

CRESCIMENTO RADICULAR E NUTRIÇÃO DE CULTIVARES DE ALGODOEIRO EM RESPOSTA À CALAGEM¹

CIRO ANTONIO ROSOLEM², GERSON SILVA GIOMMO³ e RENATO LUIS BENATTI LAURENTI³

RESUMO - O crescimento radicular do algodoeiro é controlado geneticamente, mas fatores do solo como Al tóxico e baixos teores de Ca podem prejudicá-lo. Foi aplicado calcário a um Latossolo Vermelho-Escuro de textura média com 10% de saturação por bases, para se atingir 30, 50 e 70% de saturação do solo por bases (usando-se quatro níveis de saturação), com o objetivo de estudar o crescimento radicular e a nutrição de três cultivares de algodão (*Gossypium hirsutum* L., v. *latifolium* Hutch): IAC 20, IAC 22 e CNPA-ITA 90, em resposta à calagem. O experimento foi conduzido em vasos com 4 L de solo, em condições de casa de vegetação, até 37 dias após a emergência das plantas, num delineamento fatorial 3 x 4, com quatro repetições em blocos casualizados. A calagem foi necessária para um bom crescimento radicular do algodoeiro. A cultivar IAC 22 mostrou sistema radicular mais tolerante à baixa saturação por bases, em comparação com IAC 20 e CNPA-ITA 90, mas o máximo crescimento radicular ocorreu em saturação por bases ao redor de 50%, nas três cultivares. CNPA-ITA 90 foi mais exigente em K e mais tolerante ao Mn, com menor produção de matéria seca nas saturações mais altas.

Termos para indexação: *Gossypium hirsutum*, nutrientes, raízes, saturação do solo.

ROOT GROWTH AND MINERAL NUTRITION OF COTTON CULTIVARS AS AFFECTED BY LIMING

ABSTRACT - Cotton root growth is under genetic control but can be decreased by soil factors as Al toxicity and low Ca levels. Lime was applied to a Dark-Red Latosol (sandy loam) with 10% of base saturation, to raise base saturation to 30, 50 and 70%, in order to study the effects of liming on root growth and mineral nutrition of cotton (*Gossypium hirsutum* L., v. *latifolium* Hutch), cv. IAC 20, IAC 22 e CNPA-ITA 90 cultivars. The experiment was conducted in pots with 4 L of soil, under greenhouse conditions, up to 37 days after plant emergence in a 3 x 4 factorial design with four replications in randomized blocks. Liming was necessary in order to get a good cotton root growth. The IAC 22 cv. showed roots more tolerant to low soil base saturation than cv. IAC 20 and cv. CNPA-ITA 90. Maximum root growth was observed when the soil base saturation was around 50%. CNPA-ITA 90 showed a higher K absorption and was more tolerant to high Mn levels, showing a decrease in dry matter production at the highest soil base saturation.

Index terms: *Gossypium hirsutum*, nutrients, roots, soil saturation.

INTRODUÇÃO

O sistema radicular do algodoeiro cresce em comprimento até a época de pleno florescimento. Após

esse período, existe apenas incremento na matéria seca das raízes (Nayakekorala & Taylor, 1990). Esse sistema radicular é pouco volumoso, explorando pobremente certas regiões do solo, mas existem diferenças entre genótipos (Brouder & Cassman, 1990).

Embora o padrão de enraizamento esteja sob controle genético, o crescimento das raízes é modificado por fatores químicos e físicos do solo (Taylor & Arkin, 1981). A presença de Al tóxico prejudica muito o desenvolvimento radicular (Adams &

¹ Aceito para publicação em 22 de abril de 1999.

² Eng. Agrôn., Dr., Prof. Titular, Dep. de Agricultura e Melhoramento Vegetal, Faculdade de Ciências Agronômicas, UNESP, Caixa Postal 237, CEP 18603-970 Botucatu, SP. Bolsista do CNPq. E-mail: rosolem@fca.unesp.br

³ Eng. Agrôn., Curso de Pós-Graduação em Agricultura, Faculdade de Ciências Agronômicas, UNESP.

Pearson, 1970). Além disso, o crescimento radicular do algodoeiro foi inibido quando a saturação do complexo de troca do solo por Ca era menor que 17% (Adams & Moore, 1983). Por outro lado, os teores de Ca no solo tidos como críticos para o crescimento radicular variam de 2,5 a 8,0 mmol_c dm⁻³ (Adams & Moore, 1983), embora Rosolem et al. (1995) tenham encontrado resposta em crescimento de raízes de soja mesmo quando o solo apresentava originalmente um teor de 20,0 mmol_c dm⁻³ de Ca.

