

FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS

AVALIAÇÃO DO pH DA RIZOSFERA DE GENÓTIPOS DE CAFÉ EM RESPOSTA À TOXIDAZ DE ALUMÍNIO NO SOLO⁽¹⁾

MARIA DO CARMO LANA BRACCINI⁽²⁾; HERMINIA EMILIA PRIETO
MARTINEZ^(3,5); ALESSANDRO DE LUCCA E BRACCINI^(4,5);
SEBASTIÃO MARCOS DE MENDONÇA⁽³⁾

RESUMO

Foi realizado um experimento em casa de vegetação com o objetivo de avaliar a relação entre pH da rizosfera e tolerância ao Al de cinco genótipos de café, na presença e na ausência de calagem. As plantas de café foram desenvolvidas em caixas plásticas, com as raízes próximas da tampa. Após 90 dias as tampas foram removidas e uma fina camada de agar contendo indicador foi derramada sobre a superfície. Também foram avaliados a produção de biomassa seca da parte aérea e das raízes, o comprimento e a superfície de raízes. Quando o solo foi corrigido observou-se o desenvolvimento da coloração amarela próximo às raízes, indicando o abaixamento do pH em H₂O. O resultado foi confirmado pela avaliação do pH do solo e da rizosfera com variações de 0,2 e 0,3 unidades de pH. Por outro lado, na presença de Al não houve diferença entre o pH do solo e o da rizosfera, indicando que a alteração no pH desta não parece ser o mecanismo de tolerância ao Al em cafeeiros, uma vez que os genótipos sensíveis e tolerantes apresentaram o mesmo comportamento.

Palavras-chave: café, alumínio, pH da rizosfera, tolerância, técnica do agar-indicador.

ABSTRACT

RHIZOSPHERE pH EVALUATION OF COFFEE GENOTYPES IN RESPONSE TO SOIL ALUMINUM TOXICITY

This work was carried out in greenhouse aiming to evaluate the relationship between rhizosphere-pH and aluminum tolerance of five coffee genotypes, grown with or without soil liming. Coffee plants were grown in plastic boxes, with roots developing near the cover. After 90 days the lids were removed and a solid agar layer with pH indicator was placed on the surface of soil and roots. It was also evaluated roots and shoots dry biomass production and roots length and surface. When the soil was limed, it was observed the development of yellow color near the roots indicating a pH decrease. This result was confirmed by observing soil and rhizosphere-pH changes, varying between 0.2 and 0.3 units of pH. On the other hand, in the presence of Al it was not observed differences among soil and rhizosphere-pH, indicating that the change of pH induced by roots is not the mechanism of Al tolerance in coffee plants, since sensible and tolerant genotypes showed the same behavior.

Key words: coffee, aluminum, rhizosphere-pH, tolerance, agar technique.

⁽¹⁾ Recebido para publicação em 27 de janeiro e aceito em 4 de novembro de 1999.

⁽²⁾ Centro de Ciências Agrárias, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Rua Pernambuco, 1.777, 85960-000 Marechal Cândido Rondon (PR). E-mail: mclana@unioeste.br

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

⁽⁴⁾ Departamento de Agronomia, Universidade Estadual de Maringá (UEM), Av. Colombo, 5790, 87020-900 Maringá (PR). E-mail: albraccini@uol.com.br

⁽⁵⁾ Com bolsa de produtividade em pesquisa do CNPq.

1. INTRODUÇÃO

O controle do pH da rizosfera e a exclusão do alumínio (Al) pela membrana plasmática das raízes das plantas têm sido considerados como possíveis mecanismos de tolerância ao Al. O pH do meio envolvendo as raízes tem grande influência na especiação do Al, sendo de fundamental importância na redução da toxidez de Al na rizosfera (GAHOONIA, 1993).

