

INTERAÇÃO ALUMÍNIO-FÓSFORO EM UM SOLO ÁCIDO DO SUL DA BAHIA*

Maria Bernadeth Machado Santana
José Mário Braga**

1. INTRODUÇÃO

O alumínio solúvel, geralmente presente nos solos ácidos em concentração fitotóxica, influencia o sistema radicular e interfere na absorção de nutrientes. Como consequência deste comportamento, há menor desenvolvimento dos vegetais e diminuição da produção (16, 18, 22).

O sistema radicular dos vegetais que se desenvolvem no meio onde o alumínio está em concentrações tóxicas torna-se morfológicamente alterado, com raízes laterais ausentes ou extremamente curtas e próximas do meristema apical (16). Além da alteração morfológica, há interferência na divisão celular, diminuição da respiração das raízes e das reações enzimáticas, interferência na absorção, transporte e metabolismo de diversos elementos, havendo insuficiência na absorção de água (3, 5, 10, 18).

A interferência de nutrientes tem sido enfatizada em relação ao fósforo, e, segundo WRIGHT (38), o alumínio provoca a inativação do fósforo, havendo acúmulo do elemento nas raízes, sem haver translocação para a parte aérea (9, 29), daí a sintomatologia da toxidez de alumínio ser semelhante à da deficiência de fósforo (10, 11, 31).

Como uma das práticas para aumentar a absorção de fósforo neste tipo de solos, sugere-se a aplicação de fonte de fósforo (28, 38), sendo que alguns autores obtiveram resultados promissores (8, 24, 25, 26, 39), muito embora a calagem tenha sido mais econômica em alguns casos (25).

As espécies vegetais têm comportamento diferente na presença de alumínio, sendo umas mais e outras menos tolerantes (10, 13, 14, 21), classificação que depende da capacidade de absorver maior ou menor quantidade de fósforo em nível excessivo de alumínio (12, 33). Esta capacidade diferencial de vegetais é explicada pela existência de altos níveis de ácidos orgânicos que quelatam e destoxificam o alumínio dentro da planta, ou então pela ocorrência em certas espécies, de aumento de acidez na zona radicular reduzindo a solubilidade e a toxidez do alumínio (9).

Os dados até então conhecidos foram, em grande parte, obtidos em soluções nutritivas, onde há interferência de outras variáveis do solo no comportamento do alumínio.

O presente trabalho foi conduzido em um solo ácido, visando, principalmente, a um estudo da interação entre o alumínio e o fósforo e o efeito na produção de matéria

* Parte da tese apresentada à U.F.V., pelo primeiro autor, como um dos requisitos para o título de «Magister Scientiae» em Fitotecnia. Projeto n.º 4.1256 do Conselho de Pesquisa da U.F.V.

Recebido para publicação em 21-10-1976.

** Respectivamente, Pesquisadora da CEPLAC, Itabuna, BA, e Prof. Titular da U.F.V., bolsista do CNPq.

seca e no acúmulo de fósforo, cálcio e magnésio na parte aérea e nas raízes de plantas de arroz.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Utilizou-se um solo de unidade Una (Ba) classificado na ordem dos Oxissóis por SILVA *et alii* (34). Trata-se de um solo de acidez elevada, alto teor de alumínio trocável e índice de saturação de alumínio consideravelmente elevado.

O solo foi coletado até a profundidade de 20 cm, passado em peneira de 10 milhas/polegada e submetido a desinfecção com brometo de metila.

Algumas características físicas e químicas destes solos encontram-se no Quadro 1.

QUADRO 1 - Algumas características químicas e físicas do solo

Química*	Físicas*	
pH em água (1:2,5)	4,3	Areias 43%
Al ³⁺ (eq. mg/100 g de solo)	1,4	Silte 6%
Ca ²⁺ (eq. mg/100 g de solo)	0,65	Argila 41%
Mg ²⁺ (eq. mg/100 g de solo)	0,35	Classificação textural:
K (ppm)	39	Argiloso-arenoso
P "disponível" (ppm)	2,5	
CTC (eq. mg/100 de solo)	9,95	
H ⁺ + Al ³⁺ (eq. mg/100 g de solo)	8,85	
Índice de saturação de Al (%)	56	

* Análises realizadas nos Laboratórios de Química e de Física do Solo do Departamento de Fitotecnia da ESAVE-UFGV.

2.1. Ensaio em Casa-de-Vegetação

O ensaio biológico foi realizado em casa-de-vegetação, e os tratamentos constaram de um arranjo fatorial 5 x 5 (5 níveis de fósforo e 5 índices de saturação de alumínio), num delineamento experimental em blocos casualizados, com 3 repetições, utilizando-se arroz (*Oryza sativa* L. var. 'IAC 1246') como planta indicadora.