Silva et al. (1995) demonstraram que as maiores produtividades da cv. IAC 20 somente foram observadas quando a camada de 0 a 20 cm de profundidade do solo apresentava aproximadamente 60% de saturação por bases. Além disso, a correção subsuperficial, ou seja, a elevação da saturação do solo por bases a aproximadamente 40% até 60 cm de profundidade, concorreu para a boa produção do algodoeiro.

Por outro lado, Rosolem et al. (1998) observaram que o aumento da saturação do solo por bases até 52% foi efetivo em prevenir o decréscimo de crescimento radicular do algodão causado pela compactação do solo. Entretanto, quando efetuaram calagem para elevar a saturação do solo por bases a 66,7%, notaram decréscimo no crescimento radicular do algodoeiro IAC 20, atribuindo tal efeito a uma possível deficiência de Zn induzida pela calagem.

Estudando a interação calagem x adubação fosfatada em milho, Rosolem et al. (1994) verificaram que ocorreu aumento na superfície radicular em função da calagem somente nos tratamentos que não receberam P. Acontece que a fonte de P utilizada foi o superfosfato triplo, que contém Ca que, no caso, foi suficiente para promover o crescimento radicular. Assim, em estudos do efeito da calagem sobre o sistema radicular é importante o emprego de uma fonte de P isenta de Ca para que o resultado não seja mascarado.

Considerando que as recomendações de calagem no Estado de São Paulo foram desenvolvidas com base em resultados obtidos principalmente com a cv. IAC 20, e que podem existir diferenças genéticas, o

presente trabalho objetivou estudar a resposta à calagem, o crescimento radicular e a nutrição, comparando três cultivares de algodoeiro durante a fase de estabelecimento da cultura.

MATERIAL E MÉTODOS

Foi realizado um experimento na Faculdade de Ciências Agrônomicas, UNESP, em Botucatu, SP, em vasos de cerâmica revestida internamente com tinta betuminosa, com 4 L de material de solo proveniente da camada arável de um Latossolo Vermelho-Escuro de textura média, em ambiente de casa de vegetação.

Antes do início dos tratamentos, a análise química das amostras de material de solo (Raij & Quaggio, 1983) revelou pH 4,0; 11 g kg⁻¹ de MO; 6 mg kg⁻¹ de P; 34 mmol_c dm⁻³ de H+Al; 0,9 mmol_c dm⁻³ de K; 2,0 mmol_c dm⁻³ de Ca; 1,0 mmol_c dm⁻³ de Mg; 4,0 mmol_c dm⁻³ de SB e 38 mmol_c dm⁻³ de CTC, com saturação por bases de 10%. Foi realizada calagem com calcário dolomítico calcinado (PRNT= 105), em doses calculadas para se atingir 30, 50 e 70% de saturação por bases. A terra dos vasos foi posta em incubação úmida, com umidade de aproximadamente 80% da capacidade de retenção de água do solo, por 30 dias. Após esse período foi realizada adubação com 150 mg kg⁻¹ de P como NH₄H₂PO₄ e K₂HPO₄, 120 mg kg⁻¹ de K como cloreto de potássio, 24 mg kg⁻¹ de N como sulfato de amônio e 1,0 mg kg⁻¹ de B como bórax, que foram misturados ao solo dos vasos. Aos 16 dias após a emergência das plantas, foram aplicados, em cobertura, 50 mg kg⁻¹ de N na forma de uréia.

Foram semeadas cinco sementes por vaso de cada uma das cultivares IAC 20, IAC 22 e CNPA-ITA 90. Uma semana após a emergência, foi realizado o desbaste, deixando-se duas plantas por vaso, que foram cultivadas até 37 dias após a emergência.

Na colheita do experimento, as raízes foram separadas do solo por lavagem em água corrente sobre peneira de 0,5 mm. Foi tomada uma amostra de aproximadamente 30% do sistema radicular, e se determinou o comprimento (Tennant, 1975), raio e superfície (Hallmark & Barber, 1984). O restante do sistema radicular, assim como a parte aérea das plantas, foi secado em estufa com circulação forçada de ar, a 65°C, por três dias, pesado e moído. Amostras dos tecidos foram digeridas por via úmida com a mistura nitro-perclórica e foram analisados o P pelo método do vanado-

molibdato, o K por espectrometria de emissão, e Ca, Mg, Mn e Zn por espectrometria de absorção atômica. Para a análise de B foi feita incineração do tecido, e o nutriente foi determinado por colorimetria com Azometina-H.

