, alterando-se pouco ou nada daí em diante. Isto indica que as concentrações de Al utilizadas foram bastante elevadas para a referida variedade. Para as demais variedades, apesar das curvas apresentarem uma acentuada redução em todos os caracteres do tratamento sem Al para o tratamento com 4 ppm de Al, verifica-se uma tendência de variação linear das mesmas.

As curvas de respostas ao Al referentes a todos os caracteres observados nas quatro variedades de trigo estudadas (figuras de 5 a 9), além de apresentarem uma mesma tendência linear de variação, permitem clas

sificar as quatro variedades em três grupos distintos, como era esperado (SILVA et alii, 1976): o grupo tolerante ao alumínio, representado pelas variedades BH-1146 e IAC-5, o grupo moderadamente tolerante ao alumínio representado pela variedade IAS-55 e o grupo suscetível ao alumínio representado pela variedade SONORA-63.

O coeficiente de variação entre plantas dentro de parcelas, para o caráter comprimento máximo das raízes das variedades SONORA-63, suscetível ao Al e IAS-55, moderadamente tolerante ao Al, como pode ser observado na tabela 8, mostra uma certa constância. Pode-se explicar esta constância pelo Al inibindo o desenvolvimento das raízes, condicionar maior uniformidade dentro dos tratamentos com Al. As variedades BH-1146 e IAS-55, tolerantes ao Al, exibiram decréscimos acentuados no coeficiente de variação entre plantas dentro de parcelas, do nível zero para o nível de 4 ppm de alumínio (tabela 8). Estes coeficientes foram muito pouco alterados na concentração de 8 ppm de Al. No entanto, com 12 ppm, ocorreram acréscimos no coeficiente de variação dentro, da mesma magnitude que os decréscimos iniciais. É difícil justificar essas oscilações de maneira satisfatória. Considerando que estas variedades são tolerantes ao alumínio (SILVA et alii, 1976) uma hipótese pode ser considerada, explicando os decréscimos iniciais como sendo consequência da menor variabilidade no comprimento máximo das raízes, em razão das plantas terem sido colocadas em contato com o alumínio, fator limitante da expansão do sistema radicular. Tal mecanismo de tolerância poderia ser alterado em dosagens mais elevadas, da ordem de 12 ppm de Al, de maneira que as plantas tivessem condições de expandir em maior ou menor grau as suas raízes. Este fato explicaria os acréscimos posteriores no coeficiente de variação dentro. Pode ser aventada a possibilidade do mecanismo de tolerância ao alumínio depender de genes maio

res até uma certa dosagem desse elemento, a partir da qual a influência de poligenes passaria também a ser importante.

A tabela 9 mostra que, para o caráter comprimento total das raízes, o coeficiente de variação entre plantas dentro de parcelas evidencia um comportamento semelhante entre as variedades SONORA-63 e IAS-55, que tendem a uma uniformização nos tratamentos com Al. O aumento gradual do coeficiente de variação entre plantas dentro de parcelas, do referido caráter, no caso das variedades BH-1146 e IAC-5, a medida que aumenta a concentração de Al, sugere duas interpretações, sendo que a primeira pode ser devido a uma diminuição da média do caráter nas diferentes concentrações de Al, e a segunda a existência de plantas que diferem em tolerância ao Al dentro de cada variedade.

Nas tabelas 10, 11 e 12, observa-se que o coeficiente de variação entre plantas dentro de parcelas, para os caracteres: peso das raízes, comprimento da parte aérea e peso da parte aérea, mostra uma certa uniformidade nas quatro variedades nas diferentes concentrações de Al. O fato do caráter peso das raízes apresentar os coeficientes de variação dentro mais uniformes do que o caráter comprimento total das raízes, pode ser justificado pelo fato do efeito do alumínio, como será discutido adiante, causar um engrossamento das raízes. Isto nos leva a acreditar que mesmo raízes com comprimentos totais diferentes podem apresentar pesos semelhantes. Já os caracteres referentes à parte aérea são menos afetados pelo Al do que os caracteres referentes ao sistema radicular, sendo este fato justificado mais adiante.

O principal efeito dos danos causados pelo alumínio é a inibição do desenvolvimento do sistema radicular, que torna-se evidente logo

nos primeiros dias. As raízes afetadas não se desenvolvem normalmente tornando-se grossas e quando severamente afetadas tornam-se escurecidas e morrem. Este fato é conhecido de longa data (HARTWELL e PEMBER, 1918) e é devido provavelmente, à inibição da divisão celular (CLARKSON, 1965) o que resulta na formação de tecido anormal e não diferenciado semelhante a tumor (RORISON, 1958; REES e SIDRAK, 1961).

Os tratamentos com alumínio diminuíram o comprimento máximo das raízes em todas as variedades, mas esta diminuição foi muito mais severa na variedade suscetível ao alumínio do que nas variedades tolerantes e moderadamente tolerantes. Na tabela 8, pode-se observar que nas variedades BH-1146 e IAC-5, tolerantes ao Al, o comprimento máximo das raízes na concentração de 4 ppm de Al foi 61,7 e 55,8% respectivamente do tratamento sem Al. Na concentração de 8 ppm o comprimento máximo das raízes dessas variedades foi 58,3 e 52,5% respectivamente do tratamento sem Al e na concentração de 12 ppm de Al apresentaram um comprimento máximo das raízes de 50,7 e 49,4% respectivamente do tratamento sem Al.

Na mesma tabela 8, verifica-se que a variedade IAS-55 moderadamente tolerante ao Al apresentou um comprimento máximo das raízes, nas concentrações de 4, 8 e 12 ppm de Al, respectivamente de 62,3; 59,2 e 42,8% do tratamento sem Al. Apesar da variedade IAS-55 apresentar um comprimento máximo relativo das raízes nas concentrações de 4 e 8 ppm de Al superior ao das variedades tolerantes BH-1146 e IAC-5, ela possui um limite de tolerância inferior a estas duas variedades visto que aumentando a concentração de Al para 12 ppm, seu comprimento máximo relativo da raiz é inferior ao das variedades tolerantes BH-1146 e IAC-5.

Ainda na tabela 8, verifica-se que a variedade SONORA-63 suscetível ao Al, apresentou um comprimento máximo relativo das raízes, nas concentrações de 4,8 e 12 ppm de Al, respectivamente de 13,6; 11,9 e 11,7% do tratamento sem Al.

Estes resultados sugerem que o caráter comprimento máximo da raiz possa ser um indicador útil para selecionar plantas tolerantes ao Al em um programa de melhoramento apresentando ainda a vantagem de que a obtenção da medida do comprimento máximo das raízes não danifica este órgão e portanto, as plantas selecionadas em solução nutritiva podem ser transplantadas e avaliadas em condições de solo.

O efeito prejudicial do alumínio é claramente evidenciado pela severa redução do comprimento total das raízes. Observa-se na tabela 9 que o comprimento total das raízes das variedades BH-1146 e IAC-5, tolerantes ao Al, nas concentrações de 4 e 8 ppm de Al, é reduzido para aproximadamente 1/3 do tratamento sem Al. Na concentração de 12 ppm de Al o comprimento total das raízes da variedade BH-1146 foi de aproximadamente 6 vezes menor do que o tratamento sem Al. Na concentração de 12 ppm de Al o comprimento total das raízes da variedade IAC-5 foi reduzido em 7,5 vezes em relação ao tratamento sem Al.

O comprimento total das raízes da variedade IAS-55 moderadamente tolerante ao Al, já é severamente reduzido nas concentrações de 4 e 8 ppm de Al, apresentando, respectivamente, um comprimento total de aproximadamente 6,5 e 7,5 vezes menor em relação ao tratamento sem Al. A redução do comprimento total das raízes desta variedade foi ainda mais severa na concentração de 12 ppm de Al, sendo 12,5 vezes menor do que o tratamento

to sem Al.

O sistema radicular da variedade SONORA-63, suscetível ao Al, conforme já foi discutido é praticamente inibido já na concentração de 4 ppm de Al.

Verifica-se assim que o caráter comprimento total das raízes manifesta fielmente os efeitos prejudiciais do alumínio tóxico, mas apresenta sérios inconvenientes, pois a sua determinação é trabalhosa e demorada e além disso a tomada de medidas do comprimento total das raízes implica na destruição dessas, na maioria dos métodos existentes (REICOSKY et alii, 1970). Portanto, as plantas de uma população segregante selecionadas para este caráter não poderão ser utilizadas posteriormente em um programa de melhoramento.

O comprimento máximo das raízes, apesar de ser um caráter útil para selecionar plantas tolerantes ao Al, não dá uma idéia da superfície de absorção do sistema radicular, pois a sua determinação é feita com base apenas no comprimento da maior raiz do sistema. Já o comprimento total das raízes, é um caráter que reflete melhor a superfície de absorção do sistema radicular, pois na sua determinação são consideradas todas as raízes do sistema. Este fato é ainda melhor evidenciado comparando-se as tabelas 8 e 9. Verifica-se por exemplo, na tabela 9, que na variedade BH-1146 o comprimento total das raízes nas concentrações de 4 e 12 ppm de Al é reduzido, respectivamente, para 32,8 e 16,4% do tratamento sem Al, e que o comprimento máximo das raízes, da mesma variedade, nas mesmas concentrações de Al, é reduzido, respectivamente, para 61,7 e 50,7% do tratamento sem Al (tabela 8). Comparações idênticas poderão ser feitas para todas

as variedades, com exceção da variedade SONORA-63, que como já foi discutido, 4 ppm de Al já inibe o desenvolvimento do sistema radicular que mostra pouca variação nas concentrações mais elevadas de Al.

Esse fato mostra que o caráter, comprimento total das raízes, é bastante sensível para detectar respostas de variedades ao Al. A sua utilização fica limitada por motivos já discutidos anteriormente, o que o torna um caráter pouco usual em estudos dessa natureza.

Os tratamentos com alumínio reduziram o peso das raízes de todas as variedades, sendo esta redução mais severa na variedade SONORA-63, susceptível ao Al, como pode-se observar na tabela 10. Resultados semelhantes foram encontrados por MUGWIRA et alii (1976) em estudos da tolerância diferencial ao Al com variedades de trigo tolerantes e suscetíveis, nas concentrações de zero e 6 ppm de Al. Contudo, os resultados não concordam com os encontrados por REID et alii (1971) em estudos da tolerância diferencial ao Al com variedades de cevada nas concentrações de zero e 4 ppm de Al. Os autores verificaram que o peso das raízes das variedades tolerantes foram geralmente superiores nas plantas desenvolvidas em presença de Al, do que nas plantas desenvolvidas sem Al, ocorrendo o inverso com as variedades suscetíveis. Explicaram o fato como sendo um resultado parcial do engrossamento das raízes na presença de Al, que seria mais pronunciado nas plantas mais jovens.

O caráter peso das raízes, apesar de ser comumente utilizado em estudos dessa natureza, não manifesta fielmente o efeito do alumínio tóxico, pois pode ocorrer que plantas desenvolvidas em presença de Al, devido ao engrossamento das raízes apresentem pesos superiores à plantas desen

volvidas na ausência de Al, como relatado anteriormente. Isto pode difi
cultar o estabelecimento do limite de tolerância de variedades julgadas por
este caráter.

O fato das variedades de trigo estudadas no presente traba
lho apresentarem a redução do peso das raízes em uma tendência linear, não
afasta a hipótese de que a tendência deste caráter possa ser modificado.
Para verificar esta possibilidade seria necessário realizar estes estudos
em concentrações mais baixas de Al.