Os níveis de fósforo foram: Ob, 0,25b, 0,50b, 0,75b e 1,00b, onde b corresponde à capacidade máxima de adsorção de fosfatos, determinada segundo FASSBENDER (7). Desse modo, foram adicionadas ao solo soluções de $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, nas concentrações de 0, 130, 260, 390 e 520 ppm de P.

Como o índice de saturação de alumínio do solo era de 56%, procedeu-se a sua correção, visando-se à obtenção dos valores de 0, 25, 50, 75 e 100% de saturação de Al. Aplicaram-se, então, por vaso de 2 kg de solo, as quantidades de 1,8, 1,1 e 0,4 g de CaO, respectivamente, para os três primeiros índices de saturação, e 1,45 e 1,9 g de $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ para os índices de 75 e 100%, respectivamente.

O solo foi incubado com estes reagentes durante uma semana e, a seguir, destorrado, passado em peneira de 10 malhas/polegada e tratado com diferentes níveis de fósforo, três dias antes do plantio.

Para todos os vasos, foi empregada igual quantidade de uma solução nutritiva, isenta de fósforo, segundo a recomendação de WAUGH e FITTS (37) e MALAVOLTA (19).

Findo o período de incubação, que foi de dez dias, fez-se o plantio, colocando-se 35 sementes de arroz por vaso. Doze dias após a germinação, procedeu-se ao desbaste, deixando-se 22 plantas por vaso.

As plantas foram irrigadas diariamente com água desmineralizada, de modo a manter-se a umidade do solo em cerca de 80 e 90% de sua capacidade de retenção d'água; esse controle era feito por pesagem. Os vasos, na casa-de-vegetação, foram submetidos a rodízio semanal.

O ensaio foi encerrado quando as plantas atingiram um mês de idade. A parte aérea foi colhida por corte, na base de coleto, e as raízes foram colhidas com o auxílio de peneira fina e jato d'água. Partes aéreas e raízes foram lavadas separadamente, postas a secar em estufa com circulação forçada de ar a 67°C, e pesadas para cômputo da produção de matéria seca.

O material seco foi passado em moinho Wiley, com peneira de 20 malhas/polegada, acondicionado em sacos de papel e levado novamente à estufa, antes de ser analisado.

2.2.1. Trabalhos de Laboratório

Após dez dias de incubação, analisou-se o solo a fim de avaliar o índice de saturação realmente atingido em cada tratamento, bem como as alterações provocadas pela aplicação de fósforo.

O pH foi determinado em água (1:2,5); o alumínio, o cálcio e o magnésio trocáveis foram extraídos por solução de KCl N e dosados por titulometria, conforme a metodologia apresentada por VETTORI (35). O potássio e o fósforo «disponíveis» foram extraídos pelo extrator ácido de Mehlich (H_2SO_4 0,025 + HCl 0,05 N) e dosados por fotometria de chama e colorimetria (2), respectivamente.

O material vegetal foi analisado, após digestão nitro-perclórica, para fósforo, cálcio e magnésio. Determinou-se, também, a quantidade total absorvida destes nutrientes, multiplicando a percentagem de cada elemento pela matéria seca. Determinou-se, também, a percentagem de translocação de P das raízes para a parte aérea, bem como a taxa de absorção de P (mg de P/vaso/g de raiz).

2.1.2. Análises Estatísticas

Os dados de produção e das quantidades de P, Ca e Mg na planta, porcentagem de translocação das raízes para a parte aérea, porcentagem de P na planta e taxa de P absorvido foram analisadas estatisticamente, usando-se o modelo do 2.º grau, variando-se níveis de fósforo e mantendo-se constante cada índice de saturação de alumínio.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os índices de saturação de alumínio calculados para 0, 25, 50, 75 e 100% não foram atingidos, possivelmente em razão do poder tampão, teor de matéria orgânica e de outras variáveis do solo. Após o período de incubação, a análise química do solo revelou os seguintes índices de saturação de alumínio: 4, 11, 34, 58 e 62%. Os dados referentes a esses índices de saturação, bem como os valores de pH, alumínio trocável e fósforo «disponível», são apresentados no Quadro 2.

Nota-se que, à medida que esses índices foram aumentados, o solo adquiriu características de acidez elevada, expressa por baixos valores de pH e altos teores de alumínio trocável. Por outro lado, a aplicação de doses crescentes de fósforo teve efeitos positivos sobre a diminuição da acidez.

