



**MANEJO DA CALAGEM EM UM LATOSSOLO
SOB DIFERENTES USOS OU COBERTURAS
VEGETAIS ANTERIORES: MOVIMENTAÇÃO
DE CORRETIVO, NEUTRALIZAÇÃO DA
ACIDEZ E CRESCIMENTO DO ALGODOEIRO**
Gossypium hirsutum L.

TULLIO RAPHAEL PEREIRA DE PÁDUA

2005

59192

050378

TULLIO RAPHAEL PEREIRA DE PÁDUA

**MANEJO DA CALAGEM EM UM LATOSSOLO SOB DIFERENTES
USOS OU COBERTURAS VEGETAIS ANTERIORES:
MOVIMENTAÇÃO DE CORRETIVO, NEUTRALIZAÇÃO DA ACIDEZ
E CRESCIMENTO DO ALGODOEIRO *Gossypium hirsutum* L.**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Solos e Nutrição de Plantas, para a obtenção do título de "Mestre".

Orientador

Prof. Dr. Carlos Alberto Silva

**LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL
2005**



**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca Central da UFLA**

Pádua, Tullio Raphael Pereira de

Manejo da calagem em um latossolo sob diferentes usos ou coberturas vegetais anteriores: movimentação de corretivo, neutralização da acidez e crescimento do algodoeiro *Gossypium hirsutum* L. / Tullio Raphael Pereira de Pádua. -- Lavras : UFLA, 2005.

88 p. : il.

Orientador: Carlos Alberto Silva.
Dissertação (Mestrado) – UFLA.
Bibliografia.

1. Calagem. 2. Latossolo. 3. Algodoeiro. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD-633.51897

TULLIO RAPHAEL PEREIRA DE PÁDUA

**MANEJO DA CALAGEM EM UM LATOSSOLO SOB DIFERENTES
USOS OU COBERTURAS VEGETAIS ANTERIORES:
MOVIMENTAÇÃO DE CORRETIVO, NEUTRALIZAÇÃO DA ACIDEZ
E CRESCIMENTO DO ALGODOEIRO *Gossypium hirsutum* L.**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Solos e Nutrição de Plantas, para a obtenção do título de “Mestre”.

APROVADA em 14 de Fevereiro de 2005

Profa. Dra. Janice Guedes de Carvalho - UFLA

Pesq. Dr. Paulo Tácito Gontijo Guimarães - EPAMIG



**Prof. Dr. Carlos Alberto Silva
UFLA
(Orientador)**

**LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL**

DEDICO.

Aos meus pais, Maria Francisca e Cláudio, por me ensinarem o valor dos estudos e do amor.

Aos meus irmãos, Amaryllis e Paulo, pela força e incentivo.

À minha esposa, Silvana, pela compreensão, incentivo e amor.

"Isto é uma ordem: sê firme e corajoso. Não te atemorizes, não tenhas medo, porque o Senhor está contigo em qualquer parte onde fores."

Josué 1:9.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao Departamento de Ciência do Solo (DCS), pela oportunidade da realização do curso de pós-graduação.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa.

Ao professor Carlos Alberto Silva, pelo apoio, orientação, amizade, incentivo e valiosos ensinamentos.

Aos professores do Departamento de Ciência do Solo da UFLA, pelos valiosos conhecimentos transmitidos nesse período.

Aos funcionários do DCS, Humberto, Roberto, João Gualberto, Vítor, Daniel e Maritza.

Aos amigos, Fábio Aurélio, Paulo, Pesão, Lucas, Otacílio, Orlando, Walfrido, Zé Roberto, Toninho, Felipe, Renato, Carol, Serginho, Silvana, Xandão e Zé Zilton pela amizade e convívio durante a realização do curso pós-graduação.

E a todos que de forma direta ou indireta contribuíram para a conclusão do trabalho.

MUITO OBRIGADO!

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	I
RESUMO.....	IV
ABSTRACT.....	V
CAPÍTULO	1
1 INTRODUÇÃO GERAL.....	2
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	6
2.1 Nutrição do algodoeiro.....	6
2.2 Manejo da calagem e uso de resíduos vegetais.....	8
2.3 Mobilidade de cátions e neutralização do alumínio.....	12
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	18
CAPÍTULO II - MANEJO DA CALAGEM EM LATOSSOLO CULTIVADO COM ALGODOEIRO: MOVIMENTAÇÃO DE CÁTIONS E NEUTRALIZAÇÃO DA ACIDEZ.....	23
RESUMO.....	24
ABSTRACT.....	25
1 INTRODUÇÃO.....	26
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	29
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	33
3.1 pH.....	33
3.2 Cálcio e saturação por alumínio.....	37
3.3 Alumínio e saturação por alumínio.....	44
4 CONCLUSÕES.....	51
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	52
CAPÍTULO III - MANEJO DA CALAGEM EM UM LATOSSOLO SOB DIFERENTES COBERTURAS VEGETAIS: ESTADO NUTRICIONAL E PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA DO ALGODOEIRO.....	56

RESUMO.....	57
ABSTRACT.....	58
1 INTRODUÇÃO.....	59
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	62
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	66
3.1 Estado nutricional do algodoeiro.....	66
3.2 Produção de matéria seca.....	73
4 CONCLUSÕES.....	81
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	82
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	85
ANEXO.....	87

LISTA DE TABELAS

		Página
CAPÍTULO I		
TABELA 1.1	Constante de equilíbrio da protonação e formação de complexos com Al e Ca para ácido cítrico e succínico.....	06
CAPÍTULO II		
TABELA 2.1	Características químicas para as quatro amostras do Latossolo estudado sob condições naturais (antes da aplicação dos tratamentos), para três profundidades.....	31
TABELA 2.2	Valores de pH em água para amostras de Latossolo Vermelho distroférico sob diferentes manejos da calagem e sob quatro coberturas vegetais, colhidas a quatro profundidades, após 30 dias em incubação para reação do calcário com o solo.....	36
TABELA 2.3	Valores de pH em água para Latossolo Vermelho distroférico sob diferentes manejos da calagem e sob quatro diferentes usos ou coberturas vegetais anteriores, em quatro profundidades, após 45 dias de cultivo do algodoeiro.....	37
TABELA 2.4	Teores de cálcio trocável, em $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, para Latossolo Vermelho distroférico sob diferentes manejos da calagem e sob quatro coberturas vegetais anteriores, colhidas a quatro profundidades de solo, após 30 dias em incubação para reação do corretivo com o solo.....	41
TABELA 2.5	Teores de cálcio trocável, em $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, para Latossolo Vermelho distroférico sob diferentes manejos da calagem e sob quatro coberturas vegetais anteriores, a quatro profundidades de solo, após 45 dias de cultivo do algodoeiro.....	42

TABELA 2.6	Valores para saturação por bases (V%), para Latossolo Vermelho distroférico sob diferentes manejos da calagem e sob quatro diferentes coberturas vegetais anteriores, a quatro profundidades de solo após 30 dias em incubação para reação do calcário com o solo.....	43
TABELA 2.7	Valores de saturação por bases (V%), para Latossolo Vermelho distroférico sob diferentes manejos da calagem e sob quatro diferentes uso anteriores de coberturas vegetais a quatro profundidades de solo, após 45 dias de cultivo do algodoeiro.....	44
TABELA 2.8	Teores de Al trocável, em $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, para Latossolo Vermelho distroférico sob diferentes manejos da calagem e sob quatro coberturas vegetais anteriores, a quatro profundidades de solo, após 30 dias em incubação para reação do corretivo no solo.....	47
TABELA 2.9	Teores de Al trocável, em $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, para Latossolo Vermelho distroférico sob diferentes manejos da calagem e sob quatro coberturas vegetais anteriores, a quatro profundidades do solo, após 45 dias de cultivo do algodoeiro.....	48
TABELA 2.10	Valores para saturação por alumínio (m%), para Latossolo Vermelho distroférico sob diferentes manejos da calagem e sob quatro diferentes coberturas vegetais anteriores, a quatro profundidades do solo, após 30 dias em incubação para reação do calcário com o solo.....	49
TABELA 2.11	Valores de saturação por alumínio (m%), para Latossolo Vermelho distroférico sob diferentes manejos da calagem e sob quatro diferentes usos anteriores de coberturas vegetais anteriores, a quatro profundidades do solo, após 45 dias de cultivo do algodoeiro.....	50

CAPÍTULO III

TABELA 3.1	Quantidades de N, P, K, Ca, Mg e S acumuladas na parte aérea do algodoeiro (mg/vaso), após 45 dias de cultivo sob diferentes manejos de calagem em Latossolo Vermelho distroférico, sob quatro usos anteriores de cobertura vegetal.....	71
TABELA 3.2	Quantidades de B, Cu, Fe, Mn e Zn acumuladas na parte aérea do algodoeiro (mg/vaso), após 45 dias de cultivo sob diferentes manejos de calagem em Latossolo Vermelho distroférico, sob quatro usos anteriores de cobertura vegetal.....	72
TABELA 3.3	Atributos de acidez do solo sob influência de sistemas de uso e de modos de incorporação de corretivo, após um mês de incubação para reação do calcário com o solo, e antes do plantio do algodoeiro.....	78
TABELA 3.4	Produção de matéria seca de raiz do algodoeiro sob influência de combinações de práticas de manejo da calagem com coberturas vegetais anteriores de Latossolo Vermelho distroférico, após 45 dias de cultivo do algodoeiro.....	79
TABELA 3.5	Produção de matéria seca da parte aérea e matéria seca total do algodoeiro sob influência de combinações de práticas de manejo da calagem com usos ou coberturas vegetais anteriores de Latossolo Vermelho distroférico, após 45 dias de cultivo do algodoeiro.....	80

RESUMO

PÁDUA, Tullio Raphael Pereira de. **Manejo da calagem em um latossolo sob diferentes usos ou coberturas vegetais anteriores: movimentação de corretivo, neutralização da acidez e crescimento do algodoeiro *Gossypium hirsutum* L.** 2005. 88 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras – MG.¹

O objetivo deste trabalho foi avaliar o grau de correção da acidez em função do manejo da calagem em um latossolo sob diferentes usos e ou coberturas vegetais, e os efeitos das combinações desses fatores sobre o estado nutricional e a produção de matéria seca do algodoeiro cultivado em casa de vegetação. O estudo foi conduzido no Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras, de novembro de 2002 a janeiro de 2003, sendo o algodoeiro cultivado por 45 dias em colunas de PVC. O solo utilizado foi o Latossolo Vermelho distroférico e os tratamentos consistiram da combinação de quatro métodos de manejo da calagem (sem calagem, SC; calagem na camada de solo de 0-10 cm, C10; calagem na camada de solo de 0-20 cm, C20; calagem superficial, CS) com quatro usos e ou coberturas vegetais anteriores desse solo (eucalipto, mata, pastagem e pinus). Foram avaliados os teores de Ca^{2+} e Al^{3+} , o pH (água) e os valores de saturação por bases e por Al^{3+} em amostras de solo coletadas nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm no início e ao final do período do algodoeiro, além dos teores de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn na parte aérea e a produção de matéria seca da parte aérea e da raiz do algodoeiro. Nas camadas superficiais do solo, o tratamento CS elevou o pH e a saturação por bases para valores além dos considerados adequados para o algodoeiro diminuindo o acúmulo de nutrientes na parte aérea, em relação ao manejo com incorporação de corretivo. Nas amostras de solo mais ricas em matéria orgânica (mata), a correção da acidez e a movimentação de cálcio ocorreram ao longo do perfil do solo, qualquer que seja o manejo da calagem. As maiores produções de matéria seca do algodoeiro foram observadas no solo sob uso anterior de pastagem. O manejo da calagem que proporciona maior crescimento do algodoeiro é aquele associado à incorporação do corretivo na camada de solo de 0-20 cm de profundidade.

¹ Orientador: Prof. Carlos Alberto Silva - UFLA;

CAPÍTULO I

1 INTRODUÇÃO GERAL

O cultivo do algodoeiro no Brasil proporciona empregos diretos de aproximadamente 150.000 pessoas e ocupa 1,71% das propriedades agrícolas do país (Embrapa, 2001). Apesar da área plantada com a cultura vir diminuindo desde 1985, passando de 2,25 milhões para 0,81 milhão de hectares em 2001, a produção aumentou em 99,4% nesse mesmo período e esses ganhos refletem o maior nível de tecnologia empregado na produção dessa cultura. Um dos responsáveis por esse ganho de rendimento seria o maior uso de adubos e corretivos de acidez do solo. De fato, na safra de 2003/2004, a área plantada de algodoeiro saltou para mais de 1 milhão de hectares, sendo mais de 2/3 dessa área implantados em solos da região do cerrado, com produtividade média de cerca de 1.200 kg ha⁻¹ de pluma.

O algodoeiro se desenvolve bem em áreas de solos férteis, quentes e úmidos, caracterizando-se como uma das culturas mais exigentes quanto à correção da acidez do solo, quando buscam-se altas produtividades e lucratividade (Silva et al., 1995). No país, predominam os solos ácidos e de baixa fertilidade, tanto na camada arável quanto em subsolo, o que se constitui um dos fatores limitantes à obtenção de produtividades adequadas. Na maioria das áreas plantadas, e principalmente nos solos originalmente sob cerrado, há necessidade de se empregar a calagem, uma vez que a não correção da acidez do solo reduz a eficiência de uso de fertilizantes e limita o rendimento do algodoeiro.

Se executada de modo correto, a prática da calagem proporciona aumento do pH do solo, dos teores de Ca e de Mg, neutralização do Al tóxico, acréscimo da CTC do solo, maior taxa de mineralização da matéria orgânica, etc (Raij, 1991). Caso hajam erros no cálculo da necessidade de calagem ou na profundidade de incorporação do corretivo, entre outros fatores, há sempre o

risco de o pH do solo aumentar a valores além dos tecnicamente recomendados para o algodoeiro e isso pode diminuir a disponibilidade de alguns nutrientes. O manejo mais utilizado da calagem nas lavouras é o que preconiza a incorporação do calcário na camada arável por meio do uso da aração e de uma gradagem do solo, o que assegura uma distribuição homogênea do corretivo de acidez. Esse tipo de prática assegura a correção da acidez nas camadas superficiais, contudo, é cada vez mais freqüente a necessidade de se corrigir a acidez em maiores profundidades de solo, principalmente na região do Cerrado, onde é comum a ocorrência de veranicos.

