

SELEÇÃO DE CULTIVARES DE ARROZ PARA TOLERÂNCIA A TOXIDEZ DE ALUMÍNIO EM SOLUÇÃO NUTRITIVA¹

NAND KUMAR FAGERIA² e FRANCISCO JOSÉ P. ZIMMERMANN³

RESUMO - Trinta cultivares de arroz de sequeiro foram selecionadas para verificação de tolerância a Al, em solução nutritiva, a concentrações de 0, 10, 20, 40 e 60 ppm. Foram observados os efeitos do Al na produção de matéria seca das partes aéreas e raízes, o comprimento das raízes, e a altura da planta. Os modelos de regressão foram ajustados aos dados de comprimento das raízes do grupo de cultivares, tendo por base a sensibilidade delas à toxidez do alumínio. Partindo de testes de regressão, as cultivares foram agrupadas em alta, média e baixa tolerância ao alumínio.

Termos para indexação: toxidez de alumínio, solução nutritiva, comprimento das raízes, pH da solução.

SCREENING RICE VARIETIES FOR RESISTANCE TO ALUMINUM TOXICITY

ABSTRACT - Thirty upland rice cultivars were screened for aluminum tolerance in the nutrient solution at 0, 10, 20, 40 and 60 ppm aluminum concentrations. The effects of the Al on the dry matter production of the tops and roots and length of roots and tops were ascertained. Regression models were fitted to the root length data to group varieties on the basis of their susceptibility to Al toxicity. On the basis of regression, testes varieties were placed in group having high, medium and low tolerance to aluminum.

Index terms: aluminum toxicity, nutrient solution, root length, solution pH.

INTRODUÇÃO

A toxidez de alumínio é um importante fator limitante do crescimento dos cereais nos cerrados do Brasil. A toxidez é particularmente severa em pH abaixo de cinco, mas pode ocorrer em pH de valores até 5,5. Para uma dada planta, o pH crítico, no qual o alumínio se torna solúvel ou permutable nas concentrações tóxicas, depende de muitos fatores do solo, como os minerais argilosos predominantes, nível de matéria orgânica e concentrações de outros cátions, ânions e sais totais.

O excesso de alumínio inibe a formação normal da raiz, interfere nas reações enzimáticas, regula a deposição de polissacarídeos nas paredes celulares, e interfere na absorção, transporte e uso de vários elementos, inclusive de Ca, P e Mg (Foy 1974).

O limitado crescimento das raízes restringe a absorção de nutriente e água, o que pode afetar consideravelmente o rendimento, em solos com baixa fertilidade e secos. Sob estas condições, pode ser mais prático procurar cultivares que sejam tolerantes a níveis altos de alumínio. Foi ampla-

mente relatado que existem grandes diferenças, entre vários genótipos, quanto à sua tolerância a altos níveis de alumínio (Long et al. 1973, Peter et al. 1971).

Estas cultivares podem ser usadas também diretamente ou ter incorporada a sua característica de tolerância ao alumínio em outras cultivares agronomicamente promissoras mas sensíveis ao alumínio tóxico. Em ambos os casos, é importante selecionar um largo número de cultivares ou linhagens melhoradas, para avaliar a sua sensibilidade ao alumínio. A seleção de cultivares para tolerância ao alumínio pode ser feita a campo, em solos ácidos, mediante a aplicação de vários níveis de cálcio, para se obterem vários graus de saturação de alumínio. Isto, entretanto, apresenta as desvantagens de ser trabalhoso e demorado, e os resultados são freqüentemente mascarados pela variabilidade do solo e pela diferença de resistência das diversas cultivares às doenças e aos insetos. Para eliminar estes problemas, um rápido método de seleção foi desenvolvido para casa de vegetação, no qual grande número de cultivares pode ser avaliado com relação à tolerância ao alumínio sob condições cuidadosamente controladas.

O objetivo imediato desta pesquisa é determinar a amplitude de tolerância encontrada entre as cultivares de arroz. O objetivo, a longo prazo, é me-

¹ Aceito para publicação em 4 de abril de 1979.