O desenvolvimento da parte aérea das quatro variedades de
trigo estudadas foi menos afetado pelo alumínio do que o desenvolvimento
do sistema radicular conforme se observa na tabela 11. O mesmo foi veri
ficado por FOY et alii (1974) que justificaram o fato por ser o Al comun
te mais prejudicial às raízes do que à parte aérea e que a disponibilidade
de água e de nutrientes, particularmente Ca e P, são menos limitantes em
solução nutritiva do que em solos. Assim, um sistema radicular reduzido
ou pouco funcional ainda pode manter um bom desenvolvimento da parte aé
rea.

O comprimento da parte aérea da variedade suscetível SONO-
RA-63, além de ser o mais afetado de todas as variedades, apresenta nos
tratamentos com Al, os sintomas visuais característicos da toxidez do Al,
ou seja, o amarelecimento das folhas. As variedades tolerantes e moderada-
mente tolerantes ao Al apresentaram esses sintomas apenas nas concentra
ções mais elevadas de Al, mas com menor intensidade do que a variedade sus
cetível ao Al.

Pelo discutido anteriormente, verifica-se que o caráter com

primento da parte aérea não é muito eficiente para estudos da tolerância diferencial ao Al. Já os sintomas visuais que caracterizam a toxidez do Al são úteis para selecionar variedades tolerantes em condições controladas de meio pois caso contrário esses sintomas podem ser confundidos com a deficiência de P que apresenta características semelhantes (FOY, 1974a).

A redução do peso da parte aérea na presença de Al, conforme se verifica na tabela 12, foi mais acentuada na variedade suscetível SONORA-63 do que nas variedades tolerantes e moderadamente tolerante. Na concentração de 4 ppm de Al, o peso da parte aérea da variedade suscetível SONORA-63 já é reduzido para 40% em relação ao tratamento sem Al. Verifica-se também que o peso da parte aérea da variedade suscetível SONORA-63 é menos afetado pelo Al do que o peso das raízes da mesma variedade, isto se deve ao fato já discutido anteriormente.

O peso da parte aérea é um caráter comumente utilizado em estudos dessa natureza. Comparando as tabelas 11 e 12, verifica-se que este caráter é mais eficiente que o comprimento da parte aérea para classificar as respostas de variedades ao Al. Contudo apresenta a desvantagem de ser mais trabalhoso e a sua determinação causar a destruição desta parte da planta.

A tabela 13 e a figura 15, evidenciam que a relação existente entre o peso da parte aérea e o peso das raízes das variedades BH-1146 e IAC-5 tolerantes ao Al e da variedade IAS-55 moderadamente tolerante ao Al, mantem-se aproximadamente constante nas diferentes concentrações de Al, mostrando assim uma certa associação entre a redução da parte aérea e a redução do sistema radicular, que como já foi discutido é acompanhado pelo engrossamento das raízes. Na variedade SONORA-63, suscetível ao Al, esta

relação aumenta com o aumento da concentração de Al, mostrando assim que o Al afeta, neste caso, mais severamente o sistema radicular.

Isso mostra que não existe muita variação entre a relação peso da parte aérea e o peso das raízes nas variedades tolerantes ao Al e que nas variedades suscetíveis ao Al esta relação não é constante. O mesmo fato foi verificado por ANDREW et alii (1973) em estudos realizados entre diferentes espécies de leguminosas forrageiras em diferentes concentrações de Al, sendo que estes autores encontraram que a relação existente entre o peso da parte aérea e o peso das raízes das espécies suscetíveis diminui com o aumento da concentração de Al, sendo pois, contrário ao esperado no referido trabalho. Pode-se portanto sugerir que o aumento ou a diminuição dessa relação vai depender das espécies estudadas e das concentrações de Al utilizadas, pois é fato conhecido que o desenvolvimento de várias espécies vegetais são estimuladas por baixas concentrações de Al (HACKETT, 1962).

Pelos resultados obtidos, pode-se verificar que o procedimento utilizado no presente trabalho, foi eficiente e bastante seguro para classificar variedades de trigo em relação ao Al. A rapidez com que os testes são realizados e o grande número de genótipos que poderão ser testados em um curto período, tornam a técnica da solução nutritiva um método de grande utilidade em programas de melhoramento de variedades de trigo para tolerância ao Al. Com algumas modificações o método utilizado pode ser adaptado a outras culturas e pode também tornar-se útil para testar a resposta de diferentes espécies vegetais a outros fatores químicos (REID et alii, 1971).

As variedades de trigo tolerantes ao Al, selecionadas por este método, poderão ser posteriormente avaliadas em condições de campo para outras características agronômicas que se favoráveis, poderão ser utilizadas para produção comercial, caso contrário, serão utilizadas como progenitores em programas de hibridações, para a transferência do caráter a outras variedades agronomicamente satisfatórias mas deficientes em relação a tolerância ao Al.

É oportuno salientar que tolerância ao alumínio por si só, não torna nenhuma variedade apta para o cultivo em grande escala; outras características favoráveis devem ser igualmente observadas. Assim, das quatro variedades de trigo utilizadas no presente trabalho, duas, BH-1146 e IAC-5, são tolerantes ao alumínio e são bem adaptadas a solos pouco férteis, o que justifica serem recomendadas para o cultivo em um programa a curto prazo, pois por outro lado, são igualmente suscetíveis a muitas doenças fúngicas que a médio prazo ameaçará a produtividade destas duas variedades. Além disso, ambas são de porte alto e tendem fatalmente a acamar quando o nível de fertilidade do solo aumenta, dificultando assim a colheita e prejudicando a produtividade. Portanto, apesar de suas potencialidades, as variedades mencionadas apresentam limitações que não permitem que permaneçam durante muito tempo em cultivo, restringindo-as como progenitores doadores em potencial do caráter tolerância ao Al em programas de melhoramento a longo prazo.

A mesma observação é válida para a variedade IAS-55 moderadamente tolerante ao Al, sendo que esta é resistente ao acamamento, pois é de porte baixo, não correndo assim o risco de acamar em solos mais férteis.

Já a variedade SONORA-63, suscetível ao alumínio, apresenta

boas possibilidades em solos livres deste elemento. Apesar da sua suscetibilidade ao Al, apresenta boas características agronômicas e ótima produtividade em solos férteis quando o Al está ausente. Isto a qualifica como progenitor recorrente em um programa de melhoramento de plantas para tolerância ao alumínio.

7. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos, nas condições do presente trabalho, permitem relacionar as seguintes conclusões:

1. Existe uma tendência linear de variação, na redução dos caracteres: comprimento máximo da raiz, comprimento total das raízes, peso das raízes, comprimento da parte aérea e peso da parte aérea das variedades de trigo estudadas, quando se aumentam as concentrações de Al.
2. Os tratamentos com alumínio reduziram, de uma maneira geral, todos os caracteres estudados, sendo que esta redução foi muito mais severa nos caracteres referentes às raízes do que nos caracteres referentes à parte aérea.
3. O método de solução nutritiva utilizado foi eficiente para classificar as quatro variedades de trigo em relação ao Al, e sua rapidez e precisão o torna de grande utili

dade em programas de melhoramento de plantas.

4. O caráter comprimento total das raízes é o que manifesta com mais fidelidade os efeitos do alumínio, sendo a sua utilização limitada por motivos de ordem prática em sua avaliação.
5. O caráter comprimento máximo das raízes, apesar de não refletir com exatidão os efeitos do Al, é um indicador útil para selecionar plantas tolerantes ao Al, pois é facilmente estimado.
6. Os caracteres referentes à parte aérea são indicadores menos eficientes do que os das raízes para selecionar plantas tolerantes ao Al em solução nutritiva. Contudo tornam-se úteis pela manifestação visual dos sintomas característicos da toxidez do Al.
7. A relação entre o peso da parte aérea e o peso das raízes nas variedades tolerantes e moderadamente tolerantes ao Al, permanece aproximadamente constante nas diferentes concentrações de Al, ao passo que na variedade suscetível esta relação não é constante.

8. SUMMARY

The objective of this work was to verify, through the behaviour of four different varieties of wheat, which differ in their tolerance to aluminum, the viability of utilization of nutritive solution as a technique of selection of varieties for resistance to aluminum.

Four experiments were conducted in controlled conditions at the Department of Genetics, ESALQ/USP, Piracicaba, in order to test the varieties of wheat at 0, 4, 8 and 12 ppm of aluminum.

The characters utilized for the classification of the varieties in relation to their tolerance to aluminum were: maximum length of root, total length of root, root weight, maximum length of the aerial part and aerial part weight.

At the conditions of the present work, it was observed that the root characters were more accurate than the aerial part characters, in the classification of the varieties according to their tolerance to aluminum. Although total root length can be considered more precise,

maximum root length is more ease to obtain.

A linear variation was observed in the reduction of all characters analysed, with increasing Al concentrations. Statistical considerations are made about this variation.

The relation between aerial part weight and root weight in the tolerant and moderately tolerant varieties, is maintained approximately constant at the different concentrations of Al, and in the susceptible varieties this relation is not constant.

It is suggested the utilization (of nutritive solution) in a breeding program for resistance to aluminum, as an efficient, accurate and ease screening technique for selection of genotypes of wheat tolerant to this toxic element.

9. LITERATURA CITADA

ANDREW, C.S., A.D. JOHNSON e R.L. SANGLAND, 1973. Effect of aluminum on the growth and chemical composition of some tropical and temperate pasture legumes. *Aust. J. agric. Res.*, 24:325-339.

BEAR, F.F., 1957. *Chemistry of the soil*. Rheinhold, New York. p.373.

CLARKSON, D.T., 1965. The effect of aluminum and some other trivalent metal cations on cell division in the root apices of *Allium cepa*. *Annals Bot. N.S.*, 29:309-315.

FLEMING, A.L. e C.D. FOY, 1968. Root structure reflects differential aluminum tolerance in wheat varieties. *Agron. J.*, 60:172-176.

FOY, C.D., 1974a. Effects of aluminum on plant growth. In: E.W. CARSON (ed.). *The plant root and its environment*. pp,601-642. Univ. Press of Virginia.

- FOY, C.D., W.H. ARMINGER, L.W. BRIGGLE e D.A. REID, 1965a. Differential aluminum tolerance of wheat and barley varieties in acid soils. *Agron. J.*, 57:413-417.
- FOY, C.D., G.R. BURNS, J.C. BROWN e A.L. FLEMING, 1965b. Differential aluminum tolerance of two wheat varieties associated with plant induced pH changes around their roots. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 29:64-67.
- FOY, C.D., A.L. FLEMING e W.H. ARMINGER, 1967. Characterization of differential aluminum tolerance among varieties of wheat and barley. *Agron. J.*, 31:513-521.
- FOY, C.D., A.L. FLEMING e J.W. SCHWARTZ, 1973. Opposite aluminum and manganese tolerances of two wheat varieties. *Agron. J.*, 65:123-126.
- FOY, C.D., H.N. LAFEVER, J.W. SCHWARTZ e A.L. FLEMING, 1974b. Aluminum tolerance of wheat cultivars related to region of origin. *Agron. J.*, 66:751-758.
- GARGANTINI, H., F.A.S. COELHO, F. VERLENCIA e E. SOARES, 1970. Levantamento de fertilidade dos solos do Estado de São Paulo. *In: Bol. do Instituto Agronômico de Campinas, São Paulo.*
- GOODLAND, R., 1971. Oligotrofismo e alumínio no cerrado. *In: III Simpósio sobre cerrado, coord. por M.G. Ferri. Editora Edgard Blücher Ltda. e Editora Universidade de São Paulo.*

HACKETT, C., 1962. Stimulative effects of aluminum on plant growth.

Nature, 195:471-473.

HARTWELL, B.L. e F.R. PEMBER, 1918. Presence of aluminum as a reason for the difference in effect of so-called acid soil on barley and rye.

Soil Sci., 6:259-279.

JACOMINE, P.K.T., 1969. Descrição das características morfológicas, físicas, químicas e mineralógicas de alguns perfis de solos sob vegetação de cerrado. In: Bol. Téc. nº 11. p.126. Ministério da Agricultura.

