

EVIDÊNCIA GENÉTICA DA TOLERÂNCIA AO ALUMÍNIO EM ARROZ (1)

CARLOS EDUARDO DE OLIVEIRA CAMARGO (2), *Seção de Arroz e Cereais de Inverno, Instituto Agrônomico.*

RESUMO

Os cultivares de arroz IAC-165, IAC-47, IAC-25 e IAC-1246, tolerantes à toxicidade de Al^{3+} , e os cultivares sensíveis IR-8, IAC-899 e CICA-4, foram cruzados, sendo obtidas as sementes em geração F_2 dos seguintes híbridos: IR-8 x IAC-165, IAC-165 x IR-8, CICA-4 x IAC-47, IAC-47 x CICA-4, IAC-25 x IR-8 e IAC-1246 x IAC-899. Os cultivares utilizados como pais e os F_2 foram cultivados em soluções nutritivas contendo duas concentrações de alumínio (10 e 30 ou 40mg/litro). O comprimento das raízes primárias dos genótipos estudados, após dez dias de crescimento em soluções nutritivas contendo duas diferentes concentrações de alumínio, foi utilizado para avaliar a tolerância a esse elemento. Foi observada parcial dominância para sensibilidade ao alumínio em todas as populações F_2 estudadas. Os resultados indicaram que não houve efeito maternal em relação à tolerância ao Al^{3+} , considerando os cruzamentos CICA-4 x IAC-47, IAC-47 x CICA-4, IR-8 x IAC-165 e IAC-165 x IR-8. A estimativa da herdabilidade no sentido amplo para a tolerância ao alumínio, expressa na capacidade de crescimento das raízes das populações F_2 dos cruzamentos de arroz em soluções contendo 10 e 30 ou 40mg/litro de Al^{3+} , foram altas, indicando que grande parte da variabilidade encontrada nas populações estudadas foi de origem genética, permitindo, pois, seleções nas primeiras gerações segregantes para essa característica. Constituíram exceção as plantas F_2 dos cruzamentos IR-8 x IAC-165 e IAC-165 x IR-8, que deveriam ter suas populações testadas a 10mg/litro de Al^{3+} , pois, quando cultivadas em soluções com 40mg/litro de Al^{3+} , encontraram-se baixos valores para a herdabilidade em sentido amplo.

(1) Recebido para publicação a 10 de setembro de 1982.

(2) Com bolsa de suplementação do CNPq.

1. INTRODUÇÃO

O efeito prejudicial do alumínio está entre as mais importantes limitações da produção de arroz-de-sequeiro na maioria dos solos ácidos. Este alumínio no solo poderia ser precipitado pela aplicação da calagem, mas permaneceria solúvel no subsolo. Assim mesmo, em solos corrigidos, o alumínio solúvel ou trocável do subsolo poderia restringir o sistema radicular às camadas aráveis dos solos e, portanto, torná-las mais sensíveis à seca (5).

Como possibilidade para solucionar o problema, estaria a seleção ou desenvolvimento de cultivares com maior tolerância ao alumínio.

A tolerância à toxicidade de alumínio em trigo foi sugerida ser controlada por um único par de genes (6). CAMARGO et alii (3) verificaram que a tolerância ao alumínio no trigo, em soluções nutritivas, apresentou um alto valor da herdabilidade no sentido restrito, sugerindo que a seleção para plantas tolerantes em uma população segregante seria eficiente nas primeiras gerações.

Os cultivares de arroz IAC-899, IR-8 e IR-841 foram sensíveis a 10mg/litro de Al^{3+} , quando cultivados durante dez dias em soluções nutritivas com pH 4,0 e temperatura de 30 ± 1 °C. Os cultivares IAC-435, IAC-120, IAC-47, IAC-25, IAC-164, IAC-165, Pérola e Blue Bonnet foram tolerantes nas mesmas condições (2).

Cruzamentos entre cultivares de arroz representando diferentes níveis de tolerância ao alumínio foram feitos na Universidade Estadual de Oregon, EUA, com o objetivo de obter informações a respeito da herança da tolerância à toxicidade de alumínio (7).

Foram usadas soluções nutritivas contendo 20mg/litro de Al, e os resultados indicaram que a tolerância em arroz era devida a dois pares de genes recessivos encontrados nos cultivares tolerantes Monolaya e Blue Bonnet 50.

O presente trabalho tem por objetivo estudar o tipo de ação genética envolvida na expressão da tolerância a diferentes concentrações de alumínio em solução nutritiva, por populações segregantes de arroz originárias de cruzamentos entre cultivares tolerantes e sensíveis ao Al^{3+} nessas condições.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Os cultivares de arroz IAC-165, IAC-47, IAC-25 e IAC-1246, tolerantes à toxicidade de Al^{3+} , e os cultivares sensíveis IR-8, IAC-899 e CICA-4, foram cruzados, sendo obtidas as sementes em geração F_2 dos

seguintes híbridos: IR-8 x IAC-165, IAC-165 x IR-8, CICA-4 x IAC-47, IAC-47 x CICA-4, IAC-25 x IR-8 e IAC-1246 x IAC-899. Os cultivares utilizados como pais e os F_2 foram testados para suas tolerâncias a diferentes concentrações de alumínio, empregando-se a mesma técnica usada por CAMARGO et alii (2) e transcrita a seguir.