² Eng^o Agr^o, Ph.D., Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão (CNPAF) - EMBRAPA, Caixa Postal 179, CEP 74.000 - Goiânia, GO.

³ Eng^o Agr^o, M.Sc., CNPAF - EMBRAPA.

lhorar cultivares que se adaptam melhor aos fatores de estresse dos solos ácidos.

MATERIAL E MÉTODOS

Sementes de 30 cultivares de arroz (*Oryza sativa* L.) foram postas a germinar em areia pura, usando-se bandejas de plástico de 30x45x8 cm. De oito a dez dias após a semeadura, quatro plântulas foram colocadas em discos de suporte. Estes discos foram, então, transferidos para vasos plásticos contendo 7,5 litros de solução nutritiva de diferentes concentrações de alumínio.

As soluções nutritivas usadas foram as desenvolvidas no IRRI (Yoshida et al. 1972) para arroz, com pequenas modificações. Contêm 40 ppm N como NH_4NO_3 ; 4 ppm P como $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$; 40 ppm K como K_2SO_4 ; 40 ppm Ca como CaCl_2 ; 40 ppm Mg como $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 0,5 ppm Mn como $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$; 0,05 ppm Mo como $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$; 0,2 ppm B como H_3BO_3 ; 0,01 ppm Zn como $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 0,01 ppm Cu como $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$; e 2 ppm Fe como $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$.

Os tratamentos de alumínio foram de 0, 10, 20, 40 e 60 ppm na forma de AlCl_3 . Os tratamentos foram aplicados duas vezes. As soluções nutritivas foram trocadas uma vez por semana. Manteve-se o pH da solução em $4 \pm 0,2$ sendo ajustado a cada dois dias, com 0,1 NaOH ou 0,1 HCl.

O fósforo e o pH da solução foram mantidos baixos para minimizar a precipitação do alumínio.

Depois de 21 dias de crescimento em soluções, mediu-se o comprimento máximo das raízes. A parte aérea e as raízes das plantas foram colhidas separadamente, secadas em estufa a 80°C , e pesadas.

O trabalho experimental consistiu de cinco experimentos separados. Em cada experimento, foram usados dois vasos repetidos, por tratamento.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados relacionados com peso seco das partes aéreas e raízes, sob diferentes concentrações de Al, são apresentados nas Tabelas 1 e 2. O peso seco diminuiu significativamente sob 40 e 60 ppm de Al, quando comparado com concentrações de 0, 10 e 20 ppm de Al. Algumas cultivares produziram maior quantidade de matéria seca sob 10 ppm de Al, em relação à testemunha (0 ppm de Al). O au-

mento, em matéria seca, da parte aérea e raízes de algumas cultivares, devido a pequenas aplicações de alumínio (10 ppm de Al em solução), em relação à testemunha, é difícil de se explicar. A explicação possível é o aumento da solubilidade e disponibilidade de ferro no meio de crescimento, resultante da hidrólise de Al e pH mais baixo. Grime & Hodgson (1969) apresentaram a evidência de que a resposta positiva de Al à *Scabiosa columbaria* é devida ao deslocamento de Fe (pelo Al) dos lugares certos, na planta, deixando, entretanto, o problema de distribuição ou utilização de ferro que causou deficiência. Por outro lado, pode ser que o Al seja um nutriente essencial, ou que possa criar um equilíbrio de nutrientes no meio de crescimento.

Vários outros pesquisadores relataram também os efeitos benéficos da pequena quantidade de Al, em meio de crescimento (Hackett 1962, Macleod & Jackson 1965, Andrew et al. 1973, Thawornwong & Diest 1974).

Os resultados relacionados com a altura da planta e o comprimento das raízes são apresentados nas Tabelas 3 e 4. A altura da planta e o comprimento das raízes diminuíram também significativamente, sob 40 e 60 ppm de Al, comparados com 0, 10 e 20 ppm de Al.

Com base na equação de regressão dos dados de comprimento das raízes, as diversas cultivares foram agrupadas em três categorias, de acordo com a sua tolerância a altos níveis de alumínio, adotando-se o seguinte critério:

1. As cultivares com equações negativas foram classificadas no grupo de baixa tolerância;
2. As de equações de regressão quadrática ou quarto grau, foram classificadas de alta tolerância;
3. As cultivares de equações de regressão cúbicas, tanto positivas como negativas, no grupo de tolerância média. (Tabela 5).