KERRIDGE, P.C., M.D. DAWSON e D.P. MOORE, 1971. Separation of degrees of aluminum tolerance in wheat. *Agron. J.*, 63:586-591.

KERRIDGE, P.C. e W.E. KRONSTAD, 1968. Evidence of genetic resistance to aluminum toxicity in wheat (*Triticum aestivum* Vill, host). *Agron. J.*, 60:710-711.

LAFEVER, H.N., L.G. CAMPBELL e C.D. FOY, 1977. Differential response of wheat cultivars to Al. *Agron. J.*, 69:563-568.

LIGNON, W.S. e W.H. PIERRE, 1932. Soluble aluminum studies. II. Minimum concentrations of aluminum found to be toxic to corn, sorghum and barley in culture solutions. *Soil Sci.*, 34:307-321.

Mac LEOD, L.B. e L.P. JACKSON, 1967. Aluminum tolerance of two barley varieties in nutrient solutions, peat and soil culture. *Agron. J.*, 59: 359-363.

MALAVOLTA, E., J.R. SARRUGE e V.C. BITTENCOURT, 1977. Toxidez de alumí
nio e manganês. *In*: IV Simpósio sobre o cerrado, coord. por M.G. Ferri.
Livraria Itatiaia. Editora Ltda. e Editora Universidade de São Paulo.

Mc CORMICK, L.H. e F.Y. BORDEN, 1972. Phosphate fixation by aluminum in
plant roots. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 36:799-802.

Mc LEAN, F.T. e B.E. GILBERT, 1927. The relative aluminum tolerance of
crop plants. *Soil Sci.*, 24:163-174.

MESDAG, J. e L.A.J. SLOOTMAKER, 1969. Classifying wheat varieties for
tolerance to high soil acidity. *Euphytica*, 18:36-46.

MUGWIRA, L.M., S.M. ELGAWHARY e K.I. PATEL, 1969. Differential tolerances
of triticale, wheat, Rye and Barley to aluminum in nutrient solution.
Agron. J., 68:782-787.

NEENAN, M., 1960. The effects of soil acidity on the growth of cereals
with particular reference to the differential reaction of varieties
thereto. *Plant Soil*, 12:324-328.

PIMENTEL GOMES, F., 1970. *Curso de Estatística Experimental*, 4a. Edição.
Livraria Nobel, São Paulo. 430p.

REES, W.J. e G.H. SIDRAK, 1961. Inter-relationship of aluminum and
manganese toxicities toward plants. *Plant and Soil*, 14:101-117.

REICOSKY, D.C., R.J. MILLINGTON e D.B. PETERS, 1970. A comparison of tree methods for estimating root length. *Agron. J.*, 62:451-453.

REID, D.A., A.L. FLEMING e C.D. FOY, 1971. A method for determining aluminum response of barley in nutrient solution in comparison to response in Al-toxic soil. *Agron. J.*, 63:600-603.

REID, D.A., G.D. JONES, W.H. ARMINGER, C.D. FOY, E.J. KOCH e T.M. STARLING, 1969. Differential aluminum tolerance of winter barley varieties and selections in associated greenhouse and field experiments. *Agron. J.*, 61:218-222.

RORISON, I.H., 1958. The effect of aluminum on legume nutrition. p.43-61. *In: Nutrition of the legumes.* E.G. Hallsworth (Ed.). Butterworths, London.

SILVA, A.R., 1974. Criação de variedades de plantas cultivadas, resistentes a toxidez de manganês e alumínio nos solos. *A Lavoura*, 77:11-13.

SILVA, A.R., J.C. LEITE, J.C.A.J. MAGALHÃES e N. NEUMAIER, 1976. A cultura do trigo irrigada nos cerrados do Brasil Central. Circular Técnica nº 1. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados - C.P.A.C., - EMBRAPA. 70p. Brasília.

STEEL, R.G.D. e J.H. TORRIE, 1960. *Principles and Procedures of statistics.* New York, Mc Graw-Hill Book Company, 481p.

10. APÊNDICE (Tabelas e figuras)

Tabela 1 - Análises individuais de variância com médias de parcelas, referente ao caráter comprimento máximo das raízes, em cm, dos experimentos em blocos ao acaso, para os quatro níveis de Al. Piracicaba, 1977.

Fonte de variação	G.L.	Níveis de Al em ppm			
		0	4	8	12
		QM	QM	QM	QM
Blocos	4	4,119	0,075	0,721	0,621
Tratamentos	3	84,037**	343,584**	318,017**	276,776**
Resíduo	12	8,230	0,510	1,779	0,381
C.V.		8,2%	4,2%	8,4%	4,4%

Tabela 2 - Análises individuais da variância com médias de parcelas, referente ao caráter comprimento total das raízes, em cm, dos experimentos em blocos ao acaso, para os quatro níveis de Al. Piracicaba, 1977.

Fonte de variação	G.L.	Níveis de Al em ppm			
		0	4	8	12
		QM	QM	QM	QM
Blocos	4	114,573	19,123	21,660	1,890
Tratamentos	3	103401,320**	68529,125**	48859,411**	9594,000**
Resíduo	12	28,012	27,143	4,967	5,885
C.V.		0,7%	1,5%	0,7%	3,1%

**Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

C.V.: Coeficiente de variação experimental,

Tabela 3 - Análises individuais da variância com médias de parcelas, referente ao caráter peso das raízes, em mg, dos experimentos em blocos ao acaso, para os quatro níveis de Al. Piracicaba, 1977.

Fonte de variação	G.L.	Níveis de Al em ppm			
		0	4	8	12
		QM	QM	QM	QM
Blocos	4	4,180	0,558	2,566	0,238
Tratamentos	3	933,240**	2080,744**	1920,336**	919,421**
Resíduo	12	3,068	0,769	1,613	1,017
C.V.		3,2%	3,0%	4,7%	5,1%

Tabela 4 - Análises individuais da variância com médias de parcelas, referente ao caráter comprimento máximo da parte aérea, em mg, dos experimentos em blocos ao acaso para os quatro níveis de Al. Piracicaba, 1977.

Fonte de variação	G.L.	Níveis de Al em ppm			
		0	4	8	12
		QM	QM	QM	QM
Blocos	4	7,689	2,429	2,218	1,765
Tratamentos	3	207,477**	286,950**	295,232**	265,877**
Resíduo	12	9,361	2,107	3,516	2,142
C.V.		8,5%	5,4%	7,3%	5,9%

**Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

C.V.: Coeficiente de variação experimental.

Tabela 5 - Análises individuais da variância com médias de parcelas, referente ao caráter peso da parte aérea, em mg, dos experimentos em blocos ao acaso para os quatro níveis de Al. Piracicaba, 1977.

Fonte de variação	G.L.	Níveis de Al em ppm			
		0	4	8	12
		QM	QM	QM	QM
Blocos	3	2,751	0,872	2,255	1,542
Tratamentos	4	2650,637**	2680,977**	2107,753**	1244,232**
Resíduo	12	2,973	1,225	1,509	1,199
C.V.		1,8%	1,9%	2,4%	2,5%

**Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

C.V.: Coeficiente de variação experimental.

Tabela 6 - Análise conjunta de variância com médias de parcelas, referentes à todos os caracteres estudados, dos experimentos em blocos ao acaso. Piracicaba, 1977.

F.V.	G.L.	Comprimento máximo das raízes (QM)	Peso das raízes (QM)	G.L.	Comprimento da parte aérea (QM)	Peso da parte aérea (QM)	G.L.	Comprimento total das raízes (QM)
Blocos	16	1,384	1,885	16	3,525	1,855	8	39,310*
Variedades	3	791,748**	5614,639**	3	1032,130**	8000,999**	3	381666,46**
Níveis de A1	3	1889,731**	4499,459**	3	530,315**	9343,585**	3	2094181,60**
Var. x Níveis	9(5)	76,889**	79,700**	9	7,802	227,523**	9(7)	22367,06**
Res. médio	48(20)	2,954	1,616	48	4,281	1,293	24(16)	16,50

**Significativo ao nível de 1%.

*Significativo ao nível de 5%.

Tabela 7 - Decomposição da soma dos quadrados de níveis de A1 e da interação variedades por níveis em componentes lineares (L), quadrática (Q) e cúbica (C) para todos os caracteres estudados. Piracicaba, 1977.

Variedades	Componentes	G.L.	Comprimento total das raízes		Comprimento máximo das raízes		Peso das raízes		Comprimento máximo da parte aérea		Peso da parte aérea	
			%	raízes	%	raízes	%	raízes	%	parte aérea	%	parte aérea
BH-1146	L	1	1021687,25	76,2	624,35	72,2	2836,57	85,0	221,56	74,4	3370,57	93,0
	Q	1	225660,83	16,8	201,68	23,3	281,90	8,5	55,15	18,5	173,11	4,8
	C	1	93420,36	7,0	39,16	4,5	216,89	6,5	21,02	7,1	78,55	2,2
IAC-5	L	1	2040055,86	82,1	924,83	70,3	3059,07	95,3	354,23	76,7	10413,30	89,4
	Q	1	340459,26	13,7	326,67	24,8	8,78	0,3	99,95	21,6	1011,10	8,7
	C	1	103670,28	4,2	64,27	4,9	141,31	4,4	7,60	1,7	220,65	1,9
IAS-55	L	1	945702,32	66,5	661,62	87,0	2179,90	79,2	239,84	89,6	4320,43	87,0
	Q	1	385244,02	27,1	49,67	6,5	437,35	15,9	26,43	9,9	554,70	11,2
	C	1	91482,97	6,4	49,34	6,5	134,32	4,9	1,46 ^{ns}	0,5	92,14	1,8
SONORA-63	L	1	744736,85	60,2	2110,13	61,7	3178,87	64,6	427,66	67,5	6699,68	68,0
	Q	1	410476,57	33,2	1103,21	32,3	1490,66	30,3	182,05	28,7	2754,63	28,0
	C	1	81250,05	6,6	206,27	6,0	250,04	5,1	24,21	3,8	389,60	4,0

ns = não significativo.

Os demais valores foram significativos ao nível de 1% de probabilidade.

Tabela 8 - Estimativa da média e do coeficiente de variação entre plantas dentro de parcelas, referente ao caráter comprimento máximo das raízes (cm), de quatro variedades de trigo desenvolvidas em solução nutritiva com pH 4,0, nas concentrações de 0, 4, 8 e 12 ppm de Al, 19 dias após o plantio. Piracicaba, 1977.

Al (ppm)	BH-1146		IAC-5		IAS-55		SONORA-63	
	\bar{X}	C.V.%	\bar{X}	C.V.%	\bar{X}	C.V.%	\bar{X}	C.V.%
0	36,20	17,9	39,30	13,3	29,49	13,4	34,50	15,5
4	22,35	7,6	21,92	7,2	18,38	20,4	4,69	17,9
8	21,11	7,0	20,65	8,3	17,46	22,7	4,12	16,8
12	19,96	12,8	19,44	12,5	12,65	20,7	4,04	15,2
COMPRIMENTO MÁXIMO RELATIVO DA RAIZ: $A1/SEM A1 \times 100$								
0	100,0		100,0		100,0		100,0	
4	61,7		55,8		62,3		13,6	
8	58,3		52,5		59,2		11,9	
12	50,7		49,4		42,8		11,7	

Tabela 9 - Estimativa da média e do coeficiente de variação entre plantas dentro de parcelas, referente ao caráter comprimento total das raízes (cm), de quatro variedades de trigo desenvolvidas em solução nutritiva com pH 4,0, nas concentrações de 0, 4, 8 e 12 ppm de Al, 19 dias após o plantio. Piracicaba, 1977.

