

Influência de diferentes níveis de alumínio no acúmulo de micronutrientes em plantas de dois porta-enxertos cítricos em condições de cultivo hidropônico

Carlos Henrique dos Santos^{1*}, Hélio Grassi Filho², João Domingos Rodrigues¹ e Sheila Zambello de Pinho³

¹Departamento de Botânica, Instituto de Biociências, Unesp, Câmpus de Botucatu, C.P. 510, 18618-000, Botucatu-São Paulo, Brazil. ²Departamento de Ciência do Solo, Faculdade de Ciências Agronômicas, Unesp, C.P. 237, 18603-970, Botucatu-São Paulo, Brazil. ³Departamento de Bioestatística, Instituto de Biociências, Unesp, Câmpus de Botucatu, C.P. 502, 18618-000, Botucatu-São Paulo, Brazil. *Author for correspondence. E-mail: heliograssi@fca.unesp.br, mingo@ibb.unesp.br

RESUMO. O presente trabalho teve como objetivo avaliar a influência de diferentes níveis de alumínio no acúmulo de micronutrientes dos porta-enxertos limoeiro Cravo e citrumeleiro Swingle em cultivo hidropônico. O experimento foi instalado em casa de vegetação do Departamento de Ciência do Solo da Faculdade de Ciências Agronômicas - Unesp/Botucatu-SP. Os tratamentos seguiram o delineamento estatístico inteiramente casualizado em parcelas subdivididas, com três repetições. Os níveis de alumínio utilizados foram: 0,0; 7,5; 15,0; 22,5 e 30,0 mg L⁻¹, na forma de AlCl₃.6H₂O. Avaliou-se o acúmulo dos nutrientes Cu, Fe, Mn, Zn e Al na matéria seca vegetal. De acordo com os resultados obtidos nas condições de estudo do presente trabalho, conclui-se que o citrumeleiro Swingle apresentou-se mais sensível ao alumínio, sendo que, a partir de 7,5 mg L⁻¹ houve reduções na extração e acúmulo dos micronutrientes. Por outro, lado o limoeiro Cravo mostrou-se mais tolerante aos níveis de alumínio.

Palavras-chave: alumínio, *Citrus*, micronutrientes, nutrição mineral, porta-enxerto, solução nutritiva.

ABSTRACT. Influence of different levels of aluminum on the development of two citrus rootstocks in nutrient solution on the micronutrient contents. The influence of different levels of aluminum on the micronutrient contents of the rootstocks Rangpur lime and Swingle citrumelo was studied in nutritive solution. The experiment was carried out under green house at the Department of Soil Science of the Faculty of Agricultural Sciences - Unesp/Botucatu-SP. The treatments followed a completely randomized experimental design, with 3 replications, distributed in split-plots. The levels of aluminum were: 0.0, 7.5, 15.0, 22.5 and 30.0mg L⁻¹, in the form of AlCl₃.6H₂O. The nutrient contents of Cu, Fe, Mn, Zn and Al in the plants dry matter were evaluated. Under the conditions of the present study the results showed that Swingle citrumelo was more sensitive than Rangpur lime rootstock to aluminum concentrations. The reductions in the micronutrient contents was noticed for Swingle citrumelo when the Al concentration was 7,5mg L⁻¹. On the other hand, for Rangpur lime the micronutrient contents were not affected by aluminum concentrations.

Key words: aluminum, *Citrus*, micronutrients, mineral nutrition, nutrient solution and rootstocks.

Os porta-enxertos são capazes de influenciar várias características hortícolas na variedade copa, sendo de interesse prático, dentre outras, as alterações referentes à adaptação a diferentes condições ecológicas e composição mineral das folhas (Rodriguez *et al.*, 1978, e Pompeu Júnior, 1991). Tanto a qualidade dos frutos quanto a produtividade do pomar são muito influenciadas

pelas condições de clima, de adubação e de nutrição das plantas, entre outros fatores.

De acordo com Foy (1976), o alumínio, especialmente em subsolos ácidos, provoca efeito tóxico que é prejudicial por restringir o desenvolvimento em profundidade das raízes e suas ramificações, contribuindo para decréscimo na tolerância à seca e ao aproveitamento de nutrientes.

Dessa forma, torna-se importante conhecer as diferenças existentes entre o sistema radicular de alguns porta-enxertos, para o estudo das variações de comportamento em diferentes condições ecológicas e a indução de modificações na copa das plantas (Rodríguez *et al.*, 1978).