Em áreas onde o algodoeiro é cultivado sob o sistema plantio direto, uma demanda recorrente dos agricultores está ligada à viabilização da aplicação de calcário em superfície. A não incorporação de corretivo implica em maior risco de supercalagem, com todos os efeitos negativos desse processo sobre o rendimento do algodoeiro. Pesquisas recentes têm mostrado que a aplicação superficial corrige de modo adequado a acidez do solo. Exemplos disso são os resultados obtidos em áreas de culturas perenes já instaladas (Chaves et al., 1984), em pastagens já estabelecidas e em áreas sob sistema plantio direto (SPD) já consolidadas, no sul do país, principalmente nos solos com maior acúmulo de matéria orgânica (Pöttker & Ben, 1998; Caires et al., 1998, 1999 e 2002; Rheinheimer et al., 2000; Moreira et al., 2001; Gatiboni et al., 2003; Pires et al., 2003). Existem, contudo, áreas onde a calagem feita em superfície pode resultar em aumentos exagerados do pH ou correção inadequada da acidez em camadas efetivamente exploradas pelas raízes de algodoeiro. Em razão desses resultados de pesquisa, há a necessidade de se investigar o papel que a matéria orgânica e as diferentes coberturas vegetais exercem sobre a neutralização da acidez e movimentação do corretivo em diferentes camadas de solo.

Tanto nas áreas onde o calcário é aplicado em superfície, quanto naquelas em que o corretivo é incorporado, há a necessidade de que o calcário

movimente-se para camadas mais profundas, em razão de ser baixa a disponibilidade de cálcio e alto o teor de Al tóxico no subsolo. Esta mobilização de cátions ao longo do perfil do solo foi observada por Miyazawa et al. (1998), em função da aplicação de resíduos vegetais na camada superficial de solos ácidos, e por Franchini et al. (1999a), em razão da adição ao solo de extrato de nabo forrageiro e de aveia preta. A quantidade, o tipo e a época de manejo de coberturas vegetais podem ser determinantes para o sucesso da correção subsuperficial da acidez dos solos. Esses fatores exercem influência sobre a quantidade e tipos de ácidos orgânicos que prevalecem no solo (Hue et al., 1986), e que podem atuar neutralizando a acidez e facilitando o transporte de cálcio e outros cátions para camadas mais profundas de solo (Franchini et al., 2004).

Assim, o cultivo do algodoeiro em áreas com maiores teores de matéria orgânica poderá resultar em ganhos de produtividade. O tipo de cobertura vegetal existente na área que exerce grande influência sobre os estoques de matéria orgânica presentes no solo e condiciona também diferenças na composição química da matéria orgânica, exercendo influência diferenciada sobre os atributos de acidez do solo e sobre a movimentação vertical de calcário. No Brasil, cerca de 20 milhões de hectares são cultivados sob o sistema plantio direto (Cervi, 2003), com aumento a cada ano; nos locais onde a prática da calagem é feita superficialmente, seria importante entender os mecanismos envolvidos na movimentação do calcário e suas relações com os diferentes resíduos vegetais, já que o tipo de palhada condiciona a movimentação do corretivo no perfil do solo de diferentes agroecossistemas brasileiros.

Este estudo teve por objetivo avaliar os efeitos do manejo da calagem sobre a correção da acidez do solo, movimentação de bases e sobre o estado nutricional e crescimento do algodoeiro cultivado em condições de casa de

vegetação, em amostras de um latossolo sob influência de diferentes usos ou coberturas vegetais anteriores.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Nutrição do algodoeiro e a correção da acidez do solo

Predominam no território brasileiro os solos ácidos que são naturalmente pobres em bases, principalmente Ca^{2+} cátion que exerce importante papel na germinação e no desenvolvimento inicial das raízes do algodoeiro (Cia et al., 1999). Nessas condições de acidez, o P pode se unir ao Al e ao Fe, sendo, dessa forma, pouco aproveitado pelas plantas. Em condições de acidez elevada, há um acréscimo na disponibilidade de Cu, Fe, Mn e Zn, e o teor de Al trocável é maior, podendo ser tóxico para o algodoeiro, o que prejudica o desenvolvimento das plantas, principalmente quando o pH se encontra abaixo da faixa 5,2-5,5 (Embrapa, 2001).

Sendo o algodoeiro uma planta extremamente sensível à acidez do solo, é imprescindível a prática da calagem para o adequado crescimento da cultura em solos originalmente ácidos, onde o crescimento radicular da planta pode ser limitado em profundidade pela acidez subsuperficial. A correção da acidez é uma prática de grande importância nas regiões em que a distribuição das chuvas ocorre de forma irregular e nos solos com baixa capacidade de retenção de água (Embrapa, 2001). Deve-se fazer a correção da acidez dos solos, buscando-se elevar a saturação por bases a 60%, conforme recomendam Cia et al. (1999).

Ao se efetuar a calagem, há um aumento da mineralização da matéria orgânica, resultando em um acréscimo na disponibilidade de nutrientes, acréscimo da disponibilidade de cálcio e magnésio por adição direta e uma redução nos teores de alumínio tóxico e, em alguns solos, de manganês e ferro, o que poderá resultar em um aumento de até 231% na produtividade do algodoeiro pela correção do solo. Ao contrário, sob condições de saturação por bases na

camada arável menor que 20%, a produção do algodão reduz para pouco mais da metade da produção máxima (Cia et al., 1999).

No sistema convencional de plantio do algodoeiro, onde é comum o revolvimento do solo, a dose de calcário é aplicada de forma integral, a lancha e em área total, sendo o corretivo incorporado na camada de solo de 0 a 20 cm. Em solos argilosos, sob sistema plantio direto, onde o calcário não é incorporado, deve-se aplicar, para o algodoeiro, de 1/3 a 1/2 da dose de calcário recomendada pelo método de saturação por bases para uma profundidade de 0 a 20 cm, sendo aconselhável adicionar ao solo, no máximo, 2,5 t ha⁻¹; em solos argilo-arenosos ou arenosos, sugere-se aplicar 1/2 da dose recomendada, até o limite de 1,5 a 2,0 t ha⁻¹.

Ao se fazer a calagem com base na análise do solo, o Ca e o Mg são fornecidos em quantidades acima das requeridas pelo algodoeiro. Em solos nunca ou raramente adubados e naqueles ácidos, o efeito da adubação no algodoeiro com fósforo torna-se predominante em relação aos demais nutrientes e a disponibilidade deste nutriente aumenta com o pH do solo próximo da neutralidade. A resposta do algodoeiro à adubação diminui com a correção da acidez, quando os valores de pH em água forem superiores a 6,5 (Cia et al., 1999).

Em termos nutricionais, o N é o nutriente absorvido em maiores quantidades pelo algodoeiro. A ordem de exigência relativa dos nutrientes para o algodoeiro, segundo Embrapa (2001), é: K=N>Ca>Mg>P>Fe. Nos primeiros 30 dias, a planta de algodão é mais exigente em Mg, S e Fe e, na fase entre a formação dos botões florais e o máximo florescimento, a exigência é maior em N, P, K e Ca. Apesar disso, as plantas reagem mais efetivamente a aplicação de fosfatos solúveis por ocasião do plantio, em face da pouca mobilidade do P no solo e da grande possibilidade de sua adsorção. Em condições de campo, e para índices de produtividade em torno de 2400 kg/ha de algodão em caroço, o

algodoeiro exporta na colheita cerca de: 50 kg de N, 20 kg de P_2O_5 , 50 kg de K_2O , 20 kg CaO, 10 kg MgO e 20 kg de S/ha, além de 80 g de B e 30 g de Zn (Cia et al., 1999).

2.2 Manejo da calagem e uso de resíduos vegetais

No plantio de culturas anuais, assim como no cultivo de perenes e sob diferentes formas de manejo do solo, tanto no sistema convencional quanto no cultivo no sistema plantio direto (SPD), ocorrem modificações na estrutura do solo. O sistema de cultivo convencional com aração e gradagem do solo, comparado ao SPD, proporciona uma redução no tamanho dos agregados do solo, no teor de matéria orgânica, aumento nas quantidades de solo carreado pela erosão, diminuição na fertilidade, alterações na porosidade, menor controle da temperatura e da umidade do solo. Isto gera situações desfavoráveis ao crescimento das plantas, ao ambiente e, conseqüentemente, ao agricultor; todavia, com o revolvimento do solo, pode-se fazer a correção da acidez em profundidade, o que propicia melhores condições para o desenvolvimento radicular das diversas culturas. Porém, ao se analisar os benefícios do SPD em relação ao convencional, esse sistema proporciona maiores lucros para o agricultor. Com a adoção do SPD, busca-se um menor revolvimento do solo e, dessa forma, a aplicação de corretivos para a acidez do solo tem que, necessariamente, ser feita superficialmente.

Esta aplicação superficial de calcário pode tornar-se desvantajosa, por ser o calcário pouco solúvel e apresentar baixa mobilidade no solo, prejudicando sua ação corretiva nas camadas subsuperficiais. Alguns trabalhos têm demonstrado que o calcário, mesmo aplicado superficialmente, no sistema plantio direto, alcança as camadas mais profundas do solo (Caires et al. 1998), resultando em uma redução da acidez do subsolo. Isso foi observado por

Oliveira e Pavan (1996), comparando áreas que foram corrigidas anteriormente com calcário pelo método convencional (Pöttker e Ben, 1998). O sistema de plantio direto aumenta os teores de matéria orgânica devido à manutenção de restos culturais e de coberturas na superfície do solo, o que eleva a necessidade de corretivo para este tipo de sistema. Nessas áreas, não ocorre aumento da atividade do Al trocável no solo, conforme observaram Gatiboni et al. (2003) e, ao contrário, pode haver diminuição no teor de Al tóxico, quando comparado com sistemas convencionais de cultivo, além de aumentar a CTC e o pH do solo, de acordo com resultados de Souza e Alves (2003).

Para que o manejo da calagem superficial seja eficiente, é importante, então, a presença de teores elevados de matéria orgânica no solo. Solos cobertos com florestas possuem mais ácidos orgânicos do que solos cultivados (Hue et al., 1986), devido ao maior teor de matéria orgânica. Esses ácidos podem ligar-se ao cálcio facilitando a sua mobilização para as camadas mais profundas, bem como neutralizar o alumínio presente no solo. Franchini et al. (2001) demonstraram a eficiência dos resíduos vegetais em movimentar cálcio e corrigir a acidez subsuperficial, favorecendo o desenvolvimento das raízes das plantas em profundidade, em relação aos solos sem a presença desses resíduos, em que houve aplicação superficial de calcário. O uso de espécies, como aveia-preta, como cobertura vegetal, em solos que receberam calagem superficial, pode resultar em maior transporte de Ca^{2+} até as camadas subsuperficiais; o uso de nabo forrageiro, além de mobilizar o Ca^{2+} , é capaz de neutralizar o alumínio tóxico. O uso dessas duas espécies na rotação de culturas proporciona uma maior reciclagem de Ca, reduzindo os riscos de perdas por lixiviação, já que os resíduos de nabo forrageiro apresentam altos teores desse nutriente, mantendo o cálcio ao alcance do sistema radicular das culturas subseqüentes, segundo Franchini et al. (1999a).

Outro modo de corrigir a acidez do subsolo seria por meio da aplicação de calcário em superfície, seguida da aplicação de fertilizantes nitrogenados, como a uréia (Weir, 1974); em áreas onde há a necessidade de uma maior aplicação de fertilizantes nitrogenados, a prevenção da acidez gerada por esses adubos, ocorre pelo uso de corretivo, uma vez que os resíduos desses fertilizantes mobilizam o Ca^{2+} no solo (Adams et al. 1967). Mais uma possibilidade seria por meio do uso de ânions presentes nos adubos, como no caso do superfosfato, em que o sulfato de cálcio alcançou 60 cm de profundidade e o CaCl_2 movimentou-se por 150 cm no perfil do solo, segundo Ritchey et al. (1980).

Comparando-se os sistemas convencionais ou de plantio direto tem-se notado que a aplicação do calcário em superfície nem sempre influencia a produção em SPD (Oliveira e Pavan, 1996; Caires et al., 1998, 1999, 2002; Pires et al., 2003). Esse fato pode ser explicado por diversos fatores, tais como: os teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ podem estar presentes em disponibilidade suficiente na camada superficial do solo mantendo uma relação adequada com o alumínio (Caires et al., 1998); o controle hídrico por irrigação; o crescimento das raízes em pequenos canais formados a partir de sistemas radiculares de plantas mortas (Gatiboni et al. 2003) ou ainda a umidade resultante da melhor conservação da água no sistema plantio direto (Pires et al., 2003), diminuindo, assim, a necessidade de expansão do sistema radicular para as camadas subsuperficiais, em busca de nutrientes e água, mesmo em áreas com baixos valores de pH (Caires et al., 1998; Pires et al. 2003).

Muitos trabalhos têm sido conduzidos objetivando avaliar a movimentação do cálcio no solo, e vários são os resultados que comprovam a sua movimentação, ou indicam ser baixa a mobilidade do cálcio no solo sob sistema de plantio direto. Os trabalhos de Ritchey et al. (1980), Chaves et al. (1984), Oliveira e Pavan (1996), Caires et al. (1998), (1999), Cassiolato et al.

(2000), Franchini et al. (2001), Meda et al. (2002), Miyazawa et al. (2002) e Gatiboni et al. (2003) demonstraram que o pH aumenta e os teores Ca e Mg trocáveis aumentam enquanto o Al trocável diminui na profundidade de 10-40 cm de solo com a aplicação superficial de calcário, em áreas sob SPD e em ensaios de casa de vegetação. Foram observadas também movimentação de Ca^{2+} , Mg^{2+} e elevação do pH nas profundidades entre 20 e 60 cm quando o calcário foi incorporado a 20 cm de profundidade, e uma diminuição nos teores de Al nesta mesma profundidade de solo (Quaggio et al. 1993; Oliveira et al., 1997; Silva et al., 1997 e Caires & Rosolem, 1998). Entretanto, outros trabalhos mostraram uma pequena movimentação do calcário no solo, tendo sido constatado aumento do pH, Ca e Mg trocáveis e diminuição os teores de Al trocável apenas até os 5 cm iniciais do solo, em experimentos de campo (Pottker e Ben, 1998, Rheinheimer et al., 2000, Ernani et al., 2001 e Pires et al., 2003). Resultados semelhantes também foram observados em ensaios em casa de vegetação, em experimento com colunas, nos quais não foram utilizados resíduos de extratos vegetais (Franchini et al., 2001) ou, então, movimentação de corretivo até a camada de 5-10 cm (Miyazawa et al., 2002).

Alguns estudos têm demonstrado que o calcário se movimenta no solo em presença de resíduos vegetais, como no caso do nabo forrageiro, da aveia-preta e do centeio. Alguns resíduos causaram movimentação e aumento de pH, Ca e Mg trocáveis e diminuição de Al, principalmente até a profundidade de 10 cm, como foi o caso da aveia preta e do centeio (Miyazawa et al., 2002) e aveia (Cassiolato et al., 2000). Porém, o uso do nabo forrageiro auxiliou o movimento e aumentou os teores de bases e diminuiu o Al^{3+} até 20 cm de profundidade (Franchini et al., 2001). Além dos resíduos vegetais favorecerem quimicamente a movimentação do calcário no perfil do solo, esses compostos orgânicos podem também facilitar a mobilização do calcário por meio de poros formados no solo

pelas raízes mortas, alcançando o calcário, assim, profundidades de solo de até 40 cm (Pavan, 1994).