As cultivares diferiram largamente na tolerância a alumínio solúvel, como indicado pelo peso seco das partes aéreas e raízes, comprimentos das raízes e altura da planta (Tabelas 1, 2, 3 e 4). As razões da tolerância diferencial ao alumínio, por parte das cultivares, não são perfeitamente conhecidas. Jones (1961) apresentou a hipótese de que, desde que os compostos de Al sejam hidrolisados e os hidróxidos sejam precipitados em $\text{pH} < 7$, os

TABELA 1. Peso seco de raízes sob diferentes concentrações de Alumínio (g/planta).

Variedades	Concentrações de Alumínio (ppm)				
	0	10	20	40	60
IAC-1246	0,60 cdef	0,73 abcd	0,57 abcdef	0,36 cdefghi	0,28 cdef
IAC-47	0,60 cdef	0,74 abcd	0,54 bcdefg	0,47 bcde	0,35 abcdef
IAC-5544	0,59 cdefg	0,77 abc	0,50 bcdefgh	0,45 bcdef	0,35 abcdef
IAC-5100	0,76 abcd	0,78 abc	0,62 abcd	0,47 bcde	0,26 cdef
IAC-1131	0,80 abc	0,80 ab	0,69 abc	0,44 bcdefg	0,28 cdef
IAC-25	0,87 ab	0,84 a	0,74 ab	0,43 bcdefg	0,28 cdef
Matão	0,69 bcde	0,60 abcdefgh	0,54 bcdefg	0,46 bcdef	0,27 cdef
Pratão	0,77 abcd	0,67 abcde	0,60 abcde	0,55 abc	0,33 abcdef
Dourado Precoco	0,73 bcd	0,54 bcdefghi	0,52 bcdefgh	0,49 bcd	0,23 cdef
Pratão Precoco	0,78 abcd	0,68 abcde	0,60 abcde	0,53 bc	0,27 cdef
Montanha Lisa	1,02 a	0,55 bcdefghi	0,74 ab	0,43 bcdefg	0,35 abcdef
Batatais	0,74 bcd	0,52 cdefghi	0,49 bcdefgh	0,49 bcd	0,23 cdef
Quatro Meses	0,57 cdefg	0,62 abcdefg	0,53 bcdefgh	0,55 abc	0,34 abcdef
Pérola	0,55 cdefg	0,67 abcde	0,54 bcdefg	0,52 bc	0,43 abc
Ponta Preta	0,59 cdefg	0,68 abcde	0,56 abcdef	0,65 ab	0,33 abcdef
IPEACO-163	0,46 efg	0,50 defghi	0,43 cdefghi	0,41 bcdefg	0,32 bcdef
Catalão	0,77 abcd	0,60 abcdefgh	0,54 bcdefg	0,44 bcdefg	0,25 cdef
IPEACO	0,58 cdefg	0,66 abcdef	0,55 bcdef	0,61 abc	0,46 abc
IRAT-8	0,53 cdefg	0,32 i	0,27 hi	0,24 defghi	0,16 def
IRAT-12	0,41 fg	0,36 ghi	0,35 efghi	0,13 i	0,40 abcde
IRAT-2	0,38 fg	0,35 hi	0,31 fghi	0,22 efghi	0,16 def
IPEACO-162	0,33 g	0,42 efghi	0,20 i	0,14 hi	0,55 ab
IPEACO-562	0,47 efg	0,40 fghi	0,29 ghi	0,18 ghi	0,41 abcd
Paulistinha	0,43 efg	0,45 efghi	0,37 defghi	0,23 defghi	0,41 ef
Fernandes	0,75 bcd	0,83 a	0,82 a	0,81 a	0,59 ab
IRAT-11	0,64 bcdef	0,73 abcd	0,61 abcde	0,60 abc	0,31 bcdef
IRAT-13	0,76 abcde	0,86 a	0,67 abc	0,58 abc	0,37 abcdef
Esaú	0,53 cdefg	0,61 abcdefg	0,45 cdefghi	0,40 bcdefgh	0,31 bcdef
Bico Ganga	0,56 cdefg	0,64 abcdef	0,51 bcdefgh	0,42 bcdefg	0,32 bcdef
MRC-172-9	0,49 efg	0,49 defghi	0,43 cdefghi	0,20 fghi	0,11 f

Dentro da coluna vertical, dois valores, tendo uma letra em comum, não são significativamente diferentes, ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

ácidos orgânicos produzidos pelas plantas podem funcionar como agentes quelíferos, evitando a precipitação do alumínio.