Em solos minerais ácidos, uma variedade de limitações químicas individuais e suas interações entre estas limitam o crescimento das plantas. Quando o pH é menor que 4, este não limita o crescimento das plantas mas a toxicidade e deficiência de elementos minerais, destacando-se prioritariamente os níveis excessivos de alumínio nas formas livre e trocável. Em alguns casos, o nível excessivo de manganês e deficiência de fósforo, de cálcio e de magnésio estão envolvidas e, menos freqüentemente, níveis de enxofre, potássio e os micronutrientes molibdênio, Zn e cobre são importantes (Sanches e Salinas, 1981).

Observa-se, contudo, que a citricultura brasileira está embasada em poucos ou quase que exclusivamente num único porta-enxerto, o limoeiro Cravo. Este apresenta como características a indução para alta produtividade e é altamente susceptível ao declínio. Historicamente, no curso da evolução da citricultura mundial, problemas de origem sanitária têm sido as principais razões para a substituição dos porta-enxertos. Dois exemplos clássicos podem ser citados: a Tristeza no Brasil e o Blight na Flórida (EUA) (Araújo, 1995).

A escolha dos porta-enxertos para a realização desta pesquisa baseou-se nas excepcionais características do limoeiro Cravo, considerado padrão nacional e por outro lado, confirmando-se a atual tendência de cotação dos preços da laranja baseada no maior teor de sólidos solúveis do fruto, incluiu-se o citrumeleiro Swingle, visto ser esta uma característica superior do mesmo em relação aos outros, existindo portanto a perspectiva de aumento de plantio dessa variedade em detrimento de outras, no Estado de São Paulo e, possivelmente, em outras regiões (Araújo, 1995).

A finalidade do presente trabalho foi obter informações a respeito do comportamento de dois porta-enxertos cítricos em presença de alumínio, sobre o acúmulo de micronutrientes nas plantas.

Material e métodos

O presente trabalho foi instalado em área experimental do Departamento de Ciência do Solo/Fazenda Experimental Lageado, da Faculdade de Ciências Agrônômicas - Unesp/Câmpus de Botucatu, Estado de São Paulo. O experimento foi conduzido em condições de casa de vegetação, a qual

possui um sistema automático de controle de temperatura. Os dados médios de temperatura e de umidade, que foram registrados por termohigrógrafo localizado a uma altura de 2,0 m no centro da casa de vegetação, encontram-se descritos na Tabela 1.

Tabela 1. Dados médios de temperatura e umidade registrados durante o período de realização do experimento

Mês	Temperatura - °C			Umidade - %		
	Mínima	Máxima	Média	Mínima	Máxima	Média
Março	19,5	37,0	28,3	68,3	91,6	80,0
Abril	16,8	34,8	25,8	71,6	93,7	82,7
Maior	15,9	30,8	23,4	86,5	96,4	91,5

As sementes dos porta-enxertos foram retiradas de frutos maduros, colhidos no mês de junho de 1996, de plantas matrizes pertencentes ao Pomar Experimental do Centro de Citricultura Sylvio Moreira/IAC, localizado no município de Cordeirópolis-SP. Após a retirada e secagem de acordo com Teófilo Sobrinho (1991) e tratamento com fungicida Orthocide, estas foram armazenadas em câmara fria a 4°C, permanecendo nestas condições até a realização da semeadura.

O substrato utilizado para enchimento das bandejas (96 células) foi preparado misturando-se solo, mistura de vermiculita, casca de arroz carbonizada e esterco de curral curtido na proporção de 3:3:3:1. As características químicas do solo e substrato foram determinadas através de metodologia descritas por Rajj e Quaggio (1983).

A semeadura foi realizada no dia 15 de outubro de 1996, colocando-se duas sementes/alvéolo, alcançando germinação média de 90% das plantas aos 60 dias, no caso do porta-enxerto citrumeleiro Swingle. Quanto ao limoeiro Cravo, devido à problemas de germinação e posterior atraso no desenvolvimento, optou-se pelo descarte das plantas e adquiriu-se de um viveirista idôneo do município de Cajobi - (SP) plantas saudáveis, uniformes em tamanho e da mesma idade das plantas de citrumeleiro Swingle. Após completada a germinação e emergência, iniciou-se o processo de desbaste deixando-se apenas uma planta por célula.

Cento e oitenta plantas de cada espécie, com aproximadamente 10 cm de altura foram transferidas para recipientes plásticos com volume útil de 14 litros, contendo a metade da concentração da solução nutritiva de Furlani e Furlani (1988) modificada (Tabela 2) e sem alumínio. As plantas permaneceram apoiadas nos recipientes plásticos por meio de uma tampa de isopor com orifícios, onde o caule das mesmas foi envolvido por pedaços de espuma. Dessa forma, anteriormente à repicagem para as soluções

tratamentos, estas passaram por uma aclimação durante o período de vinte dias, com o objetivo de minimizar os efeitos do estresse causado pelo processo de repicagem.

