

IDENTIFICAÇÃO DO NÍVEL E DO CARÁTER MAIS IMPORTANTE PARA ESTUDOS GENÉTICOS DA TOLERÂNCIA DO ARROZ À TOXIDEZ DE ALUMÍNIO¹

**Reinaldo de Paula Ferreira²
Carlos Siqueyuki Sedyama³
Cosme Damião Cruz⁴
Roberto de Paula Ferreira⁵
Elizabeth de Nogueira Fernandes²**

1. INTRODUÇÃO

A toxidez de alumínio é um fator limitante da produção de cereais nos cerrados do Brasil (2). A área de cerrado ocupa quase um quarto do território nacional, concentrando-se, principalmente, nos Estados de Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Minas Gerais. Os solos predominantes nesta região são os Latossolos, caracteristicamente ácidos, com baixos valores de capacidade de troca catiônica, alta saturação de alumínio e reduzida disponibilidade de fósforo (5).

A adaptação de plantas às condições adversas de solo tem

¹ Aceito para publicação em 02.12.1996.

² EMBRAPA/CNPAP, Cx. Postal 179, 74001-970 Goiânia, GO.

³ Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal de Viçosa, 36571-000 Viçosa, MG.

⁴ Departamento de Biologia Geral, Universidade Federal de Viçosa, 36571-000 Viçosa, MG.

⁵ EMGOPA, 76550 Porangatu, GO.

aumentado de importância nos últimos anos. Isso se deve, principalmente, aos custos cada vez maiores da produção de alimentos e à exploração de áreas menos férteis. Dessa forma, tem-se dado enfoque tanto para a adaptação das plantas ao solo como do solo às plantas, como feito anteriormente (7).

A opção considerada mais promissora para contornar este problema é a exploração do potencial genético dos cultivares, pois sabe-se que espécies e variedades diferem amplamente na tolerância ao excesso de alumínio (3). A identificação e a seleção de genótipos tolerantes trarão, por certo, vantagens, independentemente do grau de tecnologia utilizado.

O objetivo deste trabalho é identificar, em solução nutritiva, o nível de alumínio e o caráter mais importante para estudos genéticos em arroz.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Inicialmente, as sementes dos 20 materiais genéticos (cultivares e linhagens) de arroz, após serem tratadas com Vitavax e Thiram, foram colocadas para germinar em rolos de papel especial para germinação, umedecidas com água destilada, permanecendo no germinador durante 70 horas, a uma temperatura de 25°C e umidade relativa de 100%, até a radícula alcançar, aproximadamente, 3 cm.

Posteriormente, plântulas uniformes, após medir-se o comprimento inicial da raiz, foram transferidas para caixas plásticas com as seguintes dimensões: 37 cm de comprimento, 30 cm de largura e 14 cm de altura. Cada caixa continha 15 l de solução nutritiva (Quadro 1), cuja composição química é uma modificação daquela proposta por FURLANI e HANNA (4).

Para a sustentação das plântulas no recipiente com solução nutritiva foram empregadas chapas de acrílico perfuradas. Em cada perfuração, acomodou-se uma plântula, cuja radícula alcançou a solução nutritiva através daquela perfuração.

Durante o período de crescimento, que se prolongou por 10 dias, após a transferência das plântulas para as caixas, corrigiu-se diariamente o pH da solução nutritiva para 4,0, com adição de HCl ou NaOH 0,5 M. Neste período, a temperatura diurna na câmara de crescimento foi de $27 \pm 1^\circ\text{C}$ e a noturna, de $24 \pm 1^\circ\text{C}$, enquanto a umidade relativa diurna foi próxima de 80% e a noturna, de 100%. O fotoperíodo foi de 12 horas, com uma densidade de fluxo de fótons de $800 \mu\text{E}/\text{m}^2/\text{segundo}$ na altura da copa da planta, fornecidas por lâmpadas fluorescentes e incandescentes.