Em resumo, uma menor ou maior mobilidade do calcário aplicado em superfície parece estar relacionada com uma série de fatores, que podem ou não estar presentes no solo, ao mesmo tempo, como a maior disponibilidade de ânions orgânicos e inorgânicos, provenientes de resíduos vegetais e de adubos, presença de pequenos canais formados por raízes mortas, grau de neutralização da acidez em superfície, quantidade aplicada e características químicas e físicas do corretivo de acidez e o regime hídrico do solo, pois a água é o meio de lixiviação do calcário.

2.3 Mobilidade de cátions e neutralização do alumínio

A mobilidade do cálcio e a neutralização do alumínio no solo são influenciadas por vários fatores, conforme vistos no item anterior, a saber: dose e época de aplicação de calcário, uso de fertilizantes nitrogenados, uso de superfosfato e o tipo de cobertura vegetal sobre o solo, que gera ácidos orgânicos e pequenos canais originados pela morte de raízes. Todos esses fatores estão associados aos diversos mecanismos que favorecem a lixiviação, principalmente de Ca, Mg e K para a subsuperfície, corrigindo, assim, a acidez das camadas do solo e subsolo e podendo promover um ambiente melhor de exploração do solo pelas raízes, já que ocorre a neutralização da toxidez de alumínio e a elevação dos teores de Ca^{2+} .

A baixa taxa de movimentação do CaCO_3 e MgCO_3 pode ser explicada pela falta de um ânion estável como produto da reação do calcário dolomítico com a acidez do solo (Meda et al., 2002), pois os produtos dessa reação são o Ca^{2+} trocável e HCO_3^- que, posteriormente, são convertidos a CO_2 e H_2O (Pavan et al., 1984). Além disso, grande parte desse Ca^{2+} é adsorvida no complexo de

troca do solo (Ritchey et al., 1980), o que limita a sua movimentação para os horizontes inferiores do solo. Um dos mecanismos propostos para a movimentação do calcário, no entanto, seria por ligação do HCO_3^- com Ca^{2+} e Mg^{2+} , formando Ca e $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ capazes de movimentar pelo perfil do solo, corrigindo a acidez das camadas alcançadas por estas formas (Oliveira e Pavan, 1996, Caires et al., 2002). É bastante provável que esse tipo de reação ocorra em solos onde o corretivo é aplicado em excesso na camada arável.

O uso de calcário, juntamente com altas doses de fertilizantes nitrogenados que dão origem, no solo, a resíduos ácidos e nitrato, quando há condição adequadas para o N nitrificar, pode propiciar o alcance de regiões mais profundas do solo, a partir da reação de sais com o cálcio, facilitando a sua mobilização (Pearson e Abruna, 1961, citados por Caires et al., 2002). Como resultado dessa reação, ocorre a formação de nitrato de cálcio e magnésio, que podem movimentar mais para o subsolo (Caires et al., 1999), e, além disso, a fonte de nitrogênio influencia a transferência de cátions básicos oriundos da calagem superficial para camadas subsuperficiais. Assim, a uréia mostrou-se mais eficiente em movimentar o calcário, quando comparada com sulfato de amônio e o nitrato de amônio, conforme estudos de Weir (1974). Outro ânion que estaria relacionado com a mobilidade dos cátions básicos seria o SO_4^{2-} , originário do uso de superfosfato e sulfato de amônio que, ao reagir com o Ca^{2+} e Mg^{2+} , forma complexos solúveis neutros (MgSO_4^0 e CaSO_4^0), aumentando a mobilidade do cálcio, por serem moléculas mais solúveis que os sais de carbonato (Chaves et al., 1984; Ritchey et al., 1980).

Com a morte de plantas e de suas raízes, podem ser formados no solo canais capazes de proporcionar ao calcário uma movimentação física no perfil do solo. Como as plantas envolvidas na formação desses canais são de ciclo sazonal (aveia, plantas invasoras, crotalária), ocorre, periodicamente, a morte de um grande número de raízes que, além da atuação da macrofauna, aumenta o

número de canais e facilita a movimentação das partículas de calcário, que são arrastadas pela água corrigindo a acidez em subsuperfície do solo (Pavan, 1994; Gatiboni et al., 2003).

Em áreas sob SPD, é comum aumentar a macroporosidade, o que acarreta uma rede de poros mais bem distribuída nos solos, em relação ao sistema de cultivo convencional. Assim, há uma melhor conexão entre os macroporos, resultando numa maior percolação da água até 15 cm de profundidade, conforme resultados obtidos por Schaefer et al. (2001). Esses resultados podem também ajudar a entender a movimentação física do calcário aplicado superficialmente em áreas sob SPD.

Estudos mais recentes têm demonstrado a importância e a influência exercida pelos resíduos de extratos vegetais na lixiviação de cálcio pelo perfil do solo, por meio da complexação desse cátion com compostos orgânicos provenientes destes resíduos, aumentando, assim, a eficiência da calagem em superfície e os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} em solução percolada (Cassiolato et al., 2000; Gatiboni et al., 2003). Esta capacidade de aumentar a mobilidade de Ca^{2+} e Mg^{2+} está associada à alteração das cargas destes cátions divalentes pelos compostos orgânicos, após a formação de complexos ML^- , ML^0 e ML^+ ($\text{M}=\text{Ca}$ ou Mg , $\text{L}=\text{Ligante orgânico}$), favorecendo, dessa forma, a lixiviação desses cátions em relação ao K^+ , que seria naturalmente mais lixiviado (Miyazawa et al. 1996).

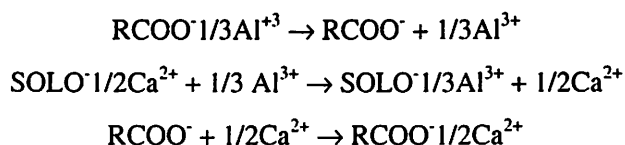
Em relação ao K^+ , com a calagem, pode ocorrer uma redução das perdas deste nutriente por lixiviação e esse efeito deve ser resultante do aumento de cargas negativas dependentes de pH, ocasionado pela correção da acidez do solo (Caires et al., 1998); mesmo com o alto teor de K total solúvel nos resíduos vegetais, há uma predominância de Ca^{2+} e Mg^{2+} no complexo de troca (Franchini et al. 1999b), resultado da maior energia de adsorção de Ca^{2+} e Mg^{2+} em detrimento de K^+ nos sítios dos colóides dependentes de pH (Pavan e Roth,

1992). No entanto, com o uso de resíduos vegetais, observou-se que os ligantes orgânicos, por terem maior afinidade com Ca^{2+} , Mg^{2+} e ácidos, formaram complexos orgânicos com estes elementos e o K^+ ocupou as cargas livres dos colóides nas camadas superficiais, aumentando a sua participação no complexo de troca nestas camadas do perfil do solo (Miyazawa et al., 2002).

Os complexos com cálcio e magnésio, ao alcançarem as camadas subsuperficiais, podem ser desfeitos, em razão de o Al trocável formar, com a matéria orgânica, complexos mais estáveis do que o cálcio e o magnésio (Miyazawa et al., 1996; Franchini et al., 1999a). Isso pode ser constatado com o citrato de Al, em que tanto o H^+ quanto o Ca^{2+} seriam substituídos pelo alumínio do solo nestes complexos orgânicos e, conseqüentemente, o Ca^{2+} ocuparia a carga liberada pelo alumínio no complexo de troca do solo. O Al^{3+} teria, então, o seu teor trocável reduzido e, em seqüência, poderia ser movimentado para camadas mais profundas do solo pelo fluxo de água. Já com o uso de succinato, a constante de estabilidade, conforme a Tabela 1.1, do complexo formado com H^+ é superior a dos complexos formados por Al^{3+} e Ca^{2+} , sendo o Ca^{2+} extraído preferencialmente do complexo de troca em relação ao alumínio por apresentar menor energia de ligação nas cargas de superfícies nos colóides do solo (Franchini et al., 1999a).

Extratos vegetais, ao percolarem nas camadas do solo, formam complexos orgânicos com Al^{3+} e aqueles de menor estabilidade seriam passíveis de hidrólise, liberando o Al^{3+} em solução. Assim, o Ca^{2+} do complexo de troca seria trocado pelo Al^{3+} em solução, devido à maior afinidade do último pelo complexo de troca. Em razão da complexação com o ânion orgânico que liberou o Al^{3+} , o Ca passaria à solução, sendo então mobilizado, explicando o que acontece com o uso de alguns resíduos vegetais, como a aveia-preta. Assim, a extração de Ca^{2+} e H^+ é devida aos complexos com ácidos orgânicos do tipo succínico e a de Al^{3+} com os do tipo cítrico, segundo Franchini et al. (1999a).

Tais efeitos podem ser descritos nas equações a seguir:



Com o tempo, segundo estudos de Franchini et al. (1999b), o carbono do complexo, ou carbono orgânico dissolvido (COD), sofre uma redução na solução, devido à oxidação deste componente, sendo o Al^{3+} liberado do complexo e precipitado, se o valor de pH se manter acima do necessário para a hidrólise. Tem sido observado também que os teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ reduzem na solução, coincidindo com a redução do COD, o que demonstra que a presença desses ânions orgânicos altera a energia de ligação entre o complexo de troca e o Ca^{2+} e Mg^{2+} . Dessa forma, explica-se porque, em áreas sob SPD, é observada a mobilização de Ca^{2+} e Mg^{2+} , já que esses cátions são movimentados antes que ocorra a oxidação microbiana do COD, sendo essa reação muito rápida no solo (Franchini et al., 1999b).

TABELA 1.1 Constante de equilíbrio da protonação e formação de complexos com Al e Ca para ácido cítrico e succínico.

Reação	Log K_{s_i}	Reação	Log K_{s_i}
H+citrato	5,8	H+succinato	5,3
Al+citrato	7,4	Al+succinato	3,1
Ca+citrato	3,2	Ca+succinato	2,0

Fonte: adaptado de Franchini et al. (1999)

Um efeito resultante da complexação de resíduos orgânicos com Al^{3+} é a diminuição da fitotoxicidade desse cátion, o que permite um melhor

desenvolvimento radicular das plantas, conforme observado por Hue et al. (1986), em solos com diferentes concentrações de ácidos orgânicos, quando estudaram a elongação de raízes de algodoeiro. Esse autores verificaram que, em presença de diversos ácidos orgânicos, os ácidos cítrico, oxálico e tartárico, nessa ordem, foram os mais efetivos em complexar o Al, enquanto os ácidos fitálico, acético, fórmico e láctico apresentaram baixa capacidade em melhorar o ambiente de desenvolvimento radicular. De acordo com Hue et al. (1986), esses efeitos de diminuição da toxidez correlacionam-se com a posição relativa na cadeia carbônica dos grupos OH e COOH. Os complexos onde ocorrem cinco ou seis ligações dos compostos orgânicos com o Al^{3+} são favoráveis à formação de anéis, mostrando a importância das cadeias curtas, alifáticas de ácidos di ou tricarbônicos ($RCOCOO^-$, $RCOCH_2COO^-$, $RCO-HCOO^-$ e $RCOHCH_2COO^-$) em alterar a atividade química do Al^{3+} na solução do solo.

A intensidade dos efeitos de resíduos vegetais tem sido relacionada com as características do material vegetal utilizado. Em geral, as leguminosas proporcionam maior aumento de pH e neutralização do Al no solo do que as gramíneas, por apresentarem maior teor de cátions básicos no material vegetal. Essa propriedade confere maior caráter alcalino ao vegetal, em razão do maior teor de ânions orgânicos necessário à manutenção da eletroneutralidade na planta (Franchini et al., 1999b, citando Pierre e Banwart, 1973).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMS, F.; WHITE, A. W.; DAWSON, R. N. influence of lime sources and rates on Coastal bermudagrass production, soil profile reaction, exchangeable Ca and Mg. **Agronomy Journal**, Madison, v. 59, n. 2, p. 147-149, Mar./Apr. 1967.

CAIRES, E. F.; BARTH, G.; GARBUTO, F. J.; KUSMAN, M. T. Correção da acidez do solo, crescimento radicular e nutrição do milho de acordo com a calagem na superfície em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, p. 1011-1022, 2002.

CAIRES, E. F.; CHUEIRI, W. A.; MADRUGA, E. F.; FIGUEIREDO, A. Alterações de características químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na superfície em sistema de cultivo sem preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, n. 1, p. 27-34, jan./mar. 1998.

CAIRES, E. F.; FONSECA, A. F.; MENDES, J.; CHUEIRI, W. A.; MADRUGA, E. F. Produção de milho, trigo e soja em função das alterações das características químicas do solo pela aplicação de calcário e gesso na superfície, em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 23, n. 2, p. 315-327, abr./jun. 1999.

CAIRES, E. F.; ROSOLEM, C. A. Correção da acidez do solo e desenvolvimento do sistema radicular do amendoim em função da calagem. **Bragantia**, Campinas, v. 57, n. 4, p. 175-184, out./dez. 1998.

CASSIOLATO, M. E.; MEDA, A. R.; PAVAN, M. A.; MIYAZAWA, M.; OLIVEIRA, J. C. Evaluation of Oat extracts on the efficiency of lime in soil. **Brazilian Archive Biology and Technology**, Curitiba, v. 43, n. 5, p. 533-536, 2000.

CHAVES, J. C. D.; PAVAN, M. A.; IGUE, K. Resposta do cafeeiro à calagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 19, n. 5, p. 573-582, maio 1984.

CERVI, E. U. A revolução da Palha. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, v. 12, n. 73, p. 8-12, jan./jun. 2003.

CIA, E.; FREIRE, E. C.; SANTOS, W. J. **Cultura do Algodoeiro**. Piracicaba: POTAFOS, 1999. p. 286.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Algodão:** tecnologia de produção. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2001. p. 296.

ERNANI, P. R.; RIBEIRO, M. S.; BAYER, C. Modificações químicas em solos ácidos ocasionadas pelo método de aplicação de corretivos da acidez e de gesso agrícola. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 58, n. 4, p. 825-831, out./dez. 2001.

FRANCHINI, J. C.; MALAVOLTA, E.; MIYAZAWA, M.; PAVAN M. A. Alterações químicas em solos ácidos após a aplicação de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 23. p. 533-542, 1999b.

FRANCHINI, J. C.; MEDA, A. R.; CASSIOLATO, M. E.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A. Potencial de extratos de resíduos vegetais na mobilização do calcário no solo por método biológico. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 58, n. 2, p. 357-360, abr./jun. 2001.