A seguir, realizou-se a substituição da solução nutritiva pelas soluções contendo os cinco níveis de alumínio. A partir dessa data, a cada quatorze dias realizaram-se coletas das plantas para as determinações analíticas.

A composição da solução estoque e nutritiva básica utilizada seguiu a recomendação de Furlani e Furlani (1988), sendo que as concentrações de alumínio utilizadas foram: 0; 7,5; 15,0; 22,5 e 30,0 mgL⁻¹ na forma de AlCl₃.6 H₂O (Tabela 2). As soluções foram renovadas quinzenalmente, oxigenadas diariamente, sendo o pH da solução de cada tratamento ajustado também quinzenalmente para o valor 4 ± 0,2 com a adição de HCl 0,1 N.

Tabela 2. Composição da solução nutritiva básica modificada de acordo com Furlani e Furlani (1988)

Elemento	Concentração - mg L ⁻¹				
Al	0	7,5	15,0	22,5	30,0
N-NO ₃	147,9	147,9	147,9	147,9	147,9
N-NH ₄	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0
P	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
K	86,1	86,1	86,1	86,1	86,1
Ca	140,0	140,0	140,0	140,0	140,0
Mg	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0
S	17,6	17,6	17,6	17,6	17,6
Fe	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
B	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Cu	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Mn	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Zn	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Mo	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Cl	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5

Na instalação do experimento para cada porta-enxerto, adotou-se o delineamento estatístico inteiramente casualizado, com cinco concentrações de alumínio, três repetições em parcelas subdivididas, sendo cada parcela constituída por doze plantas. As plantas utilizadas em cada época de avaliação constituíram as subparcelas e as coletas destas subparcelas foram efetuadas a cada quatorze dias de acordo com Luchesi (1984): 1^a coleta - 14 dias, 2^a coleta - 28 dias, 3^a coleta - 42 dias, 4^a coleta - 56 dias, 5^a coleta - 70 dias, 6^a coleta - 84 dias após o transplante para a solução nutritiva.

Após a coleta do material vegetal, o mesmo foi colocado em estufa com circulação forçada de ar, com temperatura variando entre 65-70 °C até peso constante. Posteriormente, o material foi moído e encaminhado ao Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas do Departamento de Ciência do Solo da Faculdade de Ciências Agrônômicas - Unesp/Câmpus de Botucatu, para a determinação analítica dos nutrientes Cu, Fe, Mn, Zn, e Al

segundo metodologia descrita por Malavolta *et al.* (1989).

Realizaram-se análises de variância e as diferenças entre as médias dos tratamentos foram verificadas pelo teste de Tukey no nível de 5% de probabilidade.

Resultados e discussão

Concentração de Micronutrientes nos Porta-Enxertos Cítricos. Nas condições deste experimento, com relação ao parâmetro extração e acúmulo de micronutrientes, o limoeiro Cravo não foi influenciado nos mesmos níveis quanto o citrumeleiro Swingle, pelo alumínio, concordando com Pompeu Júnior (1991), que menciona a superioridade de adaptação do primeiro porta-enxerto às diferentes condições adversas. O citrumeleiro Swingle mostrou-se sensível ao alumínio já no nível mais baixo, ou seja, 7,5 mgL⁻¹ em solução nutritiva. É provável que a redução no acúmulo dos elementos, tenha ocorrido em consequência da própria redução no desenvolvimento das plantas em função das alterações fisiológicas provocadas pelo Al, como no peso da matéria seca das raízes, conforme relatos de Foy (1976) e Foy *et al.* (1978).

Cobre. Os valores médios de Cu na parte aérea do limoeiro Cravo não foram significativamente afetados, embora tenha havido uma redução numérica no tratamento de 30 mg L⁻¹ de Al no acúmulo deste elemento (Tabela 3). Nas raízes, o Al diminuiu o acúmulo de Cu a partir de 7,5 mg L⁻¹, não havendo diferença significativa nos demais tratamentos entre si (Tabela 4). Lin e Mihre (1991), em experimentos com porta-enxertos cítricos, também não observaram alteração no teor de Cu com a variação dos níveis de Al. Verificou-se aumento do acúmulo de Cu nas raízes no decorrer das coletas, não havendo diferença significativa nas coletas intermediárias entre si, ressaltando, ainda, que os valores foram numericamente maiores nas raízes em relação à parte aérea (Tabela 4). Observou-se que houve a redução do acúmulo de Cu pelo alumínio mas de acordo com a Tabela 5, ocorreu tendência de diminuição do peso de matéria seca das raízes. Com estas informações pode-se notar a maior tolerância do limoeiro Cravo ao alumínio.