Clarkson (1966) também, sugeriu que o complexo ácido orgânico e alumínio pode fornecer um sistema de desintoxicação em cultivares resistentes.

Foy et al. (1965) compararam duas cultivares de trigo para tolerância ao alumínio em solução nutritiva, e sugeriram que a capacidade das plantas para alterar o pH do substrato tem alguma relação com a sua tolerância. Contudo, esta sugestão não concorda com as descobertas de McLean & Gilbert (1927). Os últimos autores compararam doze espécies de cultivares e relataram que a tendência de algumas das plantas para mudar a solução numa rea-

ção mais alcalina ou mais ácida não estava relacionada com a sensibilidade das espécies em relação ao alumínio. Por causa da natureza das experiências aqui relatadas, isto é, três cultivares cultivadas num vaso, o efeito das diferentes cultivares sobre o pH do substrato não poderia ser observado.

A identificação das características fisiológicas e bioquímicas das plantas, associada com a tolerância ao Al, pode fornecer um instrumento útil de seleção para o fitomelhorista e aumentar o conhecimento da nutrição mineral em geral. Sprague (1969) enfatizou que são muito pouco conhecidas as causas bioquímicas dos diferentes potenciais de produção nas plantas. Se se soubesse por que as plantas se adaptam a certos solos, poder-se-iam to-

TABELA 2. Peso seco da parte aérea sob diferentes concentrações de Alumínio (g/planta).

Variedades	Concentrações de Alumínio (ppm)				
	0	10	20	40	60
IAC-1246	2,75 defghijk	3,31 abcd	2,79 abc	1,32 cdefgh	1,09 abc
IAC-47	3,52 abcdef	3,22 abcd	2,63 abc	1,57 bcdefg	1,23 abc
IAC-5544	3,20 bcdefghi	3,38 abc	2,30 abcde	1,52 bcdefg	1,31 abc
IAC-5100	3,40 abcdefgh	3,55 abc	2,73 abc	1,63 bcdef	1,13 abc
IAC-1131	3,43 abcdefg	3,47 abc	3,23 ab	1,55 bcdefg	1,40 ab
IAC-25	3,99 abc	3,75 a	3,16 ab	1,63 bcdef	1,13 abc
Matão	3,55 abcdef	2,91 abcdef	2,60 abc	1,99 abc	1,04 abc
Pratão	3,87 abcd	3,73 ab	3,42 a	2,55 ab	1,36 ab
Dourado Precoco	4,12 ab	2,65 abcdefg	2,50 abc	2,24 abc	1,04 abc
Pratão Precoco	3,82 abcd	2,74 abcdefg	2,37 abc	2,16 abc	1,20 abc
Montanha Lisa	4,45 a	2,94 abcde	2,75 abc	2,16 abc	1,35 ab
Batatais	3,67 abcde	2,50 cdefg	2,22 bcdef	1,59 bcdefg	1,06 abc
Quatro Meses	2,60 efghijk	2,83 abcdef	2,33 abcd	1,71 abcd	0,98 abc
Pérola	2,32 ghijk	2,54 bcdefg	2,21 bcdef	1,67 abcde	1,05 abc
Ponta Preta	2,89 cdefghijk	3,44 abc	2,87 ab	2,06 abc	0,90 abc
IPEACO-163	2,28 ghijk	2,64 abcdefg	2,08 bcdefg	1,70 abcd	0,85 abc
Catalão	3,46 abcdefg	2,51 cdefg	2,36 abc	1,25 cdefgh	0,74 bc
IPEACO	2,36 fghijk	2,96 abcde	2,59 abc	1,85 abc	1,11 abc
IRAT-8	2,51 efghijk	1,19 i	1,15 defgh	0,56 defgh	0,25 bc
IRAT-12	2,17 ijk	1,23 i	0,99 gh	0,42 gh	0,26 bc
IRAT-2	1,94 jk	1,16 i	1,05 fgh	0,50 efgh	0,25 bc
IPEACO-162	1,85 k	1,16 i	0,64 h	0,23 h	0,45 bc
IPEACO-562	2,48 efghijk	1,63 ghi	1,13 efgh	0,29 h	0,15 c
Paulistinha	2,45 fghijk	1,73 fghi	0,99 gh	0,47 fgh	0,24 bc
Fernandes	2,82 cdefghijk	3,28 abcd	2,78 abc	2,84 a	1,94 a
IRAT-11	3,03 bcdefghijk	3,29 abcd	2,71 abc	2,55 ab	1,24 abc
IRAT-13	3,09 bcdefghijk	3,59 abcd	2,78 abc	2,12 abc	1,22 abc
Esau	2,22 hijk	2,16 defghi	2,09 bcdefg	1,60 bcdefg	0,81 abc
Bico Ganga	2,44 fghijk	2,64 abcdefg	2,35 abc	1,24 cdefgh	0,69 bc
MRC-172-9	2,23 hijk	1,97 efghi	1,61 cdefgh	1,60 defgh	0,24 bc