As sementes dos diferentes genótipos foram cuidadosamente lavadas com uma solução de hipoclorito de sódio a 10% e postas para germinar em caixas de Petri por 48 horas. Após esse tempo, as radículas estavam iniciando a emergência.

As sementes uniformes de cada um dos cruzamentos em geração F_2 foram colocadas, juntamente com os respectivos pais, no topo de duas telas de náilon adaptadas sobre duas vasilhas plásticas de 8,30 litros de capacidade. Como foram estudados seis cruzamentos, utilizaram-se doze vasilhas plásticas: em cada uma delas, colocou-se solução nutritiva completa, de maneira que as sementes foram mantidas úmidas e as radículas emergentes tocavam nas soluções e tinham, portanto, um pronto suprimento de nutrientes.

A concentração das doze soluções foi a seguinte: $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 4mM, MgSO_4 2mM, KNO_3 4mM, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 0,435mM, KH_2PO_4 0,5mM, MnSO_4 2,0 μM , CuSO_4 0,3 μM , ZnSO_4 0,8 μM , NaCl 30 μM , NaClO_4 30 μM , Fe-CYDTA 10 μM , Na_2MoO_4 0,1 μM e H_3BO_3 10 μM . O pH das soluções foi previamente ajustado ao nível de 4,0 com solução de H_2SO_4 1N. As soluções foram continuamente arejadas e suas vasilhas plásticas colocadas em banho-maria com temperatura de $30 \pm 1^\circ\text{C}$ dentro do laboratório. O experimento foi mantido com luz artificial em sua totalidade.

As plantas desenvolveram-se nessas condições por 48 horas. Decorrido esse período, cada uma das seis telas de náilon contendo as plântulas de cada um dos diferentes cruzamentos e seus respectivos pais foi transferida para seis vasilhas plásticas apresentando nas suas soluções-tratamentos 10mg/litro de Al. Duas telas contendo, respectivamente, as plântulas dos cruzamentos IAC-1246 x IAC-899 e IAC-25 x IR-8 e seus respectivos pais foram transferidas para duas vasilhas com 30mg/litro de Al em suas soluções, e quatro telas contendo as plântulas em geração F_2 originárias dos cruzamentos IAC-165 x IR-8, IR-8 x IAC-165, IAC-47 x CICA-4 e CICA-4 x IAC-47 e seus respectivos pais foram transferidas para quatro vasilhas plásticas com 40mg/litro de Al nas soluções.

A composição das soluções-tratamentos foi basicamente um décimo da solução nutritiva completa, exceto que o fósforo foi omitido, para evitar a possível precipitação do alumínio, e o ferro adicionado em quantidade equivalente como FeCl_3 no lugar de Fe-CYDTA , segundo MOORE et alii (8). Antes da transferência das telas para as soluções-tratamentos, foram adicionadas as quantidades necessárias de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, $18\text{H}_2\text{O}$, para ser obtido o nível desejado de alumínio nas soluções, e o

pH foi ajustado para 4,0, com solução de H_2SO_4 , evitando-se adicionar solução de NaOH 1N, que poderia causar a precipitação do alumínio pelo menos no local de queda da gota.

As plantas desenvolveram nas doze vasilhas plásticas contendo soluções-tratamentos durante dez dias, sendo que o pH das soluções foi mantido o mais próximo de 4,0, com ajustamentos diários.

Após esse período, as plantas foram retiradas das soluções-tratamentos, determinando-se o crescimento da raiz primária de cada plântula medindo-lhe o comprimento em milímetro.

Com os dados obtidos de comprimento das raízes dos diferentes genótipos estudados em duas concentrações de alumínio, foram estimados os valores da herdabilidade em sentido amplo, seguindo o método citado por BRIGGS & KNOWLES (1), bem como os valores do grau de dominância na geração F_2 para tolerância ao alumínio, pelo método proposto por FALCONER (4).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os comprimentos médios das raízes, as variâncias e os coeficientes de variação das seis populações F_2 e respectivos pais, estudados em soluções nutritivas contendo duas diferentes concentrações de alumínio, encontram-se no quadro 1. A frequência da distribuição do comprimento da raiz primária central das plântulas dos cultivares utilizados como pais e dos F_2 provenientes de cruzamentos entre si, está representada nas figuras 1 a 6.

Observando os comprimentos médios das raízes dos cultivares IAC-165 e IR-8, bem como das populações F_2 dos cruzamentos IAC-165 x IR-8 e IR-8 x IAC-165, submetidos a crescimento em soluções contendo 10 e 40mg/litro de Al^{3+} , verifica-se que as médias das populações F_2 sempre mostraram valores inferiores à média dos pais; observando-se, porém, a frequência da distribuição dos comprimentos das raízes nessas populações F_2 , verifica-se a existência de indivíduos tão tolerantes e sensíveis quanto os pais utilizados, principalmente na concentração de 10mg/litro de Al^{3+} . As mesmas considerações poderiam ser feitas para as plântulas dos outros cultivares estudados e das população F_2 provenientes dos cruzamentos entre si.