É possível que isto tenha ocorrido em consequência da precipitação de fosfato de alumínio no solo, tendo o fósforo reagido mais com o alumínio adicionado do que com o alumínio já presente e adsorvido ao complexo coloidal. Resultados possivelmente semelhantes foram encontrados por NIKODJEVIC (26). Mesmo nos níveis mais altos de fósforo aplicado, o sistema radicular apresentou sintomas de toxidez

de alumínio, caracterizados por carência de pelos absorventes, raízes curtas e grossas com secundárias truncadas, e em maior ocorrência nas proximidades dos meristemas apicais. Contudo, houve aumento do peso de matéria secas das raízes nos diferentes índices de saturação de alumínio (Fig. 1), indicando que esse não é o parâmetro ideal para avaliar a interação entre fósforo e alumínio.

O fósforo também alterou a produção de matéria seca da parte aérea, mesmo nos diferentes índices de saturação de alumínio. A importância da interação entre os dois elementos é enfatizada no tratamento de que o fósforo esteve ausente (Figura 2).

Embora o ajustamento entre doses de fósforo aplicada ao solo e produção de matéria seca tenha mostrado que os coeficientes do 1.º e 2.º graus foram significativos, nota-se uma tendência com relação ao aparecimento de uma curva sigmoidal, fato explicado pela menor capacidade de absorção de fósforo pelas plantas, conforme sugerido por BURNS *et alii* (4).

QUADRO 2 - Valores de pH e teores de Al trocável e de P "disponível" do solo, após a incubação e aplicação das diferentes doses de P, nos diferentes índices de saturação de alumínio

Al %	P *	pH	Al ³⁺	ppm
			eq. mg/100	
4	0,00	5,5	0,2	3,0
	0,25	5,5	0,2	20,3
	0,50	5,6	0,2	29,4
	0,75	5,5	0,2	54,7
	1,00	5,6	0,2	60,7
11	0,00	5,0	0,4	2,6
	0,25	5,2	0,3	32,5
	0,50	5,2	0,3	37,5
	0,75	5,2	0,3	56,1
	1,00	5,3	0,2	60,0
34	0,00	4,5	1,0	5,3
	0,25	4,7	0,7	32,5
	0,50	4,8	0,8	35,3
	0,75	4,9	0,5	56,1
	1,00	4,9	0,5	61,1
58	0,00	3,8	1,9	2,7
	0,25	3,9	1,7	38,6
	0,50	4,0	1,4	35,5
	0,75	4,1	1,3	55,5
	1,00	4,3	1,1	60,0
62	0,00	3,8	2,1	5,4
	0,25	3,9	1,7	32,3
	0,50	3,9	1,6	35,0
	0,75	4,1	1,4	55,5
	1,00	4,2	1,2	60,00

Análises realizadas no laboratório de Química do Solo do Centro de Pesquisa do Cacau.

* Frações da capacidade máxima de adsorção de P.

