

IDENTIFICAÇÃO DE CULTIVARES DE ARROZ TOLERANTES À TOXIDEX DE ALUMÍNIO POR TÉCNICA MULTIVARIADA¹

REINALDO DE PAULA FERREIRA², COSME DAMIÃO CRUZ³, CARLOS SIGUEYUKI SEDIYAMA⁴
e NAND KUMAR FAGERIA⁵

RESUMO - Objetivando discriminar progenitores tolerantes e sensíveis à toxidez de Al, realizou-se o cultivo hidropônico de 20 genótipos de arroz, crescidos coletivamente em caixas, na concentração de 20 ppm de Al, avaliando os caracteres comprimento da raiz, peso da matéria seca da raiz, da parte aérea e total, e altura da planta, após dez dias de crescimento em solução nutritiva. Utilizando a técnica multivariada denominada "função discriminante", proposta por Anderson (1958), identificaram-se os genótipos oriundos do sistema de cultivo de arroz de sequeiro como tolerantes à toxidez de Al e, os de irrigado, como sensíveis.

Termos para indexação: progenitores, sensibilidade, genótipos, *Oryza sativa*, hidropônica, solução nutritiva.

IDENTIFICATION OF RICE CULTIVARS TOLERANT TO ALUMINUM TOXICITY BY MULTIVARIATE TECHNIQUE

ABSTRACT - The objective of the present study was to evaluate 20 rice genotypes in solution culture for their tolerance and susceptibility to Al toxicity grown in 20 ppm of Al concentration. Growth characteristics evaluated were: root length, root and shoot dry weight, total seedling dry weight, and seedling length measured ten days after growing in the nutrient solution. The multivariate technique used was that proposed by Anderson (1958) and according to this technique upland rice genotypes were found to be tolerant to Al toxicity, whereas genotypes of irrigated rice were grouped as susceptible to Al toxicity.

Index terms: *Oryza sativa*, genotypes, susceptibility, nutrient solution, hidroponics.

INTRODUÇÃO

A toxidez de Al é um sério fator limitante da produção de cereais nos cerrados do Brasil (Fageria & Zimmermann, 1979). 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 Al e reduzida disponibilidade de P (Lopes & Cox, 1977).

A adaptação de plantas às condições adversas de solo tem crescido de importância nos últimos anos. Isto se deve principalmente aos custos cada vez maiores para a produção de alimentos e à exploração de áreas menos férteis. Dessa forma, tem-se dado enfoque tanto para a adaptação das plantas ao solo quanto para a adaptação do solo às plantas, como era feito anteriormente (Olmos & Camargo, 1976).

A opção que tem sido considerada mais promissora para contornar este problema é a exploração do

¹ Aceito para publicação em 3 de maio de 1995.

² Eng. Agr., Dr., EMBRAPA-Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão (CNPAP), Caixa Postal 179, CEP 7400-970, Goiânia, GO.

³ Eng. Agr., Dr., Prof.-Titular, Dep. de Biol. Geral, Univ. Fed. de Viçosa, CEP 36570-000, Viçosa, MG.

⁴ Eng. Agr., Ph.D., Prof.-Titular, Dep. de Fitot., Univ. Fed. de Viçosa.

⁵ Eng. Agr., Ph.D., EMBRAPA/CNPAP.

potencial genético das cultivares, pois sabe-se que espécies e variedades diferem amplamente na tolerância ao excesso de Al (Foy, 1974). A identificação e a seleção de genótipos tolerantes trarão, inevitavelmente, vantagens, independentemente do grau de tecnologia utilizado.

A técnica multivariada denominada "função discriminante", proposta por Anderson (1958), tem por finalidade classificar novos materiais genéticos, de comportamento desconhecido, em populações já conhecidas. Neste estudo, considera-se a existência de uma população tolerante e outra sensível à toxidez de Al. O problema estatístico consiste em estabelecer a forma de classificar os genótipos, uma vez que não é possível caracterizá-los diretamente sem que se faça uso de um conjunto amplo de caracteres.

O presente trabalho teve por objetivo caracterizar cultivares de arroz quanto à tolerância à toxidez de alumínio, através da técnica multivariada.

MATERIAL E MÉTODOS

Inicialmente, as sementes dos 20 genótipos de arroz (Tabela 1), 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, à 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 de plástico, com as seguintes dimensões: 37 cm de comprimento, 30 cm de largura e 14 cm de altura. Cada caixa continha 15 litros de solução nutritiva (Tabela 2), cuja composição química é uma modificação daquela proposta por Furlani & Hanna (1984).

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 dez 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%.

TABELA 1. Relação dos genótipos de arroz, componentes do ensaio.

