

EFETOS DE RELAÇÕES $\text{CaSO}_4/\text{CaCO}_3$ NA MOBILIDADE DE NUTRIENTES NO SOLO E NO CRESCIMENTO DO ALGODOEIRO⁽¹⁾

A. A. SILVA⁽²⁾, F. R. VALE⁽³⁾, L. A. FERNANDES⁽⁴⁾,
A. E. FURTINI NETO⁽⁵⁾ & J. A. MUNIZ⁽⁶⁾

RESUMO

O experimento, realizado em casa de vegetação no Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras, teve por objetivo estudar o efeito de diferentes relações de $\text{CaSO}_4/\text{CaCO}_3$, que simulam o uso de gesso e calcário, na movimentação de nutrientes no solo e no crescimento do algodoeiro, cultivar IAC-20. As proporções de $\text{CaSO}_4/\text{CaCO}_3$ utilizadas foram: 0/100, 25/75, 50/50, 75/25 e 100/0, com base em peso equivalente, além de um tratamento-testemunha, sem aplicação de CaSO_4 e CaCO_3 . Observou-se acentuada movimentação de cálcio e de sulfato em profundidade, como íons acompanhantes, com o aumento da relação $\text{CaSO}_4/\text{CaCO}_3$. Para o N-NO_3^- e Mg^{2+} , ao contrário do N-NH_4^+ e K^+ , observou-se um acúmulo em profundidade, com a elevação da relação $\text{CaSO}_4/\text{CaCO}_3$. Neste estudo, o gesso teve pouco ou nenhum efeito sobre a acidez e Al trocável presentes nas camadas subsuperficiais. A produção de matéria seca do algodoeiro foi reduzida com o aumento da relação $\text{CaSO}_4/\text{CaCO}_3$, porém, quando comparada à do tratamento-testemunha, a aplicação de gesso aumentou-a significativamente, atestando o potencial de uso do gesso agrícola.

Termos para indexação: calagem, gessagem, algodoeiro.

SUMMARY: *EFFECTS OF $\text{CaSO}_4/\text{CaCO}_3$ RATIOS ON THE MOVEMENT OF NUTRIENTS IN SOIL AND COTTON GROWTH*

The experiment was carried out in greenhouse at the Soil Science Department - Federal University of Lavras, Minas Gerais, Brazil. The objective was to study the effects of different $\text{CaSO}_4/\text{CaCO}_3$ ratios on the movement of nutrients in soil and cotton growth. The treatments

⁽¹⁾ Trabalho financiado pelo CNPq. Recebido para publicação em dezembro de 1996 e aprovado em junho de 1998.

⁽²⁾ Engenheiro-Agrônomo, Departamento de Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras - UFLA. CEP 37200-000 Lavras (MG).

⁽³⁾ Professor Titular do Departamento de Ciência do Solo, UFLA.

⁽⁴⁾ Professor Substituto do Departamento de Ciência do Solo, UFLA.

⁽⁵⁾ Professor Adjunto do Departamento de Ciência do Solo, UFLA.

⁽⁶⁾ Professor Titular do Departamento de Ciências Exatas, UFLA.

consisted of four CaSO₄/CaCO₃ percentage ratios (100/0, 75/25, 50/50, 25/75 and 0/100), in an equivalent basis. A control treatment, without application of either CaSO₄ or CaCO₃, was also established. Substantial calcium and sulfate movement downwards was observed with increasing CaSO₄/CaCO₃ ratios. On the contrary, N-NH₄⁺ and K, N-NO₃⁻ and Mg movement increased with the CaSO₄/CaCO₃ ratios. Gypsum had little or no effect on subsoil acidity and exchange aluminum. Dry matter yield of cotton was reduced with increasing CaSO₄/CaCO₃ ratios, however, as compared to the control treatment. The application of gypsum was capable of markedly reducing the negative growth effect of acid soils.

Index terms: Liming, gypsum, cotton.

INTRODUÇÃO

Os solos das áreas de cerrado, em sua maioria, são superficialmente ácidos, condição totalmente adversa para o cultivo do algodoeiro, planta bastante sensível à acidez do solo. As limitações desses solos, todavia, vão além da camada arável, atingindo as camadas subsuperficiais, onde a toxidez do alumínio e a baixa disponibilidade de cálcio são os principais fatores que impedem a maximização das produções, por limitar o desenvolvimento radicular e, conseqüentemente, a utilização de água e de nutrientes em profundidade. Dessa forma, práticas que visem à neutralização do alumínio tóxico e à elevação dos teores de cálcio são essenciais para o cultivo do algodoeiro em tais condições.

Existem alternativas à calagem para promover maior aprofundamento do sistema radicular, principalmente práticas envolvendo alterações das propriedades químicas do subsolo e o cultivo de variedades tolerantes. Em condição de campo, tem-se observado uma boa eficiência do sulfato de cálcio em promover a movimentação do cálcio para as camadas subsuperficiais (Farina & Channon, 1988).