FRANCHINI, J. C.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A. Influência de resíduos vegetais na toxidez de Al e na mobilidade de íons no solo. In: FERTBIO 2004, 26., 2004, Lages. **Anais...** Lages: UDESC, 2004. 1CD-ROM.

FRANCHINI, J. C.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; MALAVOLTA, E. Dinâmica de íons em solo ácido lixiviado com extratos de resíduos de adubos verdes e soluções puras de ácidos orgânicos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 12, p. 2267-2276, dez. 1999a.

GATIBONI, L. C.; SAGGIN, A.; BRUNETTO, G.; HORN, D.; FLORES, J. P. C.; RHEINHEIMER, D. S.; KAMINSKI J. Alterações nos atributos químicos de solo arenoso pela calagem superficial no sistema plantio direto consolidado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 2, p. 283-290, mar./abr. 2003.

HUE, N. V.; CRADDOCK, G. R.; ADAMS, F. Effect of organic acids on aluminum toxicity in subsoils. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 50, n. 1, p. 28-34, Jan./Feb. 1986.

MEDA, A. R.; PAVAN, M. A.; CASSIOLATO, M. E.; MIYAZAWA, M. Dolomite lime's reaction applied on the surface of a sandy soil of the northwest Paraná, Brazil. **Brazilian Archive Biology and Technology**, Curitiba, v. 45, n. 2, p. 219-222, June 2002.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; FRANCHINI, J. C. Evaluation of plant residues on the mobility of surface applied lime. **Brazilian Archive Biology and Technology**, Curitiba, v. 45, n. 3, p. 251-256, 2002.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; FRANCHINI, J. C. Organic mobility of surface applied lime under no-tillage. In: INTERNATIONAL MEETING OF THE INTERNATIONAL HUMIC SUBSTANCE SOCIETY, 1998, Adelaide. p. 166.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; SANTOS, J. C. F. Effects of addition of crop residues on the leaching of Ca and Mg in Oxisols. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PLANT-SOIL INTERACTIONS AT LOW pH, 4., 1996, Belo Horizonte. Abstracts... Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/ EMBRAPA-CPAC, 1996. p. 8.

MOREIRA, S. G.; KIEHL, J. C.; PROCHNOW, L. I.; PAULETTI, V. Calagem em sistema de semeadura direta e efeitos sobre a acidez do solo, disponibilidade de nutrientes e produtividade de milho e soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 71-81, jan./mar. 2001.

OLIVEIRA, E. L.; PAVAN, M. A. Control of soil acidity in no-tillage system for soybean production. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v. 38, n. 1/2, p. 47-57, Aug. 1996.

OLIVEIRA, E. L.; PARRA, M. S.; COSTA, A. Resposta da cultura do milho, em um Latossolo Vermelho-escuro álico, à calagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, n. 1, p. 65-70, jan./mar. 1997.

PAVAN, M. A. Movimentação de calcário no solo através de técnicas de manejo da cobertura vegetal em pomares de macieira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Cruz das Almas, v. 16, n. 1, p. 86-91, 1994.

PAVAN, M. A.; BINGHAM, F. T.; PRATT, P. F. Redistribution of exchangeable calcium, magnesium and aluminum following lime and gypsum application to a Brazilian oxisol. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 48, n. 1, p. 33-38, Jan./Feb. 1984.

PAVAN, M. A.; ROTH, C. H. Effect of lime and gypsum on chemical composition of runoff and leachate from samples of a Brazilian oxisol. **Ciência e Cultura**, Campinas, v. 44, n. 6, p. 391-394, nov./dez. 1992.

PIRES, F. R.; SOUZA, C. M.; QUEIROZ, D. M.; MIRANDA, G. V.; GALVÃO, J. C. C. Alterações de atributos químicos do solo e estado nutricional e características agrônômicas de plantas de milho, considerando as modalidades

de calagem em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 121-131, jan./fev. 2003.

PÖTTKER, D.; BEN, J. R. Calagem para uma rotação de culturas no sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, n. 4, p. 675-684, out./dez. 1998.

QUAGGIO, J. A.; RAIJ, B. van; GALLO, P. B.; MASCARENHAS, H. A. A. Respostas da soja à aplicação de calcário e gesso e lixiviação de íons no perfil do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 3, p. 375-383, Mar. 1993.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1991. 343 p.

RHEINHEIMER, D. S.; SANTOS, E. J. S.; KAMINSKI, J.; XAVIER, F. M. Aplicação superficial de calcário no sistema plantio direto consolidado em solo arenoso. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 2, p. 263-268, mar./abr. 2000.


RITCHEY, K. D.; SOUZA, D. M. G.; LOBATO, E.; CORREA, O. Calcium leaching to increase rooting depth in a Brazilian Savannah Oxisol. **Agronomy Journal**, Madison, v. 72, n. 1, p. 40-44, Jan./Feb. 1980.

SCHAEFER, C. E. G. R.; SOUZA, C. M.; VALLEJOS M, F. S.; VIANA, J. H. M.; GALVÃO, J. C. C.; RIBEIRO, L. M. Características da porosidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo submetido a diferentes sistemas de preparo de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 3, p. 765-769, jul./set. 2001.

SILVA, N. M.; CARVALHO, L. H.; CIA, E.; FUZATTO, M. G.; CHIAVEGATO, E. J.; ALLEONI, L. R. F. Seja o doutor do seu algodoeiro. **Arquivo do agrônomo**, Piracicaba, n. 8, p. 17, 1995.

SILVA, N. M.; VAN RAIJ, B.; CARVALHO, L. H.; BATAGLIA, O. C.; KONDO, I. Efeitos do calcário e do gesso nas características químicas do solo e na cultura do algodão. **Bragantia**, Campinas, v. 56, p. 389-401, 1997.

SOUZA, Z. M.; ALVES, M. C. Propriedades químicas de um Latossolo Vermelho distrófico de cerrado sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 1, p. 133-139, Jan./Fev. 2003.



WEIR, C. C. Effect of lime and nitrogen application on citrus yields and on the downward movement of calcium and magnesium in a soil. **Tropical Agriculture**, Trinidad, v. 51, n. 2, p. 230-234, Apr. 1974

CAPÍTULO II

**MANEJO DA CALAGEM EM UM LATOSSOLO SOB DIFERENTES
USOS E OU COBERTURAS VEGETAIS ANTERIORES CULTIVADO
COM ALGODOEIRO: MOVIMENTAÇÃO DE CÁTIOS E
NEUTRALIZAÇÃO DA ACIDEZ**

RESUMO

PÁDUA, Tullio Raphael Pereira de. Manejo da calagem em um latossolo sob diferentes usos e ou coberturas vegetais anteriores cultivado com algodoeiro: movimentação de cátions e neutralização da acidez. In: ____ **Manejo da calagem em um latossolo sob diferentes usos ou coberturas vegetais anteriores: movimentação de corretivo, neutralização da acidez e crescimento do algodoeiro *Gossypium hirsutum* L.** 2005. p. 23-55. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras – MG.¹

A movimentação de calcário e a correção da acidez podem ser influenciadas pelo manejo da calagem e pela quantidade e qualidade da matéria orgânica presente no solo. Avaliou-se a correção da acidez em função da aplicação superficial e da incorporação de calcário em um Latossolo Vermelho distroférico anteriormente sob diferentes coberturas vegetais (mata, eucalipto, pinus e pastagem). O estudo foi conduzido de novembro de 2002 a janeiro de 2003, no Departamento de Ciência do Solo da UFLA, sendo o algodoeiro cultivado por 45 dias em casa de vegetação em colunas de PVC. Foram avaliados os teores de Ca^{2+} e Al^{3+} , o pH (água) e os valores de saturação por bases e por Al^{3+} em amostras de solo coletadas nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm. A aplicação superficial de calcário promoveu uma melhoria na fertilidade do solo, evidenciada pelo aumento nos valores de pH, V%, Ca^{2+} e pela diminuição dos teores de Al^{3+} ; porém, na profundidade de 0-5 cm, houve uma elevação dos valores de pH e V% acima dos considerados adequados para a cultura do algodoeiro, caracterizando uma calagem excessiva. Essa melhoria no grau de fertilidade do solo foi mais pronunciada no solo com maior teor de matéria orgânica (área sob mata).

¹ Orientador: Prof. Carlos Alberto Silva - UFLA

ABSTRACT

PÁDUA, Tullio Raphael Pereira de. Liming management in a latosol under different use/cover crops: mobility of base and neutralization of acidity. In: ____ **Liming management in a latosol under different use/cover crops: mobility of limestone, neutralization of acidity and cotton growth.** 2005. p. 23-55. Dissertation (Master in Soil Science and Plant Nutrition) – Federal University of Lavras, Lavras – MG.¹

The limestone's mobility and the soil acidity correction can be influenced by liming management and quantity and quality of soil organic matter. It was estimated the acidity's correction in function of the lime incorporation and surface liming in a red latosol (oxisol) under different plant covers (eucalyptus, forest, pasture and pine). The study was carried out from November 2002 to January 2003 in the Soil Science Department at the Lavras Federal University and the cotton was cultivated during 45 days in greenhouse conditions in PVC columns. It was quantified the contents of Ca^{2+} e Al^{3+} , the pH (water) and the levels of base and Al^{3+} saturation in soil samples collected in the following depths: 0-5, 5-10, 10-20 and 20-40 cm. The limestone applied superficially promoted an improvement in soil fertility evidenced by an increase in the values of pH, V%, Ca^{2+} and decrease in the contents of Al^{3+} , however in depth 0–5 cm, it was verified an increase in pH values and base saturation for levels above of those considered optimum for cotton growth and that was characterized as an over liming. Such effects related to amelioration of soil fertility was more pronounced in samples with higher organic soil matter contents (soil under forest cover).

¹ Prof. Carlos Alberto Silva - UFLA (Major Professor).

1 INTRODUÇÃO

Os solos brasileiros, tanto na sua camada arável quanto em seu subsolo, são ácidos e de baixa fertilidade, e isso se constitui em um dos fatores limitantes à obtenção de produtividades adequadas. Sob essas condições de cultivo, não se pode prescindir da calagem, uma vez que a não correção da acidez do solo pode reduzir a produtividade das culturas e a eficiência de uso dos fertilizantes nas lavouras. No caso do algodoeiro, que é uma planta bastante sensível à acidez, a calagem torna-se uma prática imprescindível para a obtenção de altas produtividades (Silva et al., 1995). O rendimento dessa cultura pode ser reduzido pela metade caso a correção da acidez do solo não seja feita de modo correto, principalmente nos solos onde a saturação por bases é menor que 20% (Cia et al., 1999).

O método convencional para a aplicação de calcário garante uma incorporação uniforme do corretivo nas camadas superficiais do solo (Vale et al., 1997). Existem, contudo, áreas em que a calagem é feita aplicando-se o calcário na superfície sem incorporação, com maiores riscos de supercalagem, que se caracteriza pela elevação do pH a valores acima dos tecnicamente recomendados para a cultura, e uma correção inadequada da acidez nas camadas efetivamente exploradas pelas raízes do algodoeiro. Além disso, em áreas onde o há incorporação de calcário, é interessante que o corretivo se movimente para as camadas mais profundas, em razão de ser baixa a disponibilidade de Ca^{2+} e alto o teor de Al tóxico no subsolo. A aplicação superficial de corretivos tem corrigido de modo eficiente a acidez do solo em áreas já instaladas com culturas perenes (Chaves et al., 1984), em pastagens já estabelecidas e em áreas sob sistema plantio direto (SPD) já consolidadas do sul do País, principalmente nos solos com maior acúmulo de matéria orgânica (Pöttker & Ben, 1998; Caires et al., 1998, 1999 e 2002; Rheinheimer et al., 2000; Moreira et al., 2001; Gatiboni

et al., 2003; Pires et al., 2003). Assim, novas demandas de pesquisa têm surgido nos últimos anos, como por exemplo, a aplicação de calcário em áreas de cerrado sob SPD, onde existe a dificuldade de se produzir palha para cobertura do solo, o que restringe o acúmulo de matéria orgânica na superfície e a movimentação do cálcio proveniente do calcário não incorporado no perfil do solo. Viabilizar a calagem superficial no cerrado constitui-se em uma grande demanda por parte dos agricultores, por se tratar da região de maior expansão da cotonicultura.

Para que ocorra a lixiviação de cátions, como é o caso do Ca^{2+} proveniente da calagem, é necessário que haja no solo íons acompanhantes, no caso ânions solúveis como o cloreto, sulfato, nitrato, formiato, bicarbonato, etc. Este é um dos motivos que explicam a baixa mobilidade no solo de cálcio aplicado na forma de carbonato, já que o ânion CO_3^{2-} , ao reagir com o H^+ , evolui para a atmosfera na forma de CO_2 (Miyazawa et al., 2000). Além disso, o calcário é um material de baixa solubilidade, que se movimenta pouco no perfil, sendo, no entanto, efetivo na correção da acidez nas camadas do solo onde é feita a sua incorporação. Em solos mais ricos em matéria orgânica, com maior aporte de restos culturais e ou com adição de esterco e outros resíduos orgânicos, é comum haver movimentação do cálcio para camadas do solo além do local onde esse cátion é aplicado. Isso pode ser explicado pela formação e maior mobilidade de sais de fulvato de cálcio em solos adubados com esterco de aves (Liu & Hue, 1995) ou pela reação de fulvato, originado de carvão, com cálcio (Noble et al., 1995).

Os restos de cultura, do mesmo modo, são eficazes em movimentar bases e neutralizar o Al em solos ácidos. Acréscimos na mobilidade de Ca no solo foram notados por Miyazawa et al. (1998), em função da aplicação de resíduos vegetais na camada superficial de solos ácidos e por Franchini et al. (1999), em razão da adição ao solo de extrato de nabo forrageiro e de aveia

preta. Após cinco anos de implantação de áreas sob SPD, Oliveira & Pavan (1996) observaram uma redução nos teores de alumínio trocável, uma maior disponibilidade de Ca^{2+} e Mg^{2+} e aumento dos valores de pH até 40 cm de profundidade no solo, em área onde se aplicou calcário dolomítico em superfície.

O uso, o tipo e a época de manejo de resíduos de plantas de cobertura podem ser determinantes para o sucesso da correção da acidez subsuperficial dos solos a partir da produção de diferentes tipos de ácidos orgânicos que podem neutralizar a acidez em camadas mais profundas. Dessa forma, a manutenção desses resíduos vegetais com diminuição de sua taxa de decomposição pode determinar no solo uma maior disponibilidade e persistência dessas substâncias orgânicas em áreas sob SPD, e isso pode ser determinante para a redução da toxidez de Al e movimentação de Ca^{2+} no perfil de solo (Franchini et al., 2004).