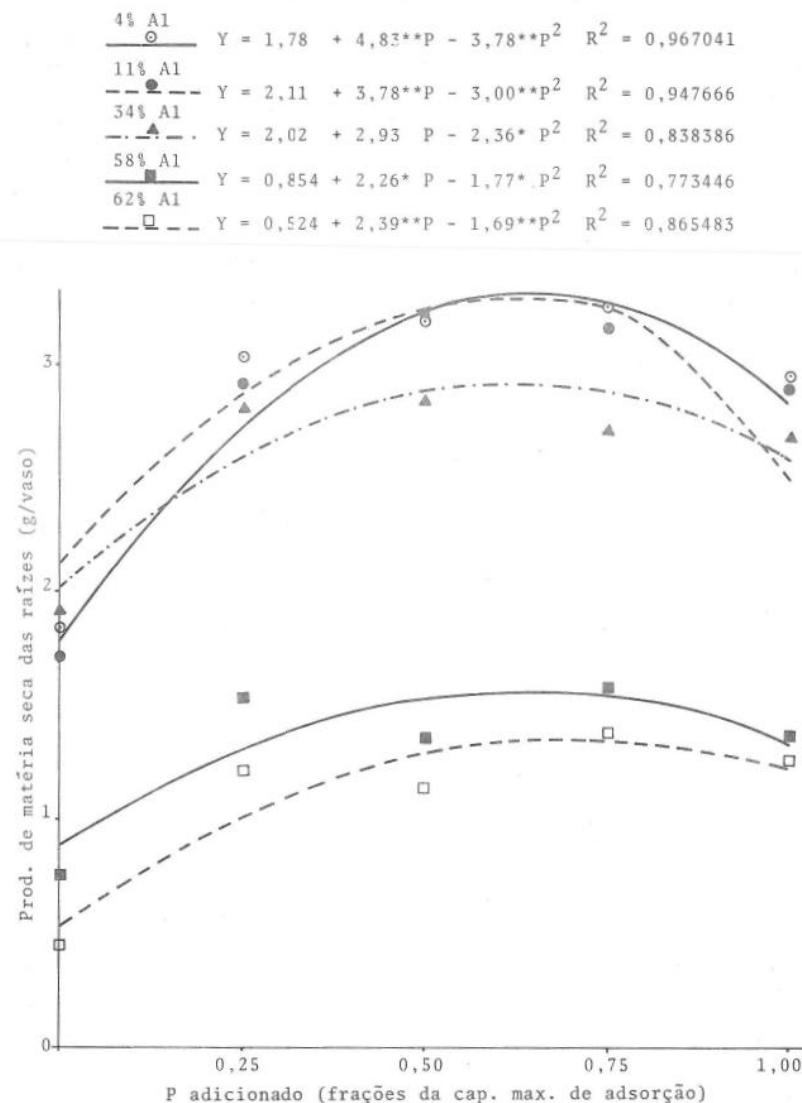
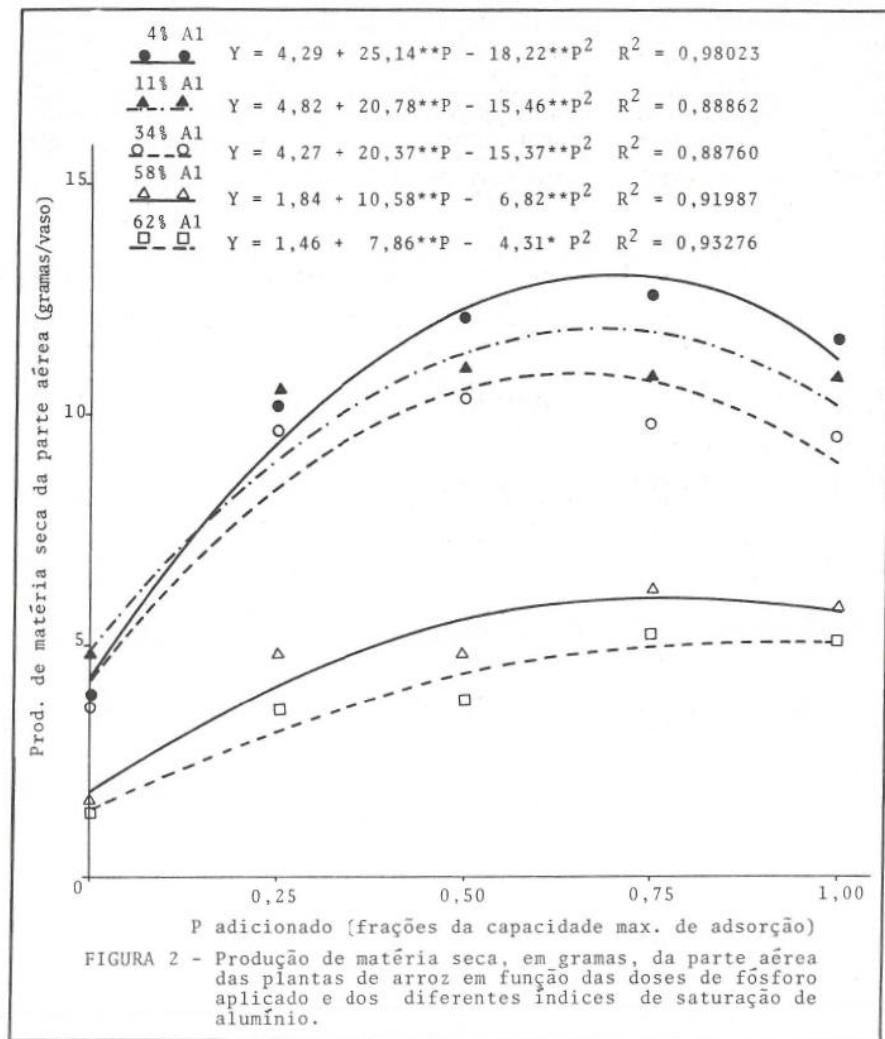


FIGURA 1 - Produção de matéria seca, em gramas, das raízes de arroz em função das doses de fósforo aplicado e das diferentes saturações de alumínio.