O efeito da neutralização e a conseqüente redução na atividade do Al³⁺ na solução do solo com o uso de gesso ainda são objeto de estudo. Os mecanismos propostos incluem o deslocamento do alumínio pelo cálcio e, conseqüentemente, lixiviação do alumínio solúvel. Segundo Oates & Caldwell (1985), a forma AlSO₄⁺ é de lixiviação mais fácil do que as demais formas de alumínio. Outro mecanismo seria a redução da atividade do alumínio pela formação de pares iônicos com o íon sulfato e aumento da concentração de cálcio (Summer et al., 1986).

A redução na saturação de alumínio, quando se usa gesso, é apenas uma diluição com cálcio, pois a formação do par iônico AlSO₄⁺ não deve ser considerada uma reação de neutralização, por se tratar apenas de uma associação de íons que acontece na solução, com cancelamento mútuo de cargas, mas sem transferência de prótons (Raij, 1988). Apesar de ser essa associação benéfica ao desenvolvimento radicular, o complexo AlSO₄⁺

formado é de baixa estabilidade e se desfaz por diluição da solução, deixando Al³⁺ livre novamente para ser absorvido pelas raízes. Possivelmente, essa dissociação ocorre distante da zona das raízes, uma vez que o AlSO₄⁺ é mais lixiviado do que o alumínio livre (Oates & Caldwell, 1985), evidenciando que o mecanismo básico de ação do gesso em reduzir a fitotoxidez do alumínio não está bem elucidado.

Além da movimentação descendente de cálcio, a aplicação de gesso pode ocasionar lixiviação de potássio e magnésio nas formas de K₂SO₄⁰ e MgSO₄⁰ (Pavan et al., 1984), indicando que a gessagem em substituição à prática da calagem, visando minimizar os efeitos da acidez do solo, pode não ser a recomendada. Por outro lado, não há dúvidas do potencial de uso do gesso na melhoria das propriedades químicas das camadas subsuperficiais dos solos sob cerrado, devido principalmente ao baixo teor de cálcio da maioria desses solos.

Quando se avalia o potencial de uso do gesso agrícola, há necessidade de comparar doses e proporções gesso/calcário para as diferentes relações solo-planta, considerando as várias causas de deficiente crescimento das raízes em subsolos ácidos e o comportamento diferencial das plantas quanto à acidez. O presente trabalho objetivou avaliar a movimentação de nutrientes no solo, bem como a produção de matéria seca do algodoeiro, quando da aplicação de diferentes relações CaSO₄/CaCO₃.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi realizado em casa de vegetação do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras, utilizando um Latossolo Vermelho-Amarelo (LVd) textura argilosa fase cerrado, sob vegetação natural, escolhido pelo baixo teor de cálcio, notadamente na superfície (Quadro 1).

O material de solo foi coletado nas camadas de 0-20, 20-40 e 40-60 cm de profundidade. Após secagem ao ar, o material de solo foi passado em peneira de

Quadro 1. Principais características⁽¹⁾ químicas e físicas do LVd, em diferentes profundidades, antes dos tratamentos com CaSO_4 e CaCO_3

| Característica | Profundidade | | |
|--|--------------|-------|-------|
| | 0-20 | 20-40 | 40-60 |
| | cm | | |
| pH (H_2O 1:2,5) | 5,2 | 5,2 | 5,3 |
| P, mg dm^{-3} , Mehlich-1 | 1 | 1 | 1 |
| K, mg dm^{-3} , Mehlich-1 | 32 | 16 | 10 |
| Ca^{2+} , $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, KCl 1 mol L^{-1} | 5 | 3 | 2 |
| Mg^{2+} , $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, KCl 1 mol L^{-1} | 1 | 1 | 1 |
| Al^{3+} , $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, KCl 1 mol L^{-1} | 6 | 4 | 1 |
| H + Al, $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ | 36 | 27 | 21 |
| S, $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ | 7 | 4 | 3 |
| CTC, $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ | 13 | 8 | 4 |
| T, $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ | 43 | 31 | 24 |
| m, % | 46 | 50 | 25 |
| V, % | 16 | 13 | 12 |
| Areia, g kg^{-1} | 320 | 300 | 280 |
| Silte, g kg^{-1} | 230 | 230 | 410 |
| Argila, g kg^{-1} | 450 | 470 | 310 |

⁽¹⁾ Análises realizadas no Departamento de Ciência do Solo - Universidade Federal de Lavras.

5 mm e acondicionado em colunas de PVC com 20 cm de diâmetro, constituídas de três anéis de 20 cm de comprimento. A seqüência do solo nas colunas seguiu a disposição natural no campo, isto é, a camada de 0-20 cm ocupou o anel superior; a de 20-40 cm, o anel central, e a de 40-60 cm, o anel inferior.

