

ABSORÇÃO DE P E Al EM CAFEEIRO (*Coffea arabica*) CULTIVADO EM SOLUÇÃO NUTRITIVA COM SISTEMA RADICULAR PARCIALMENTE SUBMETIDO A DOSES DE ALUMÍNIO¹

Clístenes Williams Araújo do Nascimento²

José Olímpio de Souza Júnior²

Hermínia Emília Prieto Martinez³

Paulo Roberto Gomes Teixeira³

Paulo Cezar Rezende Fontes³

1. INTRODUÇÃO

Grande parte da área utilizada para produção de café no Brasil está localizada em regiões de solos ácidos, de baixa fertilidade e, em geral, com teores de alumínio trocável (Al^{3+}) que podem ser tóxicos para a maioria das plantas cultivadas.

Os sintomas característicos de toxicidade de Al em cafeeiros foram descritos por PAVAN e BINGHAM (7). O sintoma inicial manifesta-se pelo retardamento no crescimento radicular, aumento do diâmetro das raízes e pela diminuição do número de raízes laterais por unidade de raiz principal. Os sintomas foliares, observados após prolongada exposição das plantas ao elemento, caracterizaram-se por folhas jovens menores, cloróticas, com pequenos pontos necróticos nas margens e apresentando enrolamento; folhas mais velhas mostraram clorose marginal progredindo para o centro do limbo.

¹ Trabalho apresentado no XIII Congresso Latino-Americano de Ciência do Solo, Águas de Lindóia, SP, de 4 a 8 de agosto de 1996. Aceito para publicação em 23.12.1996.

² Estudante de Mestrado, Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa, 36571-000, Viçosa, MG

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

A presença do Al no meio de crescimento geralmente afeta a absorção dos elementos essenciais. PAVAN e BINGHAM (7) observaram redução na absorção de Ca, Mg e P, e aumento na absorção de K em cafeeiros cultivados em solução nutritiva com presença do elemento. O Al pode, ainda, inibir a absorção de Ca, pelo bloqueamento dos canais responsáveis pelo transporte desse elemento na membrana plasmática (5) e a de Mg, pelo bloqueamento dos sítios de ligação desse nutriente às proteínas transportadoras (9). Além disso, o Al pode formar fosfatos insolúveis no córtex das raízes e, conseqüentemente, provocar deficiência de P (4). No entanto, em muitos experimentos não se pode isolar os efeitos tóxicos do Al dos seus efeitos sobre o *status* nutricional das plantas.

O presente trabalho teve como objetivo estudar o acúmulo de matéria seca e a absorção de P e de Al em plantas de cafeeiro (*Coffea arabica*) submetidas a doses de Al em solução nutritiva, visando observar se os efeitos deletérios do Al sobre o acúmulo de matéria seca seriam decorrentes exclusivamente de sua presença no tecido vegetal ou estariam relacionados indiretamente ao seu efeito sobre a absorção de P.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação localizada na Universidade Federal da Viçosa, utilizando-se solução nutritiva em vasos geminados. Esse tipo de ensaio permite a separação do sistema radicular das plantas cultivadas em duas soluções distintas, colocadas lado a lado. Desse modo, o sistema radicular da mesma planta de café pôde ser submetido a duas soluções diferentes: uma nutritiva completa de Hoagland $\frac{1}{2}$ força em um dos vasos e, a mesma solução, sem P e com doses crescentes de Al (0, 1, 2, 4, 8 e 16 mg/L), no vaso ao lado. O pH da solução contendo Al foi mantido em 4,2, por meio de monitoramento e correção diários. A solução nutritiva completa também foi diariamente corrigida para pH 5,5.

O cultivar de café utilizado no experimento foi o Catuai C 227-2-5-15. As sementes foram germinadas sob condições de câmara de germinação, por 45 dias, sendo em seguida as plântulas repicadas para bandejas contendo solução de CLARK (3) $\frac{1}{2}$ força. Três dias após a repicagem procedeu-se ao corte dos ápices radiculares das plantas. A solução nutritiva foi renovada aos 33, 80, 105 e 136 dias após a repicagem, sendo usada solução de CLARK (3) $\frac{1}{2}$ força na primeira renovação e a uma força nas três últimas, mantendo-se o pH em 5,5. Aos vinte dias após a última renovação da solução nutritiva, foram aplicados os tratamentos já descritos.