A composição química da rizosfera difere da composição química do volume do solo (DINKELAKER et al., 1993). As diferenças ocorrem em virtude, principalmente, da absorção de água e de nutrientes, das mudanças no pH da rizosfera, da exsudação de ácidos orgânicos e da atividade microbiológica. Muitos desses processos podem influenciar a disponibilidade de nutrientes, tais como P, Fe, Mn, Zn, Cu e, também, a solubilidade de elementos tóxicos como o Al (MARSCHNER, 1995).

Diferenças na liberação de H^+ ou OH^- estão relacionadas ao balanço do total de íons absorvidos que varia entre as espécies e, particularmente, à forma de nitrogênio absorvida (KELTJENS, 1997; DURIEUX et al., 1993). Conforme relatado por MARSCHNER e RÖMHELD (1983) e KELTJENS e LOENEN (1989), plantas supridas com $N-NO_3^-$ aumentaram o pH do solo, enquanto a fertilização com $N-NH_4^+$ resultou em abaixamento do pH. Isso tem levado vários pesquisadores a levantar a hipótese de que diferenças na tolerância ao Al podem estar relacionadas à absorção preferencial de NO_3^-/NH_4^+ entre espécies e cultivares. KELTJENS (1997) e DURIEUX et al. (1993) observaram que plantas de milho apresentam redução na absorção de NO_3^- , na presença de Al. Uma vez que a maioria das espécies mostra preferência na absorção de amônio em relação à de nitrato, quando ambos estão presentes (MARSCHNER, 1995), a inibição na absorção de nitrato na presença de Al poderia resultar em maior acidificação da rizosfera. Assim, cultivares sensíveis e tolerantes ao Al poderiam diferir na taxa de exclusão de H^+ ou OH^- .

Além de N – quantitativamente o nutriente mais absorvido pelas plantas – outros elementos como K, Ca, Mg, P e Fe contribuem para o balanço dos nutri-

entes absorvidos e para a liberação de H^+ ou OH^- pelas raízes (MARSCHNER, 1995).

Nos solos o aumento no pH da rizosfera poderia prevenir a entrada do Al no apoplasto, ao passo que em solução nutritiva, em função da ausência da rizosfera o Al pode entrar facilmente no apoplasto das células do córtex. No apoplasto o Al pode ser adsorvido por cargas negativas e, dependendo do pH, pode ser precipitado (TAYLOR, 1991). Em solução nutritiva, TAN et al. (1992) observaram que o acúmulo de Al nas raízes foi maior em plantas supridas com NO_3^- do que em presença de NH_4^+ . Tal resultado é contraditório aos obtidos no solo. Em solos ácidos, onde a nitrificação é normalmente inibida, as plantas tenderiam a acidificar a rizosfera, em função de maior absorção de NH_4^+ .

Vários métodos têm sido utilizados para avaliação de alterações químicas ao longo das raízes de plantas crescendo em solução nutritiva ou no solo. A maioria deles baseia-se no uso do meio agar contendo reagentes específicos e indicadores. Pela reação de coloração é possível demonstrar os seguintes processos na rizosfera: mudanças de pH (MARSCHNER e RÖMHELD, 1983), exsudação de ácidos orgânicos e solubilização de vários fosfatos inorgânicos (DINKELAKER et al., 1993), redução de Fe III e Mn IV (MARSCHNER et al., 1982). Os métodos indicam em que zona ao longo da raiz esses processos ocorrem. Também podem ajudar a entender os mecanismos pelos quais as plantas se adaptam a condições adversas, tais como altas concentrações de alumínio e baixa fertilidade.