Genótipos	Progenitores	Sistema de cultivo
CNA 5600	6843//IR11-452/Camponi	Irrigado
CNA 5615	5685//3250/IRAT 8	Irrigado
CNA 5595	CICA 7//IR262/Costa Rica	Irrigado
CNA 5588	6843//Camponi/IAC 25	Irrigado
CNA 5868	5006//7152/Costa Rica	Irrigado
CNA 5891	5006//7152/IAC 25	Irrigado
IR 36	IR1561-228//IR24/0. Nivara//CR94-13	Irrigado
IAC 47	IAC 1246/IAC 1391	Sequeiro
Guarani	IAC 25/63-83	Sequeiro
Guaporé	IRAT 13/IAC 47	Sequeiro
BR IRGA 410	IR 930-50/IR 665-32-24	Irrigado
CICA 8	CICA 4//IR 665/Tetep	Irrigado
METICA 1	F ₁ P 738/P881/F ₁ P 739/P 868	Irrigado
BR 1	Belle Patna/Dawn	Irrigado
IAC 25	Dourado Precoce/IAC 1246	Sequeiro
Araguaia	IAC 47/TOS 2578/7-4-3-82	Sequeiro
BR IRGA 409	IR 665-31-2-4/IR 930-2	Irrigado
CNA 4193	Mutante de IAC 25	Sequeiro
IR 22	IR 8/Tadukan	Irrigado
IAC 899	IR 665//IR 841/Tetep	Irrigado

O fotoperíodo foi de doze horas, com uma densidade de fluxo de fótons de 800 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{segundo}$ na altura da copa da planta, fornecidos por lâmpadas fluorescentes e incandescentes.

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

Por ocasião da tomada de dados, avaliaram-se os seguintes caracteres:

- i) comprimento da raiz - determinado do coleto da planta até a 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.

Para identificação dos genótipos estudados quanto à tolerância à toxidez de Al, utilizou-se a técnica multivariada baseada na "função discriminante", proposta por Anderson (1958), a qual pressupõe uma otimização da classificação quando se considera simultaneamente um conjunto de caracteres tomados em cada genótipo.

Para a obtenção das funções discriminantes, é necessário o conhecimento prévio dos genótipos que, sabidamente, pertencem a cada um dos grupos em que se pretende alocar

TABELA 2. Composição das soluções estoques e da solução nutritiva usadas para cultivar plantas de arroz em estudos de estresse causado por Alumínio.

Solução/estoque			Concentração final solução nutritiva		
Nº	Componentes	Concentração (g/l)	Estoque/ solução (ml/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
	NH ₄ NO ₃	33,8		NO ₃	32,0
4	FeSO ₄ .7H ₂ O	24,9	0,33	NH ₄ ⁺	4,0
	Na ₂ EDTA	29,6		P	0,2
5	KCl	18,6	0,46	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		

os materiais genéticos de comportamento desconhecido. Neste estudo, as cultivares Guaporé, IAC 25 e Guarani foram utilizadas como padrão representativo de genótipos tolerantes à toxidez de Al, e IAC 899, CNA 5600 e CNA 5615, como padrão de sensibilidade.

Considerou-se, neste estudo, que:

π_1 = população tolerante à toxidez de alumínio;

u_1 = vetor de médias dos p caracteres avaliados na população π_1 ;

Σ_1 = matriz de co-variância entre os caracteres avaliados na população π_1 ;

π_2 = população sensível à toxidez de Al;

u_2 = vetor de médias dos p caracteres avaliados na população π_2 ;

Σ_2 = matriz de co-variância entre os caracteres avaliados na população π_2 ; e

x = vetor de variáveis representativas dos caracteres envolvidos na análise.

Considerando que há homogeneidade das matrizes de co-variâncias Σ_1 e Σ_2 , obtém-se a matriz Σ , que é obtida a

partir de Σ_1 e Σ_2 , levando-se em consideração os respectivos graus de liberdade.

Neste caso, obtém-se:

$$D_r(x) = \ln(p_1) + \left(x - \frac{1}{2} u_1 \right)' \Sigma^{-1} u_1$$

$$D_s(x) = \ln(p_2) + \left(x - \frac{1}{2} u_2 \right)' \Sigma^{-1} u_2$$

Neste estudo, $D_r(x)$ e $D_s(x)$ são as funções discriminantes que possibilitam a obtenção de escores para classificação dos genótipos nas populações π_1 e π_2 , consideradas tolerantes e sensíveis à toxidez de Al, respectivamente, e, p_1 e p_2 são as probabilidades, "a priori", de pertencerem às populações π_1 e π_2 , respectivamente, considerados, neste trabalho, iguais a 0,5, por não se ter informação prévia do comportamento do material estudado.