O experimento foi conduzido durante um período de 50 dias, sendo as soluções renovadas duas vezes (aos 21 e 38 dias após a instalação). Ao final do ensaio as plantas foram colhidas e separadas em parte aérea e raízes; estas, por sua vez, foram separadas de acordo com a solução a que estavam expostas, ou seja, raízes com e sem a presença de Al. O material foi colocado em estufa a 70°C até atingir peso constante. Em seguida foram determinados os pesos de matéria seca de cada uma das partes. Posteriormente, a matéria seca da parte aérea e das raízes foi moída em moinho tipo Wiley, com peneira de 40 mesh, sendo as amostras submetidas à digestão nítrico-perclórica para posterior definição dos conteúdos de Al determinado pelo método do aluminon (1), e de P, pelo método da vitamina C (2).

O delineamento experimental utilizado foi montado em dois blocos casualizados, com duas repetições por bloco, e seis tratamentos (doses de Al), totalizando 24 parcelas. Os dados obtidos foram submetidos a análises de variância e de regressão, utilizando-se o *software* SAEG (Sistema de Análises Estatísticas e Genética da Universidade Federal de Viçosa).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As médias de produção de matéria seca da parte aérea e de raízes, para cada uma das doses de Al, são apresentadas no Quadro 1. A produção de matéria seca da parte aérea das plantas de café não foi significativamente afetada pela aplicação de doses crescentes de Al na solução nutritiva (Quadro 2). Embora a presença do Al no tecido vegetal cause danos fisiológicos e bioquímicos muitas vezes irreversíveis e intrinsecamente relacionados ao crescimento de plantas (8), os dados obtidos neste trabalho sugerem que o efeito do Al sobre a produção de matéria seca de mudas de café deve estar mais relacionado à sua influência sobre a absorção de nutrientes. Isso pode ser entendido pelo fato de que as raízes que não sofreram exposição ao Al, e, portanto, em perfeita capacidade assimilatória, terem sido capazes de absorver a quantidade de nutrientes necessária para manter a produção de matéria seca.

A produção de matéria seca das raízes expostas ao Al foi significativamente reduzida à medida que aumentou a concentração do elemento em solução. Esse fato é evidenciado pelo valor negativo do coeficiente angular da equação referente a essa característica (Quadro 2). Esse efeito nocivo tem sido amplamente relatado em diversos outros trabalhos envolvendo o Al e está intimamente relacionado à inibição do

QUADRO 1 - Peso de matéria seca da parte aérea e das raízes de plantas de café, influenciado por doses de alumínio (Al), em solução nutritiva

Al em solução (mg/L)	Peso de matéria seca (g/parte)		
	Parte aérea	Raiz sem Al	Raiz com Al
0,0	9,34	1,64	2,41
1,0	9,65	1,85	1,91
2,0	8,21	1,95	1,64
4,0	10,29	2,12	2,30
8,0	8,33	1,96	1,46
16,0	8,47	2,26	1,45

crescimento radicular induzida pela toxicidade do elemento (11).

Com relação ao crescimento das raízes na solução nutritiva isenta de Al, foi observado um aumento linear de produção de matéria seca em virtude do aumento da concentração de Al na solução colocada no vaso geminado ao lado (Quadro 2). Pode-se deduzir, portanto, que houve alocação preferencial de fotoassimilados na porção radicular não submetida ao estresse, que resultou em maior taxa de crescimento para essa porção. O estímulo ao crescimento na porção não estressada tendeu a ser maior do que na outra porção, o que indica a atuação de um mecanismo adaptativo para compensar o decréscimo de absorção de nutrientes causado pelo alumínio.

No presente ensaio, a toxicidade de Al nas raízes das plantas expostas ao Al manifestou-se por modificações morfológicas e anatômicas, notadamente encurtamento e engrossamento, bem como diminuição da emissão de raízes laterais. Não foram detectados quaisquer sintomas de toxicidade de Al na parte aérea.

QUADRO 2 - Equações de regressão referentes às produções de matéria seca (\hat{Y} = g/parte) da parte aérea, raiz com alumínio e raiz sem alumínio de plantas de café submetidas a doses crescentes de Al em solução nutritiva (X = mg/L)

Características	Equações	R ²
Parte aérea	$\hat{Y} = \bar{Y} = 9,0479$	-
Raiz sem alumínio	$\hat{Y} = 0,0288^0X + 1,8122$	0,65
Raiz com alumínio	$\hat{Y} = - 0,0464^0X + 2,1042$	0,44

⁰Significativo a 10% de probabilidade

No Quadro 3 são apresentados os conteúdos de alumínio e de fósforo na parte aérea, nas raízes não expostas ao Al e nas raízes imersas na solução contendo Al. As equações de regressão referentes a esses dados constam do Quadro 4. Houve aumento na translocação de Al para a parte aérea com a elevação das doses do elemento em solução. Aumento no conteúdo do elemento foi também observado para as raízes de ambas as soluções, com e sem a presença de Al, ainda que nas últimas as quantidades detectadas tenham sido muito pequenas.