Assim, em função do papel que as moléculas orgânicas (ácidos orgânicos de baixa massa molecular, ácido fúlvico, etc) exercem em neutralizar o Al tóxico e aumentar a mobilidade de Ca^{2+} e outros cátions no solo, torna-se importante avaliar a magnitude desses processos nos solos com diferentes coberturas vegetais, uma vez que o teor e a composição da matéria orgânica variam de um uso de solo para outro. Em razão de uma maior ou menor concentração de matéria orgânica no solo, as frações orgânicas podem complexar o Al tóxico e aumentar a mobilidade de corretivo da acidez no solo.

Este estudo teve por objetivo avaliar o efeito do manejo da calagem sobre a correção da acidez e a movimentação de bases em amostras de latossolo sob influência de diferentes usos anteriores (coberturas vegetais) e cultivadas com algodoeiro.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras (UFLA), localizada em Lavras, sul de Minas Gerais, em Latossolo Vermelho distroférico (textura argilosa), no período de novembro de 2002 a janeiro de 2003.

As análises químicas de amostras do solo sob diferentes usos e coberturas vegetais foram realizadas no Laboratório de Fertilidade do Solo do DCS/UFLA e os resultados relativos a algumas características do solo são apresentados na Tabela 2.1. As amostras de solo foram coletadas no Campus da Universidade Federal de Lavras em outubro de 2002, nas profundidades de 0 a 10, 10 a 20 e 20 a 40 cm. Na área sob mata, predomina a vegetação do tipo floresta tropical subcaducifólia; na área sob pastagem, foi implantada há cerca de 15 anos a *Brachiaria decumbens* L.; a floresta de pinus já adulta foi implantada há cerca de 20 anos, o mesmo ocorrendo com a área de eucalipto.

Os tratamentos estudados consistiram da combinação de sistemas de manejo da calagem com usos anteriores do latossolo estudado. Em relação ao manejo da calagem, foram avaliados os seguintes tratamentos: 1) testemunha - sem calagem (SC), 2) calcário aplicado em superfície (CS), 3) calcário incorporado na camada de solo de 0 a 10 cm (C10) e 4) calcário incorporado na camada de solo de 0 a 20cm (C20). Estes tratamentos foram combinados com quatro usos anteriores (coberturas vegetais) do solo em estudo: mata, sob floresta de pinus, sob floresta de eucalipto e sob área de pastagem de braquiária, perfazendo assim um total de 16 tratamentos (4 métodos de manejo da calagem x 4 uso ou coberturas vegetais do latossolo em estudo).

Antes do plantio do algodoeiro (cultivar IAC 23), foi realizada a calagem nos sistemas de manejo já descritos, sendo as amostras incubadas por 30 dias com o teor de água do solo mantido na capacidade de campo. Foi

utilizado no estudo o CaCO_3 p.a., com o objetivo de elevar a saturação por bases a 80%, exceto para a testemunha, em que não foi realizada a calagem. A quantidade de calcário para cada tratamento foi calculada utilizando-se o método do IAC, que se baseia na elevação da saturação por bases a um valor ideal numa camada de 20 cm de solo para a cultura a ser implantada, sendo aplicada a dose total calculada em todos os tratamentos. No solo sob mata, foram aplicados 8,16 g/vaso de CaCO_3 p.a.; para o solo sob eucalipto, 6,85 g/vaso; na área de pinus, 6,06 g/vaso e, para o solo sob cobertura de pastagem, 2,55 g/vaso. Nas parcelas experimentais e na testemunha (ausência de calagem), aplicou-se 1,92g de fosfato de cálcio p.a. ($\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) em cada vaso de cultivo, para atender à exigência nutricional do algodoeiro em fósforo.

Durante o cultivo do algodoeiro, o teor de água no solo foi mantido por meio de pesagens diárias dos vasos de cultivo (3,2 litros), mantendo-se a umidade do solo na capacidade de campo. Nesse período, foram feitas adubações nitrogenadas em cobertura com sulfato de amônio p.a., 1414 mg/vaso, distribuídas em duas aplicações, aos 15 e 30 dias após a germinação (DAG), sendo aplicados 150 mg kg^{-1} de N em cada cobertura, e de potássio KCl p.a., 573 mg/vaso divididos em 2 aplicações (150 mg kg^{-1} de K em cada cobertura). Aplicaram-se também micronutrientes, sendo utilizados H_3BO_3 (1,57 mg/vaso), $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (15,71 mg/vaso) e CuSO_4 (4,71 mg/vaso), em aplicação única no plantio do algodoeiro.

O experimento foi conduzido em colunas de PVC de 10 cm de diâmetro e 40 cm de altura, sendo as colunas preenchidas com amostras de solo das quatro áreas sob diferentes coberturas vegetais, coletadas nas profundidades de: 0 a 10, 10 a 20 e 20 a 40 cm. Essas amostras foram dispostas nas colunas de cultivo do algodoeiro nas mesmas profundidades coletadas a campo. O algodoeiro (2 plantas/vaso) foi cultivado por um período de 45 dias, sendo encerrado o estudo por ocasião do corte das plantas rente à superfície do solo que foram coletadas e

tiveram separadas as raízes nas diferentes camadas do solo nas colunas, seguida de nova amostragem de solo, para determinações laboratoriais. As amostras de solo sob cobertura vegetal anterior de pinus, no tratamento CS, foram perdidas no início do experimento (30 dias em incubação para reação do calcário com o solo), por isso esses dados não constam nas tabelas dessa cobertura anterior, nesse período do experimento.

TABELA 2.1 Características químicas para os quatro amostras do Latossolo estudado sob condições naturais (antes da aplicação dos tratamentos), para três profundidades de coleta do solo.

Cobertura vegetal	pH H ₂ O	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	V	M	MO dag/kg
			--mg dm ⁻³ --		----cmol _c /dm ³ ----			----%----		
-----0 a 10 cm-----										
Eucalipto	4,3	1,2	8	0,4	0,1	1,7	12,3	4	77	2,4
Mata	4,1	1,4	45	0,5	0,2	1,9	15,3	5	70	3,8
Pastagem	5,7	2,3	136	1,5	0,8	0,3	4,0	40	10	2,4
Pinus	4,5	1,2	13	0,4	0,1	1,3	9,8	5	71	2,5
-----10 a 20 cm-----										
Eucalipto	4,4	1,2	8	0,4	0,1	1,5	9,8	5	74	2,4
Mata	4,2	0,6	28	0,4	0,1	1,4	11,0	5	71	2,7
Pastagem	5,4	1,7	72	0,8	0,2	0,4	5,0	19	25	1,9
Pinus	4,5	0,6	11	0,4	0,1	1,2	9,8	5	69	2,1
-----20 a 40 cm-----										
Eucalipto	4,4	0,6	6	0,2	0,1	1,3	9,8	3	80	2,0
Mata	4,5	0,4	17	0,4	0,1	1,1	9,8	5	67	2,2
Pastagem	5,2	0,9	45	0,8	0,2	0,3	4,5	20	21	1,6
Pinus	4,6	0,4	6	0,4	0,1	1,0	7,9	6	66	1,9

Nestas amostras de solo, foram avaliados os teores trocáveis de cálcio e alumínio, o pH em água e quantificados os valores de saturação por bases (V) e por alumínio (m). Esses atributos foram analisados em amostras de solo coletadas por ocasião do plantio e ao término do cultivo do algodoeiro. Nessas amostragens realizadas nas colunas de PVC, foram coletadas amostras de solo nas profundidades de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20 e 20 a 40 cm. Utilizou-se a solução de KCl 1 mol L⁻¹ para quantificar os teores de Ca²⁺ e Al³⁺. A acidez potencial foi estimada por meio da medição do pH em solução tampão SMP. A matéria orgânica foi determinada pelo método colorimétrico, a partir de uma solução contendo Na₂Cr₂O₇ e H₂SO₄ p.a. As marchas analíticas utilizadas foram as descritas por Silva (1999).

O delineamento utilizado no estudo foi em blocos casualizados, em três repetições. Os tratamentos utilizados neste estudo representam a combinação de quatro sistemas de manejo da calagem, com quatro usos ou coberturas vegetais anteriores do solo estudado. Os procedimentos estatísticos constaram da análise de variância, aplicando-se o teste F para determinar o grau de significância ($p < 0,05$) dos tratamentos avaliados. Consistiram em fatores de análise os diferentes tratamentos (sem calagem, calagem 0 a 10cm, calagem 0 a 20cm e calagem superficial), sendo avaliada também a interação entre os sistemas de incorporação do calcário com os usos anteriores do latossolo (eucalipto, mata, pastagem e pinus), para as diferentes características químicas do solo avaliadas. Nas interações em que o teste F se mostrou significativo, foram comparadas as médias de cada tratamento, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 pH

Os dados referentes ao pH em água são apresentados nas Tabelas 2.2 e 2.3, correspondentes às coletas de amostras no início (após 30 dias de reação do calcário no solo) e ao término do cultivo do algodoeiro. Nas amostras de solo em que foi realizada a correção da acidez e o calcário foi incorporado a 20 cm, o pH esteve próximo da faixa de valores recomendada para o algodoeiro. Entretanto, a aplicação de calcário a 10 cm de profundidade elevou os valores para além desta faixa e, em superfície, acarretou, na camada de solo de 0-5 cm, forte acréscimo nos valores de pH, para níveis próximo da neutralidade. Isso causa preocupação, tendo em vista que esse excesso na correção da acidez poderá representar menor disponibilidade de nutrientes para as plantas, notadamente de micronutrientes catiônicos, reduzindo a sua absorção pelas plantas, o que representaria uma séria restrição para o crescimento do algodoeiro. À exceção da amostra sob uso anterior de pastagem, os valores de pH na testemunha (sem calagem) foram muito baixos, caracterizando forte acidez do solo. Sob essas condições de cultivo, pode-se adiantar que o crescimento do algodoeiro será seriamente afetado, por se tratar de cultura pouco tolerante a solos ácidos (Cia et al., 1999).

Nas amostras de solo onde houve a adição de calcário, os aumentos de pH, além do local de aplicação do calcário, foram pequenos, insuficientes para atingir os valores considerados adequados para cultivo do algodoeiro, sendo exceção o solo sob uso anterior de pastagem, em que o aumento de pH foi expressivo, principalmente no tratamento onde não foi feita a incorporação de corretivo. Alguns trabalhos apresentam resultados semelhantes para a elevação de pH em áreas sob SPD (Caires et al., 1998; e Pöttker e Ben 1998), que constataram que a calagem superficial elevou o pH do solo até uma

profundidade de 10 cm. No trabalho de Moreira et al. (2001), foi observado um maior aumento no valor para pH até a 10 cm de profundidade, quando o calcário foi aplicado superficialmente em comparação àquele onde foi incorporado. O mesmo foi observado por Petreire e Anghinoni (2001), que encontraram valores elevados para pH nesta profundidade em áreas sob SPD, alcançando valores inadequados para o desenvolvimento das plantas.

Ao se analisar os dados referentes ao final do estudo, observa-se que, independentemente do manejo da calagem, ocorre uma diminuição do valor final de pH, em relação ao início do estudo. Esse fato possivelmente é explicado, entre outros fatores, pela atividade da planta no solo ao absorver nutrientes catiônicos, pela mineralização da matéria orgânica e pela maior intensidade do processo de nitrificação (Bissani et al., 2004). O menor valor de pH encontrado para o tratamento SC ao final do experimento, na amostra anteriormente sob cobertura de pinus, deve ter sido causado por esta atividade da planta, conforme mencionado antes e, assim, mesmo a calagem superficial que não tendo propiciado atingir valores de pH ideais para o desenvolvimento do algodoeiro, foram mantidos, ao menos, os valores iniciais de pH.

Na camada de solo de 10 a 20 cm, o tratamento CS, na amostra anteriormente sob mata, foi mais eficiente em corrigir a acidez do que nas amostras sob uso anterior de pinus e eucalipto. Comparando-se os manejos de calagem, a aplicação superficial de calcário em amostras sob uso anterior de mata mostrou-se mais eficiente em elevar o pH do que quando o corretivo foi incorporado a 10 cm de profundidade, sendo o pH 0,5 unidade acima do valor encontrado para a testemunha, conforme dados da Tabela 2.2. Os trabalhos de Caires et al. (1999 e 2002) e Gatiboni et al. (2003) demonstraram que a alteração do pH em profundidade pela aplicação superficial de calcário ocorre em subsolo, já que a elevação do pH se deu até 60 cm de profundidade do solo. No trabalho de Chaves et al. (1984), conduzido em lavoura de cafeeiro, foi observado que os

efeitos da correção da acidez pela adição de calcário dolomítico em superfície se restringiram às camadas de solo com até 30 cm de profundidade, em razão do aumento do pH.

Uma possível explicação para elevação do pH em maiores profundidades, em razão da aplicação superficial de calcário neste estudo, se baseia nas explicações de Petrere & Anghinoni (2001) e Miyazawa et al. (2000). Segundo esses autores, a elevação de pH está associada à maior produção de compostos orgânicos hidrossolúveis originados da decomposição de resíduos das plantas no solo. Na área anteriormente sob cobertura de mata, há um maior teor de matéria orgânica no solo (Tabela 2.1), e, com a maior presença destes compostos no solo sob esta cobertura, é bastante provável que seja favorecida uma maior descida de cálcio no solo, pela reação desse cátion com a MO, formando complexos organo-metálicos, que poderiam ser originados também a partir da reação com outros cátions de reação ácida (Fe^{2+} , Mn^{2+} e Al^{3+}) na solução do solo. Isso resultaria na liberação de ânions (OH^- , HCO_3^-) que neutralizariam o alumínio e elevariam o pH.

A reação em solo seria, segundo Miyazawa et al. (2000):



em que: $\text{M}^{n+} = \text{K}^+, \text{Ca}^{2+}, \text{Mg}^{2+}$.

TABELA 2.2 Valores de pH em água para amostras de Latossolo Vermelho distroférico sob diferentes manejos da calagem e sob quatro coberturas vegetais, colhidas a quatro profundidades, após 30 dias em incubação para reação do calcário com o solo.