Dentro da coluna vertical, dois valores, tendo uma letra em comum, não são significativamente diferentes, ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

mar decisões mais inteligentes, a despeito de que se deve mudar o solo de acordo com a planta, ou mudar a planta de acordo com o solo ou, ainda, usar uma combinação das duas soluções.

CONCLUSÕES

A partir deste estudo, pode-se chegar às seguintes conclusões:

1. As cultivares de arroz diferem marcadamente na sua sensibilidade, a altos níveis de Al;
2. O método de cultura em solução nutritiva resulta muito satisfatório na seleção de variedades de arroz para tolerância ao Al;

3. Permitindo-se aumentar o pH da solução até cinco ou mais, reduzir-se-á também a solubilidade de Al, e, dentro de poucos dias, reduzir-se-ão ou eliminar-se-ão as diferenças de crescimento entre cultivares sensíveis e tolerantes;

4. O método de seleção em solução nutritiva pode ser facilmente adotado para outras cultivares ou para seleção de outros elementos, tais como tolerância à deficiência de Zn e P, que são os problemas mais importantes em solos de cerrado;

5. Os resultados, relatados aqui, evidenciam, fartamente, a sugestão de que a toxidez do Al é um fator significativo na redução do rendimento de arroz, quando cultivado em solos fortemente ácidos.

TABELA 3. Altura da planta, sob diferentes concentrações de Alumínio (cm).