Utilizando-se as “funções discriminantes” e os dados das próprias populações π_1 e π_2 , estima-se a taxa de erro aparente que mede a eficiência da “função discriminante” em classificar os genótipos corretamente quanto à tolerância à toxidez de Al.

Pelo critério de classificação de Anderson (1958), classifica-se o i -ésimo material genético com vetor de média X_i na população π_j ($j = 1$ ou 2) se, e somente se, $D_j(x_i)$ for o maior entre os elementos do conjunto $\{D_1(x_i), D_2(x_i)\}$. Portanto, classifica-se um determinado genótipo como tolerante à toxidez de Al, se $D_r(x)$ for maior que $D_s(x)$, e sensível, em caso contrário.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As funções discriminantes dos genótipos tolerantes e sensíveis à toxidez de Al, representados por $D_r(x)$ e $D_s(x)$, respectivamente, foram obtidas pelo uso da técnica multivariada, proposta por Anderson (1958), chegando aos seguintes valores:

$$D_r(x) = -225,4656 + 33,4635CR + 693,5110PSR - 82,7286PSPA + 6,1224AP$$

$$D_s(x) = -40,8198 + 2,7612CR + 512,0217PSR + 22,6947PSPA + 3,3734AP$$

Assim, cada função é uma combinação linear dos caracteres comprimento da raiz (CR), peso da matéria seca da raiz (PSR), da parte aérea (PSPA) e altura da planta (AP). Classificou-se determinado genótipo como tolerante à toxidez de Al se $D_r(x)$ for maior que $D_s(x)$, e sensível, em caso contrário.

Deve ser ressaltado que na obtenção das “funções discriminantes” descritas anteriormente eliminou-se o caráter peso da matéria seca total (PST), uma vez que ele é estabelecido pela soma dos pesos da matéria seca da raiz (PSR) e da parte aérea (PSPA). Este fato caracteriza uma relação linear entre caracteres, o que proporcionou uma matriz de covariância singular, em função da multicolinearidade que se manifesta. Como o processo de obtenção das funções discriminantes depende da inversa da matriz de co-variância, a não-singularidade é indispen-

sável e, portanto, a eliminação do caráter peso da matéria seca total foi a alternativa que permitiu contornar o problema estatístico exposto.

Na Tabela 3, é apresentada a classificação dos genótipos quanto à tolerância à toxidez de Al com as respectivas estimativas das funções discriminantes, segundo o método de Anderson (1958). Verifica-se que os genótipos considerados previamente como tolerantes ou sensíveis à toxidez de Al foram classificados corretamente, o que indica que a taxa de erro aparente, que mede o número de classificação errada, é nula. Conclui-se que as funções estimadas têm consistência estatística, e que as inferências a respeito dos genótipos desconhecidos serão válidas.

Constatou-se que, entre os materiais estudados, apenas os genótipos IAC 47, Araguaia e CNA 4193 foram tolerantes à toxidez de Al, e os demais, sensíveis. De maneira geral, o resultado é consistente, pois a análise foi repetida quatro vezes. Apenas a cultivar Araguaia foi classificada como tolerante, em três das quatro repetições.

Ressalta-se que os genótipos classificados como tolerantes à toxidez de Al pertencem ao sistema de cultivo de arroz de sequeiro, onde predominam os solos classificados como Latossolos, os quais são caracteristicamente ácidos e com alta saturação de Al. Portanto, presume-se que, ao selecionar genótipos produtivos neste sistema de cultivo, os melhoristas, indiretamente, selecionaram materiais tolerantes à toxidez de Al. Já os genótipos, classificados como sensíveis à toxidez de Al, pertencem ao sistema de cultivo de arroz irrigado, os quais são cultivados predominantemente em solos férteis.

As conclusões obtidas neste estudo referem-se ao desempenho dos genótipos submetidos à concentração de 20 ppm de Al, nível este considerado crítico para estudos genéticos em arroz, por apresentar a melhor precisão experimental e discriminação genotípica entre os materiais avaliados, como já evidenciado por Ferreira (1995).

TABELA 3. Classificação de genótipos de arroz quanto à tolerância à toxidez de alumínio por repetição, com as respectivas estimativas das funções discriminantes, segundo a metodologia de anderson (1958), na concentração de 20 ppm de alumínio.