Os graus de dominância para a tolerância aos níveis de alumínio utilizados para as diferentes populações estudadas em geração F_2 encontram-se no quadro 2. Os dados obtidos sugerem que os genes que condicionam tolerância ao alumínio existentes nos cultivares IAC-165, IAC-47, IAC-1246 e IAC-25 tiveram um comportamento parcialmente recessivo; por outro lado, os genes que condicionam sensibilidade ao

QUADRO 1 — Comprimento médio das raízes, variâncias e coeficientes de variação de cultivares e populações em geração F_2 de cruzamentos de arroz estudados em soluções nutritivas contendo duas diferentes concentrações de alumínio

Concentrações de Al^{3+}	Populações	Comprimento médio	Variância	C. V.
mg/litro		mm		%
10	IAC-165	151,1	236,49	10,2
	IR-8	43,1	24,46	11,5
	IAC-165 x IR-8 (F_2)	77,8	980,01	40,2
	IR-8 x IAC-165 (F_2)	79,1	818,13	36,2
40	IAC-165	74,4	75,80	11,7
	IR-8	16,4	14,86	23,5
	IAC-165 x IR-8 (F_2)	20,7	53,52	35,3
	IR-8 x IAC 165 (F_2)	23,9	56,44	31,4
10	IAC-47	161,0	320,81	11,1
	CICA-4	48,2	24,87	10,4
	IAC-47 x CICA-4 (F_2)	73,3	398,84	27,3
	CICA-4 x IAC-47 (F_2)	75,2	714,16	35,6
40	IAC-47	72,0	54,68	10,3
	CICA-4	22,1	3,58	8,6
	IAC-47 x CICA-4 (F_2)	33,9	62,57	23,3
	CICA-4 x IAC-47 (F_2)	30,6	76,05	28,6
10	IAC-1246	136,8	280,76	12,2
	IAC-899	35,3	22,31	13,4
	IAC-1246 x IAC-899 (F_2)	67,2	479,48	32,6
30	IAC-1246	64,9	68,61	12,8
	IAC-899	24,5	19,35	18,0
	IAC-1246 x IAC-899 (F_2)	43,3	160,02	29,2
10	IAC-25	165,6	509,46	13,6
	IR-8	38,3	23,41	12,6
	IAC-25 x IR-8 (F_2)	79,6	529,60	28,9
30	IAC-25	86,3	57,21	8,8
	IR-8	23,9	6,09	10,3
	IAC-25 x IR-8 (F_2)	39,1	131,29	29,3

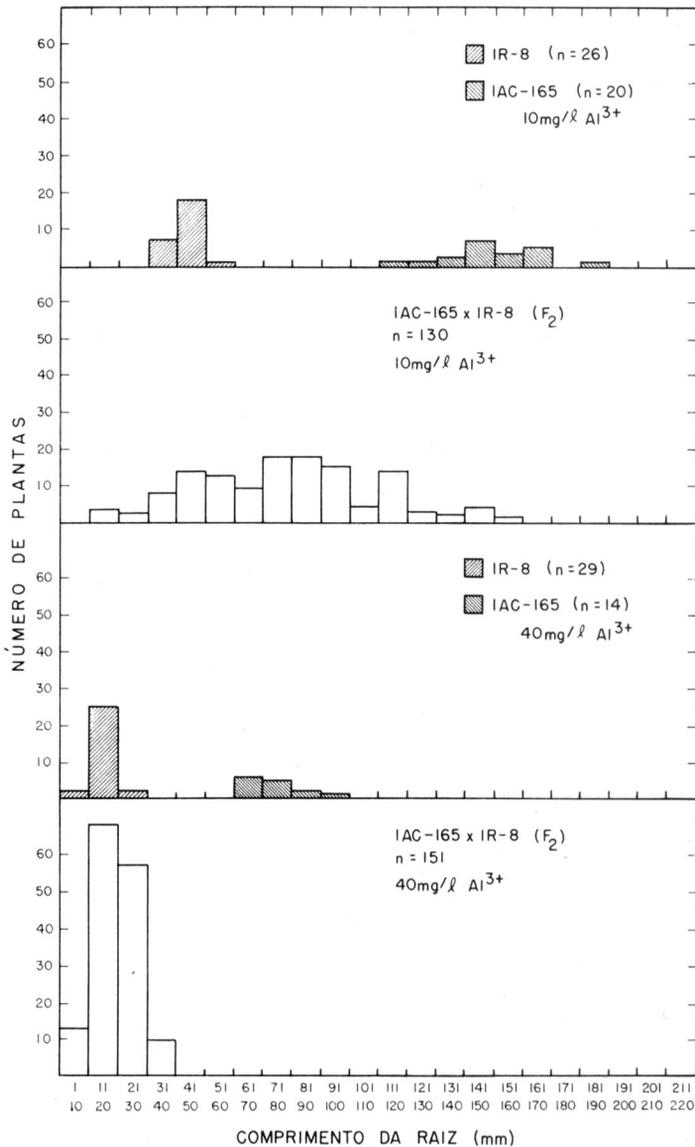


FIGURA 1 — Frequência da distribuição do comprimento da raiz primária central das plântulas dos cultivares de arroz IAC-165 e IR-8, utilizados como pais, e das plântulas da população F₂, originárias do cruzamento IAC-165 x IR-8, observadas quando cultivadas em soluções nutritivas contendo 10 e 40mg/litro de Al³⁺