A quantidade de fósforo que elevará a produção ao máximo em cada índice de saturação de alumínio (Quadro 3) sugere que há relacionamento positivo entre estes dois parâmetros. Mesmo quando se usam quantidades maiores de fósforo, em níveis mais elevados de alumínio, aquelas quantidades são suficientes para neutralizar o efeito do alumínio. Isto talvez tenha sido ocasionado pela diminuição do pH, com aumento da atividade de alumínio, fato já observado também por BARTLET e RIEGO (1).

Os índices de saturação de alumínio influenciaram a absorção de P, Ca e Mg pelo arroz, havendo um relacionamento inverso entre estes parâmetros, confirmados por estudos já realizados por diversos autores (20, 30, 31). Para o cálcio e o magnésio, as quantidades absorvidas mostram relação positiva, expressa por uma equação quadrática, com as quantidades de fósforo aplicadas. O mesmo tipo de função relaciona a matéria seca com as quantidades absorvidas de cálcio e magnésio.

Comparando-se as quantidades de fósforo absorvidas na parte aérea e na raiz (Quadro 4), nota-se que a translocação de P da raiz para a parte aérea diminui com o aumento do índice de saturação de alumínio, porém, não de maneira marcante, sugerindo que a saturação de alumínio não influiu nessa translocação. Esta situação tal-

vez seja consequência da grande capacidade da variedade em absorver P, mesmo em nível alto de saturação do fósforo, ou da alta tolerância desta espécie ao alumínio (30). Embora trabalhando com soluções nutritivas, resultados semelhantes foram encontrados por diversos autores, tais como RUSCHEL *et alii* (32), mas não concordam com os obtidos por McLEAN e CHIASSON (20), que apresentaram resultados onde houve pequena translocação de fósforo das raízes para a parte aérea em plantas de cevada.

QUADRO 3 - Doses de fósforo necessárias para produção máxima de matéria seca da parte aérea de arroz nos diferentes índices de saturação de alumínio

Índice de saturação de Al (%)	Dose de P* para a produção máxima	Produção máxima em g
4	0,690	12,96
11	0,672	11,80
34	0,646	10,85
58	0,776	5,94
62	0,912	5,04

* Frações de capacidade máxima de adsorção de fósforo do solo.

Quanto ao cálcio e ao magnésio, houve tendência de diminuição da quantidade absorvida com o aumento da porcentagem de saturação de alumínio (Quadro 4). Dentro de cada nível de alumínio, houve aumento da quantidade de cálcio absorvida, com tendência para regressão quadrática, sendo que, ao nível de 0,5 da capacidade máxima de saturação de absorção, ele atingiu o máximo, mas nos índices de 58 e de 62% de saturação do alumínio, as quantidades de cálcio se mantiveram constantes, a partir de 0,25 da capacidade máxima de adsorção. Os resultados de cálcio estão de acordo com os obtidos por HOURIGAN *et alii* (17) e OKRUZKO *et alii* (27).

As quantidades de magnésio absorvidas aumentaram até a dose de 0,75 da capacidade máxima de absorção de fósforo em todos os índices de saturação de alumínio.

Com relação ao manganês, nota-se que os teores foram mais altos (Quadro 5), principalmente na parte aérea, porém, não atingiram níveis tóxicos, segundo o estabelecimento por MITCHELL (23).

Os teores de manganês não mostraram relação positiva com os teores de alumínio, conforme foi observado por FREIRE (16), mas talvez isto não tenha acontecido por causa de um efeito sinergético entre o Mn e o Ca, fenômeno já observado anteriormente (15).

QUADRO 4 - Valores médios observados para quantidades de P, Ca e Mg (mg/vaso) absorvidas pelas raízes e parte aérea das plantas de arroz