QUADRO 1 - Composição das soluções estoques e da solução nutritiva usadas para cultivar plantas de arroz em estudos de estresse de alumínio

Nº	Solução Estoque		Estoque/ Solução mL/L	Concentrado Final Solução Nutritiva	
	Componente	Concentração g/L		ppm	
1	Mg(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O	142,4	0,28	Ca	30,0
2	KH ₂ PO ₄	17,6	0,05	K	18,0
3	Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	270,0	0,66	Mg	3,8
4	NH ₄ NO ₃	33,8	0,33	NO ₃	32,0
	FeSO ₄ ·7H ₂ O	24,9		NH ₄ ⁺	4,0
5	Na ₂ EDTA	29,6	0,46	P	0,2
	KCl	18,6		B	0,11
	KNO ₃	24,6		Fe	1,65
	K ₂ SO ₄	44,0		Mn	0,21
6	MnCl ₂ ·4H ₂ O	2,34	0,33	Mo	0,03
	H ₃ BO ₃	2,04		Zn	0,10
	CuSO ₄ ·5H ₂ O	0,20		Cu	0,01
	ZnSO ₄ ·7H ₂ O	1,41		Al	20,0
	Na ₂ MoO ₄ ·2H ₂ O	0,26			
7	AlCl ₃ ·6H ₂ O	89,48	2,00		

As análises foram feitas para cada nível de alumínio, considerando o delineamento experimental em blocos casualizados, envolvendo 20 tratamentos (materiais genéticos) e quatro repetições. A parcela foi constituída por 14 plantas de cada material genético.

Após o período de 10 dias, as plântulas foram medidas e o sistema radicular e a parte aérea colocados, separadamente, em sacos de papel e submetidos à secagem em estufa, com ventilação forçada, a 75°C, durante 48 horas.

Por ocasião da tomada de dados foram avaliados os seguintes caracteres: i) comprimento da raiz - determinado do coleto da planta até à extremidade da raiz; ii) matéria seca da raiz; iii) matéria seca da parte aérea; iv) matéria seca total - determinada somando-se os pesos da matéria seca da parte aérea e da raiz; e v) altura da planta.

Neste experimento, por meio de análise univariada, foram avaliados o nível de alumínio e o caráter que proporcionaram a melhor discriminação genotípica entre os materiais genéticos estudados. Com este objetivo, realizou-se, para cada nível de alumínio estudado, a

análise de variância, considerando os efeitos de repetição e de material genético.

O nível de alumínio mais adequado para estudos posteriores foi identificado pelos seguintes critérios: i) máximo valor da estatística F (razão entre os quadrados médios de tratamento e do resíduo); ii) máximo valor do coeficiente de determinação genotípica, estimado por meio de:

$$H^2 = \frac{\hat{\theta}_g^2}{\frac{QMG}{r}} = \frac{QMG - QMR}{QMG}$$

em que

$\hat{\theta}_g^2$ = estimador do componente quadrático que expressa a variabilidade genotípica entre os materiais genéticos;

QMG = quadrado médio de materiais genéticos;

QMR = quadrado médio do resíduo;

r = número de repetições;

iii) máximo valor da relação entre os coeficientes de variação genética (CV_g) e experimental (CV_e).

Procedimento análogo pode ser adotado para a identificação do caráter mais importante para discriminação de materiais genéticos quanto à tolerância à toxidez de alumínio.

Neste experimento, também identificou-se o nível de alumínio mais importante para estudos genéticos em arroz, baseando-se na técnica multivariada fundamentada na análise de agrupamento. Nesta análise, utilizou-se o algoritmo de Tocher, citado por RAO (8), baseando-se na distância generalizada de Mahalanobis.

Seria considerado o nível de alumínio mais adequado para estudos genéticos em arroz o que proporcionasse maior discriminação entre os materiais testados, com a vantagem de, neste caso, haver influência simultânea de todos os caracteres estudados sobre a diversidade genética.

Estudou-se, ainda, a importância relativa dos diversos caracteres avaliados para a diversidade genética em cada nível de alumínio, adotando-se a metodologia de SINGH (9), que é uma técnica multivariada que se baseia na distância generalizada de Mahalanobis.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Por meio da análise de variância dos caracteres comprimento da raiz, peso da matéria seca da raiz, da parte aérea e total e altura da planta, constatou-se que, nos diversos níveis de alumínio, houve variabilidade genética entre os cultivares e as linhagens estudados.

As estimativas dos coeficientes de variação experimental (CV_e) e genético (CV_g), da relação CV_g/CV_e , do coeficiente de determinação genotípico (H^2) e da estatística F, que expressa a razão entre os quadrados médios do tratamento e do resíduo dos diversos caracteres em estudo, são apresentadas no Quadro 2, com o objetivo de identificar os níveis e os caracteres mais importantes para a realização de estudos genéticos da tolerância à toxidez de alumínio em arroz.