Al (ppm)	BH-1146		IAC-5		IAS-55		SONORA-63	
	\bar{X}	C.V.%	\bar{X}	C.V.%	\bar{X}	C.V.%	\bar{X}	C.V.%
0	729,5	1,2	971,0	2,2	639,9	1,2	536,0	2,6
4	239,4	2,8	354,5	4,4	98,5	5,2	12,0	5,3
8	222,2	2,9	270,1	5,1	86,6	4,8	11,4	4,3
12	120,0	4,7	129,9	6,7	52,0	4,3	11,2	4,7
COMPRIMENTO TOTAL RELATIVO DAS RAÍZES: Al/sem Al x 100								
0	100,0		100,0		100,0		100,0	
4	32,8		36,5		15,4		2,4	
8	30,4		27,8		13,5		2,1	
12	16,4		13,4		8,1		2,1	

Tabela 10 - Estimativa da média e do coeficiente de variação entre plantas dentro de parcelas, referente ao caráter peso das raízes (mg), de quatro variedades de trigo desenvolvidas em solução nutritiva com pH 4,0, nas concentrações de 0, 4, 8 e 12 ppm de Al, 19 dias após o plantio. Piracicaba, 1977.

Al (ppm)	BH-1146		IAC-5		IAS-55		SONORA-63	
	\bar{X}	C.V.%	\bar{X}	C.V.%	\bar{X}	C.V.%	\bar{X}	C.V.%
0	58,541	24,2	71,308	21,8	46,715	20,4	40,330	21,7
4	34,490	23,8	54,167	19,6	23,389	32,0	5,463	18,3
8	32,674	26,8	50,238	21,7	21,004	30,9	3,674	23,4
12	23,640	25,8	35,746	19,1	16,383	28,6	3,339	23,0

PESO RELATIVO DAS RAÍZES: $A1/SEM A1 \times 100$

0	100,0	100,0	100,0	100,0
4	58,9	75,9	50,0	13,5
8	55,8	70,4	44,9	9,1
12	40,4	50,1	35,0	8,2

Tabela 11 - Estimativa da média e do coeficiente de variação entre plantas dentro de parcelas, referente ao caráter comprimento máximo da parte aérea (cm), de quatro variedades de trigo desenvolvidas em solução nutritiva com pH 4,0, nas concentrações de 0, 4, 8 e 12 ppm de Al, 19 dias após o plantio. Piracicaba, 1977.

Al (ppm)	BH-1146		IAC-5		IAS-55		SONORA-63	
	\bar{X}	C.V.%	\bar{X}	C.V.%	\bar{X}	C.V.%	\bar{X}	C.V.%
0	40,80	11,0	41,85	11,8	32,30	11,8	28,68	11,5
4	32,67	9,3	32,51	9,2	26,42	15,6	16,54	11,9
8	32,44	11,2	30,40	11,9	24,05	16,1	15,36	11,2
12	30,95	11,3	30,00	10,4	22,76	14,7	15,29	9,3
COMPRIMENTO MÁXIMO RELATIVO DA PARTE AÉREA: A1/SEM A1 x 100								
0	100,0		100,0		100,0		100,0	
4	80,0		77,7		81,8		57,7	
8	79,5		72,6		74,4		53,5	
12	75,8		71,6		70,4		53,3	

Tabela 12 - Estimativa da média e do coeficiente de variação entre plantas dentro de parcelas, referente ao caráter peso da parte aérea (mg), de quatro variedades de trigo desenvolvidas em solução nutritiva com pH 4,0, nas concentrações de 0, 4, 8 e 12 ppm de Al, 19 dias após o plantio. Piracicaba, 1977.

Al (ppm)	BH-1146		IAC-5		IAS-55		SONORA-63	
	\bar{X}	C.V.%	\bar{X}	C.V.%	\bar{X}	C.V.%	\bar{X}	C.V.%
0	86,651	21,3	127,489	18,1	79,533	21,2	79,593	19,2
4	65,611	25,0	86,916	17,3	52,015	23,8	31,856	23,8
8	59,317	23,9	75,419	18,5	44,628	24,6	27,328	21,9
12	50,045	26,6	63,289	18,0	38,175	26,4	26,534	21,8

PESO RELATIVO DA PARTE AÉREA: Al/SEM Al x 100

0	100,0	100,0	100,0	100,0
4	75,7	68,2	65,4	40,0
8	68,4	59,1	56,1	34,3
12	57,7	49,6	48,0	33,3

Tabela 13 - Relação entre o peso da parte aérea e o peso da raiz de quatro variedades de trigo desenvolvidas em solução nutritiva com pH 4,0 em diferentes níveis de Al, 19 dias após o plantio. Piracicaba, 1977.

Al (ppm)	Relação entre o peso da parte aérea/raiz*			
	BH-1146	IAC-5	IAS-55	SONORA-63
0	1,479	1,787	1,705	1,974
4	1,903	1,604	2,255	5,898
8	1,818	1,502	2,126	7,442
12	2,119	1,772	2,330	8,074

*Médias de 5 repetições.

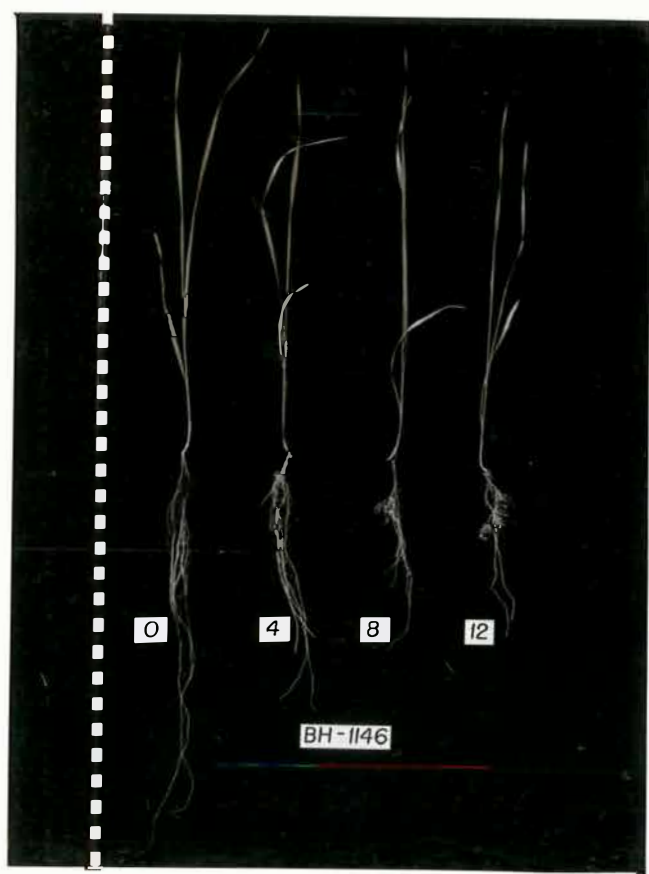


Figura 1 - Efeito das concentrações de 0, 4, 8 e 12 ppm de Al na variedade de trigo BH-1146, desenvolvida em solução nutritiva com pH 4,0, 19 dias após o plantio. Piracicaba, 1977.

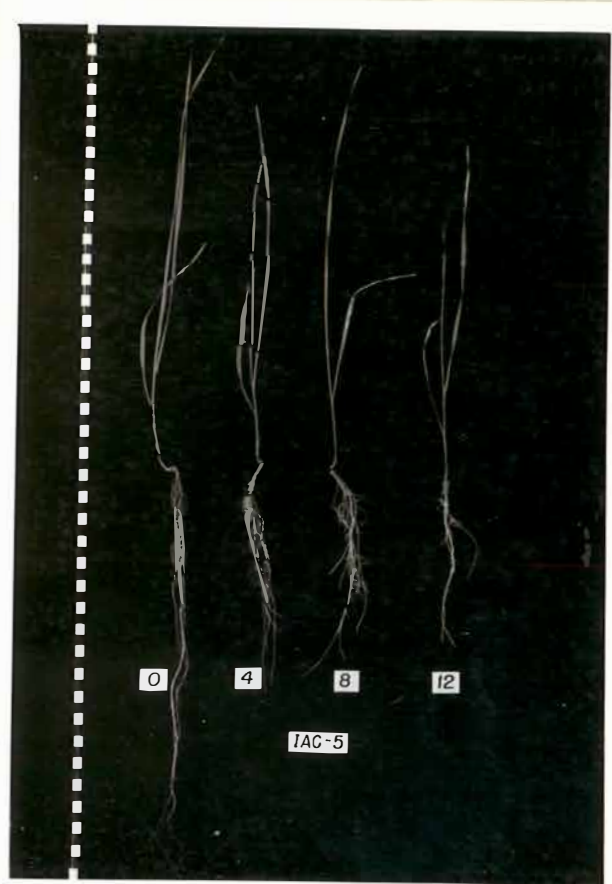


Figura 2 - Efeito das concentrações de 0, 4, 8 e 12 ppm de Al na variedade de trigo IAC-5, desenvolvida em solução nutritiva com pH 4,0, 19 dias após o plantio. Piracicaba, 1977.

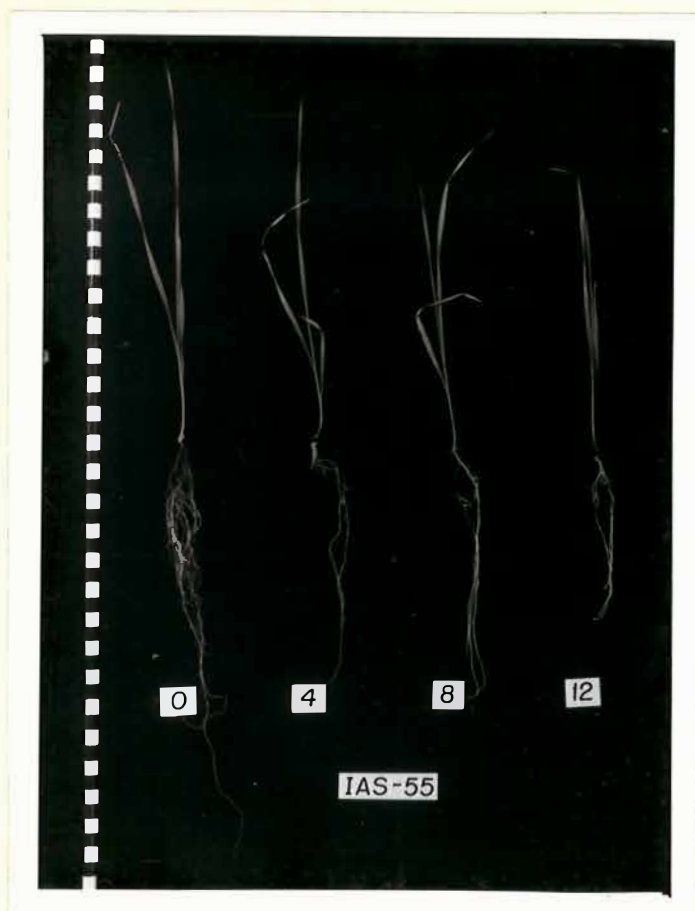


Figura 3 - Efeito das concentrações de 0, 4, 8 e 12 ppm de Al na variedade de trigo IAS-55, desenvolvida em solução nutritiva com pH 4,0, 19 dias após o plantio. Piracicaba, 1977.

