

TOLERÂNCIA DE GENÓTIPOS DE ARROZ AO FERRO EM SOLUÇÃO NUTRITIVA¹

REINALDO DE PAULA FERREIRA², COSME DAMIÃO CRUZ³ e NAND KUMAR FAGERIA⁴

RESUMO - O objetivo do presente trabalho foi identificar a concentração de ferro e a característica mais importante para estudos genéticos sobre tolerância à toxicidade deste elemento em arroz. Realizou-se o cultivo hidropônico de 20 genótipos desta cultura, crescidos coletivamente em caixas, nas concentrações de 10, 20, 40 e 80 mg L⁻¹ de ferro. Foram avaliados os caracteres comprimento da raiz, massa da matéria seca da raiz, da parte aérea e total, e altura da planta. Após dez dias de crescimento em solução nutritiva, identificou-se, com base em técnicas uni e multivariadas, a concentração de 20 mg L⁻¹ de ferro como a ideal para estudos genéticos em arroz, e o caráter massa da matéria seca total foi o que teve maior participação na contribuição relativa para a divergência genética entre os diversos genótipos de arroz estudados.

Termos para indexação: solução nutritiva, *Oryza sativa*, toxicidade, ferro.

RICE GENOTYPE TOLERANCE TO IRON IN NUTRIENT SOLUTION

ABSTRACT - The objective of this study was to identify iron concentration and the plant most important character to study rice genotypes tolerance to iron toxicity. A hydroponic culture experiment was carried out to evaluate 20 rice genotypes and 10, 20, 40 and 80 mg L⁻¹ of iron concentration. Growth characters evaluated were: root length, root, canopy and total dry matter, and plant height. The seedlings were grown for 10 days in nutrient solution and 20 mg L⁻¹ of Fe was found to be ideal for such study. Total plant dry matter was the most adequate parameter for such study due to its higher relative contribution in genetic variation of the genotypes evaluated.

Index terms: nutrient solution, *Oryza sativa*, toxicity, iron.

INTRODUÇÃO

A redução do Fe e o conseqüente aumento de sua disponibilidade são importantes alterações químicas que ocorrem quando um solo é inundado. A cultura do arroz pode beneficiar-se com o aumento desta disponibilidade, mas um excesso pode ser prejudicial (Ponnamperuma, 1972).

Os distúrbios causados pela toxicidade de Fe podem ser diretos, causados pela absorção e pela utilização excessiva do elemento, ou indiretos, com os altos teores desse elemento na solução do solo sendo precipitados sobre as raízes, formando uma crosta de óxido férrico, que reduz a absorção de outros nutrientes pela planta (Howeler, 1973).

No Brasil, a toxicidade de Fe tem sido constatada nos Estados de Minas Gerais, Santa Catarina, Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul, Goiás, Mato Grosso, Espírito Santo, Alagoas, Pará e São Paulo, causando perdas nas produções de arroz, em virtude de estar sempre associada à redução dos índices de produtividade, o que dá uma abrangência nacional ao problema (Barbosa Filho et al., 1983). Plantas de arroz, quando severamente prejudicadas pela toxicidade de Fe, ficam atrofiadas, perfilham pobrememente, e produzem panículas pequenas com alta proporção de espiguetas estéreis (Yoshida, 1981).

Uma das opções que tem sido considerada como a mais promissora para se contornar este problema é a exploração do potencial genético das cultivares, pois sabe-se que espécies e variedades diferem amplamente na tolerância à toxicidade de Fe (Sanchez, 1976). A identificação e a seleção de genótipos tolerantes trarão, inevitavelmente, vantagens, independentemente do grau de tecnologia utilizado.

Este trabalho tem como objetivo identificar, em solução nutritiva, o nível de Fe e a característica agrônômica mais importante para estudos genéticos em arroz.