O presente trabalho teve como principal objetivo avaliar a relação entre a capacidade de cinco genótipos de café de alterar o pH da rizosfera e tolerância ao alumínio.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O presente experimento foi desenvolvido em casa de vegetação, utilizando-se um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, tendo apresentado inicialmente $1,8 \text{ cmol} \cdot \text{dm}^{-3}$ de Al (Quadro 1). Metade do solo foi corrigido com $CaCO_3$ e $MgCO_3$ com uma relação molar de 4:1, correspondendo a seis $t \cdot ha^{-1}$, dose equivalente a 1,25 vezes a necessidade de calagem para atingir 70% de saturação de bases. Após a aplicação

Quadro 1. Caracterização química do solo na ausência e na presença de calagem

Solo	C ⁽¹⁾	pH	P ⁽²⁾	K ⁽²⁾	Al ⁽³⁾	Ca ⁽³⁾	Mg ⁽³⁾	(H+Al) ⁽⁴⁾	S	CTC		V	m
	dag.kg ⁻¹	(H ₂ O)	—	mg.dm ⁻³	—				cmol.dm ⁻³	—	Efet.	Total	—
S/cal	1,8	4,8	1,0	28	1,8	0,5	0,2	7,2	0,77	2,57	7,97	9,66	70
C/cal	1,8	5,6	1,1	24	0,0	2,6	0,6	4,8	3,27	3,27	8,07	40,5	0,0

⁽¹⁾Método Walkley-Black. ⁽²⁾Extrator Mehlich-1. ⁽³⁾Extrator KCl 1 mol.L⁻¹. ⁽⁴⁾Extrator Ca(CH₃COO)₂ 0,5 mol.L⁻¹ pH 7,0.

do calcário as amostras de solo foram umedecidas até atingir 80% da capacidade de retenção de água, acondicionadas em sacolas plásticas e incubadas por 22 dias. Terminado o período de incubação as amostras de solo receberam a seguinte adubação: P – 400 mg.kg⁻¹, K – 150 mg.kg⁻¹, N – 50 mg.kg⁻¹, S – 40 mg.kg⁻¹, B – 0,81 mg.kg⁻¹, Cu – 1,33 mg.kg⁻¹, Fe – 1,55 mg.kg⁻¹, Mn – 3,66 mg.kg⁻¹, Mo – 0,15 mg.kg⁻¹ e Zn – 4,0 mg.kg⁻¹. Os nutrientes foram adicionados nas formas de K₂SO₄, NH₄H₂PO₄, Ca(H₂PO₄)₂·H₂O, H₃BO₃, CuSO₄·5H₂O, FeCl₃·6H₂O, MnCl₂·4H₂O, NaMoO₄·2H₂O e ZnSO₄·7H₂O. Essas formas foram aplicadas ao solo, via solução, com exceção do Ca(H₂PO₄)₂·H₂O.

Após a adubação o solo foi colocado em caixas plásticas do tipo gerbox (10,5 cm x 10,5 cm), as quais tiveram uma das laterais removida, onde foram colocadas as plântulas. Utilizou-se o delineamento em blocos casualizados, com três repetições, e o arranjo dos tratamentos em esquema fatorial 2 x 5 (calagem vs. genótipos de café). Foram avaliados dois genótipos sensíveis ao Al: UFV 2147 (Catuaí Vermelho-LCH 2077-2-5-99) e UFV 3880 (Catimor); e três tolerantes ao Al: UFV 2149 (Catuaí Amarelo-LCH 2077-2-12-91), IC 4045 (Icatu Vermelho) e IC 4782 (Icatu Vermelho), de acordo com trabalho anterior de BRACCINI et al. (1998).

As sementes de café foram colocadas para germinar entre folhas de papel-toalha no germinador; após 40 dias as plântulas foram transferidas para as caixas plásticas e colocadas na extremidade das mesmas, de tal forma que as raízes se desenvolvessem próximas à tampa. Para evitar o desenvolvimento de algas, as caixas foram cobertas com plástico de coloração preta, revestidas com papel alumínio e colocadas inclinadas, formando um ângulo de 50°, com a tampa voltada para baixo, de forma a permitir a avaliação do crescimento radicular.