O experimento foi instalado segundo um modelo fatorial com três cultivares e quatro saturações do solo por bases (três resultantes da aplicação de calcário, mais a original do solo), com quatro repetições. Foi realizada análise de variância dos resultados obtidos, separando-se as médias pelo teste t (LSD), a 5% de probabilidade. Onde apropriado, foi realizado estudo de regressões, escolhendo-se o modelo de melhor ajuste pelo maior valor do coeficiente da regressão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A produção de matéria seca de raízes aumentou de forma quadrática, nas três cultivares, apresentando o máximo em torno da saturação por bases de 50% (Fig. 1). Esse resultado confirma a observação de Rosolem et al. (1998), que notou decréscimo no sistema radicular do algodão IAC 20 quando a saturação do solo por bases foi elevada de

52 para 67%. Neste estudo, a cultivar IAC 20 sempre teve menor massa radicular que as demais. Por outro lado, a massa da parte aérea e a produção total das cultivares IAC 20 e IAC 22 apresentaram resposta positiva à calagem até 70% de saturação por bases, enquanto a CNPA-ITA 90 apresentou o máximo em torno de 40% de saturação, e produziu menor massa que as demais na saturação de 70% (Fig. 1). De fato, pelo menos para IAC 20 seria esperado esse tipo de resposta, de acordo com os resultados obtidos por Silva et al. (1995).

Não foram observados efeitos significativos dos tratamentos sobre o diâmetro das raízes secundárias, que foi, em média, 0,03 mm. Pela Fig. 2, nota-se que a cultivar IAC 22 se diferenciou das demais no crescimento radicular em comprimento e superfície, pois mostrou maior habilidade em crescer na menor saturação por bases, e apresentou resposta, em comprimento, até 70% de saturação por bases, enquanto IAC 20 e CNPA-ITA 90 apresentaram resposta quadrática com máximo em torno de 50% de