A necessidade de calcário, para estabelecimento do referencial com 100% de CaCO_3 , foi determinada, visando à elevação da saturação por bases para 70%. A partir da dose total de calcário recomendada, estabeleceram-se diferentes proporções de $\text{CaSO}_4/\text{CaCO}_3$, pela aplicação de $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ em substituição a 0, 25, 50, 75 e 100% do CaCO_3 , com base em peso equivalente. Um sexto tratamento, representando a testemunha, refere-se à não aplicação de CaCO_3 e $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

Os tratamentos foram formulados com a utilização de CaCO_3 e $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ p.a. misturados a 6 kg de solo, correspondentes à camada de 0-20 cm. Após essa aplicação, toda a coluna de material de solo passou por um período de incubação de 30 dias, com manutenção da umidade em torno da capacidade de campo. Terminado o período de incubação, efetuou-se uma lavagem do solo por meio de gotejamento lento com quatro litros de água aplicados durante seis horas, usando dispositivo de suprimento de soro, até coletar 200 mL de solução na base da coluna. A coleta de água percolada encerrou-se doze horas após o início da sua aplicação. Com esse procedimento, antes do plantio, procurou-se simular uma condição de movimentação do gesso no campo que necessita de significativa infiltração de água no perfil do solo. Ressalte-se que a condição de percolação da água

entre as colunas foi bastante homogênea, considerando-se o volume gasto para coletar os 200 mL de água percolada por coluna. Foi efetuada uma adubação básica, na camada de 0-10 cm, dez dias antes do plantio, aplicando-se (mg kg^{-1}): 50 de N; 125 de P; 125 de K; 33 de S e 93 de Mg, utilizando-se as fontes $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$; KH_2PO_4 , $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$. Foi aplicada, também, uma solução de micronutrientes, suprimindo cada coluna com 720 mg de ZnSO_4 , 290 mg H_3BO_3 , 360 mg MnCl_2 , 180 mg CuCl_2 , 20 mg H_2MoO_4 e 0,5 mg de FeEDTA.

O cultivar de algodoeiro utilizado foi o IAC-20, semeando-se sete sementes por coluna. Antes da primeira adubação em cobertura, foi feito o desbaste, deixando-se uma planta por coluna. A adubação em cobertura, em três parcelamentos, foi efetuada em intervalos de quinze dias após o plantio, sendo as duas primeiras com 50 mg kg^{-1} de N, na forma de uréia, e 37 mg kg^{-1} de K, na forma de KH_2PO_4 , e a terceira com apenas 50 mg kg^{-1} de N, também na forma de uréia. Após cada adubação em cobertura, efetuou-se nova lavagem do solo com água destilada, até coletar cerca de 200 mL de solução na base da coluna. Nesse caso, a quantidade de água aplicada variou entre os tratamentos.

Durante o experimento, as colunas foram periodicamente pesadas, repondo-se com água destilada o volume de água evapotranspirada, mantendo aproximadamente 60% do volume total de poros ocupados com água.

O algodoeiro foi colhido aos 90 dias do plantio, sendo determinada a produção de matéria seca da parte aérea. As colunas foram septadas a cada 10 cm, sendo as raízes coletadas, lavadas e secas para determinação da matéria seca e do comprimento das raízes de acordo com o método de Newman (1966), obtido por meio da pesagem do sistema radicular de cada planta e medição e pesagem de uma amostra representativa do sistema radicular.

Nas amostras de solo, coletadas a cada 10 cm da coluna, determinaram-se o pH em água, os teores de nitrato e amônio pelo método semimicro Kjeldahl (Bremner & Edwards, 1965), Ca, Mg e Al trocáveis (Vettori, 1969), P e K extraídos com Mehlich-1 e analisados, respectivamente, por colorimetria e fotometria de chama (Vettori, 1969), e S-SO_4^{2-} , por turbidimetria (Blanchar et al., 1965).

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, com seis tratamentos (relações percentuais de $\text{CaSO}_4/\text{CaCO}_3$ de 0/0, 100/0, 75/25, 50/50, 25/75 e 0/100, com base em peso equivalente) e quatro repetições.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O aumento do teor do cálcio trocável em profundidade, principalmente nas camadas de 20-30

e 30-40 cm, revelou movimentação de cálcio (Quadro 2). Tal aumento implicou na redução do teor de cálcio trocável nas camadas de 0-10 e 10-20 cm, com a elevação da proporção $\text{CaSO}_4/\text{CaCO}_3$ (Quadro 2). O enriquecimento das camadas subsuperficiais com o cálcio, quando da adição de sulfato de cálcio no solo, também foi observado por Pavan et al. (1984) e Dias et al. (1994). Ressalte-se, entretanto, que o enriquecimento das camadas subsuperficiais com cálcio depende também da quantidade de CaCO_3 aplicada (Dalbó et al., 1986).