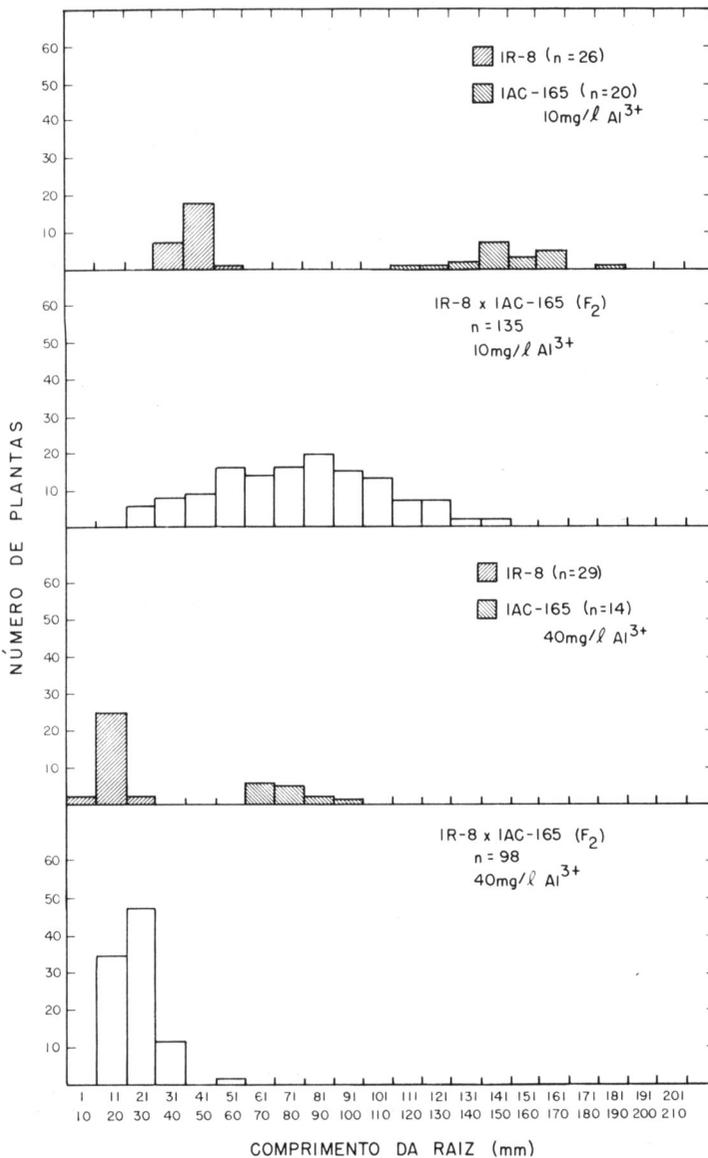


FIGURA 2 — Frequência da distribuição do comprimento da raiz primária central das plântulas dos cultivares de arroz IAC-165 e IR-8, utilizados como pais, e das plântulas da população F₂ originárias do cruzamento IR-8 x IAC-165, observadas quando cultivadas em soluções nutritivas contendo 10 e 40mg/litro de Al³⁺