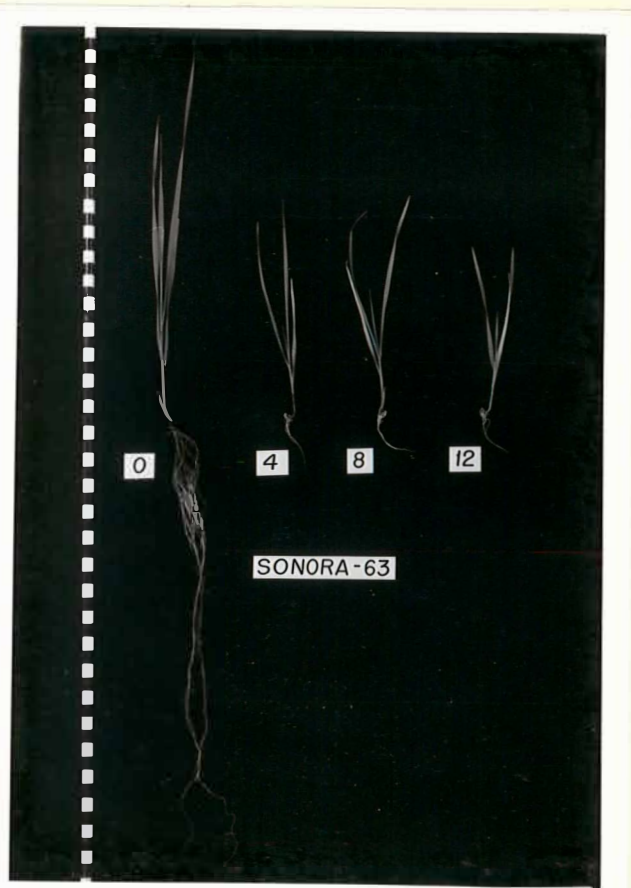


Figura 4 - Efeito das concentrações de 0, 4, 8 e 12 ppm de Al na variedade de trigo SONORA-63, desenvolvida em solução nutritiva com pH 4,0, 19 dias após o plantio. Piracicaba, 1977.

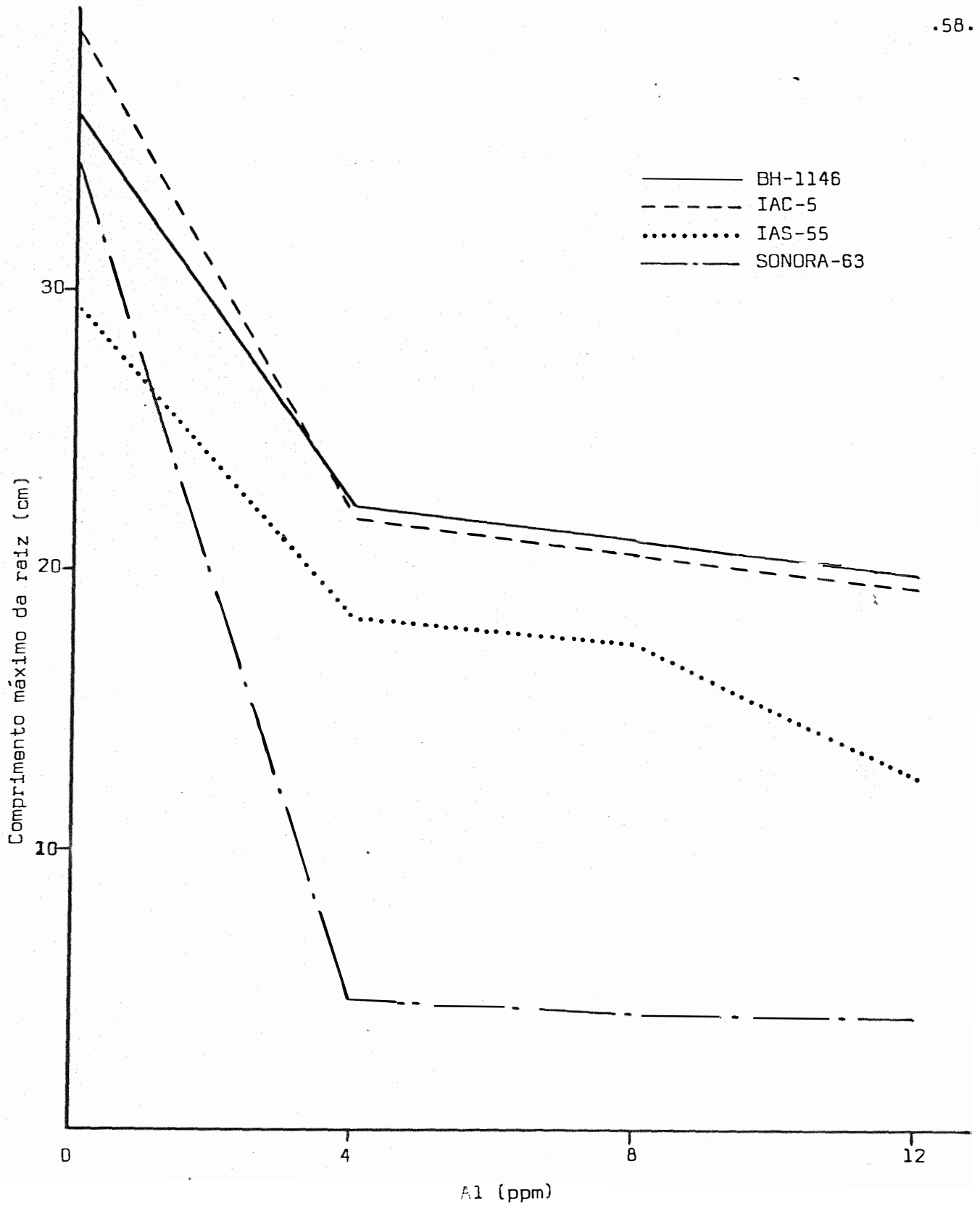


Figura 5 - Curvas de respostas referentes ao caráter comprimento máximo das raízes, de quatro variedades de trigo desenvolvidas em solução nutritiva com pH 4,0, nas concentrações de 0, 4, 8 e 12 ppm de Al, 19 dias após o plantio. Piracicaba, 1977.

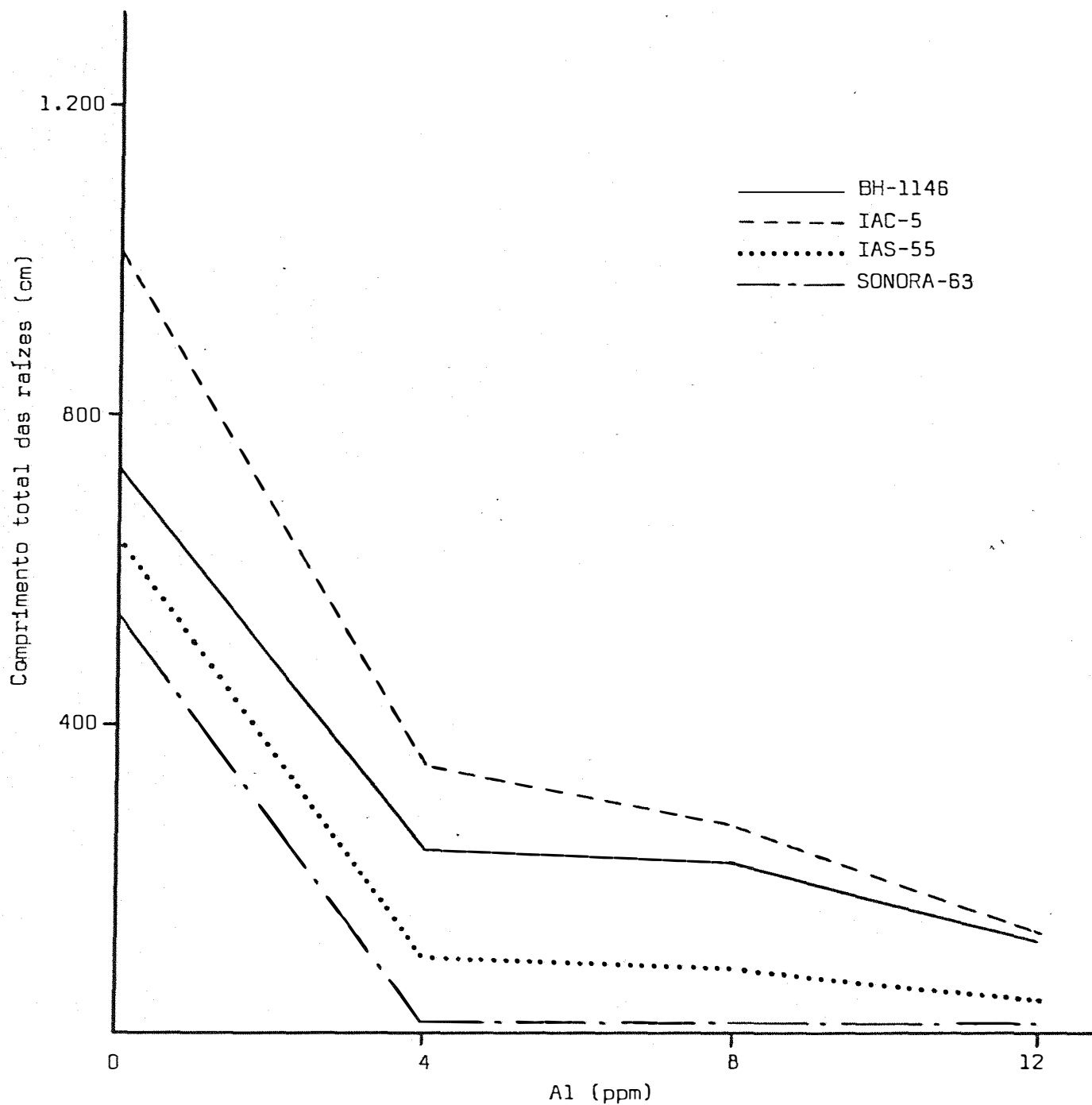


Figura 6 - Curvas de respostas referentes ao caráter comprimento total das raízes, de quatro variedades de trigo desenvolvidas em solução nutritiva com pH 4,0, nas concentrações de 0, 4, 8 e 12 ppm de Al, 19 dias após o plantio. Piracicaba, 1977.