Comparando com a testemunha, percebe-se que a total substituição do CaCO_3 pelo CaSO_4 promoveu o enriquecimento das camadas subsuperficiais em cálcio da ordem de $9,3 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, para a camada de 20-30 cm; de $6,6 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, para a camada de 30-40 cm, de $2,1 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, para a camada de 40-50 cm, e de $0,5 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, para a camada de 50-60 cm. Tal enriquecimento é bastante expressivo, se for considerada a baixa CTC efetiva, bem como a elevada saturação em alumínio do solo utilizado, embora, nas camadas de 40-50 e 50-60 cm, os teores de cálcio não tenham diferido significativamente entre os tratamentos testados (Quadro 2). A movimentação de cálcio em profundidade, quando aplicado na forma de carbonato, pode estar relacionada com a utilização de CaCO_3 puro micropulverizado, favorecendo o maior arraste pela água percolada de partículas não dissociadas.

Com relação ao magnésio trocável (Quadro 2), apesar de não ter sido observada variação significativa do seu teor, em função do uso de diferentes relações $\text{CaSO}_4/\text{CaCO}_3$, nota-se que, quanto maior a quantidade de CaSO_4 aplicada, maior foi a tendência de movimentação do magnésio em profundidade. Tal fato pode ser constatado pelo aumento no teor de magnésio na camada de 30-40 cm (Quadro 2) de cerca de duas vezes, quando da aplicação de 100% de $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ em comparação com 100% de CaCO_3 ou com a testemunha. Esse aumento é bastante expressivo em termos agrônômicos. De qualquer forma, a lixiviação de magnésio seguiu a mesma tendência observada por Pavan et al. (1984); Dalbó et al. (1986); Farina & Channon (1988) e Dias et al. (1994).

Para o potássio (Quadro 2), não foi observada movimentação em profundidade, corroborando os resultados de Farina & Channon (1988), mas em desacordo com os de Pavan et al. (1984) e Dalbó et al. (1986). A ausência de lixiviação de potássio, nesse estudo pode ser atribuída à prática da adubação potássica em cobertura, inclusive feita de forma parcelada. Assim sendo, tal manejo para a adubação potássica, associado à prática da calagem, pode ser útil para minimizar a perda de potássio, com potencial de ocorrência quando se utiliza o gesso no campo.

Com o aumento na quantidade de CaSO_4 , observou-se expressivo aumento no teor de S-SO_4^{2-} no solo, até à camada de 30-40 cm (Quadro 2). A

Quadro 2. Teores de cálcio, magnésio, potássio e enxofre nas diversas profundidades, em função dos tratamentos com diferentes relações $\text{CaSO}_4/\text{CaCO}_3$

| Profundidade | Relação $\text{CaSO}_4/\text{CaCO}_3$ | | | | | |
|--------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 0/0 | 100/0 | 75/25 | 50/50 | 25/75 | 0/100 |
| cm | Cálcio, $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ | | | | | |
| 0 - 10 | 4,5 b ⁽¹⁾ | 9,5 a | 9,6 a | 11 a | 12 a | 13 a |
| 10 - 20 | 5,5 d | 11 bc | 12 bc | 13 b | 15 ab | 18 a |
| 20 - 30 | 5,7 b | 15 a | 16 a | 15 a | 1 b | 13 a |
| 30 - 40 | 5,4 b | 12 a | 13 a | 11 a | 6 b | 6,2 b |
| 40 - 50 | 5,4 a | 7,5 a | 7 a | 6,5 a | 4,8 a | 5,4 a |
| 50 - 60 | 5,5 a | 6 a | 5 a | 5,5 a | 4 a | 4 a |
| | Magnésio, $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ | | | | | |
| 0 - 10 | 5,1 a | 5,9 a | 4,9 a | 4 a | 3,8 a | 5,1 a |
| 10 - 20 | 5,9 a | 4,1 a | 6,1 a | 3,9 a | 3,7 a | 5 a |
| 20 - 30 | 3,8 a | 4,1 a | 4 a | 4 a | 4,3 a | 3,9 a |
| 30 - 40 | 2,0 a | 4 a | 5 a | 4 a | 2 a | 2 a |
| 40 - 50 | 1 a | 2 a | 1,1 a | 1,5 a | 1 a | 1 a |
| 50 - 60 | 1,1 a | 1,1 a | 1,1 a | 1,5 a | 1 a | 1 a |
| | Potássio, mg dm^{-3} | | | | | |
| 0 - 10 | 100 a | 69 b | 70 b | 67 b | 72 b | 59 b |
| 10 - 20 | 79 a | 51 b | 60 b | 69 ab | 42 cd | 33 d |
| 20 - 30 | 30 a | 22 a | 21 ab | 20 ab | 8 c | 10 bc |
| 30 - 40 | 31 a | 21 ab | 21 ab | 10 b | 15 b | 11 b |
| 40 - 50 | 30 a | 20 ab | 20 ab | 29 ab | 20 ab | 15 b |
| 50 - 60 | 29 a | 19 ab | 19 ab | 19 ab | 18 ab | 12 b |
| | S-sulfato, mg dm^{-3} | | | | | |
| 0 - 10 | 31 c | 52 b | 71 a | 48 b | 33 c | 28 c |
| 10 - 20 | 35 c | 61 b | 81 a | 55 b | 41 c | 19 d |
| 20 - 30 | 2 d | 68 a | 68 a | 58 a | 48 b | 17 c |
| 30 - 40 | 1 d | 52 a | 51 a | 31 b | 13 c | 2 d |
| 40 - 50 | 5 a | 4 a | 4 a | 5 a | 3 a | 4 a |
| 50 - 60 | 1 a | 6 a | 5 a | 6 a | 5 a | 3 a |