MATERIAL E MÉTODOS

Inicialmente, as sementes dos 20 genótipos de arroz (Tabela 1), após serem tratadas com Vitavax e Thiram, foram colocadas a germinar em rolos de papel especial para germinação, umedecidas com água destilada, permanecendo no germinador por 70 horas, a uma temperatura de 25°C e umidade relativa de 100%, até a radícula alcançar 3 cm.

TABELA 1. Relação dos genótipos de arroz componentes do ensaio de toxicidade de ferro.

Genótipo	Progenitor ¹	Sistema de Cultivo
BR IRGA 409	IR 665-31-2-4/IR 930-2	Irrigado
CICA 8	CICA 4//IR 665/TETEP	Irrigado
METICA 1	F,P738/P881/F,P739/P868	Irrigado
JAVAÉ	P3085//IR 5853-118-5/IR 19743-25-2-2-3-1	Irrigado
IAC 899	IR 665//IR 841/TETEP	Irrigado
IR 36	IR 1561-228//IR 24/O. NIVARA//CR 94-13	Irrigado
EEA IRGA 943	ORIZICA 1/BR IRGA 409	Irrigado
EEA IRGA 951	ORIZICA 1/BR IRGA 412	Irrigado
PR 475	PI 215936/BR IRGA 409	Irrigado
PR 486	FLOTANTE ENANO/MG 327	Irrigado
PR 504	IR 2061-487-1-9/IR 2061-214-3-3-17	Irrigado
CNA 8003	CT 78442/WC 217	Irrigado
EEA IRGA 2	NEW REX/IR 19743-25-2-2//BR IRGA 409	Irrigado
CNA 7553	17719/5738//IR 21015-72-3-3-3-1	Irrigado
CNA 7151	P 1377/BR IRGA 409	Irrigado
CNA 8036	ECIA 24-107-1//IR 43/P 2053F ₄ -169-8-1	Irrigado
IAPAR 58	IR 579-160-2/P 849	Irrigado
ARAGUAIA	IAC 47/TOS 2578/7-4-3-82	Sequeiro
CAIAPÓ	IRAT 13/BEIRA CAMPO/CNAX 104-B-18-P _v -2B/PÉROLA	Sequeiro
RIO VERDE	COLÓMBIA 1/M-312A	Sequeiro

¹ Material genético do banco de germoplasma da Embrapa /CNPAP.

Posteriormente, plântulas uniformes, após medir-se o comprimento inicial da raiz, foram transferidas para caixas de plástico com 37 cm de comprimento, 30 cm de largura e 14 cm de altura. Cada caixa continha 15L de solução nutritiva, que teve a seguinte concentração em μM : NH_4NO_3 , 2850; $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 320; K_2SO_4 , 1020; $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 1000; $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 1640; $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, 9; $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, 0,5; H_3BO_3 , 18; $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 0,15; e $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, 0,15. O Fe foi suprido como Fe EDTA, na quantidade requerida para atingir as concentrações deste elemento na solução de 180, 360, 720 e 1.440 μM . Esta solução é uma adaptação da utilizada por Ferreira (1995), em estudos sobre a tolerância ao Al, com base na solução original recomendada 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 (Ferreira, 1995).

Durante o período de crescimento e desenvolvimento, que se prolongou por dez dias, corrigiu-se diariamente o pH da solução nutritiva para 5,0, 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 $24 \pm 1^\circ\text{C}$, estando a umidade relativa diurna próxima de 80%, e a noturna, de 100%. 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, conforme recomendações de Ferreira (1995).

As análises foram feitas no tocante a cada nível de Fe, considerando o delineamento experimental em blocos casualizados, envolvendo 20 tratamentos (genótipos de arroz) e quatro repetições. A parcela foi constituída por 14 plantas de cada genótipo. O experimento foi conduzido na Embrapa-Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão (CNPAP), em Goiânia, GO, com altitude de 729 m, longitude $49^\circ 15' \text{ W}$ e latitude $16^\circ 45' \text{ S}$.

Após o período de dez dias, as plântulas foram medidas, e o sistema radicular e a parte aérea foram separados e colocados em sacos de papel e submetidos à secagem em estufa, com ventilação forçada a 75°C , durante 48 horas, segundo Ferreira (1995).