Na preparação do meio agar-indicador, utilizou-se o método descrito por MARSCHNER e RÖMHELD (1983), no qual a solução de agar (0,75%) foi aquecida até a dissolução completa, e, após o seu resfriamento, foi adicionado o indicador (púrpura de bromocresol) na concentração de 0,06%. O pH do meio foi ajustado com NaOH para 6,0 apresentando, nesse caso, a coloração vermelha. Após 90 dias as tampas foram cuidadosamente removidas, e uma fina camada de agar contendo o indicador foi colocada sobre as raízes. Para obter a camada de agar sólido de 2-3 mm, a solução de agar-indicador foi colocada dentro de uma caixa plástica forrada com um filme de PVC. Após o resfriamento a lâmina de agar foi adicionada à superfície, através do deslizamento desta sobre o solo e as raízes. Mudanças de coloração do agar foram obser-

vadas depois de um período entre quinze minutos a duas horas, em função da alteração no pH da rizosfera.

Foram avaliados, também, o pH (H₂O) do solo e da rizosfera com auxílio de potenciômetro. Para avaliar o pH da rizosfera foi removido o solo onde as raízes se desenvolveram, com a ajuda de uma espátula, até a profundidade de cerca de 2 mm. Em seguida foram avaliadas as produções de biomassa seca da parte aérea e das raízes, o comprimento e a superfície de raízes, de acordo com o método descrito por ROSSIELLO et al. (1995). A área superficial de raízes foi quantificada pelo método fotoelétrico, com a utilização de medidor de área (Delta-T Area Measurement System, modelo Area Meter MK₂). Calculou-se o comprimento das raízes (cm) a partir da seguinte equação: $L = A / (2\pi R)$, sendo A a área superficial (cm²) e R o raio (cm) calculado pela fórmula $R = 2V / A$, onde V representa o volume radicular determinado pelo deslocamento de volume de água numa proveta graduada.

Os resultados foram submetidos à análise da variância, na qual a soma de quadrados para tratamentos foi desdobrada segundo um esquema de contrastes ortogonais, para avaliar o comportamento de cinco genótipos de café na presença e na ausência de alumínio, em relação ao pH da rizosfera, pH do solo e características de crescimento.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O crescimento das plantas em caixas plásticas do tipo gerbox torna mais fácil a avaliação do sistema radicular. As alterações de pH ao longo das raízes foram observadas na lâmina de agar com indicador colocada sobre a superfície do solo. O agar foi adicionado com pH 6,0 (vermelho) e o pH inicial sem calagem foi de 4,8. Na presença de Al não se observaram, visualmente, diferenças entre pH do solo e da rizosfera, uma vez que a coloração do agar mudou, por completo, para amarelo. A coloração amarela indica que o pH estava abaixo de 4,5, que é o pH de viragem do indicador. Esse resultado foi confirmado pelos valores de pH do solo e da rizosfera, medidos com o potenciômetro (Quadro 2). Não houve diferença entre os genótipos, como pode ser observado pelos contrastes de 2 a 5 (Quadro 3), apresentando, em média, pH 4,07 na rizosfera e 4,14 no solo.

PAVAN e BINGHAM (1982) demonstraram que o crescimento de plantas de café foi melhor relacionado à atividade de Al³⁺. Com valores de pH entre 3,9 e 4,2 a espécie de Al predominante é Al³⁺ (TAYLOR, 1991). Acredita-se, portanto que com pH do solo 4,1 e na presença de 1,8 cmol_c.dm⁻³, são criadas condições

Quadro 2. Valores de pH (H₂O) da rizosfera e do solo, produção de biomassa seca da parte aérea (BPA) e das raízes (BRA), superfície (SR) e comprimento das raízes (CR) de cinco genótipos de café na presença e na ausência de alumínio no solo