⁽¹⁾ Médias seguidas pela mesma letra, na linha, não diferem entre si (Tukey 5%).

movimentação de sulfato em profundidade parece ter ocorrido predominantemente como ânion acompanhante do cálcio. Entretanto, ressalta-se que, na camada de 40-50 cm, ao contrário do cálcio, não houve aumento no teor de sulfato (Quadro 2), indicando que o sulfato não deve ter sido o único ânion acompanhante do cálcio, em seu movimento descendente. A divergência entre os padrões de acumulação de cálcio e enxofre quando da aplicação de gesso no cultivo do milho no campo fez com que Farina & Channon (1988) propusessem certo papel para o nitrato como íon acompanhante do cálcio, no seu movimento descendente no perfil do solo.

Com relação ao N-NH_4^+ , não se observou efeito dos tratamentos sobre sua movimentação no solo (Quadro 3). Por outro lado, notou-se acúmulo de amônio em profundidade para a testemunha. Possivelmente, tal acúmulo se deveu à redução da taxa de nitrificação, decorrente da acidez do solo e do menor consumo pelas plantas sob tal condição.

Para o N-NO_3^- , ao contrário do amônio, observou-se acentuado acúmulo em profundidade (Quadro 3). Tal comportamento revela a possibilidade de perdas

mais expressivas de nitrato por lixiviação, quando da aplicação de gesso para o algodoeiro. Raij (1988) verificou maior absorção de nitrato do subsolo pelo sorgo, quando da aplicação de gesso, provavelmente pelo fato de o gesso ter promovido maior crescimento radicular em profundidade. Ao que tudo indica, o esgotamento diferencial em nutrientes do subsolo ácido, em função da minimização da acidez promovida pelo gesso, deve depender da tolerância das espécies vegetais à acidez do solo.

A diminuição da relação $\text{CaSO}_4/\text{CaCO}_3$ promoveu sensível decréscimo no teor de Al^{3+} , nas camadas de 0-10 e 10-20 cm (Quadro 3). A total substituição do CaSO_4 pelo CaCO_3 acarretou a redução do teor de Al^{3+} na ordem de $5,4 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, para a camada de 0-10 cm; de $5,6 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, para a camada de 20-30 cm, e de $1,3 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, para a camada de 30-40 cm, quando comparado com a testemunha. A redução em profundidade foi bem menos expressiva, mesmo porque o teor natural de Al^{3+} no subsolo é bastante baixo. É provável que a redução no teor de alumínio se deva ao deslocamento de OH^- por SO_4^{2-} da superfície de óxidos hidratados de ferro e alumínio com conseqüente neutralização parcial do alumínio (Raján, 1978).

Vale destacar que reduções mais significativas no teor de Al^{3+} , do que as observadas no presente estudo com o uso de $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ puro, foram observadas por Guilherme (1986), com o uso do gesso agrícola. Nesse sentido, segundo Oates & Caldwell (1985), o gesso agrícola contém flúor como impureza, o qual complexa alumínio e favorece sua lixiviação para camadas mais profundas do solo. Esse fato foi constatado por Farina & Channon (1988), ao observarem lixiviação de Al^{3+} abaixo de 90 cm de profundidade. Todavia, deve-se ressaltar que as reduções no teor de alumínio trocável causadas pelo $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, que, a princípio, parecem pouco significativas, são de grande importância, em conseqüência da baixa CTC efetiva do solo em estudo (Quadro 1).

Observou-se maior eficiência do CaCO_3 , quando comparado com CaSO_4 , em reduzir a acidez do solo, notadamente nas camadas superficiais (Quadro 3). Com redução da relação $\text{CaSO}_4/\text{CaCO}_3$, houve uma tendência de aumento no valor de pH do solo nas camadas de 0-10 e 10-20 cm (Quadro 3). Todavia, em relação à testemunha, mesmo nas camadas superficiais, o CaSO_4 apresentou apreciável capacidade de reduzir a acidez do solo (Quadro 3). Nesse sentido, é interessante observar que em profundidade, na camada de 30-40 cm, houve um aumento no pH do solo com a elevação da relação $\text{CaSO}_4/\text{CaCO}_3$. O aumento do pH do solo com a utilização do CaSO_4 puro ou de gesso foi também observado por Raij (1988), sendo basicamente atribuído a uma reação de troca de ligantes na superfície das partículas de solo, envolvendo óxidos hidratados de ferro e alumínio com SO_4^{2-} , deslocando OH^- para a solução do solo e, assim, promovendo neutralização parcial da acidez.