Solução de Al (%)	Frações da capacidade Máxima de Adsorção de P						\bar{X}	Mg (mg/vaso)	\bar{X}										
	0,00	0,25	0,50	0,75	1,00	0,00	0,25	0,50	0,75	1,00									
	P (mg/vaso)	\bar{X}					Ca (mg/vaso)	\bar{X}											
RAÍZES																			
4	1,21	4,95	7,97	9,93	10,69	6,95	3,65	6,50	7,99	8,02	6,38	6,51	3,30	4,43	4,89	4,48	4,73	4,36	
11	1,59	5,65	7,84	10,43	11,39	7,34	4,54	6,15	7,14	6,74	6,43	6,18	3,66	4,94	5,29	5,50	5,27	4,93	
34	1,43	4,82	7,62	9,46	10,76	6,82	3,65	5,35	5,32	4,94	4,06	4,66	3,28	3,27	4,58	3,90	4,50	3,90	
58	0,61	2,53	3,22	5,13	5,62	3,42	1,55	2,06	2,08	2,54	2,15	2,07	1,20	2,20	1,99	2,14	2,36	1,98	
62	0,55	1,93	2,73	4,37	5,62	3,04	1,08	2,33	2,79	3,19	2,91	2,50	0,81	1,92	2,10	2,84	2,47	2,03	
\bar{X}	1,04	3,97	5,87	7,86	8,81	2,89	4,52	5,06	5,08	4,37	4,25	3,35	3,35	3,77	3,77	3,86			
PARTE AÉREA																			
4	3,22	23,54	46,59	56,72	62,78	38,57	35,11	68,34	72,89	69,13	58,75	60,83	10,95	30,93	39,72	41,75	39,13	32,49	
11	2,68	22,18	42,28	53,42	59,85	36,14	35,73	67,17	67,71	65,51	57,36	58,69	11,71	34,86	34,08	39,84	37,98	31,69	
34	3,02	21,91	36,42	47,80	53,98	32,62	26,49	58,18	56,74	53,48	46,63	48,30	11,78	33,53	39,75	39,45	36,53	32,21	
58	1,26	8,10	13,57	24,57	30,20	15,54	14,94	22,23	23,42	23,10	22,86	21,31	6,39	14,49	16,21	20,66	19,15	15,46	
62	1,07	5,56	10,06	19,98	25,88	12,51	11,21	18,26	19,05	21,41	18,33	17,65	5,51	11,18	12,01	16,85	15,90	12,29	
\bar{X}	2,25	16,32	29,78	40,50	46,54	24,69	46,83	47,96	46,52	40,78	9,27	25,00	28,35	31,71					

QUADRO 5 - Teores de Mn nas raízes e na parte aérea das plantas de arroz nos diferentes níveis de fósforo e diferentes saturações de alumínio

Satu- ração de Al %	Frações da capacidade máxima de adsorção de P					\bar{x}
	0,00	0,25	0,50	0,75	1,00	
Raízes						
4	119	34	32	27	25	47
11	109	38	30	30	27	47
34	106	32	35	34	27	45
58	56	38	25	22	22	33
62	39	38	25	24	19	29
\bar{x}	86	36	29	25	24	
Parte aérea						
4	600	285	256	256	265	332
11	598	284	269	284	275	342
34	525	272	278	300	300	335
58	180	189	117	136	120	148
62	117	120	123	109	100	114
\bar{x}	404	230	209	217	212	

4. RESUMO E CONCLUSÕES

Em amostra superficial de um oxisol o ácido do Sul da Bahia, procurou-se, mediante um ensaio conduzido em casa-de-vegetação, estudar a interação entre o alumínio e o fósforo, usando-se como planta indicadora o arroz, *Oryza sativa* (L. var. 'IAC 1246'), submetido a cinco índices de saturação de alumínio e a cinco doses de fósforo, num arranjo fatorial, em blocos casualizados, com três repetições. Quando as plantas atingiram um mês de idade, coletaram-se a parte aérea e as raízes, separadamente, para cômputo do peso da matéria seca e das quantidades absorvidas de fósforo, cálcio e magnésio.

Os resultados deste experimento mostram que:

1. O alumínio, em concentrações elevadas, reduziu drasticamente a produção de matéria seca do arroz.
2. A partir de 34% de saturação de alumínio, maior quantidade de fósforo foi necessária para a produção máxima de matéria seca.
3. O fósforo diminuiu a atividade do alumínio, mas não eliminou a toxidez deste elemento.
4. As quantidades totais de fósforo nas raízes e na parte aérea das plantas de arroz foram inversamente proporcionais aos índices de saturação de alumínio, mas aumentaram linearmente com as doses de fósforo aplicadas. Esses aumentos foram menores nos índices altos de saturação de alumínio.
5. No que se refere às porcentagens de fósforo na parte aérea, houve diminuição

com o aumento dos índices de saturação de alumínio, mas essas diminuições não foram tão acentuadas. As concentrações de fósforo nas raízes não foram influenciadas pelo alumínio, sugerindo que a variedade de arroz usada neste experimento parece eficiente em absorção e translocação de fósforo, mesmo na presença de altas saturações de alumínio.

6. As quantidades de cálcio e de magnésio (mg/vaso), tanto nas raízes como na parte aérea, diminuíram com o aumento dos índices de saturação de alumínio.