Por ocasião da tomada de dados, avaliaram-se as seguintes características agrônômicas: 1) comprimento da raiz - determinado do coleto da planta até a extremidade da raiz; 2) matéria seca da raiz; 3) matéria seca da parte aérea; 4) matéria seca total; e 5) altura da planta.

Por meio de análise univariada, avaliaram-se o nível de Fe e o caráter que proporcionaram a melhor discriminação genotípica entre os genótipos estudados. Com este objetivo, realizou-se, em cada nível de Fe, a análise de variância, considerando os efeitos de repetição e de genótipo.

Para identificação do nível de Fe mais adequado para discriminação genotípica, foram propostos e utilizados os seguintes critérios: 1) máximo valor da estatística F; 2) máximo valor do coeficiente de determinação genotípico, estimado por meio de:

$$\text{em que: } H^2 = \frac{\hat{\theta}_g^2}{\text{QMG}} = \frac{\text{QMG} - \text{QMR}}{\text{QMG}}$$

r

H^2 = coeficiente de determinação genotípico;

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

QMG = quadrado médio de genótipos;

QMR = quadrado médio do resíduo;

er = número de repetições;

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

Os critérios apresentados foram utilizados em estudo semelhante realizado por Ferreira (1995).

Identificou-se também o nível de Fe mais importante para estudos genéticos em arroz, com base na técnica multivariada de análise de agrupamento. Nesta análise, utilizou-se o algoritmo de Tocher, citado por Rao (1952) com base na distância generalizada de Mahalanobis (1936).

Foi considerado que o nível de Fe mais adequado para estudos genéticos em arroz seria o que proporcionasse maior discriminação entre os genótipos testados, com a vantagem de, neste caso, haver influência simultânea de todas as características agrônomicas estudadas, sobre a diversidade genética.

Estudou-se, ainda, a importância relativa dos diversos caracteres, avaliados para a diversidade genética em cada nível de Fe, adotando-se o método de Singh (1981), técnica multivariada que se baseia na distância generalizada de Mahalanobis (1936).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Por meio da análise de variância dos caracteres comprimento da raiz (cm), massa da matéria seca da raiz (g), da parte aérea (g) e total (g) e altura da planta (cm), constatou-se que nos diversos níveis de Fe houve variabilidade genética entre os genótipos estudados. Fageria & Rabelo (1987) também relatam diferença entre cultivares de arroz em relação a estas variáveis de crescimento e desenvolvimento, sob vários níveis de Fe em solução nutritiva.

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 dos diversos caracteres em estudo são apresentados na Tabela 2, com o objetivo de identificar os níveis e os caracteres mais importantes para a realização de estudos genéticos sobre a tolerância à toxicidade de Fe em arroz.

TABELA 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), massa da matéria seca da raiz (MSR), da parte aérea (MSPA) e total (MST) e altura da planta (AP), avaliados em 20 genótipos de arroz, submetidos a quatro níveis de ferro, em solução nutritiva, no delineamento em blocos ao acaso, com quatro repetições, 1995.

Nível de ferro	Características agrônomicas	CV_e	H^2	CV_g	CV_g/CV_e	F
10	CR	9,31	91,37	17,50	1,88	11,59
	MSR	8,68	90,77	15,73	1,81	10,84
	MSPA	8,56	86,80	12,67	1,48	7,57
	MST	6,74	85,26	9,37	1,39	6,79
	AP	5,31	92,08	10,46	1,97	12,62
20	CR	10,28	94,35	24,26	2,36	17,71
	MSR	7,04	90,22	12,35	1,75	10,90
	MSPA	7,80	92,72	16,04	2,06	13,73
	MST	4,89	93,96	11,12	2,28	16,55
	AP	6,50	90,98	11,91	1,83	11,09
40	CR	12,08	87,12	18,14	1,50	7,76
	MSR	8,69	88,34	13,83	1,59	8,60
	MSPA	12,58	87,08	18,87	1,50	7,74
	MST	8,13	79,41	9,21	1,13	4,86
	AP	7,50	90,93	13,72	1,83	11,02
80	CR	11,06	90,45	19,66	1,78	10,47
	MSR	8,94	85,02	12,30	1,38	6,68
	MSPA	14,83	87,03	22,19	1,50	7,71
	MST	6,29	90,21	11,03	1,75	10,21