Quadro 3. Teores de amônio, nitrato, alumínio e pH nas diversas profundidades, em função dos tratamentos com diferentes relações $\text{CaSO}_4/\text{CaCO}_3$

| Profundidade | Relação $\text{CaSO}_4/\text{CaCO}_3$ | | | | | |
|--------------|---|--------|--------|--------|--------|------|
| | 0/0 | 100/0 | 75/25 | 50/50 | 25/75 | 0/1 |
| cm | N-amônio, mg dm^{-3} | | | | | |
| 0 - 10 | 40 a ⁽¹⁾ | 41 a | 42 a | 42 a | 42 a | 48 a |
| 10 - 20 | 49 a | 39 a | 43 a | 40 a | 51 a | 41 a |
| 20 - 30 | 53 a | 45 a | 48 a | 48 a | 40 a | 48 a |
| 30 - 40 | 60 a | 43 a | 49 a | 49 a | 50 a | 50 a |
| 40 - 50 | 82 a | 53 c | 55 c | 61 b | 60 b | 67 b |
| 50 - 60 | 78 a | 63 b | 50 c | 59 b | 63 b | 68 b |
| | N-nitrato, mg dm^{-3} | | | | | |
| 0 - 10 | 9,1 a | 4,9 b | 4,8 b | 3,8 b | 5,0 b | 3,9 |
| 10 - 20 | 9,7 a | 6,2 b | 6,5 b | 4,2 b | 4,8 b | 3,8 |
| 20 - 30 | 8,7 ab | 9,8 a | 8,1 b | 7,0 b | 7,1 b | 5,9 |
| 30 - 40 | 9,6 a | 8,7 ab | 8,2 b | 8,1 b | 7,9 b | 7,9 |
| 40 - 50 | 9,0 a | 9,7 a | 9,8 a | 7,1 b | 7,5 b | 7,5 |
| 50 - 60 | 6,5 a | 7,3 a | 6,4 a | 4,5 b | 5,5 b | 4,3 |
| | Alumínio, $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ | | | | | |
| 0 - 10 | 7,3 a | 5,5 b | 4,2 c | 2,3 d | 1,9 d | 1,9 |
| 10 - 20 | 6,5 a | 4,0 b | 2,4 c | 2,1 c | 1,8 c | 0,9 |
| 20 - 30 | 2,3 a | 1,8 a | 1,0 b | 1,0 b | 1,0 b | 1,0 |
| 30 - 40 | 2,2 a | 1,8 a | 1,0 b | 0,9 b | 1,0 b | 2,0 |
| 40 - 50 | 1,0 ab | 1,0 ab | 0,9 b | 1,0 ab | 1,7 a | 1,5 |
| 50 - 60 | 1,2 a | 1,2 a | 0,9 a | 0,9 a | 0,9 a | 1,0 |
| | pH | | | | | |
| 0 - 10 | 4,6 b | 5,1 ab | 5,2 ab | 5,4 ab | 5,5 a | 5,6 |
| 10 - 20 | 4,7 d | 4,9 cd | 5,1 bc | 5,5 b | 5,6 b | 6,0 |
| 20 - 30 | 4,5 b | 5,0 a | 5,3 a | 5,3 a | 5,2 a | 5,1 |
| 30 - 40 | 4,8 b | 5,2 a | 5,1 ab | 5,1 ab | 4,9 ab | 4,9 |
| 40 - 50 | 5,3 a | 5,3 a | 5,3 a | 5,5 a | 5,5 a | 5,5 |
| 50 - 60 | 5,8 a | 5,4 b | 5,5 ab | 5,5 ab | 5,8 a | 5,8 |

⁽¹⁾ Médias seguidas pela mesma letra, na linha, não diferem entre si (Tukey 5%).

O quadro 4 apresenta o efeito dos diferentes tratamentos sobre o crescimento do sistema radicular do algodoeiro. No geral, observa-se acentuado aumento no crescimento de raízes com o uso de CaSO_4 e/ou CaCO_3 , quando se compara com a testemunha. Todavia, até a profundidade de 30 cm, observa-se efeito menos pronunciado da substituição do CaSO_4 pelo CaCO_3 sobre o crescimento radicular. Baseado nisso, ressalta-se, ainda, que o comprimento total de raízes aumentou em cerca de 20% com a total substituição do CaSO_4 pelo CaCO_3 , como pode ser calculado pelos dados apresentados no quadro 4.