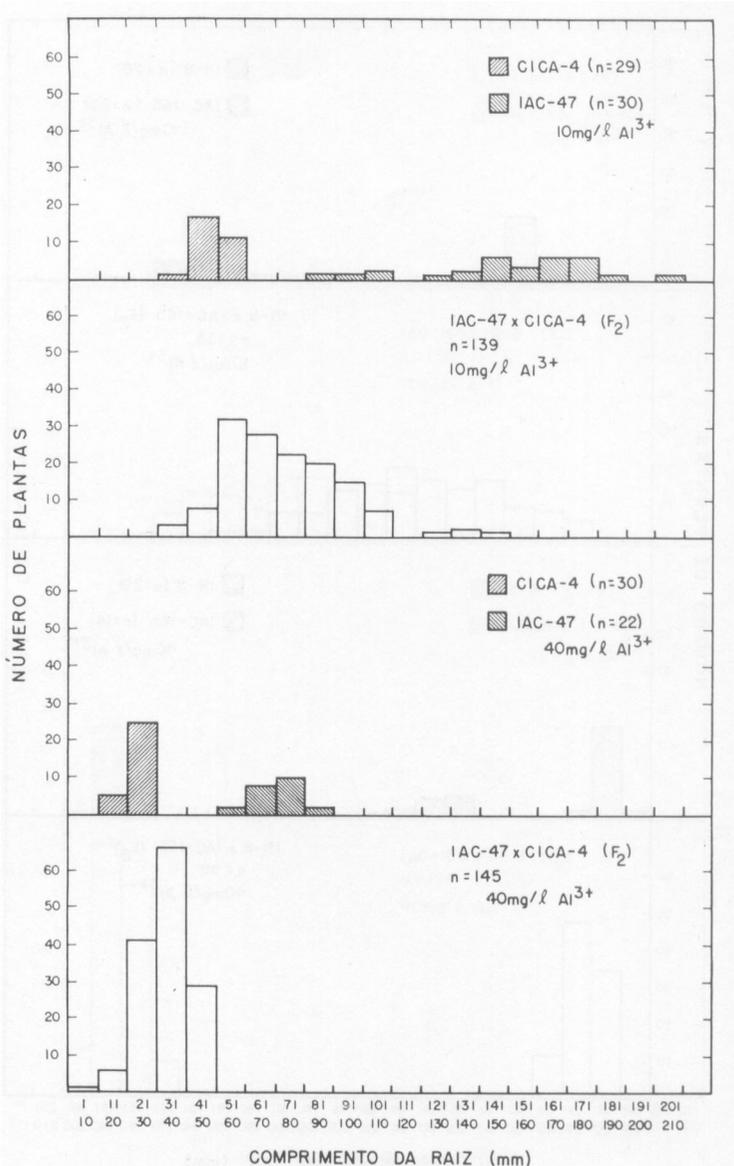


FIGURA 3 — Frequência da distribuição do comprimento da raiz primária central das plântulas dos cultivares de arroz IAC-47 e CICA-4, utilizados como pais, e das plântulas da população F₂ originárias do cruzamento IAC-47 x CICA-4, observadas quando cultivadas em soluções nutritivas contendo 10 e 40mg/litro de Al³⁺

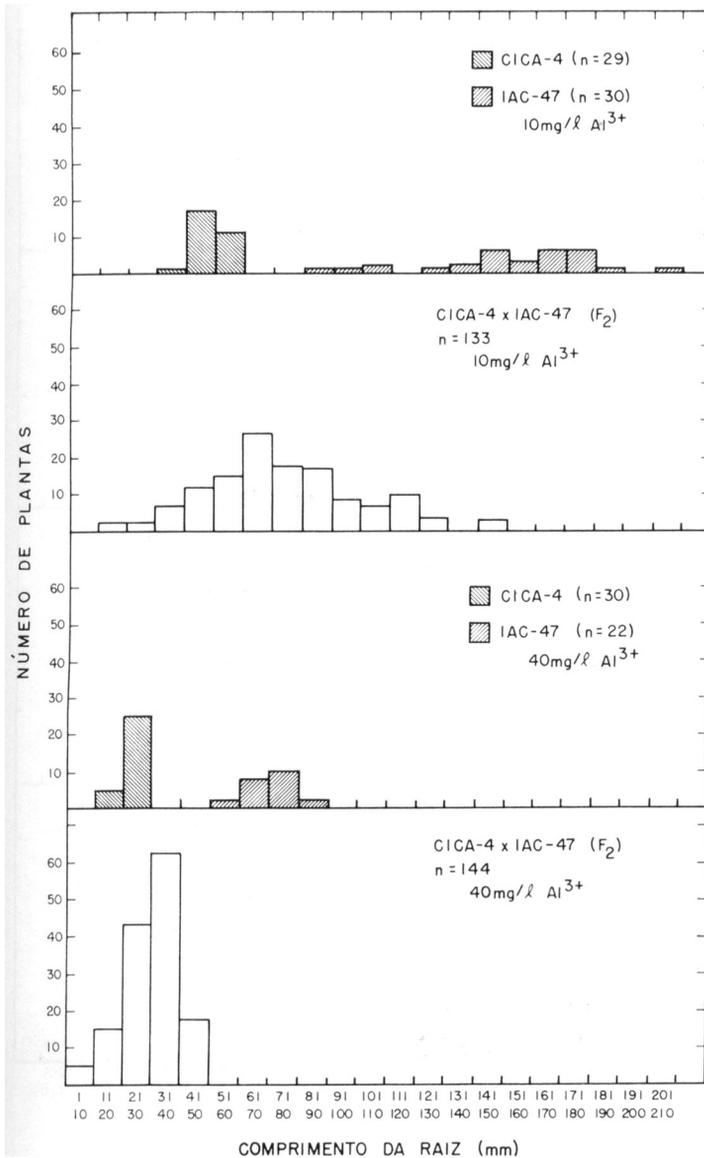


FIGURA 4 — Frequência da distribuição do comprimento da raiz primária, central das plântulas dos cultivares de arroz IAC-47 e CICA-4, utilizados como pais, e das plântulas da população F₂ originárias do cruzamento CICA-4 x IAC-47, observadas quando cultivadas em soluções nutritivas contendo 10 e 40mg/litro de Al³⁺