4. SUMMARY

This experiment was conducted to study the effects of the interaction of aluminum and phosphorus in soils on plants. Rice plants (*Oryza sativa* L. cv. 'IAC 1246') were grown in a greenhouse in soil obtained from a superficial sample of an oxisol from southern Bahia and submitted to five indices of saturation of aluminum and five doses of phosphorus, in a factorial arrangement in a randomized block design with three repetitions. When the plants were a month old, aerial parts and roots were collected separately for determination of dry weight and quantities of phosphorus, calcium and magnesium absorbed.

The results showed that:

1. In high concentrations, aluminum reduced drastically the production of dry matter in rice.
2. At levels of aluminum of 34% of saturation and upward, more phosphorus was necessary for maximum production of dry matter.
3. Phosphorus decreased the activity of aluminum but did not eliminate its toxicity.
4. Total quantities of phosphorus in roots and the aerial portion of the rice plants were inversely proportional to the indices of saturation of aluminum but increased linearly with the doses of phosphorus applied. However, these increases were less with high indices of saturation of aluminum.
5. There was a decrease in percentages of phosphorus on aerial parts with increase of the indices of saturation of aluminum, suggesting that the rice variety used in this experiment is efficient in absorption and translocation of phosphorus, even in the presence of high indices of aluminum.
6. The quantities of calcium and magnesium (mg/pot) decreased with increase in saturation of aluminum as much in the roots as in aerial parts.

6. LITERATURA CITADA

1. BARTLETT, R.J. & RIEGO, D.C. Toxicity of hydroxy-aluminum in relation to pH and phosphorus. *Soil Sci.* 144:194-200. 1972.
2. BRAGA, J.M. & DEFELIPO, B.V. Determinação especfotométrica em extratos de solos e plantas. *Rev. Ceres.* 21:73-85. 1974.
3. BRENES, E. & PEARSON, R.W. Root response of three Gramineae species to soil acidity in an oxisol and utisol. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 37:295-302. 1973.
4. BURNS, G.R.; BOULDIN, D.R. & BLACK, C.A. A possible cause of sigmoid yield of phosphorus curves. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 27:715-716. 1963.
5. CLARKSON, D.T. The effect of aluminum and some other trivalent cations on cell division in the root apices of *Allium cepa*. *Ann. Bot.* 29:209-315. 1965.
6. CLARKSON, D.T. Metabolic aspects of aluminum toxicity and some possible mechanisms for resistance. In: *Ecological Aspects of the Mineral Nutrition of Plants*. Ed. I.H. Rorison *et alii*, p. 381-397. *Symp. Brit. Ecol. Soc.* n.º 9 Sheffield. 1968. Oxford and Edinburgh. Blackwell Scientific Publications. 1969.
7. FASSBENDER, H.W. La adsorción de fosfatos en suelos fuertemente acidos y su evaluación la isoterma de Langmuir. *Fitotecnia Latinoamericana.* 3:203-216. 1966.