Ao que tudo indica, o efeito depressivo do CaSO_4 sobre o crescimento das raízes, principalmente nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, parece ter sido exercido pelo maior acúmulo de enxofre nessas camadas (Quadro 2), ocasionando possíveis distúrbios nutricionais ligados ao metabolismo do nitrogênio e fósforo. Farina & Channon (1988) constataram redução na densidade de raízes de milho em camadas de solo com o acúmulo de enxofre. Segundo esses autores, o efeito depressivo do enxofre

é devido a distúrbios nutricionais, mais provavelmente ligados ao metabolismo do nitrato. No entanto, Vilela et al. (1995) obtiveram resposta à produção de grãos de soja e de milho com a aplicação de doses crescentes de enxofre na forma de gesso e flor de enxofre, até 432 kg ha⁻¹ de enxofre.

Pelo comportamento diferencial do CaSO₄ em relação ao crescimento radicular, aumentando-o em profundidade e reduzindo-o nas camadas superficiais, destaca-se a necessidade de aprofundar o estudo do efeito do gesso sobre o crescimento radicular, com especial atenção na definição de doses para diferentes relações solo-planta. O menor crescimento radicular nas camadas de 0-10 e 10-20 cm, proporcionado pelas relação CaSO₄/CaCO₃ mais elevadas, pode ser atribuído à menor quantidade efetiva de corretivo atuante na modificação da acidez do solo.

Quando comparado com a testemunha, observa-se que o uso de apenas CaSO₄ permitiu um aumento de cerca de 25 vezes na produção de matéria seca da parte aérea (0,67 g de matéria seca por planta na testemunha contra 17,36 g por planta com aplicação de CaSO₄) do algodoeiro (Quadro 5). Esse expressivo efeito do CaSO₄, ao que tudo indica, está ligado à minimização das condições adversas inerentes à acidez do solo; ao aumento do teor de cálcio (Quadro 2); à redução do alumínio tóxico e à elevação do pH (Quadro 3). Ainda, a melhoria das condições químicas do solo promovida pela aplicação de apenas CaSO₄ refletiu em um aumento de 4,8 vezes no crescimento radicular (Quadro 4), com conseqüente aumento na produção de matéria seca da parte aérea (Quadro 5). Conforme já ressaltado, o algodoeiro é uma espécie vegetal das mais sensíveis à acidez do solo, principalmente em relação à deficiência de cálcio e toxidez por alumínio.

Todavia, embora o CaSO₄ promova maior crescimento do algodoeiro em solos ácidos, deve-se destacar que os dados do quadro 5 mostram que a

Quadro 5. Produção de matéria seca da parte aérea e raiz e relação raiz/parte aérea, em função dos tratamentos com diferentes relações CaSO₄/CaCO₃

| Relação CaSO ₄ /CaCO ₃ | Parte aérea | Raiz | Relação raiz/parte aérea |
|--|-----------------------|--------|--------------------------|
| — g/planta — | | | |
| 0/0 | 0,67 d ⁽¹⁾ | 0,55 c | 0,82 a |
| 0/100 | 33,24 a | 5,98 a | 0,18 b |
| 25/75 | 24,63 b | 3,94 b | 0,16 b |
| 50/50 | 24,61 b | 3,93 b | 0,16 b |
| 75/25 | 21,70 bc | 3,91 b | 0,18 b |
| 100/0 | 17,36 c | 2,95 b | 0,17 b |

⁽¹⁾ Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si (Tukey 5%).

produção de biomassa da parte aérea do algodoeiro foi reduzida, mesmo com a substituição de apenas 25% do CaCO₃ à semelhança do observado para o crescimento radicular (Quadro 4).

Tal efeito depressivo do CaSO₄, assim como observado para o crescimento do sistema radicular, parece estar ligado, além daqueles decorrentes da menor quantidade de corretivo da acidez do solo, a distúrbios nutricionais causados, possivelmente, pela absorção de quantidades excessivas de enxofre do solo, notadamente distúrbios ligados à interação desse nutriente com a assimilação do nitrogênio e de fósforo. Segundo Haddad (1983), determinadas espécies vegetais apenas crescem satisfatoriamente se houver um balanço adequado de disponibilidade de nitrogênio, fósforo e enxofre no solo. Portanto, apesar de o algodoeiro ser considerado uma espécie muito exigente em enxofre (Gaines & Phatak, 1982), deve-se atentar para os referidos distúrbios, quando da definição de doses de gesso a serem usadas.