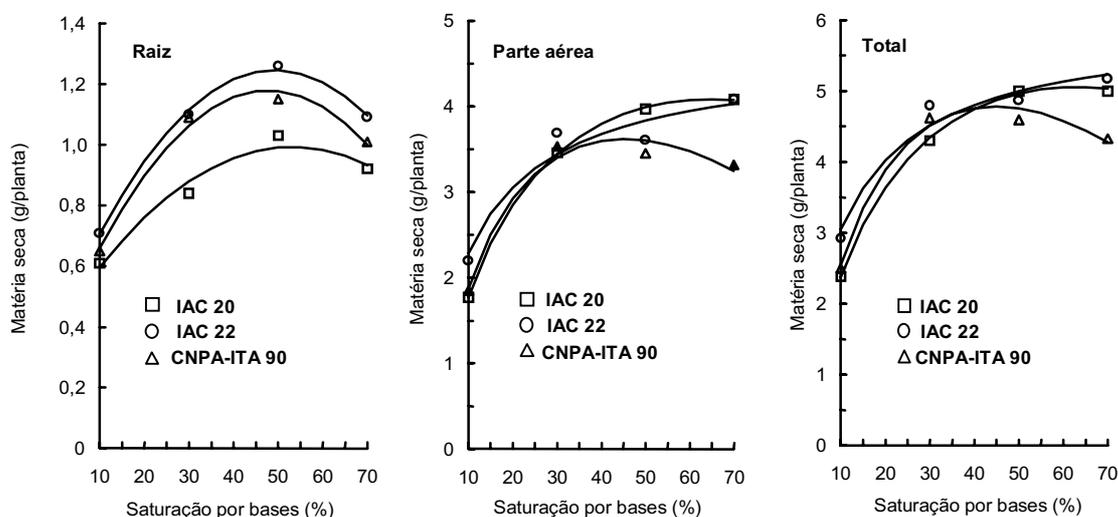


FIG. 1. Produção de matéria seca do algodoeiro em razão da cultivar e da saturação do solo por bases. Raiz: IAC 20 – $y = 0,39 + 0,02x - 0,0002x^2$, $R^2 = 0,98$; IAC 22 – $y = 0,39 + 0,03x - 0,0004x^2$, $R^2 = 0,99$; CNPA-ITA 90 – $y = 0,34 + 0,03x - 0,0004x^2$, $R^2 = 0,99$. Parte aérea: IAC 20 – $y = 2,19 + 1,56x^{1/2} - 0,097x$, $R^2 = 0,99$; IAC 22 – $y = 4,62x/(10,3 + x)$, $R^2 = 0,95$; CNPA-ITA 90 – $y = 2,60 + 1,85x^{1/2} - 0,14x$, $R^2 = 0,99$. Total: IAC 20 – $y = -2,34 + 1,86x^{1/2} - 0,117x$, $R^2 = 0,99$; IAC 22 – $y = 5,95x/(9,59 + x)$, $R^2 = 0,99$; CNPA-ITA 90 – $y = -3,3 + 2,4x^{1/2} - 0,18x$, $R^2 = 0,99$.

saturação. Nesse caso, os resultados obtidos para IAC 20 e CNPA-ITA 90 são semelhantes aos obtidos por Rosolem et al. (1998). Embora tenha sido observada diferença no padrão de resposta, não houve diferença significativa no comprimento e superfície das raízes, entre as cultivares, a partir da saturação de 30% (Fig. 2). De modo geral, pode-se inferir que o sistema radicular de IAC 22 é menos sensível à variação da saturação do solo por bases que as demais cultivares.

Não houve efeito significativo da calagem nos teores de P, K e Ca das raízes do algodoeiro. Entretanto, houve aumento nos teores de Mg e B, enquanto os teores de Mn e Zn foram diminuídos (Tabela 1). Com relação ao efeito das cultivares, somente foi notado efeito significativo para Zn, Mn e K na raiz (Tabela 2). IAC 20 apresentou os menores teores de Zn e Mn, enquanto CNPA-ITA 90 apresentou o menor teor de K.

Rosolem et al. (1998) atribuíram o menor crescimento observado na maior saturação por bases a uma possível deficiência de Zn. Neste trabalho, a parte aérea das plantas não estava deficiente em Zn, mas houve diminuição significativa nos teores desse nutriente nas raízes em função da calagem. Entretanto, o decréscimo observado não foi grande em termos absolutos, deixando dúvidas quanto ao seu efeito no crescimento radicular.

Com relação ao P, foi observada interação dos efeitos das saturações por bases com as cultivares (Fig. 3), de modo que a cv. CNPA-ITA 90 demonstrou ser mais responsiva, pois na menor saturação apresentou menor teor que as demais, mas a situação se inverteu na maior saturação. Martini & Mutters (1989) relataram que a calagem excessiva inibe o crescimento radicular, podendo até prejudicar a absorção de P, o que não foi observado no presente trabalho.