QUADRO 2 - Coeficiente de variação experimental (CV_e), coeficiente de determinação genotípico (H^2), coeficiente de variação genético (CV_g), razão do coeficiente de variação genético/coeficiente de variação experimental (CV_g/CV_e) e estatística F dos caracteres comprimento da raiz (CR), peso da matéria seca da raiz (PSR), da parte aérea (PSPA) e total (PST) e altura da planta (AP), avaliados em 20 cultivares e linhagens de arroz, submetidos a cinco níveis de alumínio em solução nutritiva						
Nível	Caracteres	CV_e	H^2	CV_g	CV_g/CV_e	F
0	CR	7,28	0,98	27,15	3,73	56,66
	PSR	13,49	0,76	11,93	0,88	4,13
	PSPA	6,81	0,89	9,52	1,40	8,80
	PST	5,98	0,91	9,61	1,61	11,33
	AP	4,63	0,96	11,32	2,44	24,90
10	CR	8,57	0,99	47,72	5,57	124,95
	PSR	10,19	0,86	12,52	1,23	7,03
	PSPA	7,00	0,93	12,37	1,76	13,45
	PST	5,38	0,95	11,86	1,20	20,44
	AP	3,81	0,98	14,10	3,70	55,64
20	CR	7,89	0,99	87,33	8,92	319,31
	PSR	12,58	0,92	22,05	1,75	13,29
	PSPA	6,95	0,95	15,12	2,18	19,93
	PST	6,36	0,96	16,17	2,54	26,82
	AP	4,59	0,98	17,89	3,89	61,61
30	CR	9,96	0,99	96,58	9,70	338,88
	PSR	16,03	0,92	28,23	1,74	12,33
	PSPA	6,92	0,96	16,68	2,41	24,27
	PST	7,02	0,96	18,20	2,59	27,91
	AP	4,78	0,98	20,49	4,29	74,49
40	CR	10,91	0,99	91,72	8,41	283,66
	PSR	16,26	0,92	28,23	1,74	13,05
	PSPA	8,64	0,93	16,24	1,88	15,14
	PST	7,32	0,96	17,94	2,45	24,99
	AP	5,73	0,98	19,94	3,39	47,08

Considera-se como nível apropriado para estudos genéticos o que proporciona boa precisão experimental e que permite a maior expressão da

variabilidade genotípica. Assim, procurou-se, entre os diversos níveis de alumínio estudados, o que proporcionasse menor coeficiente de variação experimental e maiores estimativas das estatísticas CVg , CVg/CVe , H^2 e F .

Os níveis de 20 e 30 ppm de alumínio foram os mais adequados para identificar materiais tolerantes e sensíveis à toxidez de alumínio, por apresentarem maiores valores da estatística F e da relação entre os coeficientes de variação genético e experimental. O coeficiente de determinação genotípico, que expressa a variabilidade fenotípica que é de natureza genética, não mostrou ser um parâmetro eficiente de discriminação, uma vez que a maioria dos caracteres esteve consistentemente elevado em qualquer nível de alumínio estudado (Quadro 2).

Constata-se, ainda, que o caráter comprimento da raiz foi o mais importante para discriminar materiais genéticos de arroz quanto à tolerância à toxidez de alumínio por apresentar, nas concentrações de 20 e 30 ppm de alumínio, níveis considerados críticos para maior expressão da variabilidade genotípica, maiores valores da estatística F e da relação entre os coeficientes de variação genético e experimental (Quadro 2).

A tolerância à toxidez de alumínio é um caráter relativamente complexo, não sendo, certamente, expresso por caracteres individuais. Em estudo para se identificar o nível de alumínio mais importante para estudos genéticos em arroz, por técnica multivariada, deve-se pressupor que o melhor nível seria o que proporcionasse a maior diversidade genotípica entre os genótipos testados e que esta diversidade deveria envolver todos os caracteres avaliados.

A influência simultânea de um conjunto de variáveis sobre a diversidade genética dos materiais estudados pode ser eficientemente avaliada por técnicas multivariadas, como a análise de agrupamento. Esta técnica tem por finalidade reunir tratamentos em vários grupos, de tal forma que exista homogeneidade dentro e heterogeneidade entre grupos. O nível de alumínio mais adequado para estudos genéticos seria o que proporcionasse maior formação de grupos entre os materiais testados.