AP	8,88	89,18	14,71	1,66	9,24
----	------	-------	-------	------	------

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 Fe estudados, o que proporcionasse menor coeficiente de variação experimental e maiores estimativas das estatísticas CV_g , CV_g/CV_e , H^2 e F.

O nível de 20 ppm de Fe demonstrou ser o mais adequado para identificar genótipos tolerantes e sensíveis à toxicidade de Fe, por apresentar, em geral, os maiores valores do coeficiente de determinação genotípico, da relação entre os coeficientes de variação genético e experimental e da estatística F, e baixa magnitude do coeficiente de variação experimental nesta concentração (Tabela 2).

Constatou-se, ainda, que os caracteres comprimento da raiz e massa da matéria seca total foram os mais importantes para discriminar genótipos de arroz quanto à tolerância à toxicidade de Fe, por apresentarem na concentração de 20 ppm de Fe maiores valores do coeficiente de determinação genotípico, da relação entre os coeficientes de variação genético e experimental e da estatística F (Tabela 2). Fageria (1990) e Fageria et al. (1990) identificaram os caracteres comprimento da raiz e massa da matéria seca da parte aérea como os mais suscetíveis à toxicidade de Fe em cultivares de arroz em solução nutritiva.

Agrupando-se os genótipos de arroz, pelo método de Tocher, citado por Rao (1952), com base na distância generalizada de Mahalanobis, nos diversos níveis de Fe estudados, observa-se que na concentração de 20 ppm de Fe formou-se o maior número de grupos entre os diversos genótipos estudados, o que confirma esta concentração como ideal para estudos genéticos sobre tolerância à toxicidade de Fe nesta cultura (Tabela 3).

TABELA 3. Agrupamento de genótipos de arroz, pelo método de Tocher, com base na distância generalizada de Mahalanobis, submetidos a quatro níveis de ferro, em solução nutritiva.

Grupo	Genótipos ¹			
	Nível 10	Nível 20	Nível 40	Nível 80
1	4, 6, 11, 16, 17, 15, 10, 1, 8, 12, 3, 9, 18, 13	10, 13, 6, 16, 11, 4, 1	4, 14, 12, 11, 6, 1, 10, 16, 3	3, 15, 13, 6, 10, 1, 4, 2, 17
2	2, 19, 14	17, 20, 15	17, 20	8, 11, 14, 7, 18
3	5, 7	2, 14, 8, 5	8, 19	5, 12
4	20	7	9, 13	16, 20
5		12	2, 7	19
6		19	5, 18	9
7		9	15	
8		3		
9		18		

¹ 1- BR IRGA 409; 2- CICA 8; 3- METICA 1; 4- JAVAÉ; 5- IAC 899; 6- IR 36; 7- EEA IRGA 943; 8- EEA IRGA 951; 9- PR 475; 10- PR 486; 11- PR 504; 12- CNA 8003; 13- EEA IRGA 2; 14- CNA 7553; 15- CNA 7151; 16- CNA 8036; 17- IAPAR 58; 18- ARAGUAIA; 19- CAIAPÓ; 20- RIO VERDE.