As plantas de citrumelo Swingle apresentaram redução significativa nos valores médios do acúmulo de Cu a partir de 7,5 mg L⁻¹ de Al na parte aérea e nas raízes, diferindo significativamente do acúmulo de Cu pelas plantas do tratamento testemunha (Tabela 3). Estes resultados corroboram com os encontrados por Vasconcellos (1987) e divergem dos

obtidos por Lin e Mihre (1990) e (1991). Verificou-se ainda que no decorrer das coletas ocorreu aumento no acúmulo de Cu tanto na raiz como na parte aérea da primeira para a última coleta, sendo que os valores foram maiores nas raízes (Tabela 4).

Os resultados obtidos neste experimento para o citrumeleiro Swingle estão de acordo com Foy (1976), que relatou vários resultados de pesquisa sugerindo competição do Al com o cobre pelo mesmo sítio de ligação na raiz ou próximo de sua superfície. Os resultados de experimentos realizados por Liebig *et al.* (1942) mostraram que o aparente efeito estimulatório no crescimento de citros é devido ao antagonismo do Al com relação ao cobre. Pode-se considerar, também, que o alumínio afetou o crescimento e o desenvolvimento das raízes podendo portanto, ter influenciado na absorção dos micronutrientes, como neste caso o Cu (Tabela 5).

Tabela 3. Valores médios de acúmulo de Cu (μg) na parte aérea e raízes de limoeiro Cravo e c. Swingle, sob diferentes níveis de Al, em hidroponia

Tratamentos mg L ⁻¹	Limoeiro Cravo		Citrumeleiro Swingle	
	Parte Aérea	Raízes	Parte Aérea	Raízes
0	17,20 A	31,30 A	5,57 A	27,21 A
7,5	12,52 A	15,29 B	3,31 B	7,78 B
15	13,19 A	13,09 B	3,65 B	11,98 B
22,5	12,69 A	8,85 B	3,24 B	5,99 B
30	8,79 A	8,18 B	3,12 B	4,50 B
Teste F	NS	**	**	**
CV (%)	71,93	67,06	38,51	116,36

Médias seguidas da mesma letra, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

Tabela 4. Valores médios de acúmulo de Cu (μg) na parte aérea e raízes de limoeiro Cravo e c. Swingle, sob diferentes níveis de Al e coletas, em hidroponia

Tratamentos	Limoeiro Cravo		Citrumeleiro Swingle	
	Parte Aérea	Raízes	Parte Aérea	Raízes
1ª coleta	10,86 AB	5,08 B	2,22 C	2,15 C
2ª coleta	10,51 AB	12,98 A	2,30 C	4,19 C
3ª coleta	16,25 AB	16,59 A	3,59 BC	7,57 BC
4ª coleta	18,46 A	18,97 A	3,03 BC	14,94 AB
5ª coleta	12,28 AB	17,77 A	4,92 AB	17,04 AB
6ª coleta	8,91 B	20,66 A	6,60 A	23,08 A
Teste F	*	**	**	**
CV (%)	64,69	46,85	46,72	80,99

Médias seguidas da mesma letra, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

Ferro. Os valores médios de acúmulo de Fe na parte aérea e nas raízes do limoeiro Cravo (Tabela 6), estão de acordo com os dados obtidos por Lin e Mihre (1991). Observou-se que os tratamentos de Al não influenciaram o acúmulo de Fe na parte aérea e raízes, embora se tenha verificado a tendência de redução numérica do nível de 30 mg L⁻¹ de Al em diminuí-lo em ambas as partes da planta, o mesmo ocorrendo com o peso da matéria

seca da parte aérea e raízes. Como não houve influência marcante do Al no peso da matéria seca da parte aérea e raízes não se observou diferença significativa na extração de Fe. Houve aumento significativo dos valores de Fe na parte aérea e raízes da primeira para a sexta coleta, sendo que as raízes apresentaram maior acúmulo de Fe em relação à parte aérea (Tabela 7).