Genótipo	Repetição	$D_S(x)$	$D_T(x)$	Classificação*
CNA 5600	1	33,2525	-97,1951	S
	2	38,5162	-85,5271	S
	3	32,0618	-90,7285	S
	4	36,3765	-81,1467	S
CNA 5615	1	35,1499	-89,1322	S
	2	41,0923	-84,7509	S
	3	27,4989	-93,8324	S
	4	34,5260	-83,9957	S
CNA 5595	1	49,4923	-50,3051	S
	2	58,7498	-38,7484	S
	3	49,5458	-48,6262	S
	4	51,7352	-33,1627	S
CNA 5588	1	73,2032	-21,4371	S
	2	72,2291	-25,4516	S
	3	65,0885	-22,1888	S
	4	71,3897	-10,1572	S
CNA 5868	1	59,5711	-43,9939	S
	2	61,1743	-44,8979	S
	3	60,0575	-41,5140	S
	4	55,7368	-41,3354	S
CNA 5891	1	46,4583	-63,3557	S
	2	42,0679	-65,2474	S
	3	51,2540	-32,2166	S
	4	50,9793	-39,6572	S
IR 36	1	53,9071	-43,2280	S
	2	49,6014	-57,9686	S
	3	47,8070	-57,4369	S
	4	49,2481	-55,9649	S
IAC 47	1	99,4815	151,5780	T
	2	102,6254	140,5025	T
	3	100,5415	154,7925	T
	4	113,0326	187,8075	T
GUARANI	1	97,7057	192,5644	T
	2	111,5164	222,4395	T
	3	93,3768	203,8857	T
	4	103,3690	204,9363	T
GUAPORÉ	1	102,9161	225,0205	T
	2	110,3484	238,4950	T
	3	82,5234	172,4837	T
	4	98,8673	227,8054	T

Continua...

TABELA 3. Continuação.

Genótipo	Repetição	D _s (x)	D _r (x)	Classificação*
BR IRGA 410	1	58,8714	-40,7238	S
	2	58,2128	-41,3077	S
	3	58,4654	-8,6527	S
	4	59,5030	-34,2606	S
CICA 8	1	79,6956	20,2166	S
	2	79,1501	9,7013	S
	3	69,5345	22,0600	S
	4	74,3590	7,9103	S
METICA 1	1	57,2686	-43,1421	S
	2	49,9358	-62,0111	S
	3	51,7357	-46,4008	S
	4	50,3339	-51,0463	S
BR 1	1	66,5605	-21,9994	S
	2	72,3946	-20,1394	S
	3	65,5783	-18,5075	S
	4	64,7446	-22,2560	S
IAC 25	1	110,8455	228,8617	T
	2	103,8161	239,3755	T
	3	119,1007	271,4016	T
	4	101,4082	261,6823	T
ARAGUAIA	1	91,8952	100,2641	T
	2	88,6481	96,1681	T
	3	77,3173	63,7658	S
	4	86,1887	105,8916	T
BR IRGA 409	1	49,7517	-66,5843	S
	2	48,7158	-64,3124	S
	3	49,6253	-52,4637	S
	4	41,7600	-66,6906	S
CNA 4193	1	97,1041	133,6347	T
	2	101,0245	178,4479	T
	3	97,0147	175,0821	T
	4	87,9573	158,6400	T
IR 22	1	43,7134	-58,3157	S
	2	32,2116	-70,0293	S
	3	35,9425	-71,7654	S
	4	29,6872	-74,7239	S
IAC 899	1	43,7134	-58,3153	S
	2	32,2116	-70,0293	S
	3	35,9425	-71,7654	S
	4	29,6872	-74,7239	S

* T = Tolerante à toxidez de alumínio.

S = Sensível à toxidez de alumínio.

CONCLUSÕES

1. As cultivares de arroz diferem quanto à tolerância à toxidez de alumínio.

2. Em geral, as cultivares de arroz de sequeiro são tolerantes à toxidez de alumínio e, as de irrigado, são sensíveis.

REFERÊNCIAS

- ANDERSON, T.W. **An introduction to multivariate statistical analysis**. New York: John Wiley, 1958. 374p.
- FAGERIA, N.K.; ZIMMERMANN, F.J.P. Seleção de cultivares de arroz para tolerância à toxidez de alumínio em solução nutritiva. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.14, n.2, p.141-147, 1979.
- FERREIRA, R.P. **Análises biométricas da tolerância do arroz (*Oryza sativa* L.) à toxidez de alumínio**. Viçosa, MG: UFV, Impr. Univ., 1995. 123p. Tese de Doutorado.
- 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.
- FURLANI, P.R.; HANNA, L.G. Avaliação da tolerância de plantas de arroz e milho ao alumínio em solução nutritiva. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.8, p.205-208, 1984.
- LOPES, A.S.; COX, F.R. A survey of the fertility status simpose soils under "cerrado" vegetation in Brazil. **Soil Science Society American Journal**, v.41, p.742-747, 1977.
- OLMOS, J.I.L.; CAMARGO, M.N. Ocorrência de alumínio tóxico nos solos do Brasil, sua caracterização e distribuição. **Ciência e Cultura**, v.21, n.2, p.171-180, 1976.