A identificação de características agrônômicas que mais contribuíram para a divergência genética dos genótipos foi feita pelo método de Singh (1981). Constata-se que na concentração de 20 ppm de Fe, considerada ideal para estudos genéticos em arroz, a característica massa da matéria seca total foi a que teve maior participação na contribuição relativa para a diversidade genética entre os diversos genótipos de arroz estudados (Tabela 4). Este caráter também já tinha se expressado como importante para discriminar genótipos de arroz quanto à tolerância à toxicidade de Fe pela técnica univariada (Tabela 2). Apesar de a avaliação da massa da matéria seca total requerer a eliminação da planta, o melhorista terá como alternativa a seleção de linhagens que deverão ser avaliadas concomitantemente em casa de vegetação e em campo. Uma vez selecionado em casa de vegetação, o material estará em campo para dar continuidade ao programa de melhoramento.

TABELA 4. Contribuição relativa (S.j) dos caracteres comprimento da raiz (CR), massa da matéria seca da raiz (MSR), da parte aérea (MSPA) e total (MST) e altura da planta (AP), avaliados em 20 genótipos de arroz, submetidos a quatro níveis de ferro (mg L⁻¹), em solução nutritiva, utilizando-se o método de Singh.

Caracteres	Nível 10		Nível 20		Nível 40		Nível 80	
	S.j	%	S.j	%	S.j	%	S.j	%

CR	1.837,06	9,86	2.201,30	14,86	1.099,84	20,82	1.464,53	19,83
MSR	2.459,06	13,19	1.551,40	10,47	1.873,35	35,46	1.358,86	18,41
MSPA	5.743,57	30,82	2.648,17	17,88	334,52	6,33	1.007,65	13,65
MST	6.204,08	33,29	7.317,42	49,39	574,30	10,87	2.226,16	30,16
AP	2.392,43	12,84	1.095,81	7,40	1.400,18	26,51	1.324,79	17,95

CONCLUSÕES

1. A concentração de 20 ppm de Fe é considerada ideal para estudos genéticos em arroz.
2. A característica massa da matéria seca total é a que tem maior participação na contribuição relativa para a divergência genética entre os diversos genótipos de arroz estudados.

REFERÊNCIAS

- BARBOSA FILHO, M.P.; FAGERIA, N.K.; STONE, L.F. Manejo d'água e calagem em relação à produtividade e toxicidade de ferro em arroz. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.18, n.8, p.903--910, 1983.
- FAGERIA, N.K. Iron requirement of cereals and legumes in solution culture. In: BEUSICHEM, M.L. Van (Ed). **Plant nutrition: physiology and applications**. Dordrecht: Kluwer, 1990. p.213-217.
- FAGERIA, N.K.; RABELO, N.A. Tolerance of rice cultivars to toxicity. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.10, p.653-661, 1987.
- FAGERIA, N.K.; BALIGAR, V.C.; WRIGHT, R.J. Iron Nutrition of Plants: an overview on the chemistry and physiology of its deficiency and toxicity. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.25, n.4, p.553-570, abr. 1990.
- FERREIRA, R.P. **Análise biométrica da tolerância do Arroz (*Oryza sativa* L.) à toxidez de alumínio**. Viçosa: Imprensa Universitária, 1995. 123p. Tese de Doutorado.
- 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**, Brasília, v.8, p.205-208, 1984.
- HOWELER, R.H. Iron-induced orange disease of rice in relation to physico-chemical changes in a flooded oxisol. **Soil Science Society of America. Proceedings**, Madison, v.37, p.898-993, 1973.
- MAHALANOBIS, P.C. On the generalized distance in statistics. **Proceedings Nature Institute Science**, New York, v.2, p.49-55, 1936.
- PONNAMPERUMA, F.N. The chemistry of submerged soils. **Advances in Agronomy**, New York, v.24, p.29-96, 1972.
- RAO, R.C. **Advanced statistical methods in biometric research**. New York: J. Wiley, 1952. 390p.
- SANCHEZ, P.A. **Properties and management of soils in the tropics**. New York: J. Wiley, 1976. 618p.
- SINGH, D. The relative importance of characters affecting genetic divergence. **The Indian Journal of Genetics and Plant Breeding**, New Delhi, v.41, p.237-245, 1981.
- YOSHIDA, S. **Fundamentals of rice crop science**. Los Baños: IRRI, 1981. 269p.