Tabela 5. Resultados médios de peso de matéria seca de folhas e raízes (g) de limoeiro Cravo e c. Swingle, sob diferentes níveis de Al, em hidroponia

Tratamentos mg L ⁻¹	Limoeiro Cravo		Citrumeleiro Swingle	
	Folhas	Raízes	Folhas	Raízes
0	1,38 A	0,85 A	0,46 A	0,52 A
7,5	1,34 A	0,90 A	0,35 B	0,42 AB
15	1,39 A	0,95 A	0,35 B	0,37 B
22,5	1,31 A	0,81 A	0,30 B	0,36 B
30	1,10 A	0,77 A	0,31 B	0,34 B
Teste F	NS	NS	**	**
CV (%)	38,34	52,73	20,62	27,03

De acordo com os dados da Tabela 6, observa-se que os tratamentos de Al não interferiram no acúmulo de Fe na parte aérea do citrumeleiro Swingle, o mesmo não acontecendo nas raízes, onde a partir de 15 mg L⁻¹ de Al houve redução significativa deste acúmulo. Em relação ao tempo, houve aumento do acúmulo de Fe da primeira para a última coleta, sendo que os valores médios das raízes foram superiores aos da parte aérea (Tabela 7). Estes resultados confirmam os encontrados por Vasconcellos (1987) e Lin e Mihre (1990) em porta-enxertos cítricos. Para Haynes, (1982) em estudos com diversas espécies e Nogueira *et al.* (1989), a toxicidade de Al é freqüentemente acompanhada por altos níveis de Fe e baixas concentrações de Ca e Mg nos tecidos das plantas. Por outro lado, Pavan e Bingham (1982) e Lin e Mihre (1990) constataram baixos níveis de Fe em cafeeiros e porta-enxertos cítricos, quando submetidos ao estresse por Al. De acordo com a Tabela 5, o Al diminuiu os valores do peso de matéria seca das folhas (parte aérea) e raízes possibilitando a redução da extração e acúmulo do Fe nas raízes.

Tabela 6. Valores médios de acúmulo de Fe (μg) na parte aérea e raízes de limoeiro Cravo e c. Swingle, sob diferentes níveis de Al, em hidroponia

Tratamentos Mg L ⁻¹	Limoeiro Cravo		Citrumeleiro Swingle	
	Parte Aérea	Raízes	Parte Aérea	Raízes
0	352,37 A	1827,11 A	104,60 A	1581,53 AB
7,5	313,33 A	1733,42 A	92,66 A	1705,25 A
15	381,49 A	1581,72 A	100,91 A	964,53 BC
22,5	320,23 A	1279,39 A	85,27 A	829,88 C
30	268,45 A	994,98 A	86,18 A	715,87 C
Teste F	NS	NS	NS	**
CV (%)	51,50	58,26	46,19	49,15

Médias seguidas da mesma letra, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

Tabela 7. Valores médios de acúmulo de Fe (μg) na parte aérea e raízes de limoeiro Cravo e c. Swingle, sob diferentes níveis de Al e coletas, em hidroponia

Tratamentos	Limoeiro Cravo		Citrumeleiro Swingle	
	Parte Aérea	Raízes	Parte Aérea	Raízes
1ª coleta	180,32 C	883,08 C	44,28 D	459,31 E
2ª coleta	222,23 C	1230,13 BC	70,51 D	837,47 D
3ª coleta	334,66 B	1433,53 AB	76,30 CD	1127,90 CD
4ª coleta	352,35 B	1703,97 AB	103,83 BC	1232,20 BC
5ª coleta	436,94 A	1788,57 A	138,16 AB	1519,13 AB
6ª coleta	436,55 A	1860,67 A	130,47 A	1780,47 A
Teste F	**	**	**	**
CV (%)	18,99	32,08	32,02	26,00

Médias seguidas da mesma letra, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

Manganês. Os valores médios de acúmulo de Mn na parte aérea dos porta-enxertos estão apresentados na Tabela 8. Não houve influência dos tratamentos de Al no acúmulo de Mn na parte aérea do limoeiro Cravo, embora constatou-se tendência de redução numérica no nível de 30 mg L⁻¹ de Al. No caso das raízes, observou-se diferença significativa do acúmulo de Mn das plantas do tratamento testemunha para os demais. Provavelmente, a redução dos valores do peso de matéria seca das raízes proporcionou esta redução dos valores de Mn nas mesmas (Tabela 5).

Os resultados médios de acúmulo de Mn em função das coletas, foram oscilantes na parte aérea e nas raízes, não se diferenciando estatisticamente entre si para o limoeiro Cravo (Tabela 9).

A Tabela 8, mostra que a partir de 7,5mg L⁻¹ de Al ocorreu efeito prejudicial no acúmulo de Mn na parte aérea e raízes do citrumeleiro Swingle, não sendo observada diferença significativa entre os tratamentos. O acúmulo de Mn entretanto, aumentou significativamente na parte aérea até os 84 dias de coleta (Tabela 9), enquanto nas raízes estes valores não diferiram significativamente da testemunha. A Tabela 5 também mostra que os níveis de alumínio reduziram os valores do peso de matéria seca da parte aérea (folhas) e raízes a partir de 7,5 mg L⁻¹ de Al, podendo-se associar, assim, à menor absorção deste micronutriente.