Cobertura vegetal anterior	pH (água)			
	SC	C10	C20	CS
-----0 a 5cm-----				
Eucalipto	4,6 C b	6,5 A a	5,8 B a	6,7
Mata	4,1 C d	6,4 A a	5,4 B b	6,4
Pastagem	5,7 C a	6,3 A a	6,0 B a	6,8
Pinus	5,1 C b	6,4 A a	5,7 B ab	---
-----5 a 10cm-----				
Eucalipto	4,7 C b	6,8 A a	6,0 B ab	5,2
Mata	4,3 C c	6,7 A a	5,7 B b	4,9
Pastagem	5,9 C a	6,6 A a	6,2 B a	6,8
Pinus	4,9 C b	6,7 A a	6,0 B ab	---
-----10 a 20cm-----				
Eucalipto	4,8 C b	5,5 B b	6,1 A a	5,0
Mata	4,4 C c	4,8 B c	5,7 A b	4,8
Pastagem	5,6 A a	6,1 A a	6,3 A a	6,1
Pinus	5,0 C b	5,3 B b	6,0 A ab	---
-----20 a 40cm-----				
Eucalipto	4,3 B c	4,4 A bc	4,5 A b	4,3
Mata	4,2 A c	4,2 A c	4,3 A b	4,1
Pastagem	5,1 B a	5,3 A a	5,4 A a	5,3
Pinus	4,5 A b	4,6 A b	4,5 A b	---

Médias seguidas por mesmas letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, em cada atributo e profundidade de solo analisados, não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). SC, sem calagem; C10, calagem na camada de solo de 0-10 cm; C20, calagem na camada de solo de 0-20 cm e CS, calagem em superfície do solo.

TABELA 2.3 Valores de pH em água para Latossolo Vermelho distroférico sob diferentes manejos da calagem e sob quatro diferentes usos ou coberturas vegetais anteriores, em quatro profundidades, após 45 dias de cultivo do algodoeiro.

Cobertura vegetal	pH (em água)			
	SC	C10	C20	CS
-----0 a 5cm-----				
Eucalipto	4,1 D b	6,0 B a	5,3 C a	6,8 A a
Mata	3,9 D b	5,9 B a	5,0 C a	6,7 A ab
Pastagem	4,6 B a	5,5 A a	4,9 B a	6,1 A b
Pinus	4,2 D ab	5,9 B a	5,3 C a	7,0 A a
-----5 a 10cm-----				
Eucalipto	4,1 C b	6,2 A a	5,5 B a	4,6 C b
Mata	4,1 C b	6,0 A a	5,2 B a	4,5 C b
Pastagem	4,8 C a	5,9 A a	5,1 BC a	5,5 AB a
Pinus	4,1 D b	6,2 A a	5,4 B a	4,7 C b
-----10 a 20cm-----				
Eucalipto	4,0 D b	4,6 B b	5,6 A bc	4,3 C d
Mata	4,1 D b	4,5 C b	5,4 A c	4,7 B b
Pastagem	4,9 C a	5,2 B a	5,9 A a	5,0 C a
Pinus	4,0 D b	4,6 B b	5,6 A b	4,4 C c
-----20 a 40cm-----				
Eucalipto	4,0 A b	4,1 A b	4,1 A b	4,0 A c
Mata	3,9 B b	4,2 A b	4,1 AB b	4,2 A b
Pastagem	4,8 A a	4,7 A a	4,8 A a	4,9 A a
Pinus	4,0 A b	4,0 A b	4,2 A b	4,0 A bc

Médias seguidas por mesmas letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, em cada atributo e profundidade de solo analisados, não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). SC, sem calagem; C10, calagem na camada de solo de 0-10 cm; C20, calagem na camada de solo de 0-20 cm e CS, calagem em superfície do solo.

3.2 Cálcio e saturação por bases

Os teores de Ca^{2+} em função da combinação dos métodos de manejo da calagem com o uso ou cobertura vegetal do solo são apresentados nas Tabelas 2.4 e 2.5. Na testemunha, os teores de Ca^{2+} determinados podem ser caracterizados como pertencendo às classes de fertilidade baixa ou média,

segundo a CFSEMG (1999), portanto, insuficientes para o pleno crescimento da cultura estudada, que é muito exigente nesse nutriente. Com a correção da acidez do solo, houve um acréscimo nos teores de Ca^{2+} , para valores excessivos em alguns casos, principalmente na área com calagem em superfície. Esse excesso de cálcio em solo pode comprometer a absorção de outros nutrientes pelo algodoeiro, sendo exemplo o Mg e o K, que são cátions que competem com o Ca^{2+} na fase de absorção nestas condições (Marschner, 1995). Nesse caso, se esses nutrientes não forem supridos de modo balanceado, há sério risco de o algodoeiro não atingir a sua exigência nutricional em relação ao K e Mg, principalmente. Os dados apresentados permitem inferir que houve movimentação de cálcio além da camada de solo onde o corretivo de acidez foi aplicado. Isso pode ser notado no tratamento C10, no qual os teores de cálcio na camada de solo de 10-20 cm foram maiores em todos os sistemas de uso ou cobertura do solo, em relação à testemunha. Resultados comprovando esta mobilização de Ca^{2+} pelo perfil do solo foram verificados por Chaves et al. (1984), Caires et al. (1999), (2002), Petre e Anghinoni (2001) e Pöttker e Ben (1998), que observaram elevação nos teores desse nutriente na camada de solo de profundidade variando entre 10 e 60 cm.

Quando o calcário não foi incorporado (CS), os teores de cálcio trocável no solo só aumentaram, em relação à testemunha, na amostra sob uso anterior de mata. Na área sob uso anterior de mata e na camada de solo de 5 a 10 cm, os teores de Ca^{2+} estavam dentro da faixa ótima para o cultivo do algodoeiro, segundo CFSEMG (1999). Trata-se da área (mata) com as amostras de solo mais rica em matéria orgânica, o que poderia explicar a maior movimentação para camadas mais profundas do solo do cálcio aplicado em superfície. O maior armazenamento de matéria orgânica no solo proporciona maiores teores de ânions orgânicos acompanhantes para o cálcio, como os íons fulvatos, os ácidos orgânicos de baixa massa molecular, como o cítrico, tartárico, oxálico, etc.,

segundo Franchini et al. (1999a). Assim, é bastante provável que o uso de calcário em superfície, aliado à maior aplicação de resíduos ou à maior disponibilidade de matéria orgânica no solo, implique em enriquecimento de cálcio ao longo do perfil do solo, podendo representar um ambiente no solo e no subsolo mais favorável ao crescimento do sistema radicular do algodoeiro.

Em relação aos valores de saturação por bases (Tabelas 2.6 e 2.7), os resultados obtidos foram muito similares aos observados para o cálcio trocável. Quando o calcário foi incorporado na camada de solo de 0 a 20 cm, os valores de V estiveram próximos do valor considerado adequado (70%) para o cultivo do algodoeiro, conforme a CFSEMG (1999). Nas amostras de solo em que o calcário foi incorporado na camada de solo de 0 a 10 cm, os valores de V foram mais elevados, superiores, portanto, ao valor considerado adequado para o pleno crescimento do algodoeiro; isso caracteriza uma supercalagem, com todos os efeitos negativos que se possam antever desse processo para a absorção de nutrientes e produção das culturas em geral. Uma supercalagem também foi verificada na camada de solo de 0-5 cm do tratamento CS, uma vez que os valores de V estiveram acima de 70%. Aumento nos níveis de V para além do local de aplicação do corretivo ocorreram na camada de 10 a 20 cm do tratamento C10, em todos os usos ou coberturas vegetais anteriores do solo e ao longo do perfil de amostras do solo que receberam calcário em superfície, no solo sob uso anterior de mata.

Ao término do experimento, os valores de V% obtidos foram muito semelhantes aos encontrados no início do experimento. Isso pode ser considerado como uma manutenção dos valores iniciais mesmo após o crescimento e desenvolvimento do algodoeiro. O mesmo ocorreu em todos os usos ou coberturas vegetais anteriores estudados, quando compara-se o tratamento CS com o tratamento SC, ao final do experimento, na camada de solo de 5 a 10 cm de profundidade. Para a camada de solo de 10 a 20 cm de

profundidade, observa-se que, tanto para o tratamento C10 quanto para o CS, ocorreram aumentos nos teores de Ca^{2+} , em comparação ao SC, no início e fim do experimento, para todas as coberturas. Além disso, os valores finais de Ca^{2+} para C10 e CS foram superiores aos seus respectivos valores iniciais, o que implica em acúmulo deste cátion nessa profundidade do solo. Esses resultados, mais uma vez, estão de acordo com a explicação de que o Ca^{2+} se associa a compostos orgânicos hidrossolúveis, já relatada anteriormente, alterando o pH.

Segundo Franchini et al. (1999a), alguns compostos orgânicos, como citrato e succinato, provenientes de resíduos de espécies vegetais e ou componentes da matéria orgânica do solo que podem se ligar ao cálcio, aumentariam o transporte desse cátion para camadas de solo subsuperficiais. Essa complexação com compostos orgânicos aumenta, assim, a eficiência da calagem em superfície por propiciar a movimentação de Ca^{+2} até a subsuperfície pela solução do solo, conforme observado por Cassiolato et al. (2000) e Gatiboni et al. (2003). O Ca^{2+} associado a compostos orgânicos tem a sua carga alterada ao formar complexos do tipo ML^- , ML^0 e ML^+ (em que M=Cálcio), favorecendo a sua lixiviação, por alterar sua afinidade com os colóides do solo (Miyazawa et al. 1996). Entretanto, a mobilização de cálcio no solo sob cobertura de pastagem a partir de 20 cm de profundidade, principalmente nos tratamentos C10 e C20, pode também estar relacionada com a presença de ânions (NO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , etc.) provenientes de fertilizantes e da matéria orgânica do solo (MOS), que estariam presentes nesse solo e que, ao se ligaram ao cálcio, favorecem a sua lixiviação.

No caso da baixa taxa de movimentação do calcário observada nas áreas sob pinus e eucalipto, as razões seriam a falta de um ânion estável no solo, pois, conforme discutido por Meda et al. (2002), a reação do calcário disponibiliza Ca^{2+} e HCO_3^- e, posteriormente, CO_2 e H_2O , e a baixa quantidade ou inexistência de ânions inorgânicos no solo e a ausência de ânions orgânicos provenientes de

resíduos vegetais de tais coberturas capazes de se ligarem ao cálcio para favorecer sua movimentação até esta profundidade; além disso, nesses solos, a disponibilidade de matéria orgânica é menor.

TABELA 2.4 Teores de cálcio trocável, em $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, para Latossolo Vermelho distroférico sob diferentes manejos da calagem e sob quatro coberturas vegetais anteriores, colhidas a quatro profundidades de solo, após 30 dias em incubação para reação do corretivo com o solo.

Cobertura Vegetal	Cálcio trocável			
	SC	C10	C20	CS
-----0 a 5cm-----				
Eucalipto	1,65 C b	9,8 A b	7,7 B b	10,9
Mata	1,9 C ab	13,5 A a	10,4 B a	14,2
Pastagem	3,0 C a	6,3 A c	4,4 B d	7,6
Pinus	1,5 C b	8,8 A b	6,2 B c	---
-----5 a 10cm-----				
Eucalipto	1,7 C b	10,0 A b	7,7 B b	1,9
Mata	1,9 C b	13,4 A a	9,9 B a	3,55
Pastagem	2,9 C a	6,4 A d	4,6 B d	2,95
Pinus	1,6 C b	8,9 A c	6,5 B c	---
-----10 a 20cm-----				
Eucalipto	1,6 C b	2,6 B ab	6,7 A b	1,5
Mata	1,8 C ab	2,4 B b	7,4 A a	3,0
Pastagem	2,2 C a	3,1 B a	4,4 A c	2,2
Pinus	1,6 C b	2,5 B ab	6,2 A b	---
-----20 a 40cm-----				
Eucalipto	0,5 A a	0,4 A b	0,6 A b	0,4
Mata	0,7 A a	0,8 A ab	0,7 A b	1,3
Pastagem	0,8 A a	0,9 A a	1,0 A a	0,9
Pinus	0,5 A a	0,5 A ab	0,7 A b	---

Médias seguidas por mesmas letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, em cada atributo e profundidade de solo analisados, não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). SC, sem calagem; C10, calagem na camada de solo de 0-10 cm; C20, calagem na camada de solo de 0-20 cm e CS, calagem em superfície do solo.

TABELA 2.5 Teores de cálcio trocável, em $\text{cmol}_e \text{dm}^{-3}$, para Latossolo Vermelho distroférico sob diferentes manejos da calagem e sob quatro coberturas vegetais anteriores, a quatro profundidades de solo, após 45 dias de cultivo do algodoeiro.

Cobertura vegetal	Cálcio trocável			
	SC	C10	C20	CS
-----0 a 5cm-----				
Eucalipto	0,8 D a	8,0 B b	4,1 C b	10,3 A b
Mata	0,8 D a	9,1 B a	6,0 C a	12,9 A a
Pastagem	0,9 C a	2,7 B d	1,4 C c	6,4 A c
Pinus	0,8 D a	6,5 B c	3,4 C b	9,7 A b
-----5 a 10cm-----				
Eucalipto	0,8 D a	9,3 A b	5,7 B b	2,6 C ab
Mata	1,1 D a	10,8 A a	7,6 B a	3,0 C a
Pastagem	1,5 C a	4,5 A c	3,2 B c	2,9 B a
Pinus	0,8 C a	8,2 A b	4,6 B b	1,7 C b
-----10 a 20cm-----				
Eucalipto	1,6 C a	3,1 B a	7,2 A b	2,1 C b
Mata	1,6 D a	3,7 C a	8,3 A a	4,9 B a
Pastagem	0,6 C b	3,2 B a	5,1 A c	2,8 B b
Pinus	1,6 C a	3,8 B a	7,1 A b	2,2 C b
-----20 a 40cm-----				
Eucalipto	0,7 A a	0,7 A b	0,8 A b	0,6 A b
Mata	0,8 B a	1,4 A a	1,2 AB ab	1,4 A a
Pastagem	0,9 B a	1,5 A a	1,4 AB a	0,9 B b
Pinus	0,5 A a	0,6 A b	0,9 A ab	0,7 A b

Médias seguidas por mesmas letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, em cada atributo e profundidade de solo analisados, não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). SC, sem calagem; C10, calagem na camada de solo de 0-10 cm; C20, calagem na camada de solo de 0-20 cm e CS, calagem em superfície do solo.

TABELA 2.6 Valores para saturação por bases (V%), para Latossolo Vermelho distroférico sob diferentes manejos da calagem e sob quatro diferentes coberturas vegetais anteriores, a quatro profundidades de solo, após 30 dias em incubação para reação do calcário com o solo.