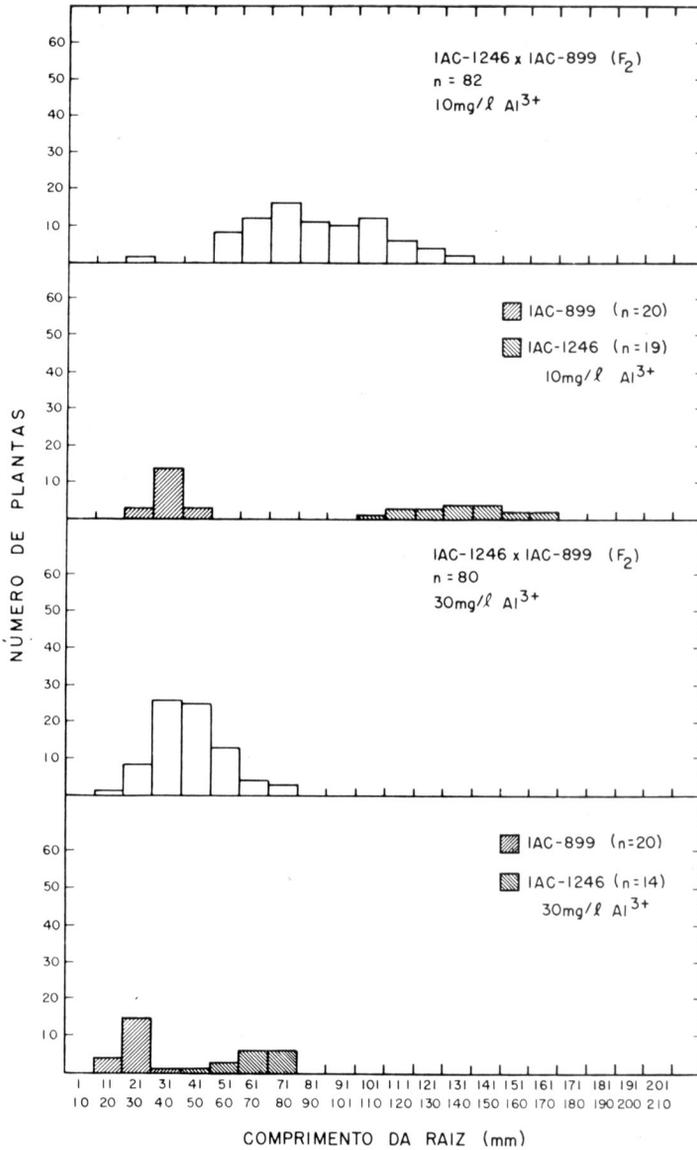


FIGURA 5 — Frequência da distribuição do comprimento da raiz primária central das plântulas dos cultivares de arroz IAC-1246 e IAC-899, utilizados como pais, e das plântulas da população F₂ originárias do cruzamento IAC-1246 x IAC-899, observadas quando cultivadas em soluções nutritivas contendo 10 e 30mg/litro de Al³⁺

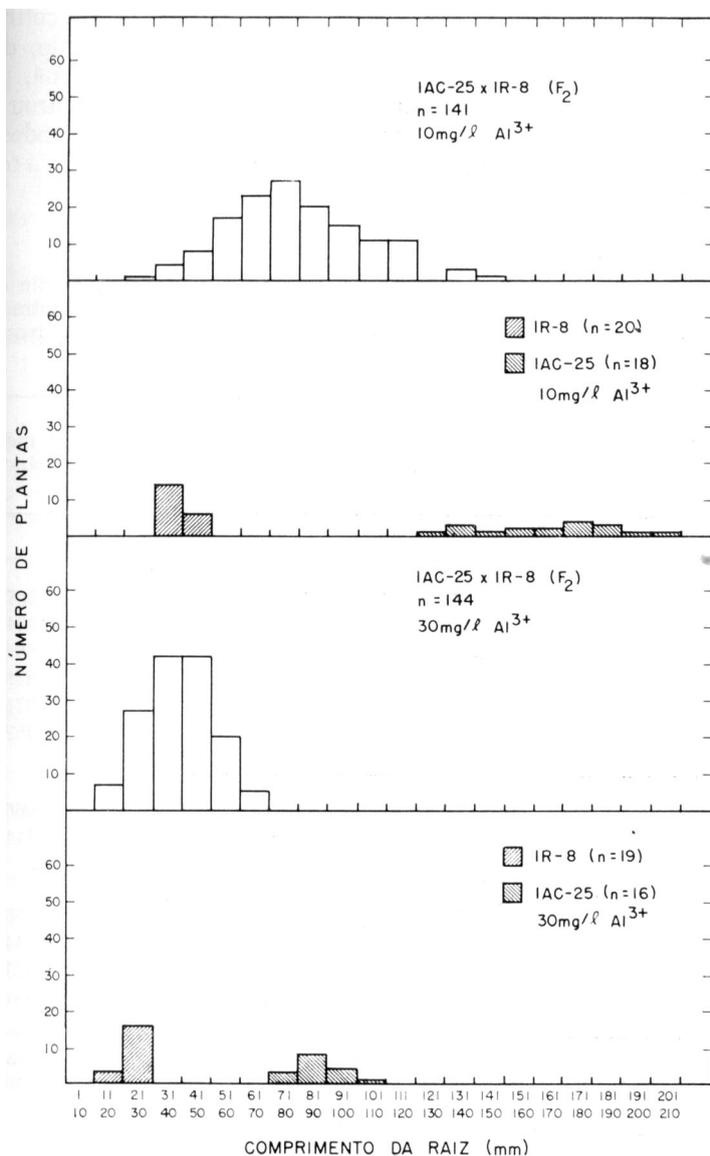


FIGURA 6 — Frequência da distribuição do comprimento da raiz primária central das plântulas dos cultivares de arroz IAC-25 e IR-8, utilizados como pais, e das plântulas da população F₂ originárias do cruzamento IAC-25 x IR-8, observadas quando cultivadas em soluções nutritivas contendo 10 e 30mg/litro de Al³⁺

alumínio nos cultivares IR-8, IAC-899 e CICA-4 mostraram parcial dominância a este caráter (Quadro 2 e Figuras 1 a 6). Esses resultados estão de acordo com os obtidos por MARTINEZ (7), onde os cultivares de arroz Monolaya e Blue Bonnet 50, tolerantes ao alumínio, diferiram dos cultivares sensíveis: Colombia 1, IR-8, IR-5 e CICA-4, por dois pares de genes recessivos. No presente trabalho, não se procurou detectar o número de genes envolvidos, mas, sim, verificar por métodos quantitativos a recessividade dos fatores genéticos que condicionam a tolerância ao alumínio em arroz.