Quadro 4. Comprimento radicular nas diversas profundidades, em função dos tratamentos com diferentes relações CaSO₄/CaCO₃

| Profundidade | Relação CaSO ₄ /CaCO ₃ | | | | | |
|--------------|--|---------|--------|--------|--------|--------|
| | 0/0 | 100/0 | 75/25 | 50/50 | 25/75 | 0/100 |
| cm | Comprimento do sistema radicular (cm) | | | | | |
| 0 - 10 | 900 b ⁽¹⁾ | 2802 a | 2910 a | 3102 a | 3300 a | 3202 a |
| 10 - 20 | 400 b | 1800 ab | 2001 b | 2801 a | 3201 a | 2951 a |
| 20 - 30 | 304 c | 2005 b | 2102 b | 1900 b | 2804 a | 3000 a |
| 30 - 40 | 200 b | 1902 a | 2003 a | 1811 a | 1952 a | 1901 a |
| 40 - 50 | 100 b | 1100 a | 1201 a | 901 a | 851 a | 954 a |
| 50 - 60 | 150 c | 1000 a | 1101 a | 852 ab | 800 b | 900 a |

⁽¹⁾ Médias seguidas pela mesma letra, na linha, não diferem entre si (Tukey 5%).

CONCLUSÕES

1. Com o aumento da relação $\text{CaSO}_4/\text{CaCO}_3$ houve acentuada movimentação de cálcio e sulfato em profundidade.

2. Não se observou efeito da relação $\text{CaSO}_4/\text{CaCO}_3$ sobre a movimentação em profundidade de amônio e potássio. Todavia, do ponto de vista agrônomo, a movimentação de magnésio foi bastante expressiva.

3. A adição de apenas CaSO_4 aumentou a produção de matéria seca e o crescimento das raízes de algodoeiro em profundidade, atestando o potencial de uso do gesso agrícola, principalmente em espécies mais sensíveis à acidez.

LITERATURA CITADA

- BLANCHARD, R.W.; REHM, G. & CALDWELL, A.C. Sulfur in plant material digestion nitric and perchloric acids. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 29:71-72, 1965.
- BREMNER, J.M. & EDWARDS, H.P. Determination and isotope ratio analysis of different form of nitrogen in soils. I. Apparatus and procedures for distillation and determination for ammonium. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 29:504-507, 1965.
- DALBÓ, M.A.; RIBEIRO, A.C.; COSTA, L.M.; THIEBAUT, J.T.L. & NOVAIS, R.F. Efeito da adição de diferentes fontes de cálcio em colunas de solo cultivadas com cana-de-açúcar. I Resposta da planta. *R. Bras. Ci. Solo*, 10:231-234, 1986.
- DIAS, L.E.; ALVAREZ V, V.H.; COSTA, L.M. & NOVAIS, R.F. Distribuição de algumas formas de enxofre em colunas de solos tratados com diferentes doses de fósforo e gesso. *R. Bras. Ci. Solo*, 18:373-380, 1994.
- FARINA, N.P.W. & CHANNON, P. Acid-subsoil amelioration. II. Gypsum effect on growth and subsoil chemical properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 52:169-175, 1988.
- GAINES, T.P. & PHATAK, S.C. Sulfur fertilization effects on the constancy of the protein N:S ratio in low and high sulfur accumulating crops. *Agron. J.*, 74:415-418, 1982.
- GUILHERME, M.R. Efeitos da aplicação de calcário calcinado, gesso e mistura calcário calcinado e gesso em culturas de interesse econômico. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1986. 63p. (Tese de Mestrado)
- HADDAD, C.M. Efeito do enxofre na forma de gesso, sobre a produção e qualidade do capim colômbio (*Panicum maximum* Jacq). Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1983. 115p. (Tese de Doutorado)
- NEWMAN, E.I. A method of estimating the total length of root in a sample. *J. Appl. Ecol.*, 3:139-145, 1966.
- OATES, K.M. & CALDWELL, A.G. Use of by-product gypsum to alleviate soil acidity. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 49:915-918, 1985.
- PAVAN, M.A.; BINGHAM, F.T. & PRATT, P.F. Redistribution of exchangeable calcium, magnesium and aluminium following lime or gypsum application to a Brazilian oxisol. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 48:33-38, 1984.
- RAIJ, B. van. Gesso agrícola na melhoria do ambiente radicular no subsolo. São Paulo, Associação Nacional para Difusão de Adubos e Corretivos Agrícolas, 1988. 88p.
- RAJAN, S.S.S. Sulfate adsorbed on hydrous alumina, ligands displaced, and changes in surface charge. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 427:39-44, 1978.
- SUMNER, M.E.; SH AHANDEH, H.; BOUTON, J. & HAMMEL, J. Amelioration of an acid soil profile through deep liming and surface application of gypsum. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 50:1254-1258, 1986.
- VETTORI, L. Métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, 1969. 24p. (Boletim Técnico, 7)
- VILELA, L.; RITCHEY, K.D. & SILVA, J.E. Resposta da soja e do milho ao enxofre num Latossolo Vermelho-Escuro sob vegetação de cerrado do Distrito Federal. *R. Bras. Ci. Solo*, 19:281-286, 1995.