Variedades	Concentrações de Alumínio (ppm)				
	0	10	20	40	60
IAC-1246	63,37 abcd	65,00 ab	60,87 abc	36,30 cdefg	37,75 ab
IAC-47	65,87 ab	65,00 ab	60,25 abcd	45,62 abcd	38,25 ab
IAC-5544	63,12 abcd	63,50 abcd	58,50 abcd	45,25 abcd	39,37 ab
IAC-5100	65,25 abc	64,50 abc	59,12 abcd	46,50 abcd	35,37 ab
IAC-1131	66,75 ab	64,00 abcd	62,50 ab	45,12 abcd	35,25 ab
IAC-25	71,12 a	71,87 a	61,50 ab	49,12 abc	39,25 ab
Matão	60,12 abcdef	57,25 bcdef	54,25 abcdef	47,62 abcd	39,50 ab
Pratão	68,25 ab	65,50 ab	61,50 ab	53,87 a	44,87 a
Dourado Precoce	69,50 a	61,62 abcde	59,87 abcd	50,87 ab	42,87 a
Pratão Precoce	69,25 a	51,25 cdefg	51,75 abcdefg	50,00 ab	42,25 ab
Montanha Lisa	68,25 ab	52,87 bcdefg	52,00 abcdefg	51,62 ab	42,62 a
Batatais	60,12 abcdef	50,62 defg	49,25 bcdefg	48,87 abc	39,25 ab
Quatro Meses	62,00 abcde	60,75 abcde	59,25 abcd	54,37 a	38,62 ab
Pérola	60,25 abcdef	60,12 abcde	59,50 abcd	49,25 abc	39,37 ab
Ponta Preta	66,87 ab	65,50 ab	64,25 a	53,75 a	32,00 abcd
IPEACO-163	59,87 abcdefg	59,50 abcde	55,87 abcde	51,12 ab	36,37 ab
Catalão	59,00 abcdefg	57,12 bcdef	51,50 abcdefg	42,37 abcdef	28,87 abcde
IPEACO	63,12 abcd	59,87 abcde	60,12 abcd	50,25 ab	37,75 ab
IRAT-8	51,37 defg	43,87 fgh	43,12 efgh	31,37 efghi	19,62 de
IRAT-12	35,50 i	28,50 i	26,75 i	20,12 i	13,12
IRAT-2	51,75 cdefg	41,50 ghi	40,75 fgh	30,12 fghi	19,62 de
IPEACO-162	47,37 ghi	41,87 ghi	41,25 fgh	24,50 ghi	12,37
IPEACO-562	54,62 bcdefg	41,25 ghi	40,02 ghi	25,12 ghi	19,75 cde
Paulistinha	59,25 abcdefg	49,12 efg	47,50 cdefg	35,00 defgh	20,37 cde
Fernandes	48,50 efghi	59,12 abcde	50,25 abcd	53,87 ab	44,75 a
IRAT-11	49,37 defgh	44,00 fgh	43,00 efgh	40,00 bcdef	31,25 abcd
IRAT-13	48,12 fghi	50,75 defg	47,00 defgh	44,62 abcde	32,62 abcd
Esaú	51,25 defg	52,25 bcdefg	50,27 bcdefg	45,50 abcd	33,37 abc
Bico Ganga	47,25 fghi	51,25 cdefg	49,27 bcdefg	41,12 abcdef	32,12 abcd
MRC-172-9	36,87 hi	34,75 hi	33,37 hi	22,50 hi	16,75 e

Dentro da coluna vertical, dois valores, tendo uma letra em comum, não são significativamente diferentes, ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

TABELA 4. Comprimento de raízes sob diferentes concentrações de alumínio (cm).

Variedades	Concentrações de Alumínio (ppm)				
	0	10	20	40	60
IAC-1246	22,87 a	21,12 cdefg	20,75 abcd	16,50 abcd	12,37 bcdef
IAC-47	21,37 a	22,62 abcdef	20,50 abcd	17,37 abcd	11,50 bcdef
IAC-5544	22,25 a	22,37 abcdef	20,37 abcd	16,25 abcd	11,62 bcdef
IAC-5100	22,00 a	22,00 bcdefg	17,87 abcde	18,50 abc	16,12 abc
IAC-1131	20,62 a	22,62 abcdef	18,25 abcde	16,25 abcd	14,12 abcd
IAC-25	22,37 a	23,12 abcdef	18,00 abcde	17,75 abcd	13,62 abcde
Matão	20,87 a	19,25 efgh	19,12 abcde	17,87 abcd	12,62 bcde
Pratão	22,00 a	21,12 cdefg	18,75 abcde	19,00 abc	12,12 bcdef
Dourado Precoce	24,25 a	23,25 abcdef	20,25 abcd	19,62 ab	12,87 abcde
Pratão Precoce	26,75 a	16,00 fgh	15,75 bcde	19,37 abc	13,37 abcde
Montanha Lisa	21,75 a	12,75 h	11,37 e	16,00 abcd	11,75 bcdef
Batatais	23,50 a	14,12 gh	14,00 de	19,75 ab	14,87 abcd