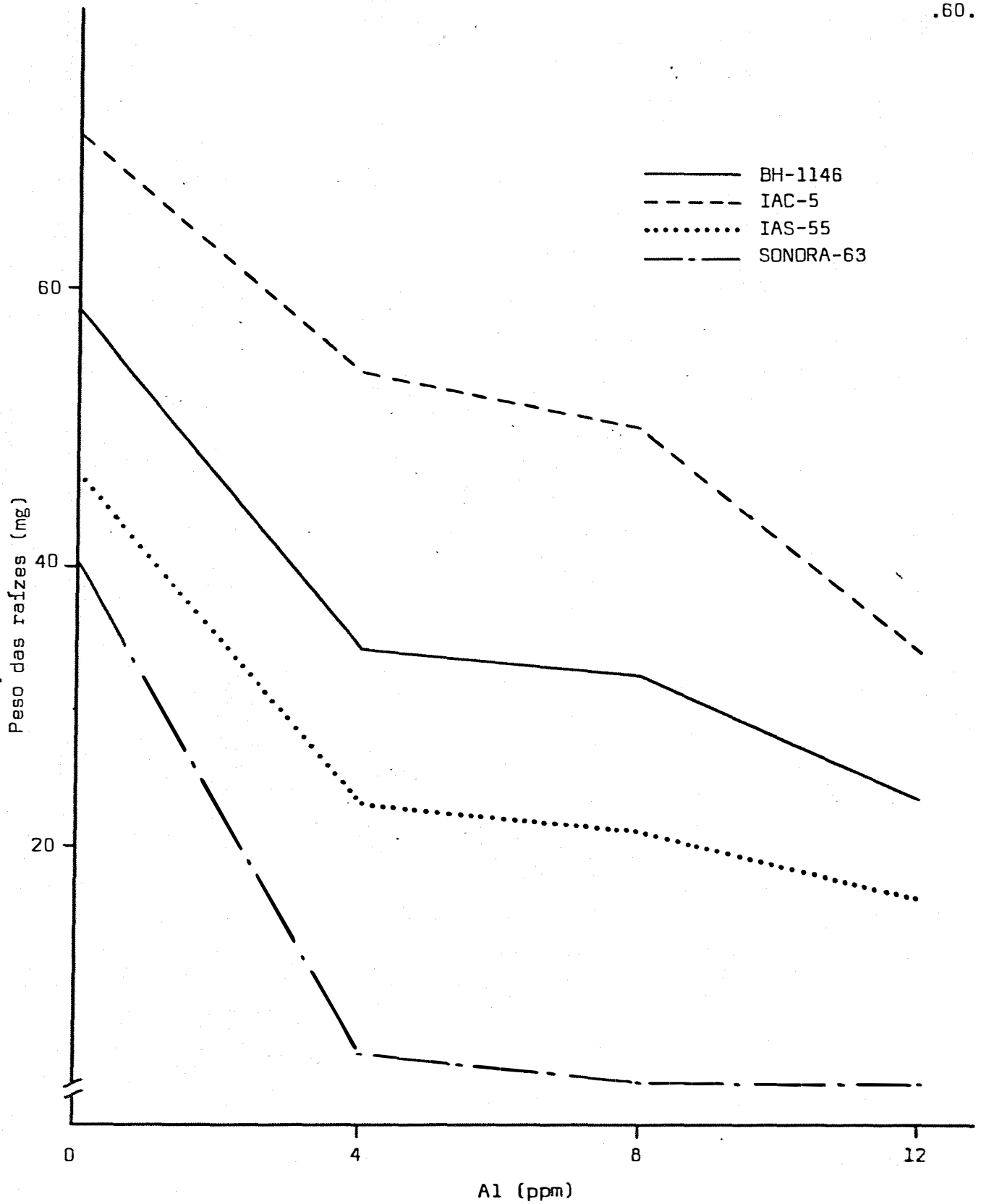


Figura 7 - Curvas de respostas referentes ao caráter peso das raízes, de quatro variedades de trigo desenvolvidas em solução nutritiva com pH 4,0, nas concentrações de 0, 4, 8 e 12 ppm de Al, 19 dias após o plantio. Piracicaba, 1977.

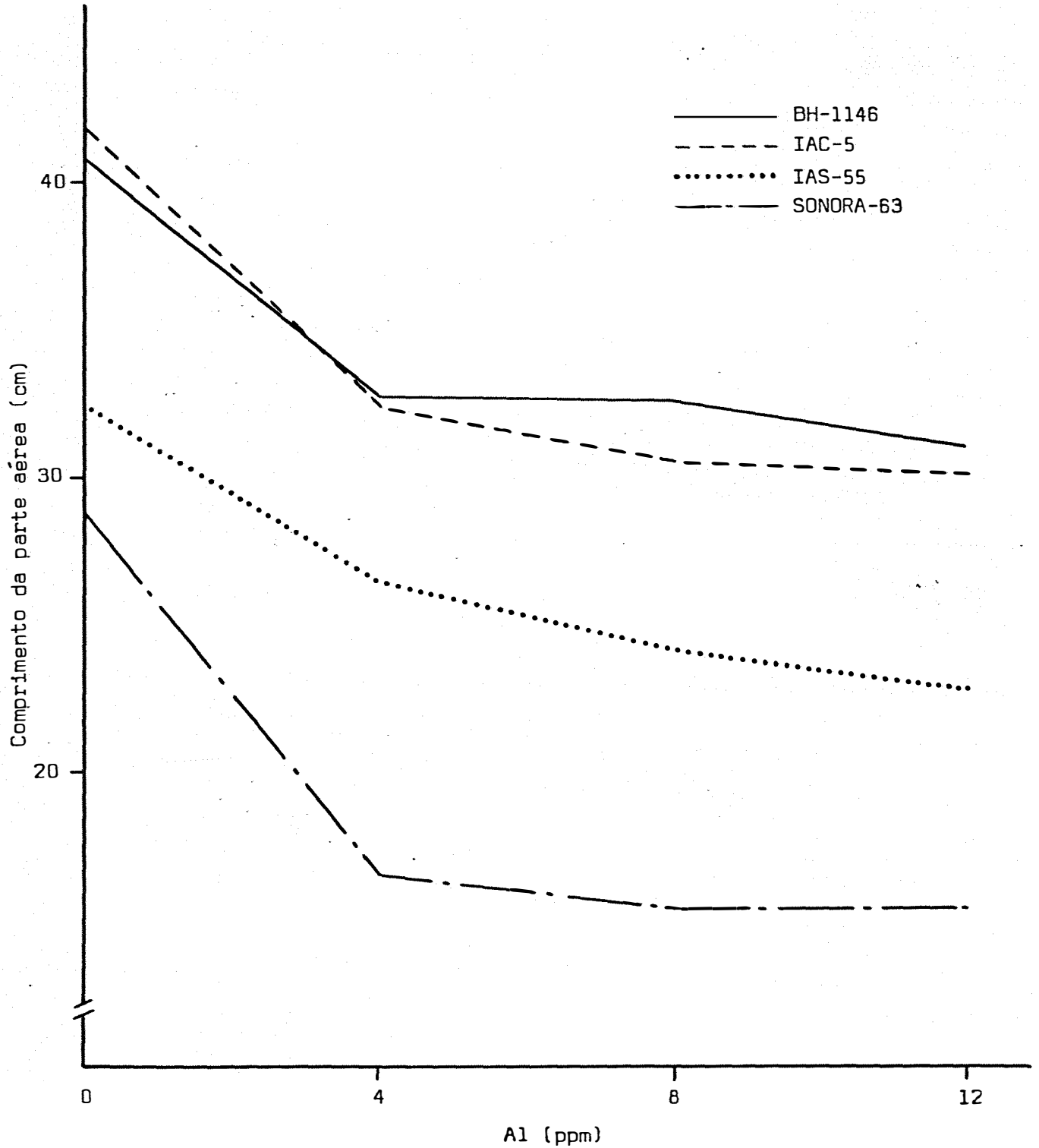


Figura 8 - Curvas de respostas referentes ao caráter comprimento máximo da parte aérea, de quatro variedades de trigo desenvolvidas em solução nutritiva com pH 4,0, nas concentrações de 0, 4, 8 e 12 ppm de Al, 19 dias após o plantio. Piracicaba, 1977.

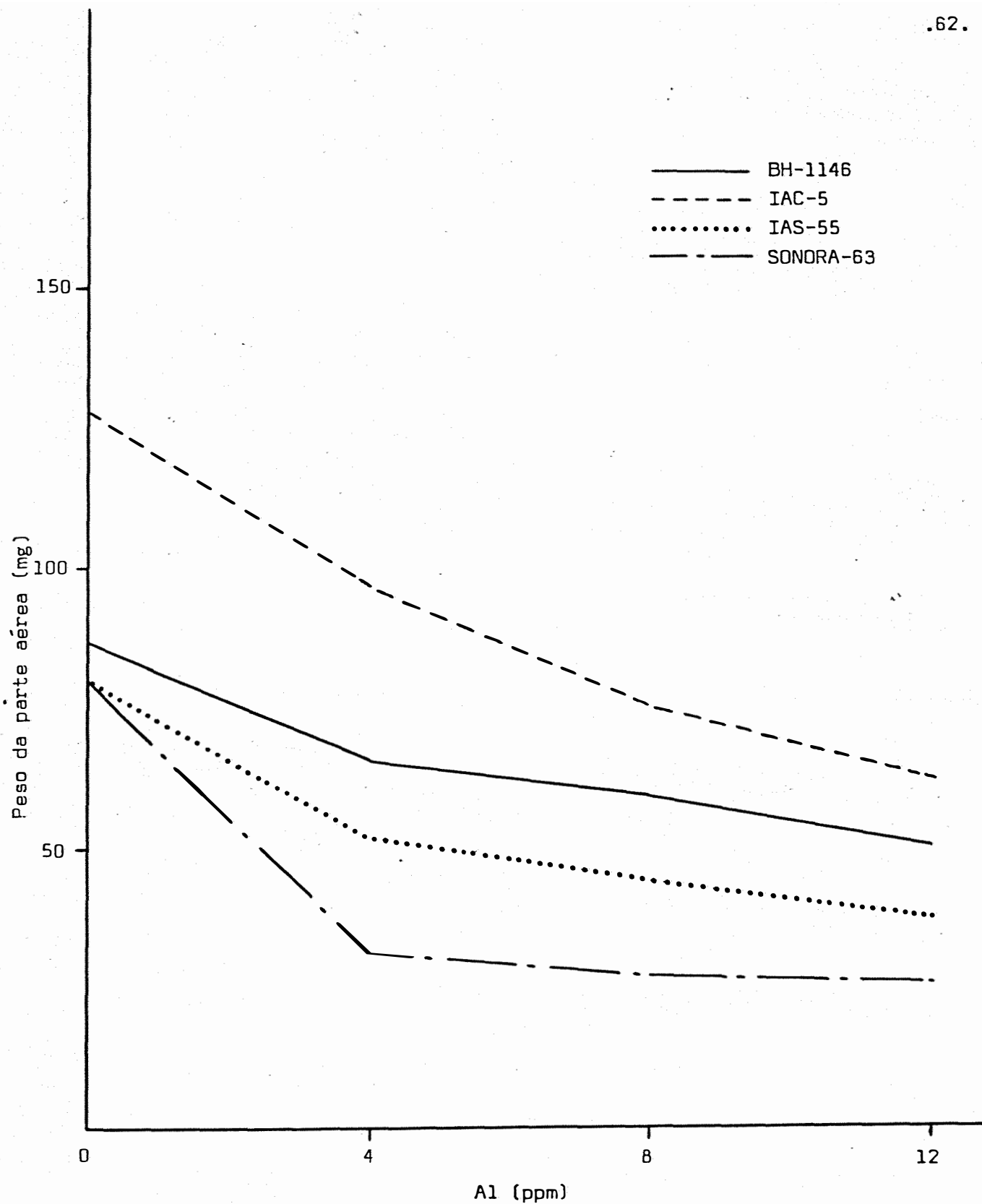


Figura 9 - Curvas de respostas referentes ao caráter peso da parte aérea, de quatro variedades de trigo desenvolvidas em solução nutritiva com pH 4,0, nas concentrações de 0, 4, 8 e 12 ppm de Al, 19 dias após o plantio. Piracicaba, 1977.