Os resultados médios obtidos para os dois porta-enxertos contrariam os resultados de Haynes, (1982) para algumas espécies de plantas cultivadas e confirmam os resultados obtidos por Pavan e Bingham (1982) com cafeeiro e Lin e Mihre (1990) e Nogueira *et al.* (1989) com porta-enxertos cítricos.

Zinco. Através dos resultados encontrados na Tabela 10, observa-se que os tratamentos de Al não influenciaram o acúmulo de Zn na parte aérea e nas raízes do limoeiro Cravo nem mesmo na produção de matéria seca das folhas e raízes (Tabela 5), resultados estes que corroboram com os encontrados

por Lin e Mihre (1991), sendo que na parte aérea houve manutenção nos valores deste acúmulo durante o crescimento e desenvolvimento das plantas, o mesmo acontecendo com as raízes, onde não se detectou diferença estatística significativa. Apesar disso, a parte aérea apresentou maior acúmulo de Zn em relação às raízes no decorrer das coletas (Tabela 11).

Tabela 8. Valores médios de acúmulo de Mn (μg) na parte aérea e raízes de limoeiro Cravo e c. Swingle, sob diferentes níveis de Al, em hidroponia

Tratamentos	limoeiro Cravo		Citrumeleiro Swingle	
	Parte Aérea	Raízes	Parte Aérea	Raízes
0	61,50 A	111,31 A	29,28 A	76,43 A
7,5	50,49 A	29,66 B	16,19 B	26,88 B
15	52,94 A	35,69 B	16,53 B	24,86 B
22,5	50,51 A	23,58 B	14,01 B	17,62 B
30	43,21 A	23,76 B	13,89 B	24,97 B
Teste F	NS	**	**	**
CV (%)	52,07	51,90	45,29	57,80

Médias seguidas da mesma letra, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

Tabela 9. Valores médios de acúmulo de Mn (μg) na parte aérea e raízes de limoeiro Cravo e c. Swingle, sob diferentes níveis de Al e coletas, em hidroponia

Tratamentos	limoeiro Cravo		Citrumeleiro Swingle	
	Parte Aérea	Raízes	Parte Aérea	Raízes
1ª coleta	49,35 A	36,19 A	12,12 D	25,01 A
2ª coleta	48,84 A	51,56 A	14,80 CD	44,05 A
3ª coleta	55,59 A	47,86 A	17,51 BC	34,53 A
4ª coleta	50,02 A	41,45 A	18,83 BC	26,67 A
5ª coleta	52,00 A	42,33 A	20,74 AB	34,57 A
6ª coleta	54,55 A	49,42 A	23,90 A	40,08 A
Teste F	NS	NS	**	NS
CV (%)	12,28	37,71	23,09	64,09

Médias seguidas da mesma letra, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

As plantas de citrumelo Swingle apresentaram redução significativa nos valores médios do acúmulo de Zn a partir de 7,5 mg L⁻¹ de Al na parte aérea e nas raízes, diferindo significativamente do acúmulo de Cu pelas plantas do tratamento testemunha (Tabela 10). Nogueira *et al.* (1989) observou a mesma tendência de resultados para o Zn com outros porta-enxertos. Os valores obtidos indicaram aumento significativo no acúmulo de Zn da primeira para a sexta coleta, tanto para a parte aérea quanto para as raízes (Tabela 11), mostrando que para cada tratamento as plantas apresentaram crescimento e desenvolvimento.

De acordo com o mesmo comportamento dos demais micronutrientes, a redução do peso da matéria seca das raízes expressos na Tabela 5, pode ter diminuído a absorção do Zn a partir daí sua translocação para as folhas.

Tabela 10. Valores médios de acúmulo de Zn (μg) na parte aérea e raízes de limoeiro Cravo e c. Swingle, sob diferentes níveis de Al, em hidroponia

Tratamentos mg L ⁻¹	limoeiro Cravo		Citrumeleiro Swingle	
	Parte Aérea	Raízes	Parte Aérea	Raízes
0	86,89 A	58,27 A	11,57 A	17,63 A
7,5	83,71 A	44,76 A	8,26 B	7,55 B
15	87,51 A	53,94 A	8,76 AB	5,79 B
22,5	88,30 A	50,85 A	7,36 B	5,07 B
30	83,85 A	39,16 A	7,83 B	4,97 B
Teste F	NS	NS	*	**
CV (%)	24,50	71,75	32,92	61,94

Médias seguidas da mesma letra, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%