QUADRO 2 — Grau médio de dominância para o comprimento médio das raízes das plantas de arroz estimado na geração F_2 de cruzamentos entre cultivares tolerantes e sensíveis ao alumínio estudados em soluções nutritivas contendo diferentes concentrações desse elemento

Concentrações de Al^{3+}	Cruzamentos	Grau médio de dominância (*)
mg/litro		
10	IAC-165 x IR-8	- 0,357
	IR-8 x IAC-165	- 0,334
	IAC-47 x CICA-4	- 0,555
	CICA-4 x IAC-47	- 0,521
	IAC-1246 x IAC-899	- 0,371
	IAC-25 x IR-8	- 0,352
30	IAC-1246 x IAC-899	- 0,066
	IAC-25 x IR-8	- 0,514
40	IAC-165 x IR-8	- 0,855
	IR-8 x IAC-165	- 0,744
	IAC-47 x CICA-4	- 0,527
	CICA-4 x IAC-47	- 0,661

(*) Grau médio de dominância igual a +1 significa dominância completa dos genes que condicionam tolerância ao alumínio e -1 significa dominância completa dos genes que condicionam sensibilidade ao alumínio.

$$d = \frac{\bar{F}_2 - (\bar{P}_1 + \bar{P}_2)/2}{D}$$

$$D = \bar{P}_1 - (\bar{P}_1 + \bar{P}_2)/2$$

onde: d = grau médio de dominância;

D = diferencial do comprimento da raiz;

\bar{P}_1 = média do pai que apresentou maior comprimento da raiz;

\bar{P}_2 = Média do pai que apresentou menor comprimento da raiz;

\bar{F}_2 = média da geração F_2 .

Nas populações F₂ envolvendo os cruzamentos IAC-165 x IR-8, IR-8 x IAC-165, CICA-4 x IAC-47 e IAC-47 x CICA-4, não foi notado efeito maternal, sugerindo, portanto, que a tolerância ou a sensibilidade dos cultivares de arroz estudados é devida a genes existentes no núcleo, não havendo interferência de fatores citoplasmáticos.

Os valores da herdabilidade em sentido amplo estimados para os crescimentos das raízes dos genótipos de arroz cultivados em soluções contendo diferentes níveis de alumínio durante dez dias encontram-se no quadro 3.

As estimativas da herdabilidade em sentido amplo para o comprimento das razes, empregando-se 10mg/litro de Al³⁺ nas soluções-tratamentos, foram consideradas altas e variaram de 0,567 a 0,869 para

QUADRO 3 — Herdabilidade em sentido amplo para o comprimento médio das raízes primárias do arroz estimada a partir de estudos de diferentes cruzamentos em geração F₂ em conjunto com os cultivares utilizados como pais em soluções nutritivas contendo duas concentrações de alumínio

Concentrações de Al ³⁺ mg/litro	Cruzamento	h ² (1)
10	IAC-165 x IR-8	0,869
	IR-8 x IAC-165	0,841
	IAC-47 x CICA-4	0,567
	CICA-4 x IAC-47	0,758
	IAC-1246 x IAC-899	0,684
	IAC-25 x IR-8	0,497
30	IAC-1246 x IAC-899	0,725
	IAC-25 x IR-8	0,759
40	IAC-165 x IR-8	0,153
	IR-8 x IAC-165	0,193
	IAC-47 x CICA-4	0,534
	CICA-4 x IAC-47	0,617

(1) $h^2 = [\text{Var } F_2 - (\text{Var } P_1 + \text{Var } P_2) / 2] / \text{Var } F_2$

todos os cruzamentos estudados, com exceção da herdabilidade calculada para o cruzamento IAC-25 x IR-8, que foi média e igual a 0,497, devido à ocorrência de uma maior variância para o comprimento das raízes do cultivar IAC-25. Esses valores da herdabilidade sugerem que grande parte da variabilidade encontrada nas populações estudadas foi de origem genética, indicando a possibilidade de ser transferida a tolerância ao alumínio dos cultivares de arroz de porte alto IAC-165, IAC-47, IAC-1246 e IAC-25 para os sensíveis, de porte baixo e alto potencial de produção de grãos, tais como CICA-4, IR-8 e IAC-899.

A herdabilidade para o comprimento das raízes das populações originárias dos cruzamentos IAC-1246 x IAC-899 e IAC-25 x IR-8 testados em soluções contendo 30mg/litro de Al^{3+} e a proveniente dos cruzamentos IAC-47 x CICA-4 e CICA-4 x IAC-47 cultivadas em soluções contendo 40mg/litro de Al^{3+} foram altas, variando de 0,534 a 0,759, porém os valores calculados para as populações F_2 originárias do cruzamento IR-8 x IAC-165 e IAC-165 x IR-8 foram 0,193 e 0,153 respectivamente, considerados baixos e indicativos de que a maioria da variabilidade encontrada nessas últimas populações foi de origem ambiente.

Os resultados indicaram que as concentrações de 10, 30 e 40mg/litro de Al^{3+} nas soluções-tratamentos seriam adequadas para a separação das plantas tolerantes com base no comprimento das raízes após dez dias de crescimento nessas soluções. A concentração de 40mg/litro de Al^{3+} se mostrou alta para as populações provenientes dos cruzamentos IR-8 x IAC-165 e IAC-165 x IR-8, devendo para essas ser utilizadas soluções menos concentradas.