Não foi observada, até a dose de 8 mg/L de Al, redução no conteúdo de P transportado para a parte aérea das plantas de café com o aumento da concentração de Al em solução, o que indica que apenas metade do sistema radicular do cafeeiro, aquele imerso na solução sem Al, foi capaz de suprir a demanda de P. Portanto, o Al apresentou um efeito tóxico indireto sobre a absorção de P e, como observado também para soja por Silva *et alii* (10), o fornecimento do P apenas à porção de raízes não expostas ao Al permitiu adequada nutrição às plantas. Esse fato é confirmado pelo não aparecimento de sintomas de deficiência desse elemento, mesmo nas plantas cultivadas sob a maior dose de Al, e pela não redução na produção de matéria seca da parte aérea, considerado um dos principais sintomas de deficiência de P (6). No entanto, na dose de 16 mg/L de Al na solução houve redução no conteúdo de P na parte aérea, mesmo ponto onde o conteúdo de Al na parte aérea também aumentou muito (Quadro 3).

O conteúdo de P absorvido pelas raízes não expostas ao Al foi

QUADRO 3 - Conteúdos (mg/parte) de Al e P na parte aérea (AIPA e PPA), nas raízes expostas ao Al (AIRCAI e PRCAI) e nas raízes não expostas ao Al (AIRSAI e PRSAI), de plantas de cafeeiro expostas a doses de Al em apenas metade do sistema radicular

Dose Al (mg/L)	AIRCAI	AIRSAI	AIPA	PRCAI	PRSAI	PPA
	----- (mg) -----					
0,00	0,00	0,00	0,09	6,12	4,52	36,35
1,00	20,08	0,01	0,15	6,31	11,00	37,12
2,00	24,80	0,02	0,28	4,99	11,1	37,65
4,00	29,09	0,04	0,52	6,74	12,13	38,15
8,00	30,45	0,08	0,60	4,54	12,81	36,75
16,00	22,93	0,17	1,17	4,47	12,91	24,35

QUADRO 4 - Equações de regressão para os conteúdos (\hat{Y} = mg/parte) de Al e de P na parte aérea (CAIPA e CPPA), nas raízes não expostas ao Al (CAIRSAI e CPRSAI) e nas raízes com doses de Al (X = mg/L) (CAIRCAI e CPRCAI)

Característica	Equação	R ²
CAIRCAI	$\hat{Y} = 23,45^{**}X^{0,5} - 4,47^{**}X + 0,37$	0,98
CAIRSAI	$\hat{Y} = 0,01^{**}X + 0,003$	0,94
CAIPA	$\hat{Y} = -0,0007^{*}X^2 + 0,08X + 0,12$	0,96
CPRCAI	$\hat{Y} = -0,10^0X + 6,11$	0,47
CPRSAI	$\hat{Y} = 5,62^{**}X^{0,5} - 0,94X + 5,03$	0,94
CPPA	$\hat{Y} = -0,10^0X^2 + 0,85X + 36,35$	0,87

0, *,** Significativo a 10, 5 e 1%, respectivamente

maior com o aumento do conteúdo de Al nas raízes do compartimento vizinho (Quadro 3), o que pode sugerir um aumento da absorção de fósforo em decorrência da crescente diminuição na aquisição desse elemento pelas raízes injuriadas pelos efeitos deletérios do Al. O conteúdo de P translocado para as raízes imersas na solução com Al diminuiu progressivamente com o aumento das doses de Al em solução (Quadro 4), porém o teor não foi afetado, sendo a diminuição de conteúdo devida à menor produção de matéria seca.