Genótipos	pH rizosfera		pH solo		BPA		BRA		SR		CR	
	+ Al	- Al	+ Al	- Al	+ Al	- Al	+ Al	- Al	+ Al	- Al	+ Al	- Al
					mg				cm ²		cm	
UFV 2147	4,09	4,83	4,15	5,11	188,6	216,5	43,7	47,8	19,6	21,8	36,8	30,7
UFV 2149	4,10	4,87	4,14	5,13	235,0	204,9	59,0	53,2	23,9	23,2	29,1	37,3
IC 4045	4,05	4,89	4,14	5,09	136,8	163,4	36,7	34,7	15,5	16,4	30,0	22,3
IC 4782	4,05	4,91	4,12	5,08	145,7	174,2	45,7	37,2	16,8	14,4	21,1	21,4
UFV 3880	4,11	4,90	4,15	5,16	215,7	347,0	48,8	65,5	22,0	30,2	37,0	47,0
Média	4,07	4,87	4,14	5,11	184,4	221,2	46,8	47,7	19,6	21,2	30,8	31,7

Quadro 3. Contrastes ortogonais analisados e seus valores para pH da rizosfera (pHr) e pH do solo (pHs), produção de biomassa seca da parte aérea (BPA) e das raízes (BRA), área superficial (SUP) e comprimento total das raízes (CR)

Tratamento	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉
Com Al									
UFV 2147	1	3	1	0	0	0	0	0	0
UFV 2149	1	3	-1	0	0	0	0	0	0
IC 4045	1	-2	0	1	1	0	0	0	0
IC 4782	1	-2	0	1	-1	0	0	0	0
UFV 3880	1	-2	0	-2	0	0	0	0	0
Sem Al									
UFV 2147	-1	0	0	0	0	3	1	0	0
UFV 2149	-1	0	0	0	0	3	-1	0	0
IC 4045	-1	0	0	0	0	-2	0	1	1
IC 4782	-1	0	0	0	0	-2	0	1	-1
UFV 3880	-1	0	0	0	0	-2	0	-2	0
pHr	-0,80**	0,20 ^{ns}	-0,10 ^{ns}	-0,60 ^{ns}	0,0 ^{ns}	-0,05 ^{ns}	-0,04 ^{ns}	0,0 ^{ns}	-0,01 ^{ns}
pHs	-0,97**	0,0 ^{ns}	0,01 ^{ns}	-0,02 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,01 ^{ns}	-0,02 ^{ns}	-0,08 ^{ns}	0,01 ^{ns}
BPA (mg)	-36,84**	45,72 ^{ns}	-46,48 ^{ns}	-74,40*	-8,85 ^{ns}	-17,52 ^{ns}	11,62 ^{ns}	-178,22**	-10,85 ^{ns}
BRA (mg)	0,91 ^{ns}	7,61 ^{ns}	-15,33*	-7,66 ^{ns}	-8,96 ^{ns}	4,72 ^{ns}	-5,34 ^{ns}	-29,58**	-2,50 ^{ns}
SUP (cm ²)	1,65 ^{ns}	3,65 ^{ns}	-4,24 ^{ns}	-5,84 ^{ns}	-1,31 ^{ns}	2,14 ^{ns}	-1,42 ^{ns}	-14,79**	1,94 ^{ns}
CR (cm)	0,93 ^{ns}	3,55 ^{ns}	7,67 ^{ns}	-11,48 ^{ns}	8,92 ^{ns}	4,53 ^{ns}	-6,53 ^{ns}	-25,16*	0,91 ^{ns}

* e **: significativo em nível de 5% e 1%, respectivamente, pelo teste F.

ns: não significativo ao nível de 5% pelo teste F.

adequadas para detectar diferenças entre genótipos sensíveis e tolerantes. Nas condições em que este trabalho foi realizado as plantas de café não modificaram o pH da rizosfera, como acontece, por exemplo, com a cultura do milho (KELTJENS, 1997) e a do sorgo (CAMBRAIA et al., 1987), entre outras.