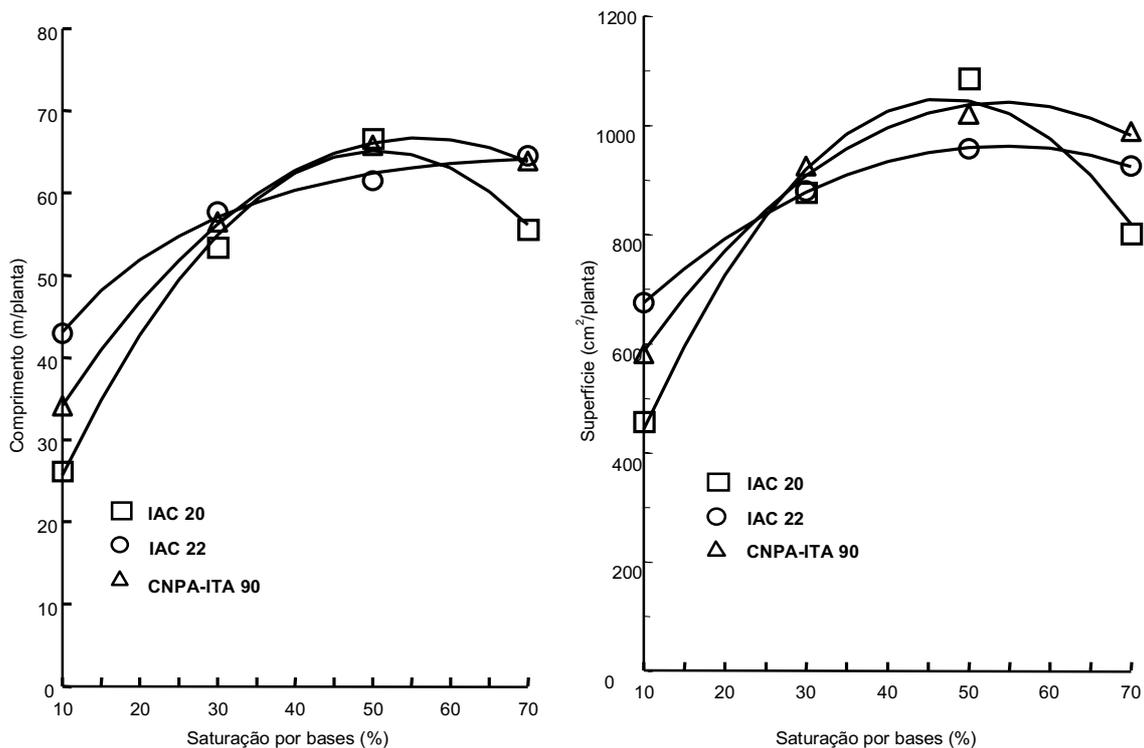


FIG. 2. Comprimento e superfície de raízes de algodoeiro em razão da cultivar e da saturação do solo por bases. Comprimento: IAC 20 – $y = 3,90 + 2,41x - 0,0238x^2$, $R^2 = 0,99$; IAC 22 – $y = 12,03 + 11,98x^{1/2} - 0,69x$, $R^2 = 0,99$; CNPA-ITA 90 – $y = 18,63 + 1,71x - 0,152x^2$, $R^2 = 0,99$.

TABELA 1. Teor de nutrientes nas raízes de algodoeiro, em razão da saturação do solo por bases¹.

Saturação (%)	Mg (g kg ⁻¹)	B	Mn (mg kg ⁻¹)	Zn
10	0,54c	109c	384a	28,4a
30	1,16b	120c	178b	26,8b
50	1,61a	167b	140c	25,5bc
70	1,72a	195a	110d	25,0c

¹ Letras diferentes nas colunas indicam diferença significativa (LSD, P < 0,05).

TABELA 2. Teor de nutrientes em algodoeiro, em razão da cultivar¹.

Cultivar	Zn na raiz (mg kg ⁻¹)	Mn na raiz	K na raiz	K na p. aérea (g kg ⁻¹)
IAC 20	25,8b	186c	12,4a	8,18b
IAC 22	27,0a	210ab	11,0ab	8,11b
CNPA-ITA 90	26,5ab	212a	9,7b	9,45a

¹ Letras diferentes nas colunas indicam diferença significativa (LSD, P < 0,05).

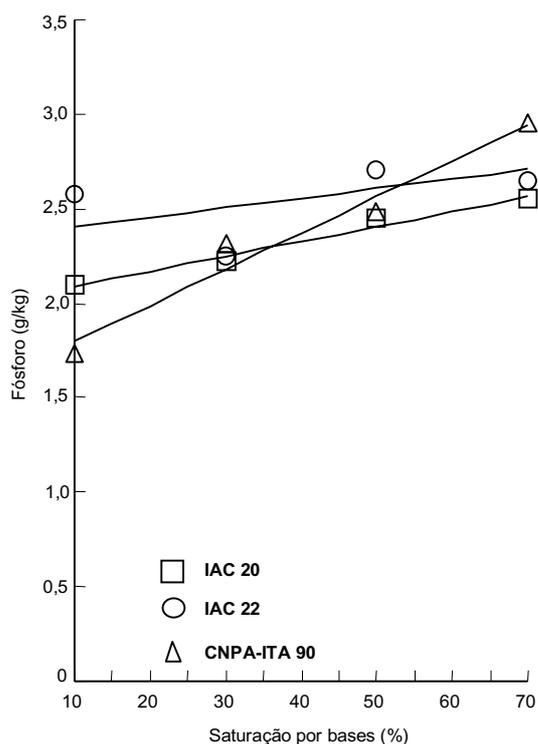


FIG. 3. Teor de fósforo na parte aérea do algodoeiro em razão da saturação do solo por bases e cultivares. IAC 20 – $y = 2,01 + 0,00799x$, $R^2 = 0,99$; IAC 22 – $y = 2,35 + 0,0052x$, $R^2 = 0,89$; CNPA-ITA 90 – $y = 1,606 + 0,0191x$, $R^2 = 0,98$.