4. CONCLUSÕES

1. Foi observada parcial dominância para sensibilidade à toxicidade causada pela presença de Al^{3+} nas soluções nutritivas nos cruzamentos envolvendo os cultivares tolerantes IAC-165, IAC-47, IAC-25 e IAC-1246 e os sensíveis IR-8, IAC-899 e CICA-4.

2. Os valores da herdabilidade no sentido amplo para a tolerância ao alumínio, expressa na capacidade de crescimento das raízes das plântulas de arroz em soluções nutritivas contendo 10, 30 ou 40mg/litro de Al^{3+} foram altos, indicando que grande parte da variabilidade encontrada nas populações estudadas e oriundas de cruzamentos entre cultivares tolerantes e sensíveis foi de origem genética, permitindo seleções nas primeiras gerações segregantes para essa característica. Houve exceção para as plantas F_2 dos cruzamentos IR-8 x IAC-165 e IAC-165 x IR-8, que deveriam ter suas populações testadas a 10mg/litro de Al^{3+} , pois quando cultivadas em soluções com 40mg/litro de Al^{3+} , encontraram-se baixos valores para a estimativa da herdabilidade em sentido amplo.

3. Os resultados indicaram que não houve efeito maternal em relação à tolerância ao alumínio, considerando-se os cruzamentos CICA-4 x IAC-47, IAC-47 x CICA-4, IAC-165 x IR-8 e IR-8 x IAC-165.

SUMMARY

GENETIC EVIDENCE OF TOLERANCE TO ALUMINUM TOXICITY IN RICE

The rice cultivars IAC-165, IAC-47, IAC-25 and IAC-1246 presenting tolerance to aluminum toxicity and the cultivars IR-8, IAC-899 and CICA-4, showing sensitivity to aluminum, were crossed. The seeds in the F_2 generation were obtained from the following hybrids: IAC-165 x IR-8, IR-8 x IAC-165, IAC-47 x CICA-4, CICA-4 x IAC-47, IAC-1246 x IAC-899 e IAC-25 x IAC-8. Parents and F_2 seedlings were cultivated in nutrient solutions containing 10 and 30 or 40 ppm of Al^{3+} . The length of the primary root of each genotype under study after ten days being cultivated in nutrient solution with different Al concentrations was used to evaluate the tolerance to this element. A partial dominance was observed for aluminum sensitivity considering all F_2 populations under study. No maternal effect was observed in relation to aluminum tolerance when the F_2 generations from the crosses CICA-4 x IAC-47, IAC-47 x CICA-4, IAC-165 x IR-8 and IR-8 x IAC-165 were studied. Broad sense heritability estimates for aluminum tolerance expressed in root growth capacity in nutrient solutions with 10 and 30 or 40 ppm for Al^{3+} were high (0.497 to 0.869) for all F_2 populations. These results suggested that great part of total variability found in the F_2 populations for this characteristic were of genetic origin. So selection for aluminum tolerance would be effective in the first segregating generations from a cross involving a tolerant and a sensitive cultivar. The F_2 populations from the crosses IR-8 x IAC-165 and IAC-165 x IR-8 presented, as exception, very low values (0.153 to 0.193) for broad sense heritability when these populations were tested with 40 ppm of Al^{3+} in the nutrient solution, so 10 ppm would be the most efficient Al concentration to screen tolerance plants from F_2 generations of these crosses.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BRIGGS, F. N. & KNOWLES, P. F. Introduction to plant breeding. Davis, Reinhold Publishing Corporation, 1977. 426p.
2. CAMARGO, C. E. O.; CAMARGO, O. B. A.; SOUZA, D. M. Efeito de diferentes concentrações de alumínio em solução nutritiva na tolerância de cultivares de arroz. *Bragantia*, Campinas, 43, t.2, 1984. (no prelo)
3. ———; KRONSTAD, W. E.; METZGER, R. Parent-progeny regression estimates and associations of height level with aluminum toxicity in wheat. *Crop Science*, 20:355-358, 1980.
4. FALCONER, D. S. Introduction to quantitative genetics. New York, Ronald Press Co., 1960. 365p.
5. FOY, C. D.; ARMINGER, W. H.; BRIGGLE, L. N.; REID, D. A. Differential aluminum tolerance of wheat and barley varieties in acid soils. *Agronomy Journal*, 57:413-417, 1965.
6. KERRIDGE, P. C. & KRONSTAD, W. E. Evidence of genetic resistance to aluminum toxicity in wheat (*Triticum aestivum* Vill., Host). *Agronomy Journal*, 60:710-711, 1968.

7. MARTINEZ, C. Aluminum toxicity studies in rice (*Oryza sativa* L.) Corvallis, Universidade Estadual de Oregon, 1977. 113 f. (Tese de Doutorado)
8. MOORE, D. P.; KRONSTAD, W. E.; METZGER, R. Screening wheat for aluminum tolerance. In: PROCEEDINGS OF WORKSHOP ON PLANT ADAPTATIONS TO MINERAL STRESS IN PROBLEM SOILS. Beltsville, Maryland, 1976. p.287-295.