Entretanto, quando se corrigiu o solo, ou seja, na ausência de Al, observou-se o desenvolvimento da coloração amarela próximo às raízes, indicando abai-

xamento do pH (figura 1). Esse resultado foi confirmado pela avaliação do pH do solo e da rizosfera, que apresentaram variações de 0,2 e 0,3 unidades de pH (Quadro 2). Não foi possível detectar diferenças entre os genótipos (como pode ser observado pelos contrastes 6,7, 8 e 9, no quadro 3) que apresentaram, em média, pH 4,87 na rizosfera e 5,11 no solo.

Apesar de apenas o amônio ter sido utilizado como fonte de N, o abaixamento do pH da rizosfera foi

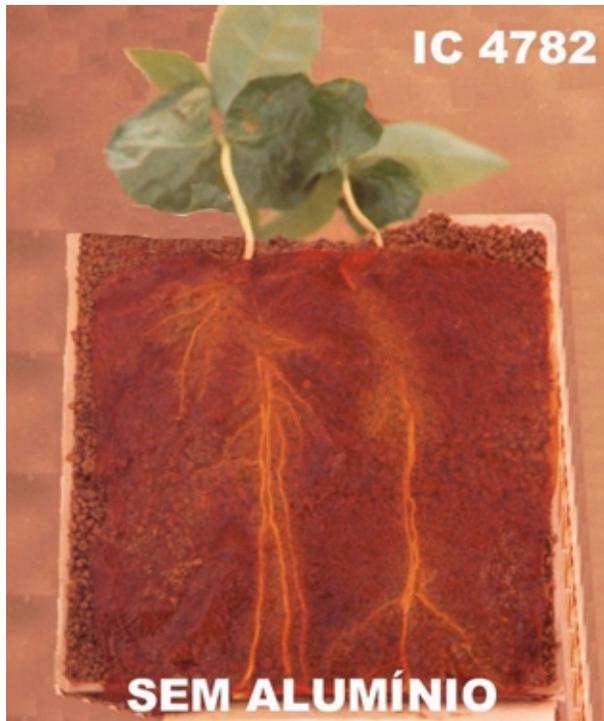


Figura 1. Mudanças no pH do agar induzidas por 'Icatu' (IC 4782), na ausência de Al, após duas horas de adição do agar com pH inicial ajustado para 6,0 (vermelho).

pequeno em relação aos resultados obtidos por KELTJENS (1997). Plantas de milho supridas com $N-NO_3^-$ tiveram um acréscimo nos valores de pH da rizosfera de 0,55 a 0,89, ao passo que na presença de $N-NH_4^+$ tiveram um decréscimo de 0,84 a 1,48.

De acordo com MARSCHNER (1995), a capacidade tampão do solo e o pH inicial são os principais fatores que determinam a extensão na qual as raízes podem alterar o pH da rizosfera. A capacidade tampão de pH depende dos teores de argila e de matéria orgânica, os quais podem neutralizar as mudanças de pH induzidas pelas raízes. O solo utilizado apresenta 3% de matéria orgânica e 68% de argila, podendo, portanto, a capacidade das plantas de café em alterar o pH da rizosfera ter sido influenciada por esses fatores.

As vantagens do método do agar-indicador estão relacionadas à sua natureza não-destrutiva, além de permitir melhor localização das variações de pH ao longo das raízes. Por sua vez, a separação mecânica do solo para avaliação do pH implica em definir qual distância da superfície das raízes é considerada como rizosfera.

Pelo contraste 1 (Quadro 3) foi avaliado o efeito da calagem sobre várias características de crescimento. Observa-se que houve diferença apenas em relação à produção de biomassa seca da parte aérea que foi superior a 37 mg, quando se fez a correção do solo.

Entretanto, os valores absolutos não permitem uma separação clara entre os genótipos sensíveis e tolerantes.

Para explicar as diferenças entre os genótipos foram calculados os valores relativos, obtidos pela divisão da média dos valores na presença de Al, pela média dos valores na ausência de Al, subtraída de 1 e multiplicada por 100. Esses resultados são apresentados no quadro 4.