Tabela 11. Valores médios de acúmulo de Zn (μg) na parte aérea e raízes de limoeiro Cravo e c. Swingle, sob diferentes níveis de Al e coletas, em hidroponia

Tratamentos	limoeiro Cravo		Citrumeleiro Swingle	
	Parte Aérea	Raízes	Parte Aérea	Raízes
1ª coleta	88,71 AB	52,29 A	6,78 B	5,96 C
2ª coleta	91,86 AB	51,58 A	8,55 AB	7,17 C
3ª coleta	94,71 A	49,01 A	8,47 AB	5,77 C
4ª coleta	80,63 AB	45,14 A	8,38 AB	8,53 BC
5ª coleta	81,69 AB	55,27 A	10,28 A	10,18 AB
6ª coleta	78,71 B	43,08 A	10,06 A	11,59 A
Teste F	**	NS	**	**
CV (%)	15,81	38,95	23,89	33,56

Médias seguidas da mesma letra, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%

Alumínio. Pelos resultados médios expostos no Tabelas 5 e 12, observa-se que os diferentes tratamentos de Al não influenciaram significativamente no acúmulo de Al na parte aérea do limoeiro Cravo e do citrumeleiro Swingle. Com relação aos resultados médios encontrados para as raízes (Tabelas 5 e 12), observou-se que os mesmos tratamentos influenciaram significativamente no acúmulo de Al nas plantas em relação à testemunha, mas não houve diferença significativa entre os tratamentos com Al para os dois porta-enxertos.

Salienta-se também que, o acúmulo de Al foi maior nas raízes que na parte aérea tanto para o limoeiro Cravo como para o citrumeleiro Swingle (Tabela 12). De acordo com Chapman (1968) para a cultura dos citros, o Al quando em excesso na solução do solo, parece não ser transportado significativamente para a parte aérea, não produzindo dessa forma, sintoma de toxidez específico. Porém, é nas raízes que os sintomas de toxidez aparecem com mais clareza, exercendo desse modo, efeito indireto de redução no crescimento da parte aérea.

Os resultados médios em função das coletas para os dois porta-enxertos, expressos na Tabela 13, mostram que no decorrer do crescimento e desenvolvimento das plantas houve acúmulo gradativo de Al na parte aérea e nas raízes, o qual foi aumentando até atingir o máximo na última coleta.

Estes resultados concordam com aqueles encontrados por Wagatsuma (1983), o qual constatou que o tempo de absorção é importante para o efeito de toxicidade. Para o milho, por exemplo, o período de 30 horas não foi suficiente para proporcionar suficiente absorção de Al pelas raízes, sendo que esta somente ocorreria após a formação de sítios específicos de absorção para este elemento, produzidos pelo crescimento radicular, após o período de 30 horas de exposição ao Al.

Tabela 12. Resultados médios de acúmulo de Al (μg) na parte aérea e raízes de limoeiro Cravo e c. Swingle, sob diferentes níveis de Al, em hidroponia

Tratamentos mg L ⁻¹	limoeiro Cravo		Citrumeleiro Swingle	
	Parte Aérea	Raízes	Parte Aérea	Raízes
0	365,23 A	403,26 B	155,38 A	310,79 B
7,5	311,52 A	938,23 A	124,80 A	743,28 A
15	379,48 A	1198,22 A	132,01 A	767,27 A
22,5	348,12 A	1153,26 A	133,84 A	898,82 A
30	297,24 A	1385,88 A	138,54 A	832,65 A
Teste F	NS	**	NS	**
CV (%)	45,53	47,89	38,48	34,59

Médias seguidas da mesma letra, nas colunas, não diferem entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5%

Tabela 13. Resultados médios de acúmulo de Al (μg) na parte aérea e raízes de limoeiro Cravo e c. Swingle, sob diferentes níveis de Al e coletas, em hidroponia

Tratamentos	limoeiro Cravo		Citrumeleiro Swingle	
	Parte Aérea	Raízes	Parte Aérea	Raízes
1ª coleta	177,67 C	695,79 C	67,44 C	397,63 C
2ª coleta	201,81 C	936,57 BC	113,88 B	656,09 B
3ª coleta	365,64 B	931,03 BC	114,35 B	657,99 B
4ª coleta	356,61 B	955,51 BC	140,59 B	628,53 B
5ª coleta	467,47 A	1210,19 AB	184,61 A	904,09 A
6ª coleta	472,71 A	1365,54 A	200,63 A	1019,04 A
Teste F	**	**	**	**
CV (%)	23,63	28,08	25,21	18,16

Médias seguidas da mesma letra, nas colunas, não diferem entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5%

O valor do acúmulo de Al, encontrado nas plantas testemunhas de ambos os porta-enxertos, deveu-se provavelmente à contaminação ocorrida pelo solo constituinte do substrato utilizado para a produção destas plantas, no viveiro.