Agrupando-se as variedades de arroz, pelo método de Tocher, com base na distância generalizada de Mahalanobis, nos diversos níveis de alumínio estudados, observa-se que, nas concentrações de 10 e 20 ppm de alumínio, formou-se o maior número de grupos entre os diversos materiais estudados. Na concentração de 20 ppm de alumínio, formaram-se seis grupos, com os dois primeiros incluindo cultivares pertencentes ao sistema de cultivo de arroz irrigado e, os quatro últimos, pertencentes ao sistema de arroz de sequeiro. Nas concentrações de 30 e 40 ppm de alumínio, os materiais distribuíram-se, de forma idêntica, entre os cinco grupos estabelecidos (Quadro 3).

Optou-se por escolher a concentração de 20 ppm de alumínio como

a ideal para estudos genéticos em arroz, porque, neste nível, obteve-se elevada formação de grupos entre os materiais genéticos testados, utilizando-se a análise de agrupamento, com base no método de Tocher, a partir da distância generalizada de Mahalanobis (Quadro 3). Também, pela análise de agrupamento, apenas no nível de 20 ppm de alumínio os materiais pertencentes ao sistema de cultivo de arroz de sequeiro foram dispostos em grupos distintos (Grupos 3, 4, 5 e 6) dos de arroz irrigado (Grupos 1 e 2), os quais são, na maioria das vezes, tolerantes e sensíveis à toxidez de alumínio, respectivamente. Ainda, por meio de técnicas univariadas, evidenciou-se que, nesta concentração, há maior precisão experimental e maior variabilidade genotípica, pois foram obtidos maiores valores da estatística F e da relação entre os coeficientes de variação genético e experimental (Quadro 2). Esta concentração de alumínio também tem sido utilizada no Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) para diferenciar genótipos de arroz quanto à tolerância à toxidez de alumínio em solução nutritiva (6).

A identificação de caracteres que mais contribuíram para a divergência genética pode ser feita pela metodologia de SINGH (9), que é uma técnica multivariada que se baseia na distância generalizada de Mahalanobis. Constata-se que, à medida que se aumentou a concentração de alumínio na solução nutritiva, o caráter comprimento da raiz foi o que teve maior participação na contribuição relativa para a divergência genética entre os diversos materiais genéticos estudados. Os que menos contribuíram, na presença de alumínio, foram os caracteres altura da planta e peso da matéria seca da raiz, sendo, portanto, dispensável a sua avaliação em futuros estudos (Quadro 4). Caracteres dispensáveis em estudos de divergência genética são aqueles invariantes entre os genótipos estudados e, ou, redundantes, por estarem correlacionados com outros caracteres (1).

4. RESUMO

Objetivando identificar a concentração de alumínio e o caráter mais importante para estudos genéticos da tolerância do arroz à toxidez deste elemento, realizou-se o cultivo hidropônico de 20 materiais genéticos (cultivares e linhagens) desta cultura, crescidos coletivamente em caixas, nas concentrações de 0, 10, 20, 30 e 40 ppm de alumínio, avaliando os caracteres comprimento da raiz, peso da matéria seca da raiz, da parte aérea e total e altura da planta. Após 10 dias de crescimento em solução nutritiva, identificou-se a concentração de 20 ppm de alumínio como a ideal para estudos genéticos em arroz, e o caráter comprimento da raiz foi o que teve maior participação na contribuição relativa para a divergência genética entre os diversos cultivares e linhagens de arroz estudados.

QUADRO 3 - Agrupamento de materiais genéticos de arroz, pelo método de Tocher, com base na distância generalizada de Mahalanobis, submetida a cinco níveis de alumínio, em solução nutritiva.