Foi ainda observado efeito das cultivares sobre os teores de K (Tabela 2) na parte aérea das plantas, sem efeito significativo das saturações do solo por bases. A cultivar CNPA-ITA 90 mostrou-se mais exigente em K que as demais, mas é interessante notar que a translocação de K nessa cultivar é mais eficiente, uma vez que mostrou menor teor do nutriente nas raízes e maior teor na parte aérea que as cultivares IACs.

Foi verificado efeito significativo da saturação por bases nos teores de Ca, Mg e Mn (Fig. 4), porém não houve efeito de cultivares sobre esses parâmetros, e, tampouco, interação significativa. Entretanto, como esperado, houve aumento nos teores de Ca e Mg na parte aérea em resposta ao aumento na saturação por bases, ao mesmo tempo em que os teores de Mn foram diminuídos. Utilizando-se as equações ajustadas, as máximas produções de matéria seca ocorreram com 63, 70 e 44% de saturação por bases, respectivamente para IAC 20, IAC 22 e CNPA-ITA 90. Essas saturações correspondem a 69, 60 e 126 mg kg⁻¹ de Mn na parte aérea, respectivamente de IAC 20, IAC 22 e CNPA-ITA 90. É interessante notar que CNPA-ITA 90 atingiu a máxima produtividade com teores de Mn acima de 120 mg kg⁻¹ na parte aérea, enquanto as IACs somente atingiram a máxima produtividade com

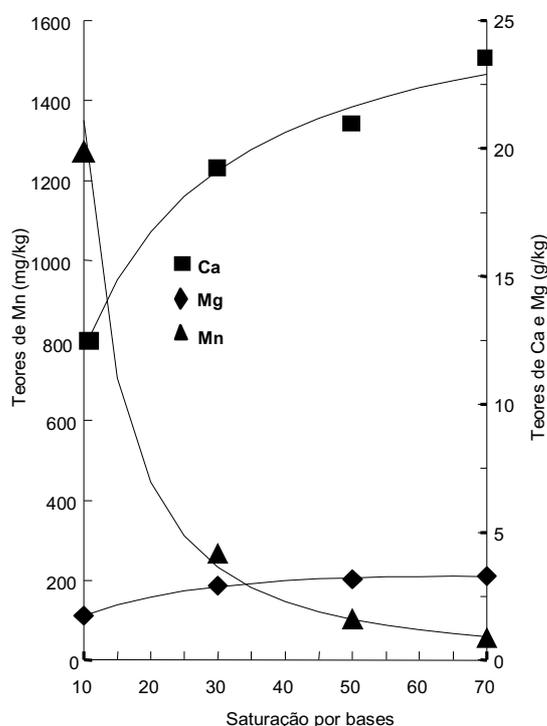


FIG. 4. Teor de Ca, Mg e Mn na parte aérea do algodoeiro em razão da saturação do solo por bases. Média de três cultivares. Ca – $y = 26,9x/(12,1 + x)$, $R^2 = 0,99$; Mg – $y = -0,99 + 1,08x^{1/2} - 0,07x$, $R^2 = 0,99$; Mn – $y = 54133x^{-1,603}$, $R^2 = 0,99$.

teores de Mn menores que 70 mg kg^{-1} . Como nas saturações por bases mais altas houve prejuízo na produção de matéria seca de CNPA-ITA 90, pode-se inferir que este material é menos sensível à toxicidade de Mn que as IACs.

Quanto aos outros nutrientes na parte aérea, não foi observado efeito significativo dos tratamentos.

Com relação à absorção de nutrientes por unidade de comprimento de raiz, notou-se resposta significativa apenas em função das saturações por bases no tocante a P, Ca, Mg e Mn. A absorção de P, Ca e Mg foi aumentada com o aumento na saturação do solo por bases (Tabela 3). Como não houve efeito das saturações por bases nos teores desses nutrientes na parte aérea da planta, é possível inferir que na menor saturação houve deficiência dos nutrientes no solo, que não permitia uma velocidade de supri-

TABELA 3. Quantidade de nutrientes absorvidos por metro de raiz de algodoeiro, em razão da saturação do solo por bases¹.