Analisando-se os dados, observa-se que 'Catuaí Amarelo' (UFV 2149) produziu 15% a mais de biomassa seca da parte aérea, na presença de alumínio (Quadro 4). Os demais genótipos apresentaram redução de até 36%, como é o caso de 'Catimor' (UFV 3880).

A comparação entre os 'Catuaís' sensível (UFV 2147) e tolerante (UFV 2149), na presença de Al, é feita pelo contraste 3 (Quadro 3). Observa-se que houve diferença quanto à produção de biomassa seca das raízes. O tolerante produziu 15 mg a mais que o sensível. Além disso, 'UFV 2149' produziu 11% a mais, na presença de Al, em relação à ausência deste elemento (Quadro 4). Em solução nutritiva, BRACCINI et al. (1998) também constataram que o genótipo UFV 2149 apresentou menor redução na produção de biomassa seca da parte aérea e das raízes, altura de planta e área foliar.

Os genótipos derivados do 'Icatu' (IC 4045 e IC 4782) apresentaram menor produção de biomassa seca da parte aérea e das raízes, tanto na presença quanto na ausência de Al, comparados aos genótipos de Catuaí e de Catimor (Quadro 2). Tal comportamento foi também observado por RODRIGUES (1997). Entretanto, na presença de Al a produção de biomassa seca das raízes foi superior a 6% e 23%, respectivamente, em relação à ausência desse elemento.

O genótipo derivado de 'Catimor' (UFV 3880) apresentou diferença significativa em relação aos genótipos derivados de 'Icatu', quanto à produção de biomassa seca da parte aérea e das raízes, à superfície e ao comprimento das raízes (contraste 8, Quadro 3). Entretanto, na presença de Al, foram observados os maiores percentuais de redução em todas as características avaliadas (Quadro 4).

A redução média das características avaliadas permite-nos concluir que não seria esperada uma limitação séria no crescimento radicular para os genótipos Catuaí (UFV 2149) e Icatu (IC 4045 e IC 4782), na presença de $1,8 \text{ cmol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$ de Al no solo, uma vez que tais genótipos não apresentaram redução, em função da presença desse elemento.

A adaptação de plantas de café a solos ácidos relacionada à capacidade específica em mudar o pH da rizosfera é pouco provável. Por outro lado, certas

Quadro 4. Percentual de redução ou aumento da produção de biomassa seca da parte aérea (BPA) e das raízes (BRA), da superfície (SR) e comprimento total de raízes (CR) em cinco genótipos de café em função da presença de Al⁽¹⁾

Genótipos	BPA	BRA	SR	CR	Média
	%				
UFV 2147	12,91	8,71	9,86	+19,06	2,97
UFV 2149	+14,71	+10,97	+2,93	21,93	+1,67
IC 4045	16,24	+5,77	5,43	+34,66	+4,69
IC 4782	16,38	+22,87	+16,30	1,30	+5,37
UFV 3880	37,85	25,45	27,21	21,17	27,92

⁽¹⁾ O sinal positivo indica aumento na presença de alumínio.

condições de crescimento – como a fonte de nitrogênio utilizada – podem indiretamente afetar a suscetibilidade das plantas, em função de mudanças no pH e, conseqüentemente, na solubilidade do Al na rizosfera.