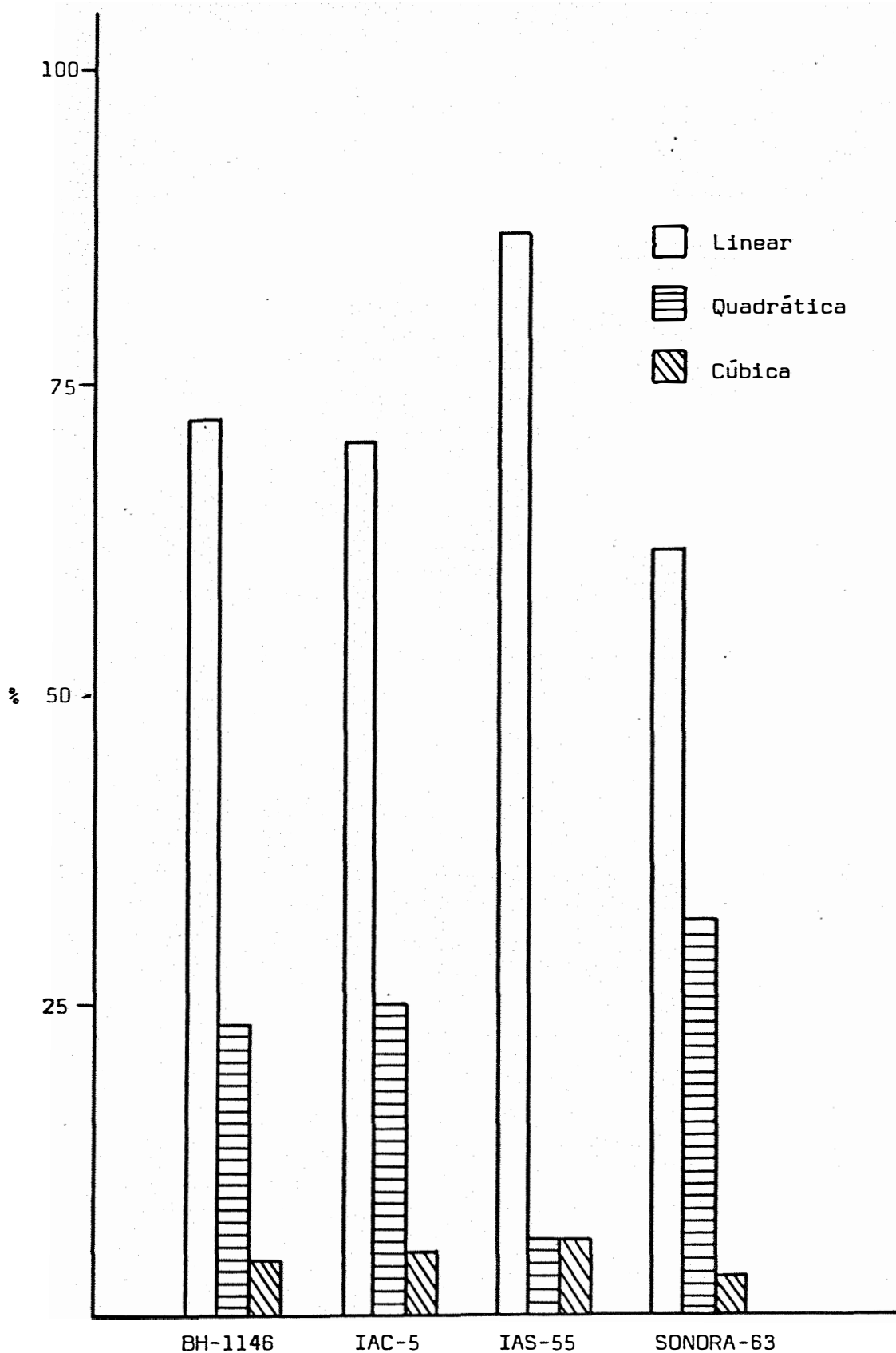


Figura 10 - Magnitude relativa das componentes linear, quadrática e cúbica resultante do desdobramento da soma dos quadrados de níveis de A1 e da interação variedades por níveis de A1, do caráter comprimento máximo das raízes, de quatro variedades de trigo, 19 dias após o plantio. Piracicaba, 1977.

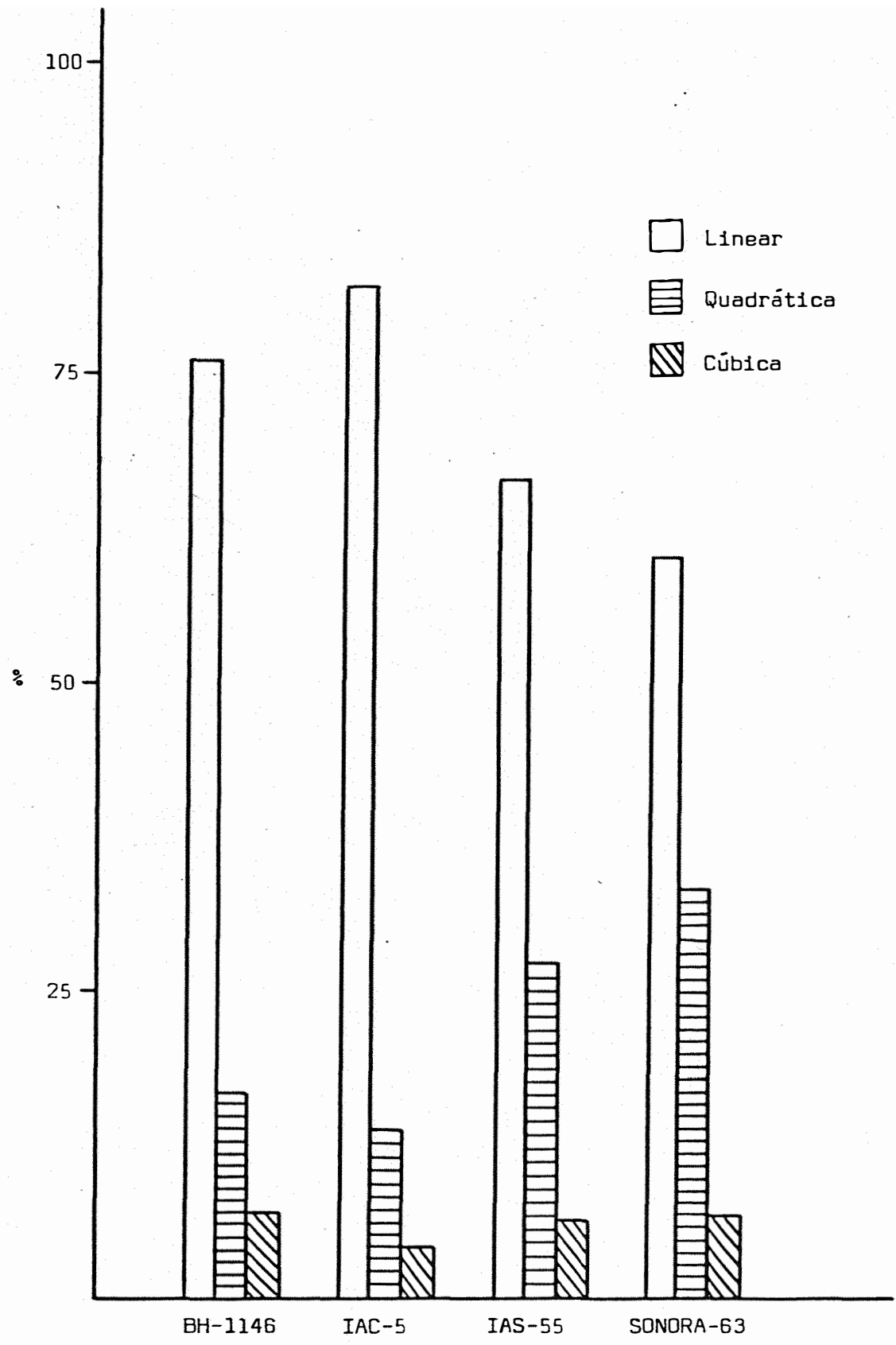


Figura 11 - Magnitude relativa das componentes linear, quadrática e cúbica resultante do desdobramento da soma dos quadrados de níveis de A1 e da interação variedades por níveis de A1, do caráter comprimento total das raízes, de quatro variedades de trigo, 19 dias após o plantio. Piracicaba, 1977.

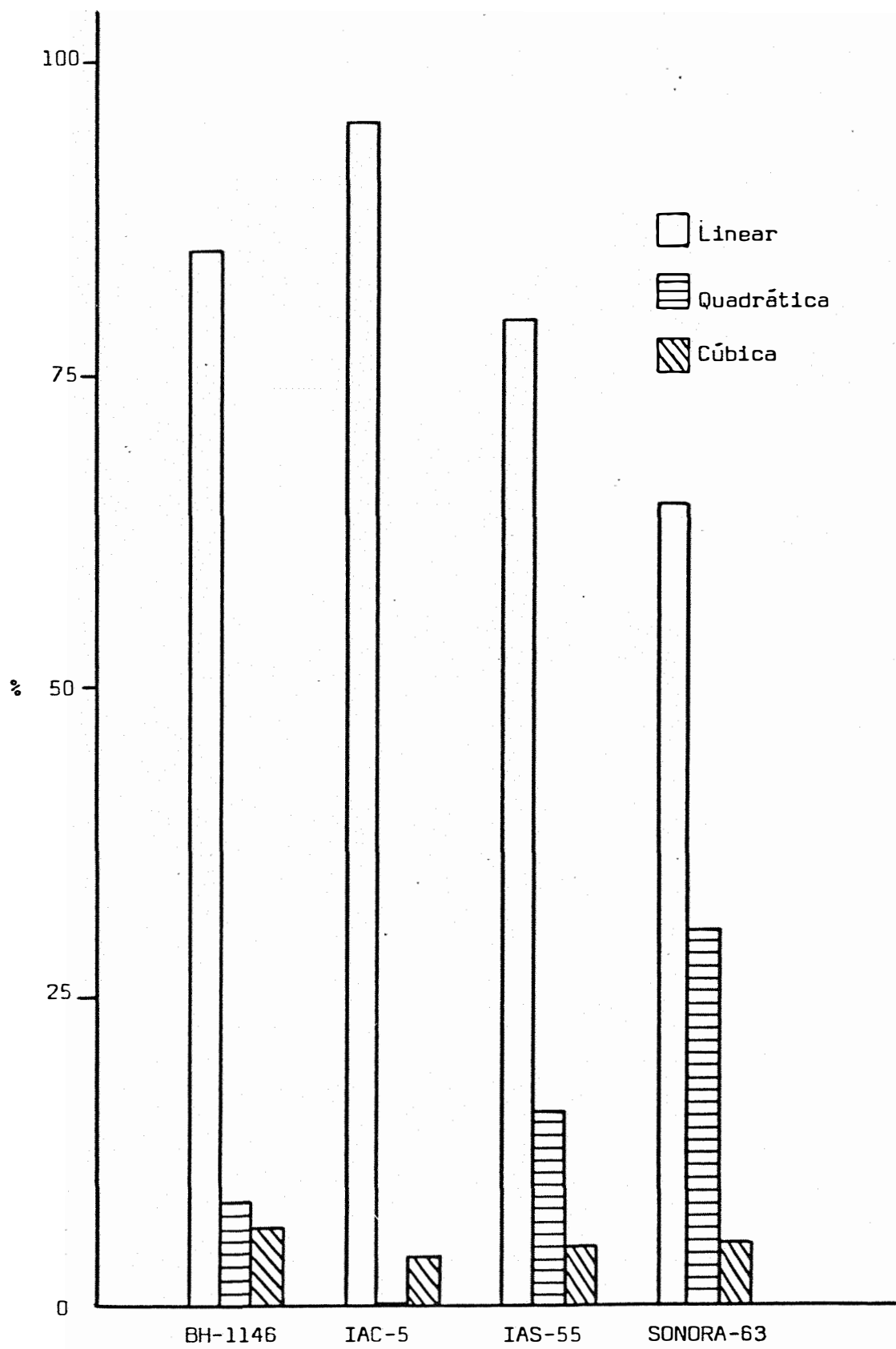


Figura 12 - Magnitude relativa das componentes linear, quadrática e cúbica resultante do desdobramento da soma dos quadrados de níveis de A1 e da interação variedades por níveis de A1, do caráter peso das raízes, de quatro variedades de trigo, 19 dias após o plantio. Piracicaba, 1977.