Grupo	Genótipos*				
	Nível 0	Nível 10	Nível 20	Nível 30	Nível 40
1	4, 17, 13, 14, 3, 6, 5, 11, 7	5, 7, 17, 13, 11, 20, 6, 3	1, 2, 17, 20, 7, 6, 13, 3, 11, 5, 19	1, 2, 19, 17, 20, 7, 6, 11, 3, 5, 13, 4, 14	3, 17, 7, 11, 5, 6, 13, 4, 14, 20, 1, 2, 19
2	9, 10, 15, 8	12, 16	4, 14, 12	8, 18, 9	8, 18, 9
3	12, 18	1, 2, 19	8, 18	10, 15	10, 15
4	19, 20, 1, 2	4, 14	10, 15	16	16
5	16	8, 18	16	12	12
6		9, 10, 15	9		
<p>1 - CNA 5600, 2 - CNA 5615, 3 - CNA 5595, 4 - CNA 5588, 5 - CNA 5868, 6 - CNA 5891, 7 - IR 36, 8 - IAC 47, 9 - Guarani, 10 - Guaporé, 11 - BR IRGA 410, 12 - CICA 8, 13 - Mética 1, 14 - BR 1, 15 - IAC 25, 16 - Araguaia, 17 - BR IRGA 409, 18 - CNA 4193, 19 - IR 22, 20 - IAC 899</p>					

QUADRO 4 - Contribuição relativa (S.j) dos caracteres comprimento da raiz (CR), peso da matéria seca da raiz (PSR), da parte aérea (PSPA) e total (PST) e altura da planta (AP), avaliados em 20 materiais genéticos de arroz, submetidos a cinco níveis de alumínio, em solução nutritiva, utilizando-se a metodologia de SINGH(9).

Caracteres	Nível 0		Nível 10		Nível 20		Nível 30		Nível 40	
	S.j	%	S.j	%	S.j	%	S.j	%	S.j	%
CR	5.535,57	9,78	157.222,96	9,60	40.008,06	38,51	42.935,44	46,28	28.280,40	62,78
PSR	8.499,15	14,98	157.734,36	9,63	10.180,89	9,80	6.870,44	7,40	1.682,16	3,73
PSPA	15.668,35	27,62	628.658,12	38,39	24.565,36	23,64	13.786,23	14,86	5.290,92	11,75
PST	23.541,99	41,50	629.055,61	38,41	25.660,84	24,70	20.944,58	22,58	5.625,59	12,49
AP	3.476,42	6,13	48.644,52	2,97	3.473,45	3,34	8.228,39	8,87	4.164,01	9,24

5. SUMMARY

(IDENTIFICATION OF THE AL CONCENTRATION IN SOLUTION AND THE MOST IMPORTANT CHARACTER FOR GENETIC STUDIES OF RICE TOLERANCE TO AL TOXICITY)

Aiming at identifying the Al concentration in solution and the most important characters for genetic studies of rice tolerance to Al toxicity, 20 rice genetic materials (cultivars and lines) were grown in nutrient solution, under Al concentrations of 0, 10, 20, 30 and 40 ppm. Root length, root, tops and whole plant dry matter weight, and plant height were the characters evaluated. After a 10-day growth period, the Al solution concentration of 20 ppm was identified as the most appropriated one for genetic studies in rice, and the character root length was the one having the highest participation in the relative contribution to the genetic variability among the various studied materials.

6. LITERATURA CITADA

1. CRUZ, C.D. & REGAZZI, A.J. *Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético*. Viçosa, MG, UFV, Impr. Univ., 1994. 390p.
2. FAGERIA, N.K. & ZIMMERMANN, F.J.P. Seleção de cultivares de arroz para tolerância à toxidez de alumínio em solução nutritiva. *Pesq. Agropec. Bras.*, 14: 141-147, 1979.
3. FOY, C.D. Effects of aluminum on plant growth. In: CARSON, E.W. (ed.). *The plant root and its environment*. Charlottesville, University Press of Virginia, 1974. p. 601-642.
4. FURLANI, P.R. & HANNA, L.G. Avaliação da tolerância de plantas de arroz e milho ao alumínio em solução nutritiva. *R. Bras. Ci. Solo*, 8: 205-208, 1984.
5. LOPES, A.S. & COX, F.R. A survey of the fertility status simpose soils under "cerrado" vegetation in Brasil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 41: 742-747, 1977.
6. MARTINES, C.P. *Aluminum toxicity studies in rice*. Corvallis, Oregon State University, 1977. 113 p. (Tese Ph. D.).
7. OLMOS, J.I.L. & CAMARGO, M.N. Ocorrência de alumínio tóxico nos solos do Brasil, sua caracterização e distribuição. *Ci. Cult.*, 21:171-180, 1976.
8. RAO, R.C. *Advanced statistical methods in biometric research*. New York, John Wiley and Sons, 1952. 390 p.
9. SINGH, D. The relative importance of characters affecting genetic divergence. *Ind. J. Genet. Plant Breed.*, 41: 237-245, 1981.