4. RESUMO E CONCLUSÕES

O presente experimento foi conduzido visando avaliar a absorção de P e de Al por plântulas de cafeeiro submetidas a doses crescentes de Al (0,0, 1,0, 2,0, 4,0, 8,0 e 16,0 mg/L) em apenas metade do sistema radicular, sendo a outra metade mantida em solução nutritiva completa sem Al. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados e os dados obtidos foram submetidos a análises de variância e regressão. O Al, fornecido apenas à metade do sistema radicular do cafeeiro, não afetou a produção de matéria seca da parte aérea, reduziu a produção das raízes expostas ao elemento e aumentou a produção das raízes do vaso ao lado, sem Al. Nas raízes expostas ao Al, a absorção deste foi elevada e o conteúdo de P diminuído, com o aumento da concentração do Al em solução. Os conteúdos de P e de Al nas raízes não expostas a este elemento aumentaram, em decorrência do aumento das concentrações de Al submetidas às raízes expostas ao elemento. Os conteúdos de P e de Al na parte aérea permaneceram aproximadamente constantes até a dose de 8 mg/L de Al, enquanto na dose de 16 mg/L de Al houve diminuição no conteúdo de P e aumento no conteúdo de Al na parte aérea. Os resultados sugerem que os efeitos nocivos do Al sobre a produção de matéria seca das plantas estiveram mais relacionados com a diminuição na absorção de P do que com os efeitos tóxicos do elemento

5. SUMMARY

(ACCUMULATION OF P AND Al BY COFFEE SEEDLINGS (*Coffea arabica*) CULTIVATED IN A NUTRIENT SOLUTION WITH HALF OF ITS ROOT SYSTEM EXPOSED TO ALUMINUM)

A solution culture experiment was designed to show the influence of Al on Al and P accumulation by coffee seedlings grown with their root system partially exposed to Al. Coffee seedlings were transplanted to

germinated pots, with Al being applied only to one pot of the set; the other pot contained a culture solution without Al. The treatments consisted of six Al concentrations: 0.0, 1.0, 2.0, 4.0, 8.0, and 16.0 mg.L⁻¹. After a fifty-day period, the plants were harvested, divided into three parts (shoot, roots exposed to Al and roots grown without Al), oven dried, weighed and the Al and P contents determined. The Al which was applied to only half of the root system had no effect on shoot growth, but decreased the growth of the roots exposed to Al and increased the development of the roots in the side without Al. The contents of P and Al in the shoot were unaffected up to an Al concentration of 8.0 mg.L⁻¹. Above that, there was a reduction in the P content and an increase in the Al content in the shoot. The P content in the injured roots by Al was decreased, while the content of P in the roots cultivated in nutrient solution without Al was increased with each increment of Al added in the nutrient solution. The Al effects on the growth of the coffee seedlings appear more dependent on the decrease of the P accumulation than on the toxic effects of the element.

6. LITERATURA CITADA

1. ALVAREZ V., V.H. *Caracterização química de solos*. Viçosa, Departamento de Solos, UFV, s.d. 77p. (Apostila mimeografada).
2. BRAGA, J.M. & DEFELIPO, B.V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solos e plantas. *Rev. Ceres*, 21: 73-85, 1974.
3. CLARK, R. B. Characterization of phosphatase of intact maize roots. *J. Agric. Food Chem.*, 23: 458-460, 1975.
4. FOY, C.D.; CHANEY, R.L. & WHITE, M.C. The physiology of metal toxicity in plants. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, 29: 511-66, 1978.
5. HUANG, J.W.; SHAFF, J.E.; GRUNES, D.L. & KOCHHIAN, L.V. Aluminum effects on calcium fluxes at the root apex of aluminum-tolerant and aluminum-sensitive wheat cultivars. *Plant Physiol.*, 98: 230-237, 1992.
6. MARSCHNER, H. *Mineral nutrition of higher plants*. New York, Academic Press, 1995. 889 p.
7. PAVAN, M.A. & BINGHAM, F.T. Toxicity of aluminium to coffee seedlings grown in nutrient solution. *Soil Sci. Am J.*, 46: 993-997, 1982.
8. PEGTEL, D.M. Responses of plants to Al, Mn and Fe, with particular reference to *Succisa pratensis* Moench. *Plant and Soil*, 43: 43-55, 1986.
9. RENGEL, Z. & ROBINSON, D.L. Competitive Al³⁺ inhibition of net Mg²⁺ uptake by intact *Lolium multiflorum* roots. I Kinetics. *Plant Physiol.*, 91: 1407-1413, 1989.
10. SILVA, J.B.C.; NOVAIS, R.F. & SEDIYAMA, C.S. Comportamento de genótipos de soja em solo com alta saturação de alumínio. *Pesq. Agropec. Bras.*, 19: 287-298, 1984.
11. TAYLOR, G.J. The physiology of aluminum tolerance in higher plants. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 19: 1179-1194, 1988.