4. CONCLUSÕES

1. A alteração no pH da rizosfera não está relacionada à tolerância ao alumínio nos genótipos de café.
2. A técnica do agar-indicador mostrou-se eficiente para estudo de avaliação do pH da rizosfera.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRACCINI, M.C.L.; MARTINEZ, H.E.P.; PEREIRA, P.R.G.; SAMPAIO, N.F.; SILVA, E.A.M. Tolerância de genótipos de cafeeiro ao alumínio em solução nutritiva: I Crescimento e desenvolvimento da parte aérea e sistema radicular. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.22, n.3, p.435-442, 1998.
- CAMBRAIA, J.; CHANDÍAS, J.E.T.; SANT'ANNA, R; ESTEVÃO, M.M. Efeito do alumínio e da proporção NO₃⁻/NH₄⁺ sobre a composição do nitrogênio solúvel em sorgo. *Revista Ceres*, Viçosa, v.35, n.199, p.273-282, 1987.
- DINKELAKER, B.; HAHN, G.; RÖMHELD, V.; WOLF, G.A.; MARSCHNER, H. Non-destructive methods for demonstrating chemical changes in the rhizosphere: I. description of methods. In: BARROW, N.J., ed. *Plant nutrition from genetic engineering to field practice*. Dordrecht, Klumer Academic, 1993. p.71-74. (Developments in Plant and Soil Sciences, 45)
- DURIEUX, R.P.; JACKSON, W.A.; KAMPRATH, E.J.; MOLL, R.H. Inhibition of nitrate uptake by aluminium in maize. *Plant and Soil*, The Hague, v.151, p.97-104, 1993.
- GAHOONIA, T.S. Influence of root-induced pH on the solubility of soil aluminium in the rhizosphere. *Plant and Soil*, The Hague, v.149, p.289-291, 1993.
- KELTJENS, W.G. Plant adaptation and tolerance to acid soils; its possible Al avoidance – A review. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PLANT-SOIL INTERACTIONS AT LOW pH, 4, Viçosa, 1997. *Proceedings...* MONIZ, A.C.; FURLANI, A.M.C.; SCHAFFERT, R.E.; FAGERIA, N.K.; ROSOLEM, C.A.; CANTARELLA, H, eds. *Plant-soil interactions at low pH: sustainable agriculture and forestry production*. Campinas/Viçosa, SBSC, 1997. p.109-117.
- KELTJENS, W.G.; LOENEN, E. van. Effects of aluminium and mineral nutrition on growth and chemical composition of hydroponically grown seedlings of five different forest tree species. *Plant and Soil*, The Hague, v.104, p.39-50, 1989.
- MARSCHNER, H. *Mineral nutrition of higher plants*. London, Academic Press, 1995. 889p.
- MARSCHNER, H.; RÖMHELD, V. *In vivo* measurement of root-induced pH changes at the soil-root interface: effect of plant species and nitrogen source. *Z. Pflanzenphysiol. Bd.*, Weinheim, v.111, p.241-251, 1983.
- MARSCHNER, H.; RÖMHELD, V.; OSSENBERG-NEUHAUS, H. Rapid method for measuring changes in pH and reducing processes along of intact plants. *Z. Pflanzenphysiol. Bd.*, Weinheim, v.105, p.407-416, 1982.
- PAVAN, M.A.; BINGHAM, F.T. Toxidez de alumínio em cafeeiros cultivados em solução nutritiva. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.17, n.9, p.1293-1302, 1982.
- RODRIGUES, L.A. *Crescimento e composição mineral na parte aérea e nas raízes de duas variedades de café em resposta à calagem na subsuperfície do solo*. Viçosa, 1997. 89p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – UFV, 1997.
- ROSSIELLO, R.O.P.; ARAÚJO, A.P.; MANZATTO, C.V.; FERNANDES, M.S. Comparação dos métodos fotométricos e da interseção na determinação de área, comprimento e raio médio radicular. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.30, n.5, p.633-638, 1995.
- TAN, K.; KELTJENS, W.G.; FINDENEGG, G.R. Effects of nitrogen form on aluminum toxicity in sorghum genotypes. *Journal of Plant Nutrition*, Athens, v.15, n.9, p.1383-1394, 1992.
- TAYLOR, G.J. Current views of the aluminum stress response; the physiological basis of tolerance. *Current Topics in Plant Biochemistry and Physiology*, Columbia, v.10, p.57-93, 1991.