8. FLEMING, A.L.; SCHWARTZ, J.W. & FOY, C.D. Chemical factors controlling the adaptation of weeping lovegrass and tall fescue to acid mine spoils. *Agron. J.* 66: 715-718. 1974.
9. FOY, C.D. Effects of aluminum on plant growth. In: E.W. Carson (Ed). *The Plant Root and its Environments*. University Press of Virginia, 1974. p. 601-642.
10. FOY, C.D. Differential aluminum and manganese tolerances of plant species and varieties in acid soils. *Ciência e Cultura*. 28:150-155. 1976.
11. FOY, C.D. & BROWN, J.C. Toxic factors in acid soils. I. Characterization of aluminum toxicity in cotton. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 27:403-407. 1963.
12. FOY, C.D. & BROWN, J.C. Toxic factors in acid soils. II. Differential aluminum tolerance of plant species. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 28:27-32.
13. FOY, C.D.; ARMIGER, W.H.; BRIGGLE, L.W. & REID, D.A. Aluminum tolerance of wheat and barley varieties in acid soils. *Agron. J.* 57:413-417. 1965 a.
14. FOY, C.D.; FLEMING, A.L. & GERLOFF, C.C. Differential aluminum tolerance in two snap bean varieties. *Agron. J.* 68:815-818. 1972.
15. FRANCO, A.A. & DOBEREINER, J. Toxidez de manganês de um solo ácido na simbiose soja-Rhizobium. *Pesq. Agropec. Bras. Ser. Agron.* 6:57-66. 1971.
16. FREIRE, J.R.J. Comportamento da soja e do seu rizóbio ao Al e Mn nos solos do Rio Grande do Sul. *Ciência e Cultura*. 28:169-170. 1976.
17. HOURIGAN, W.R.; FRANKLIN, R.F.; MACLEAN, F.O. & BLUMBA, D.R. Growth and calcium uptake by plants as effected by rate and depth of liming. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 25:491-494. 1961.
18. LANCE, J.C. & PEARSON, R.W. Effect of low concentrations of aluminum on growth and water and nutrient uptake by cotton roots. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 33:95-98. 1969.
19. MALAVOLTA, E. Adubos fosfatados. In: — *Manual de Química Agrícola — Adubos e Adubação*. 2n. ed. São Paulo, Agronômica Ceres, 1967. p. 54-99.
20. McLEAN, A.A. & CHIASSON, T.C. Differential performance of two barley varieties varying aluminum concentrations. *Can. J. Soil Sci.* 46:147-153. 1966.
21. McLEAN, F.T. & GILBERT, B.E. The relative aluminum tolerance of crop plants. *Soil Sci.* 24:163-174. 1927.
22. MILLAR, C.E. & TURK, L.M. Soils Reaction: In: — *Fundamentals of Soil Science*. New York, John Wiley & Sons, Inc., 1943. p. 94-114.
23. MITCHELL, R.L. Trace elements in soils. In: BEAR, F.E. *Chemistry of the soil*. 2. ed. New York, Reinhold Publishing Corporation, 1964. p. 320-368.
24. MITCHELL, R.L. Soil acidity and the growth of a legume. II. Reactions of aluminum and phosphate in solution and effects of Al, phosphate, Ca and pH on *Medicago sativa* L. and *Trifolium subterraneum* L. in solution culture. *Aust. J. Agr. Res.* 16:743-755. 1965.
25. MITCHELL, R.L. Soil acidity and the growth of a legume. III. Interactions of lime and phosphate in growth of *Medicago sativa* L. in relation to aluminum toxicity and phosphate fixation. *Aust. J. Agr. Res.*, 16:757-766. 1965.
26. NIKODJEVIC, V. Influence of superphosphate on the harmful effects of mobile aluminum (pot tests). Reprinted from *Saurenama Poljoprivreda*. N.º 9. Translated by NADAKRONIA-STANIC. Published for the U.S. Department of Agriculture National Science Foundation. Washington, D.C. by Publishing

- House. Terazige, 22/II, Belgrade, Yugoslavia. 1963.
27. OKRUZKO, H.; WARREN, G.T. & WILCOX, G.E. Influence of calcium on phosphate availability in muck soil. *Soil Sci. Americ. Proc.* 26:68-71. 1962.
28. PIERRE, W.H. & STUART, A.D. Soluble aluminum studies. IV. The effects of phosphorus in reducing the detrimental effects of soil acidity on plant growth. *Soil Sci.* 36:211-226. 1933.
29. PRATT, P.F. *Curso intensivo de Química do Solo*. Tradução de A. Nascimento e L. Vettori. USAID, 1966. 88 p.
30. RAGLAND, J.L. & COLEMAN, N.T. Influence of aluminum on phosphorus uptake by snap bean roots. *Soil Sci. Soc. Americ. Proc.* 26:88-90. 1962.
31. RANDALL, J.P. & VOSE, P.B. Effect of aluminum on uptake and translocation of phosphorus by perennial ryegrass. *Plant Physiol.*, 38:403-409. 1963.
32. RUSCHEL, A.P.; ALVAHYDO, R. & SAMPAIO, I.B.M. Influência do excesso de alumínio no feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivado em solução nutritiva. *Pesq. Agropec. Bras.*, 3:229-233. 1968.
33. SALINAS, J.G. & SANCHES, P.A. Soil-plant relationships affecting varietal and species differences in tolerance to low available soil phosphorus. *Ciência e Cultura*. 28:156-168. 1976.
34. SILVA, L.F.; CARVALHO FILHO, R. & MELO, A.O. *Os solos da região cacaueira baiana ante à moderna classificação de solos americanos*. Itabuna, CEPEC. 1971. 14 p.
35. VETTORI, L. *Métodos de análises de solo*. Rio de Janeiro. EPE, 1969. 24 p. (Bol. Tec., 7).
36. VLAMIS, J. Acid soils infertility as related to soil solution and soil phase. *Soil Sci.* 75:383-394. 1953.
37. WAUGH, D.L. & FITTS, S.W. *Estudos para interpretação de análises de solo: de laboratório e em vasos*. International Soil Testing, 1966. 33p. (Boletim Tec., 3).
38. WRIGHT, K.E. The internal precipitation of phosphorus in relation to aluminum toxicity. *Plant Physiol.*, 18:708-712. 1943.
39. WRIGHT, K.E. & DONAHUE, B.A. Aluminum toxicity studies with radioactive phosphorus. *Plant Physiol.* 28:674-680. 1953.