TABELA 4. Continuação

Variedades	Concentrações de Alumínio (ppm)				
	0	10	20	40	60
Quatro Meses	24,25 a	23,62 abcdef	23,37 abc	21,00 ab	14,75 abcd
Pérola	24,37 a	23,75 abcdef	23,50 ab	19,00 abc	11,37 bcdef
Ponta Preta	22,25 a	23,12 abcdef	21,62 abcd	20,87 abc	10,62 bcdef
IPEACO-163	23,75 a	24,25 abcde	22,37 abc	16,00 abcd	11,00 bcdef
Catalão	20,50 a	19,25 efgh	17,75 abcde	10,12 de	4,50 f
IPEACO	25,25 a	20,37 defgh	25,00 a	20,25 ab	14,12 abcd
IRAT-8	24,25 a	25,87 abcde	23,12 abc	19,25 abc	15,87 abcd
IRAT-12	22,50 a	23,00 abcdef	20,12 abcd	11,37 cde	8,00 def
IRAT-2	26,37 a	26,00 abcde	23,75 ab	19,75 ab	18,62 ab
IPEACO-162	24,50 a	24,37 abcde	22,50 abc	19,37 abc	11,12 bcdef
IPEACO-562	22,12 a	23,25 abcdef	20,37 abcd	18,25 abc	17,12 abc
Paulistinha	24,25 a	24,62 abcde	23,37 abc	22,00 a	20,87 a
Fernandes	21,00 a	29,87 ab	19,62 abcd	17,90 abcd	16,87 abc
IRAT-11	22,62 a	23,00 abcdef	19,12 abcde	13,37 bcde	10,12 cdef
IRAT-13	21,37 a	28,75 abc	19,75 abcd	18,25 abc	15,37 abcd
Esaú	26,50 a	28,25 abcd	23,75 ab	18,50 abc	14,75 abcd
Bico Ganga	22,12 a	30,25 a	21,37 abcd	19,25 abc	15,87 abcd
MRC-172-9	19,50 a	19,50 efgh	15,37 cde	6,87 e	5,87 ef

Dentro da coluna vertical, dois valores, tendo uma letra em comum, não são significativamente diferentes, ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

TABELA 5. Classificação de variedades de arroz por sua tolerância ao excesso de alumínio, na base de teste de equação de regressão dos dados de comprimento das raízes.

Variedades	Equação regressão	Classificação
Pérola	$Y = 24,2056 + 0,0359A1 - 0,0042A1^2$	Tolerância alta
Ponta Preta	$Y = 21,8202 + 0,1828A1 - 0,006A1^2$	Tolerância alta
IPEACO-162	$Y = 24,3946 + 0,018A1 - 0,0039A1^2$	Tolerância alta
IPEACO	$Y = 25,25 - 1,6104A1 + 0,152A1^2 - 0,0043A1^3 + 0,00004A1^4$	Tolerância alta
Fernandes	$Y = 21,0 + 2,9825A1 - 0,279A1^2 + 0,0076A1^3 - 0,00006A1^4$	Tolerância alta
IRAT-13	$Y = 21,375 + 2,5456A1 - 0,2413A1^2 + 0,0066A1^3 - 0,00006A1^4$	Tolerância alta
Bico Ganga	$Y = 22,125 + 2,6614A1 - 0,2459A1^2 + 0,0066A1^3 - 0,00006A1^4$	Tolerância alta
Pratão Precoce	$Y = 26,4633 - 1,4449A1 + 0,0548A1^2 - 0,006A1^3$	Tolerância média
Montanha Lisa	$Y = 21,6830 - 1,3209A1 + 0,05A1^2 - 0,0005A1^3$	Tolerância média
Batatais	$Y = 22,3344 - 1,3598A1 + 0,055A1^2 - 0,0006A1^3$	Tolerância média
MRC-172-9	$Y = 19,6163 + 0,1518A1 - 0,0228A1^2 + 0,0003A1^3$	Tolerância média
IRAT-12	$Y = 22,5235 + 0,2467A1 - 0,0232A1^2 + 0,0003A1^3$	Tolerância média
IAC-1246	$Y = 23,2694 - 0,1748A1$	Tolerância baixa
IAC-47	$Y = 23,2306 - 0,1752A1$	Tolerância baixa
IAC-5544	$Y = 23,4612 - 0,1879A1$	Tolerância baixa
IAC-5100	$Y = 21,8103 - 0,0966A1$	Tolerância baixa
IAC-1131	$Y = 21,7371 - 0,1293A1$	Tolerância baixa
IAC-25	$Y = 22,875 - 0,15A1$	Tolerância baixa
Matão	$Y = 21,1552 - 0,1233A1$	Tolerância baixa
Pratão	$Y = 22,4579 - 0,1484A1$	Tolerância baixa
Dourado Precoce	$Y = 24,6616 - 0,1774A1$	Tolerância baixa
Quatro Meses	$Y = 25,3588 - 0,1523A1$	Tolerância baixa