Cobertura Vegetal	V%			
	SC	C10	C20	CS
-----0 a 5cm-----				
Eucalipto	15 C b	88 A ab	72 B a	87
Mata	14 C b	91 A a	73 B a	87
Pastagem	53 C a	84 A c	73 B a	85
Pinus	17 C b	86 A bc	68 B b	---
-----5 a 10cm-----				
Eucalipto	15 C c	88 A b	71 B ab	24
Mata	16 C c	90 A a	72 B a	30
Pastagem	55 C a	85 A b	74 B a	60
Pinus	19 C b	86 A b	69 B b	---
-----10 a 20cm-----				
Eucalipto	18 C b	32 B b	71 A a	22
Mata	16 C b	26 B b	72 A a	33
Pastagem	43 C a	58 B a	74 A a	48
Pinus	19 C b	33 B b	73 A a	---
-----20 a 40cm-----				
Eucalipto	7 A b	5 A b	7 A b	6
Mata	8 A b	9 A b	12 A b	16
Pastagem	28 A a	27 A a	32 A a	30
Pinus	7 A b	8 A b	11 A b	---

Médias seguidas por mesmas letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, em cada atributo e profundidade de solo analisados, não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). SC, sem calagem; C10, calagem na camada de solo de 0-10 cm; C20, calagem na camada de solo de 0-20 cm e CS, calagem em superfície do solo.

TABELA 2.7 Valores de saturação por bases (V%), para Latossolo Vermelho distroférico sob diferentes manejos da calagem e sob quatro diferentes usos anteriores de coberturas vegetais a quatro profundidades de solo, após 45 dias de cultivo do algodoeiro.

Cobertura Vegetal	V%			
	SC	C10	C20	CS
-----0 a 5cm-----				
Eucalipto	10 D b	77 B a	45 C ab	89 A ab
Mata	8 D b	77 B a	51 C a	90 A a
Pastagem	23 C a	43 B b	26 C c	83 A b
Pinus	11 D b	72 B a	43 C b	91 A a
-----5 a 10cm-----				
Eucalipto	9 D b	82 A a	57 B ab	29 C b
Mata	12 D b	83 a A	60 B a	26 C b
Pastagem	27 C a	63 A b	50 B b	45 B a
Pinus	10 D b	81 A a	53 B ab	21 C b
-----10 a 20cm-----				
Eucalipto	15 C b	28 B b	65 A b	18 C c
Mata	15 D b	28 C b	66 A b	37 B b
Pastagem	45 B a	45 B a	72 A a	47 B a
Pinus	17 C b	32 B b	67 A ab	20 C c
-----20 a 40cm-----				
Eucalipto	8 A b	8 A c	8 A c	7 A b
Mata	8 B b	15 A b	14 A b	17 A a
Pastagem	19 B a	27 A a	28 A a	21 B a
Pinus	7 B b	7 B c	13 A bc	8 AB b

Médias seguidas por mesmas letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, em cada atributo e profundidade de solo analisados, não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). SC, sem calagem; C10, calagem na camada de solo de 0-10 cm; C20, calagem na camada de solo de 0-20 cm e CS, calagem em superfície do solo.

3.3 Alumínio e saturação por alumínio

Os teores de Al^{3+} e os valores de saturação por alumínio verificados nos tratamentos avaliados são apresentados nas Tabelas de 2.8 a 2.11. Nas camadas de solo em que houve incorporação de calcário, a neutralização do Al trocável foi plena, o que resulta em grande melhoria do ambiente radicular para o

algodoeiro. O mesmo não ocorreu para testemunha, para cujos teores de Al tóxico apresentaram-se elevados e isso representa uma séria restrição ao crescimento das raízes do algodoeiro (Silva et al., 1995). Em geral, os teores de alumínio trocável nas amostras com uso anterior de pastagem foram baixos e isso reflete os valores de pH em água determinados nessas amostras de solo. No tratamento C10, houve uma redução nos teores de Al^{3+} na camada de solo além do local de aplicação do corretivo, em todos os sistemas de uso ou cobertura vegetal do solo, à exceção da área sob uso anterior de pastagem. Essa redução não foi suficiente para caracterizar no solo um ambiente adequado para o crescimento das raízes do algodoeiro, em razão de o Al tóxico não ter sido completamente neutralizado.

No tratamento CS, a eliminação parcial do Al tóxico ocorreu ao longo do perfil, exclusivamente nas amostras sob uso anterior de mata. O fato que explicaria a maior eficiência na redução dos valores de alumínio trocável do experimento sob esta cobertura seria, provavelmente, a complexação do alumínio por compostos orgânicos provenientes da matéria orgânica, que está presente em maior quantidade em amostras de solo dessa área.

A complexação do alumínio por substâncias orgânicas oriundas de resíduos vegetais, como ácido cítrico, oxálico e tartárico, foi descrita e observada por Hue et al. (1986). Esta neutralização da toxidez do alumínio ocorreria a partir da lixiviação de complexos organo-metálicos, que alcançariam as camadas subsuperficiais e, então, o cálcio deste complexo poderia ser deslocado pelo Al trocável, em razão do Al formar complexo mais estável do que o cálcio (Miyazawa et al., 1996; Franchini et al., 1999a). Assim, o cálcio pode ocupar a carga liberada pelo alumínio no complexo de troca, tendo o alumínio, então, o seu teor trocável reduzido e, posteriormente, mobilizado pelo fluxo de água. Segundo Marshner (1995), a formação de complexos de Al com compostos orgânicos reduz a atividade desse cátion, em relação à sua presença

como íon livre em solução. Essa poderia ser uma outra explicação para o maior crescimento das plantas em solos com altos teores de Al tóxico, mas ricos em matéria orgânica (Hue et al., 1986)

Alguns pesquisadores observaram que a aplicação superficial de calcário diminuiu o teor de Al^{3+} para níveis considerados baixos pela CFSEMG (1999), como Pöttker e Ben (1998), que observaram uma redução nos teores principalmente até 10 cm de profundidade. Petreere e Anghinoni (2001) observaram uma redução do Al^{3+} até profundidade de 20 cm e Chaves et al. (1984) e Caires et al. (2002), relataram uma redução da atividade do alumínio para as profundidades de 30 e 60 cm. Em ensaios de casa de vegetação, Franchini et al. (2001) observaram que, quando não foram utilizados resíduos de extratos vegetais, o teor de Al^{3+} do solo foi afetado não mais do que os 5 cm iniciais de solo pela aplicação superficial do calcário; Miyazawa et al. (2002), Franchini et al. (2001) e Cassiolato et al. (2000) observaram que o uso de resíduos vegetais, tais como aveia, aveia preta, centeio e nabo forrageiro, proporcionou uma diminuição nos teores de Al^{3+} até 20 cm de profundidade, dependendo da espécie vegetal utilizada.

Os resultados obtidos para os valores de saturação por alumínio foram bastante similares aos discutidos para o Al tóxico, como o caso da saturação por alumínio de 5 a 10 cm de profundidade, que foi diminuída no tratamento CS, quando comparada ao SC, tanto no início quanto no final, o que está de acordo com os dados encontrados para alumínio e cálcio trocáveis, sendo esse valores caracterizados como baixos, segundo a CFSEMG (1999).

TABELA 2.8 Teores de Al trocável, em $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, para Latossolo Vermelho distroférico sob diferentes manejos da calagem e sob quatro coberturas vegetais anteriores, em quatro profundidades de solo, após 30 dias em incubação para reação do corretivo no solo.

Cobertura vegetal	Alumínio			
	SC	C10	C20	CS
-----0 a 5cm-----				
Eucalipto	1,2 A b	0,0 C a	0,1 B a	0,0
Mata	1,4 A a	0,0 C a	0,1 B a	0,0
Pastagem	0,2 A d	0,0 B a	0,1 A a	0,0
Pinus	0,9 A c	0,0 B a	0,1 B a	---
-----5 a 10cm-----				
Eucalipto	1,1 A a	0,0 B a	0,1 B a	1,0
Mata	1,5 A a	0,7 B a	0,1 B a	0,9
Pastagem	0,1 A b	0,0 A a	0,1 A a	0,2
Pinus	0,9 A a	0,0 B a	0,1 B a	---
-----10 a 20cm-----				
Eucalipto	0,9 A a	0,5 B b	0,1 C a	0,8
Mata	1,1 A a	0,7 B a	0,1 C a	0,5
Pastagem	0,2 A c	0,1 A c	0,1 A a	0,2
Pinus	0,6 A b	0,4 B b	0,0 C a	---
-----20 a 40cm-----				
Eucalipto	1,4 A a	0,7 A a	0,8 A a	1,3
Mata	1,1 A a	1,2 A a	1,2 A a	1,2
Pastagem	0,3 A a	0,3 A a	0,3 A a	0,3
Pinus	1,1 A a	1,0 A a	1,0 A a	---

Médias seguidas por mesmas letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, em cada atributo e profundidade de solo analisados, não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). SC, sem calagem; C10, calagem na camada de solo de 0-10 cm; C20, calagem na camada de solo de 0-20 cm e CS, calagem em superfície do solo.

TABELA 2.9 Teores de Al trocável, em $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, para Latossolo Vermelho distroférico sob diferentes manejos da calagem e sob quatro coberturas vegetais anteriores, a quatro profundidades do solo, após 45 dias de cultivo do algodoeiro.

Cobertura vegetal	Alumínio			
	SC	C10	C20	CS
-----0 a 5cm-----				
Eucalipto	1,8 A b	0,0 C a	0,3 B a	0,0 C a
Mata	2,3 A a	0,0 B a	0,2 B a	0,0 B a
Pastagem	0,6 A d	0,1 C a	0,4 B a	0,0 C a
Pinus	1,6 A c	0,0 C a	0,3 B a	0,0 C a
-----5 a 10cm-----				
Eucalipto	1,9 A a	0,0 C a	0,2 C a	1,1 B a
Mata	2,0 A a	0,0 C a	0,2 C a	1,2 B a
Pastagem	0,7 A b	0,1 B a	0,2 B a	0,3 B b
Pinus	1,8 A a	0,0 C a	0,2 C a	1,0 B a
-----10 a 20cm-----				
Eucalipto	1,8 A a	0,8 C a	0,0 D a	1,3 B a
Mata	1,6 A a	0,8 B a	0,0 D a	0,4 C c
Pastagem	0,2 A b	0,1 A b	0,0 A a	0,2 A c
Pinus	1,7 A a	0,6 C a	0,0 D a	0,9 B b
-----20 a 40cm-----				
Eucalipto	1,7 A a	1,7 A a	1,6 A a	1,8 A a
Mata	1,7 A a	1,1 B b	1,2 B b	1,1 B c
Pastagem	0,3 A c	0,3 A c	0,3 A c	0,3 A d
Pinus	1,43 A b	1,3 A b	1,2 A b	1,4 A b

Médias seguidas por mesmas letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, em cada atributo e profundidade de solo analisados, não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). SC, sem calagem; C10, calagem na camada de solo de 0-10 cm; C20, calagem na camada de solo de 0-20 cm e CS, calagem em superfície do solo.

TABELA 2.10 Valores para saturação por alumínio (m%), para Latossolo Vermelho distroférico sob diferentes manejos da calagem e sob quatro diferentes coberturas vegetais anteriores, a quatro profundidades do solo, após 30 dias em incubação para reação do calcário com o solo.

Cobertura vegetal	Saturação por alumínio			
	SC	C10	C20	CS
-----0 a 5cm-----				
Eucalipto	37 A a	0 B a	1 B a	0
Mata	37 A a	0 B a	1 B a	0
Pastagem	4 A b	0 B a	2 AB a	0
Pinus	35 A a	0 B a	1 B a	---
-----5 a 10cm-----				
Eucalipto	36 A a	0 B a	1 B a	29
Mata	38 A a	5 B a	1 B a	18
Pastagem	2 A b	0 A a	2 A a	5
Pinus	32 A a	0 B a	1 B a	---
-----10 a 20cm-----				
Eucalipto	31 A a	13 B a	1 C a	29
Mata	32 A a	19 B a	1 C a	12
Pastagem	5 A b	2 A b	2 A a	5
Pinus	26 A a	12 B a	0 C a	---
-----20 a 40cm-----				
Eucalipto	66 A a	36 A a	39 A a	71
Mata	57 A a	54 A a	49 A a	43
Pastagem	16 A a	19 A a	16 A a	16
Pinus	61 A a	58 A a	51 A a	---

Médias seguidas por mesmas letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, em cada atributo e profundidade de solo analisados, não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). SC, sem calagem; C10, calagem na camada de solo de 0-10 cm; C20, calagem na camada de solo de 0-20 cm e CS, calagem em superfície do solo.

TABELA 2.11 Valores de saturação por alumínio (m%), para Latossolo Vermelho distroférico sob diferentes manejos da calagem e sob quatro diferentes uso anteriores de coberturas vegetais anteriores, a quatro profundidades do solo, após 45 dias de cultivo do algodoeiro.

Cobertura vegetal	Saturação por alumínio			
	SC	C10	C20	CS
-----0 a 5cm-----				
Eucalipto	60 A ab	0 B a	5 B b	0 B a
Mata	64 A a	0 B a	3 B b	0 B a
Pastagem	27 A c	4 C a	18 B a	0 C a
Pinus	56 A b	0 C a	6 B b	0 C a
-----5 a 10cm-----				
Eucalipto	60 A a	0 C a	3 C a	23 B a
Mata	50 A b	0 C a	2 C a	25 B a
Pastagem	23 A c	1 B a	5 B a	7 B b
Pinus	58 A b	0 C a	4 C a	31 B a
-----10 a 20cm-----				
Eucalipto	45 A a	17 C a	0 D a	33 B a
Mata	39 A b	15 B a	0 D a	6 C c
Pastagem	5 A c	2 A b	0 A a	5 A c
Pinus	42 A ab	13 C a	0 D a	25 B b
-----20 a 40cm-----				
Eucalipto	66 A a	61 A a	62 A a	67 A a
Mata	61 A a	36 B b	42 B b	32 B b
Pastagem	19 A b	14 A c	14 A c	19 A b
Pinus	65 A a	63 AB a	50 B ab	60 AB a

Médias seguidas por mesmas letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, em cada atributo e profundidade de solo analisados, não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). SC, sem calagem; C10, calagem na camada de solo de 0-10 cm; C20, calagem na camada de solo de 0-20 cm e CS, calagem em superfície do solo.

4 CONCLUSÕES

A aplicação de calcário nas camadas superficiais melhora a fertilidade do solo estudado, em função do aumento nos valores do pH em água, da maior saturação por bases e do aumento no teor de Ca^{2+} , e do decréscimo do Al^{3+} e da saturação por alumínio em camadas do solo abaixo do local de aplicação do corretivo.

Nas camadas superficiais do solo, a aplicação de CaCO_3 na superfície eleva o pH e a saturação por bases para valores além dos considerados adequados para o pleno crescimento e desenvolvimento do algodoeiro.

Nas amostras de solo mais ricas em matéria orgânica (originária de área sob uso anterior de mata), a correção da acidez e a movimentação de cálcio ocorrem ao longo do perfil do solo, em qualquer manejo da calagem.

A incorporação do calcário na profundidade de 0 a 20 cm elevou o pH, o teor de Ca^{2+} e a saturação por bases e diminuiu o Al^{3+} para valores considerados adequados para o desenvolvimento adequado do algodoeiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BISSANI, C. A.; GIANELLO, C.; TEDESCO, M. J.; OLIVEIRA CAMARGO, F. A. **Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas**. Porto Alegre: Genesis, 2004. 328 p.