Saturação (%)	P	Ca	Mg	Mn
	(μg m ⁻¹)			
10	176b	774c	110b	80,6a
30	198ab	1259b	207a	20,4b
50	188ab	1280b	208a	8,4c
70	208a	1557a	235a	5,3c

¹ Letras diferentes nas colunas indicam diferença significativa (LSD, $P < 0,05$).

mento para manter o crescimento da planta, uma vez que houve resposta da planta à calagem, em termos de produção de matéria seca. Com a correção do solo, as raízes começaram a absorver os nutrientes em maior velocidade, suprimindo a necessidade das plantas. Na maior saturação, com prejuízo no comprimento e superfície radiculares, há um aumento nas quantidades absorvidas por unidade de comprimento radicular, que, no caso, foi suficiente para manter um bom crescimento nas cultivares IAC 20 e IAC 22.

CONCLUSÕES

1. A calagem é necessária para que ocorra bom crescimento radicular do algodoeiro.
2. A cultivar IAC 22 tem sistema radicular mais tolerante à baixa saturação do solo por bases, mas o máximo crescimento radicular é observado em saturação do solo por bases ao redor de 50%, nas três cultivares.
3. A cultivar CNPA-ITA 90 é mais exigente em K e mais tolerante ao Mn, e sofre prejuízo na produção de matéria seca da parte aérea quando a saturação do solo por bases se aproxima de 70%.
4. Com relação ao P, CNPA-ITA 90 mostra-se menos eficiente que as demais na absorção em baixas saturações por bases e mais eficiente em solo corrigido.

REFERÊNCIAS

- ADAMS, F.; MOORE, B.L. Chemical factors affecting root growth in subsoil horizons of coastal plain soils. **Soil Science Society of America. Journal**, Madison, v.47, p.99-102, 1983.

- ADAMS, F.; PEARSON, R.W. Differential response of cotton and peanuts to subsoil acidity. **Agronomy Journal**, Madison, v.62, p.9-12, 1970.
- BROUDER, S.M.; CASSMAN, K.G. Root development of two cotton cultivars in relation to potassium uptake and plant growth in vermiculite soil. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.23, p.187-203, 1990.
- HALLMARK, W.B.; BARBER, S.A. Root growth and morphology, nutrient uptake and nutrient status of early grown soybeans as affected by soil P and K. **Agronomy Journal**, Madison, v.76, p.209-212, 1984.
- MARTINI, J.A.; MUTTERS, R.G. Soybean root growth and nutrient uptake as affected by lime rates and plant age. I. Al, Mn, P and S. **Turrialba**, San José, v.389, p.1-8, 1989.
- NAYAKEKORALA, H.; TAYLOR, H.M. Phosphorus uptake rates of cotton roots at different growth stages from different soil layers. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.122, p.105-110, 1990.
- RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A. **Métodos de análise de solo para fins de fertilidade**. Campinas : Instituto Agrônomo, 1983. 31p. (Boletim técnico, 81).
- ROSOLEM, C.A.; ASSIS, J.S.; SANTIAGO, A.D. Root growth and mineral nutrition of corn hybrids as affected by phosphorus and lime. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.25, p.249-254, 1994.
- ROSOLEM, C.A.; BICUDO, S.J.; MARUBAYASHI, O.M. Soybean yield and root growth as affected by lime rate and quality. In: DATE, R.A.; GRUNDON, N.J.; RAYMENT, G.E.; PROBERT, M.E. (Eds.). **Plant soil interactions at low pH: Principles and management**. Dordrech: Kluwer, 1995. p.543-547.
- ROSOLEM, C.A.; SCHIOCHET, M.A.; SOUSA, L.S.; WITACKER, J.P.T. Root growth and cotton nutrition as affected by liming and soil compaction. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.29, p.169-177, 1998.
- SILVA, N.M.; CARVALHO, L.H.; QUAGGIO, J.A. Ensaio de longa duração com calcário e cloreto de potássio na cultura do algodoeiro. **Bragantia**, Campinas, v.54, p.353-360, 1995.
- TAYLOR, D.; ARKIN, G.F. Root zone modification fundamentals and alternatives. In: TAYLOR, H.M.; ARKIN, G.F. (Eds.). **Modifying the root environment to reduce crop stress**. St. Joseph : ASAE, 1981. p.3-16.
- TENNANT, D. A test of a modified line intersect method of estimating root length. **Journal of Ecology**, London, v.63, p.995-1001, 1975.