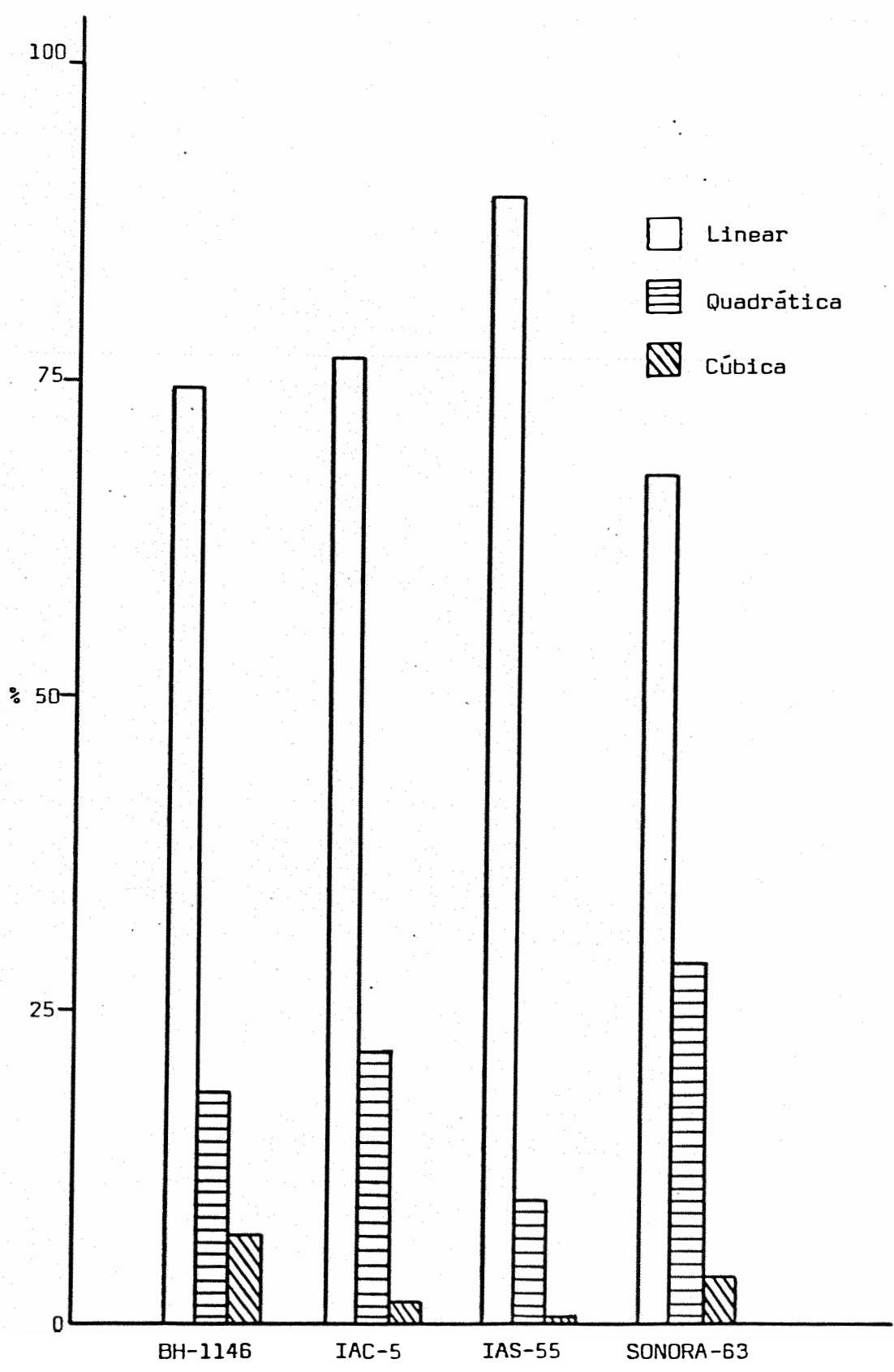


Figura 13 - Magnitude relativa das componentes linear, quadrática e cúbica resultante do desdobramento da soma dos quadrados de níveis de A1 e da interação variedades por níveis de A1, do caráter comprimento da parte aérea, de quatro variedades de trigo, 19 dias após o plantio. Piracicaba, 1977.

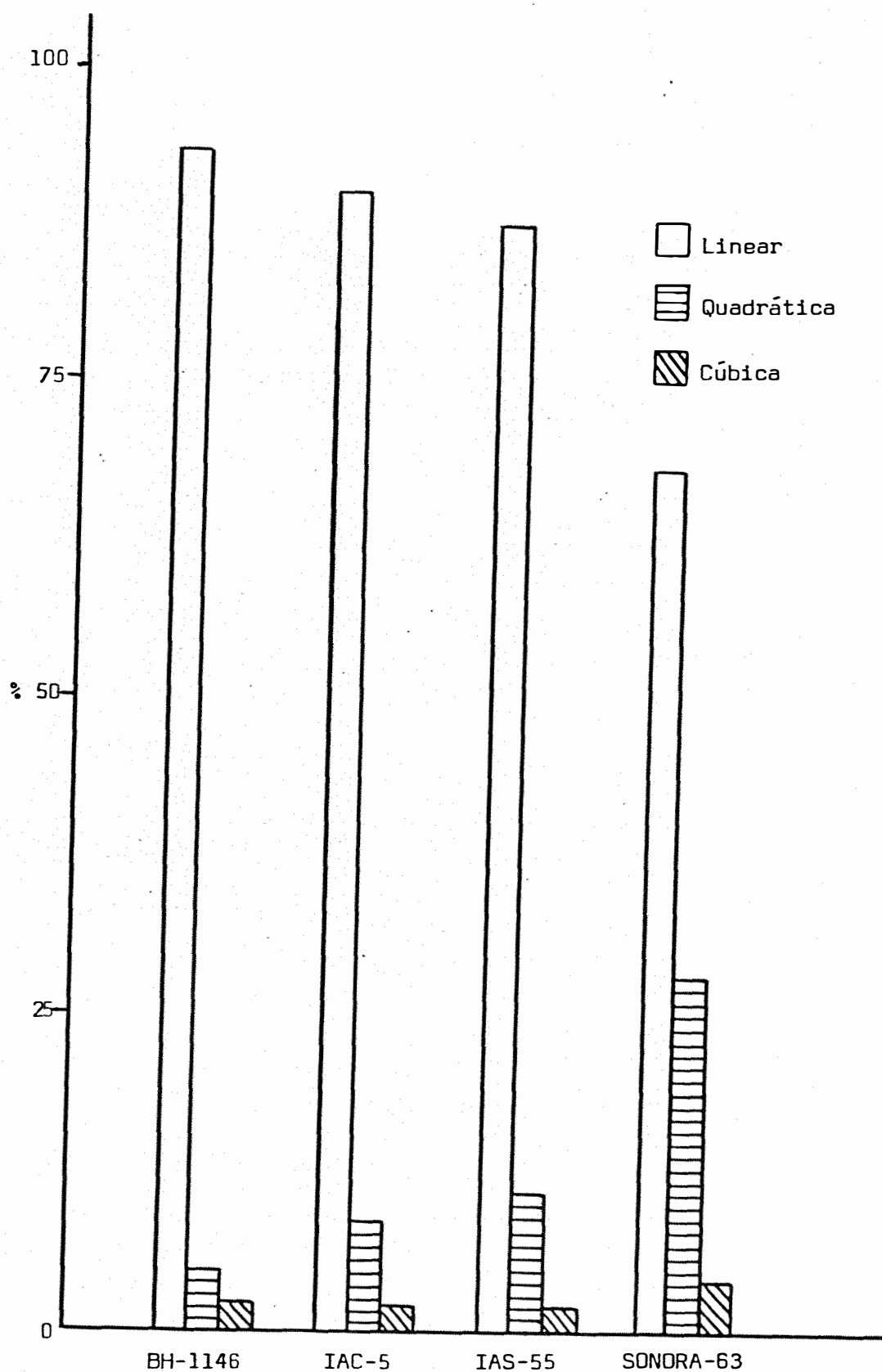


Figura 14 - Magnitude relativa das componentes linear, quadrática e cúbica resultante do desdobramento da soma dos quadrados de níveis de A1 e da interação variedades por níveis de A1, do caráter peso da parte aérea, de quatro variedades de trigo, 19 dias após o plantio. Piracicaba, 1977.

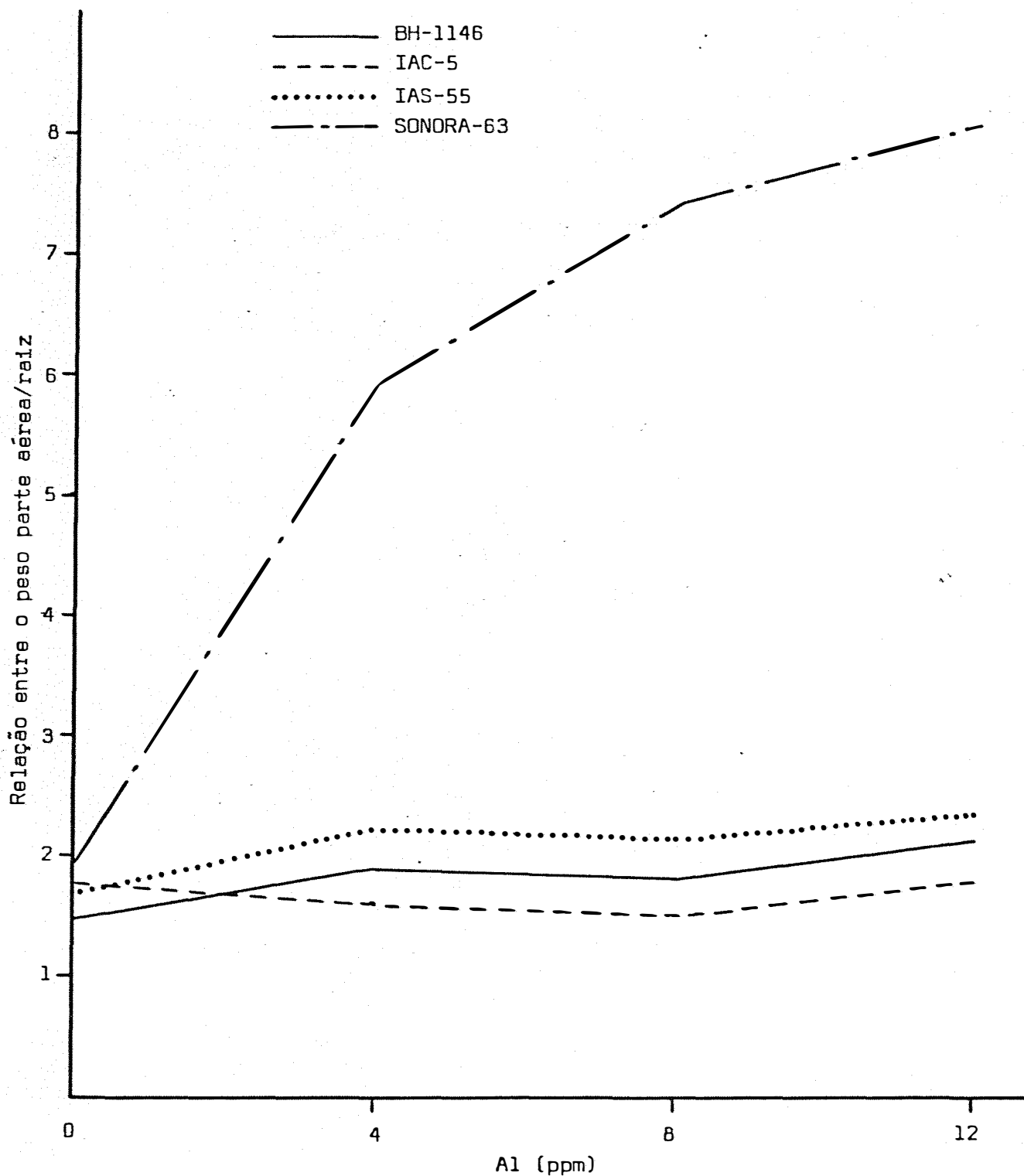


Figura 15 - Relação entre o peso da parte aérea e o peso da raiz de quatro variedades de trigo, desenvolvidas em solução nutritiva com pH 4,0, nas concentrações de 0, 4, 8 e 12 ppm de Al, 19 dias após o plantio. Piracicaba, 1977.