TABELA 5. Continuação

Variedades	Equação regressão	Classificação
IPEACO-163	$Y = 25,3621 - 0,2293A1$	Tolerância baixa
Catalão	$Y = 21,7404 - 0,2814A1$	Tolerância baixa
IRAT-8	$Y = 25,8664 - 0,1612A1$	Tolerância baixa
IRAT-2	$Y = 26,6487 - 0,1442A1$	Tolerância baixa
IPEACO-562	$Y = 22,8222 - 0,0999A1$	Tolerância baixa
Paulistinha	$Y = 24,6724 - 0,0634A1$	Tolerância baixa
IRAT-11	$Y = 23,6961 - 0,2325A1$	Tolerância baixa
Esau	$Y = 28,2112 - 0,2254A1$	Tolerância baixa

REFERÊNCIAS

- ANDREW, C.S.; JOHNSON, A.D.; & SANDLAND, R.L. Effect of aluminum on growth and chemical composition of some tropical and temperate pasture legumes. *Aust. J. Agric. Res.*, 24:325-39, 1973.
- CLARKSON, D.T. Effect of aluminum on the uptake and metabolism of phosphorus by barley seedlings. *Plant Physiol.*, 41:165-72, 1966.
- FOY, C.D. Effect of aluminum on plant growth. In: CARSON, E.W., ed. *The plant root and its environment*. Charlottesville, Univ. Press of Virginia, 1974. p. 601-42.
- BURNS, G.R.; & BROWN, J.C. Differential aluminum tolerance of two varieties associated with plant induced pH changes around their roots. *Proc. Soil Sci. Soc. Am.*, 29:65-7, 1965.
- GRIME, J.P. & HODGSON, J.G. An investigation of the ecological significance of lime chlorosis by means of large scale comparative experiments. In: RORISON, I.H. *Ecological aspects of the mineral nutrition of plants*, 1969. p. 67-9. Symposium British Ecology Societ, 9., Sheffield.
- HACKETT, C. Stimulative of aluminum on plant growth. *Nature*, 195:471-2, 1962.
- JONES, L.H. Aluminum uptake and toxicity in plants. *Plant Soil*, 13:297-310, 1961.
- LONG, F.L.; LANGDALE, G.W.; & MYHERE, D.L. Response of an Al-tolerant and Al-sensitive genotype to lime, P and K on three Atlantic coast flatworms soils. *Agron. J.*, 65:30-4, 1973.
- MACLEAN, F.T. & GILBERT, B.E. The relative aluminum tolerance of crop plants. *Soil Sci.*, 24:163-75, 1927.
- MACLEOD, L.B. & JACKSON, L.P. Effect of concentration of the aluminum ion on root development and establishment of legume seedlings. *Can. J. Soil Sci.*, 45:221-34, 1965.
- PETER, C.K.; DAWSON, M.D.; & MOORE, D.P. Separation of degrees of aluminum tolerance in wheat. *Agron. J.*, 63:586-1, 1971.
- SPRAGUE, S.A. Germoplasma a manipulations of the future. In: PASTIN, J.P., ed. *Physiological aspects of crop yields*. Madison, American Society of Agronomy, 1969. p. 325-89.
- THAWORNWONG, N. & DIEST, A.V. Influence of high acidity and aluminum on the growth of lowland rice. *Plant Soil*, 41:141-59, 1974.
- YOSHIDA, S.; FENO, D.A.; COCK, J.H.; & GOMES, K.A. Laboratory manual for physiological studies of rice. Philippines, IRRI, 1972. p. 54-7.