Nas condições do presente estudo pode-se concluir que o porta-enxerto citrumeleiro Swingle mostrou-se mais sensível ao Al, uma vez que 7,5 mg L⁻¹ foi capaz de promover reduções significativas na extração e no acúmulo de micronutrientes. Por outro lado, o limoeiro Cravo mostrou-se mais tolerante aos níveis de Al adotados, embora também tenham ocorrido prejuízos somente em menor intensidade.

Referências bibliográficas

Araújo, J.R.G. *Desenvolvimento e concentração mineral em três variedades-copa de citrus (Citrus spp), sob influência de*

- diferentes porta-enxertos. Botucatu, 1995. (Master's Thesis in Agronomy) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.
- Chapman, H.D. The mineral nutrition of citrus. *Citrus industry*, 2. ed. Berkeley: University of California, 49:127-274, 1968.
- Foy, C.D. Differential aluminum and manganese tolerances of plant species and varieties in acid soils. *Cienc. e Cult.*, 28(2):150-155, 1976.
- Foy, C.D.; Chaney, R.L.; White, M.C. The physiology of metal toxicity in plants. *Annu. Rev. Plant Physiol.*, 29:511-566, 1978.
- Furlani, A.M.C.; Furlani, P.R. Composição e pH de soluções nutritivas para estudos fisiológicos e seleção de plantas em condições adversas. *Bol. Téc. Inst. Agron.*, 121: 21-26, 1988.
- Haynes, R.J. Effects of liming on phosphate availability in acid soils. *Plant Soil*, 68:289-308, 1982.
- Liebig Jr., G.F.; Vanselow, A.P.; Chapman, H.D. Effects of aluminium on copper toxicity, as revealed by solution culture and spectrographic studies of citrus. *Soil Sci.*, 53:341-351, 1942.
- Lin, Z.; Myhre, D.L. Citrus root growth as affected by soil aluminum level under field conditions. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 54:1340-1344, 1990.
- Lin, Z.; Myhre, D.L. Differential response of citrus rootstocks to aluminum levels in nutrient solutions: II. Plant mineral concentrations. *J. Plant Nutr.*, 14:1239-1254, 1991.
- Luchesi, A.A. Utilização prática da análise de crescimento vegetal. *An. Esc. Super. Agric. Luiz de Queiroz*, 41:181-202, 1984.
- Malavolta, E.; Vitti, G.C.; Oliveira, S.A. *Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações*. Piracicaba: Potafos, 1989. 208 p.
- Nogueira, S.S.; Nagai, V.; Carelli, M.L.C.; Fahl, J.J. Comportamento de porta-enxertos de citros em presença de alumínio. *Pesq. Agropec. Brasil.*, 24(6):711-716, 1989.
- Pavan, M.A.; Bingham, F.T. Toxidez de alumínio em cafeeiros cultivados em solução nutritiva. *Pesq. Agropec. Brasil.*, 17(9):1293-1302, 1982.
- Pompeu Júnior, J. Porta-enxertos. In: Rodriguez, O. (Coord.). *Citricultura Brasileira*. 2.ed. Campinas: Fundação Cargill, 1991. v.1, p.265-280.
- Rajj, B. Van; Quaggio, J.A. Métodos de análise de solo para fins de fertilidade. *Bol. Tec. Inst. Agron. Campinas*, n. 81, p. 1-31, 1983.
- Rodriguez, O.; Inforzato, R.; Teófilo Sobrinho, J. Estudo do sistema radicular de três porta-enxertos cítricos em viveiros. *Rev. Brasil. Fruticult.*, 1:23-30, 1978.
- Sanches, P.A.; Salinas, G. Low input technology for managing oxisols and ultisols in Tropics. *Am. Adv. Agron.*, 34:280-406, 1981.
- Teófilo Sobrinho, J.; Caetano, A.A.; Violante Neto, A. Flórida e São Paulo: os maiores pólos citrícolas do mundo. *Laranja*, 3:233-264, 1982.
- Vasconcellos, L.A.B.C. *Comportamento de porta-enxertos de citros (Citrus spp) em três tipos de solos com diferentes níveis de alumínio e manganês*. Piracicaba, 1987. (Doctoral Thesis in Agronomy) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.
- Wagatsuma, T. Characterization of absorption sites for aluminium in the roots. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 29:499-515, 1983.

Received on November 16, 1998.

Accepted on March 29, 1999.