CAIRES, E. F.; BARTH, G.; GARBUTO, F. J.; KUSMAN, M. T. Correção da acidez do solo, crescimento radicular e nutrição do milho de acordo com a calagem na superfície em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 1011-1022, out./dez. 2002.

CAIRES, E. F.; CHUEIRI, W. A.; MADRUGA, E. F.; FIGUEIREDO, A. Alterações de características químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na superfície em sistema de cultivo sem preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, n. 2, p. 27-34, jan./mar. 1998.

CAIRES, E. F.; FONSECA, A. F.; MENDES, J.; CHUEIRI, W. A.; MADRUGA, E. F. Produção de milho, trigo e soja em função das alterações das características químicas do solo pela aplicação de calcário e gesso na superfície, em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 2, p. 315-327, abr./jun. 1999.

CASSIOLATO, M. E.; MEDA, A. R.; PAVAN, M. A.; MIYAZAWA, M.; OLIVEIRA, J. C. Evaluation of Oat extracts on the efficiency of lime in soil. **Brazilian Archive Biology and Technology**, Curitiba, v. 43, p. 533-536, 2000.

CHAVES, J. C. D.; PAVAN, M. A.; IGUE, K. Resposta do cafeeiro à calagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 19, n. 5, p. 573-582, maio 1984.

CIA, E.; FREIRE, E. C.; SANTOS, W. J. **Cultura do Algodoeiro**. Piracicaba: POTAFOS, 1999. 286 p.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, 1999. p. 359.

FRANCHINI, J. C.; MALAVOLTA, E.; MIYAZAWA, M.; PAVAN M. A. Alterações químicas em solos ácidos após a aplicação de resíduos vegetais.

Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 23, n. 3, p. 533-542, jul./set. 1999a.

FRANCHINI, J. C.; MEDA, A. R.; CASSIOLATO, M. E.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A. Potencial de extratos de resíduos vegetais na mobilização do calcário no solo por método biológico. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 58, n. 2, p. 357-360, abr./jun. 2001.

FRANCHINI, J. C.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A. Influência de resíduos vegetais na toxidez de Al e na mobilidade de íons no solo. In: FERTBIO 2004, 26., 2004, Lages. **Anais...** Lages: UDESC, 2004. 1CD-ROM.

FRANCHINI, J. C.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; MALAVOLTA E. Dinâmica de íons em solo ácido lixiviado com extratos de resíduos de adubos verdes e soluções puras de ácidos orgânicos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 12, p. 2267-2276, dez. 1999b.

GATIBONI, L. C.; SAGGIN, A.; BRUNETTO, G.; HORN, D. FLORES, J. P. C.; RHEINHEIMER, D. S.; KAMINSKI J. Alterações nos atributos químicos de solo arenoso pela calagem superficial no sistema plantio direto consolidado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 2, p. 283-290, maio/abr. 2003.

HUE, N. V.; CRADDOCK, G. R.; ADAMS, F. Effect of organic acids on aluminum toxicity in subsoils. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 50, n. 1, p. 28-34, Jan./Feb. 1986.

LIU, J.; HUE, N. V. Ameliorating subsoil acidity by surface application of calcium fulvates derived from common organic materials. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 21, n. 4, p. 264-270, Mar. 1995.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London: Academic Press, 1995. 889 p.

MEDA, A. R.; PAVAN, M. A.; CASSIOLATO, M. E.; MIYAZAWA, M. Dolomite lime's reaction applied on the surface of a sandy soil of the northwest Paraná, Brazil. **Brazilian Archive Biology and Technology**, Curitiba, v. 45, n. 2, p. 219-222, June 2002.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; FRANCHINI, J. C. Evaluation of plant residues on the mobility of surface applied lime. **Brazilian Archive Biology and Technology**, Curitiba, v. 45, n. 3, p. 251-256, 2002.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; FRANCHINI, J. C. Neutralização da acidez do perfil do solo por resíduos vegetais. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 92, dez. 2000. Disponível em: <www.potafos.org>. Acesso em: 23 set. 2004.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; FRANCHINI, J. C. Organic mobility of surface applied lime under no-tillage. In: INTERNATIONAL MEETING OF THE INTERNATIONAL HUMIC SUBSTANCE SOCIETY, 1998, Adelaide. p. 166.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; SANTOS, J. C. F. Effects of addition of crop residues on the leaching of Ca and Mg in Oxisols. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PLANT-SOIL INTERACTIONS AT LOW pH, 4., 1996, Belo Horizonte. **Abstracts...** Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/EMBRAPA-CPAC, 1996. p. 8.

MOREIRA, S. G.; KIEHL, J. C.; PROCHNOW, L. I.; PAULETTI, V. Calagem em sistema de semeadura direta e efeitos sobre a acidez do solo, disponibilidade de nutrientes e produtividade de milho e soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 71-81, Jan./mar. 2001.

NOBLE, A. D.; RANDALL, P. J.; JAMES, T. R. Evaluation of two coal derived organic products in ameliorating surface and subsurface soil acidity. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 46, n. 1, p. 65-75, Mar. 1995.

OLIVEIRA, E. L.; PAVAN, M. A. Control of soil acidity in no-tillage system for soybean production. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 38, n. 1/2, p. 47-57, Aug. 1996.

PETREIRE, C.; ANGHINONI, I. Alteração de atributos químicos no perfil do solo pela calagem superficial em campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 4, p. 885-895, out./dez. 2001.

PIRES, F. R.; SOUZA, C. M.; QUEIROZ, D. M.; MIRANDA, G. V.; GALVÃO, J. C. C. Alterações de atributos químicos do solo e estado nutricional e características agronômicas de plantas de milho, considerando as modalidades de calagem em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 1, p. 121-131, jan./fev. 2003.

PÖTTKER, D.; BEN, J. R. Calagem para uma rotação de culturas no sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, n. 4, p. 675-684, out./dez. 1998.

RHEINHEIMER, D. S.; SANTOS, E. J. S.; KAMINSKI, J.; XAVIER, F. M.
Aplicação superficial de calcário no sistema plantio direto consolidado em solo arenoso. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 2, p. 263-268, abr./jun. 2000.

SILVA, F. C. da (Org.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. 370 p.

SILVA, N. M.; CARVALHO, L. H.; CIA, E.; FUZATTO, M. G.;
CHIAVEGATO, E. J.; ALLEONI, L. R. F. Seja o doutor do seu algodoeiro. **Arquivo do Agrônomo**, Piracicaba, n. 8, p. 17, 1995.

VALE, F. R.; GUEDES, G. A. A.; GUILHERME, L. R. G.; FURTINI NETO, A. E. **Manejo da Fertilidade do Solo**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1997. 206 p.

CAPÍTULO III

MANEJO DA CALAGEM EM UM LATOSSOLO SOB DIFERENTES USOS OU COBERTURAS VEGETAIS ANTERIORES: ESTADO NUTRICIONAL E PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA DO ALGODOEIRO

RESUMO

PÁDUA, Tullio Raphael Pereira de. Manejo da calagem em um latossolo sob diferentes usos ou coberturas vegetais anteriores: estado nutricional e produção de matéria seca do algodoeiro. In: ____ **Manejo da calagem em um latossolo sob diferentes usos ou coberturas vegetais anteriores: movimentação de corretivo, neutralização da acidez e crescimento do algodoeiro *Gossypium Hirsutum* L..** 2005. p. 56-84. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras – MG.¹

O grau de acidez do solo é um fator determinante da produtividade e do desenvolvimento do algodoeiro. Este estudo teve por objetivo avaliar a produção de matéria seca, tanto de parte aérea como de raiz, e o estado nutricional do algodoeiro cultivado em função do manejo da calagem em Latossolo Vermelho distroférrico sob diferentes uso ou coberturas vegetais anteriores. O estudo foi conduzido de novembro de 2002 a janeiro de 2003, no Departamento de Ciência do Solo da UFLA, Lavras, MG, sendo o algodoeiro cultivado por 45 dias em casa de vegetação em colunas de PVC. Os tratamentos estudados consistiram da combinação de 4 métodos de manejo da calagem (sem calagem, SC; calagem superficial, CS; calagem na camada de solo de 0-10 cm, C10; calagem na camada de solo de 0-20 cm, C20) com 4 usos ou coberturas vegetais anteriores do solo (eucalipto, mata, pastagem e pinus). Foram avaliados os teores de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn na parte aérea e a matéria seca de parte aérea (MSPA) e de raiz (MSR). A correção da acidez aumentou a produção de matéria seca do algodoeiro em todos os sistemas de usos ou cobertura vegetal anteriores do solo, avaliados em relação ao tratamento sem calagem, porém, sob calagem superficial houve menor crescimento das plantas e acúmulo de nutrientes do que nas amostras de solo às quais o corretivo foi incorporado. Independentemente do modo de aplicação de calcário, as maiores produções de matéria seca foram verificadas na área com uso anterior do solo com pastagem.

¹ Orientador: Prof. Carlos Alberto Silva - UFLA

ABSTRACT

PÁDUA, Tullio Raphael Pereira de. Liming management in a latosol under different cover crops: nutritional status and cotton dry matter production. In: **_____ Liming management in a latosol under different use or cover crops: mobility of limestone, neutralization of acidity and cotton growth.** 2005. p. 56-84. Dissertation (Master in Soil Science and Plant Nutrition) – Federal University of Lavras, Lavras – MG.¹

The soil acidity level regulates the growth and yield of cotton. This study was carried out to evaluate the nutritional status and cotton shoot and root dry matter production grown in function of the liming management in a latosol under different use or cover crops. The study was done from November 2002 to January 2003 at Soil Science Department/Lavras Federal University and the cotton was cultivated during 45 days in greenhouse conditions and in PVC columns. The studied treatments consisted of four methods of liming management (without lime, SC; surface liming, SL; liming at 0-10 cm soil depth, C10; liming at 0-20 cm soil depth, C20) combined with four latosol cover crops (eucalyptus, forest, pasture and pine). The accumulation of N, P, K, Ca, Mg, S, Mn, B, Cu, Zn and Fe in cotton shoot and cotton dry matter production of shoot (MSPA) and root (MSR) were quantified. The soil acidity correction increased the dry matter production of the cotton in all cover crops/use systems evaluated compared to the productions obtained in the soil without liming, however, under surface liming treatment the nutrient accumulation and cotton dry matter production decreased in relation to the management where limestone was incorporated in soil. Regardless of the liming management, the higher dry matter production was verified in soil samples with anterior use of soil with pasture.

¹ Prof. Carlos Alberto Silva - UFLA (Major Professor)

1 INTRODUÇÃO

Em solos ácidos, o algodoeiro tem seu crescimento e desenvolvimento seriamente afetados, a ponto de a produtividade dessa cultura ser cerca de 10 vezes maior em área com acidez corrigida, em relação àquelas onde a calagem não é realizada. (Silva et al., 1995). No Brasil, predominam os solos ácidos de baixa fertilidade, com baixas reservas de cátions trocáveis e altos teores de alumínio tóxico, tanto na superfície quanto nas camadas inferiores. Essas condições de solo são prevaletentes em aproximadamente 85% da área total da região tropical (Embrapa, 1999). Sob essas condições de cultivo, o crescimento do sistema radicular do algodoeiro torna-se limitado, sendo comprometida a absorção de água e nutrientes pelas plantas, em razão do pequeno volume de solo explorado pelas raízes (Embrapa, 1986).

Para corrigir a acidez dos solos ácidos brasileiros, a calagem é a prática mais utilizada e realizada comumente na camada arável (0 a 20 cm); contudo, tem se tornado cada vez mais freqüente a aplicação de calcário na superfície ou nas camadas mais rasas de solo. Em áreas onde o calcário não é devidamente incorporado ao solo, aumentam os riscos de uma supercalagem, caracterizada pelo aumento do pH do solo para valores além dos tecnicamente recomendados para o crescimento das culturas. Isso pode representar menor disponibilidade de nutrientes, principalmente de micronutrientes catiônicos para as plantas (Embrapa, 1999); uma maior precipitação de P na forma de fosfatos de cálcio; aumento na taxa de nitrificação e maior taxa de oxidação da matéria orgânica (Embrapa, 1986); um maior risco de permanência de ânions em solução, enfim, uma maior chance de todos esses fatores e processos comprometerem a eficiência da adubação, a aquisição de nutrientes e a produtividade das culturas. Mesmo sendo incorporado de modo adequado, há sempre a necessidade de o calcário aplicado na camada arável movimentar para o subsolo que,

principalmente nos solos do cerrado, são, muito ácidos e pobres em cálcio (Ritchey et al., 1980). A possibilidade de correção da acidez a maiores profundidades do solo pode proporcionar uma maior produção de algodão em nossas condições de cultivo, em razão da planta ter mais água e nutrientes disponíveis no ambiente radicular e por poder superar, sem grandes prejuízos, os períodos de veranico, que se caracterizam por um período de déficit hídrico em plena estação chuvosa.

Além de proporcionar melhor ambiente para o crescimento radicular do algodoeiro (Silva et al., 1998), a correção da acidez pode resultar também em um aumento na taxa de mineralização da matéria orgânica, disponibilizando nutrientes, aumentando a disponibilidade de cálcio e magnésio e reduzindo os teores de alumínio tóxico e, em alguns solos, de manganês e ferro. Todos esses benefícios, segundo Cia et al. (1999), podem resultar em aumento na produtividade do algodoeiro em até 231%, em relação às plantas cultivadas em solos ácidos.

Por ser o algodoeiro uma planta extremamente sensível à acidez (Silva et al., 1998), os solos com maiores teores de matéria orgânica podem favorecer o crescimento dessa cultura. Isso ocorre em função dos compostos orgânicos exercerem influência sobre os atributos químicos, físicos e biológicos do solo, além de interferirem em diversos fatores que regulam a disponibilidade de nutrientes e os teores de Al tóxico para as plantas (Stevenson, 1994). A cobertura vegetal exerce, do mesmo modo, uma grande influência sobre os estoques de matéria orgânica presentes no solo, além de acarretar diferenças na composição química da matéria orgânica (Bayer et al., 2000). Tanto os teores, quanto a qualidade dos compostos orgânicos presentes no solo exercem influência diferenciada sobre os atributos da acidez do solo e sobre a movimentação vertical do calcário (Miyazawa et al., 2002).

Segundo Oliveira & Pavan (1996), a aplicação superficial de calcário, em uma área sob SPD, aumentou o pH, neutralizou o alumínio tóxico e enriqueceu, com Ca^{2+} e Mg^{2+} , as camadas de subsuperfície. No estudo de Miyazawa et al. (1998), os resíduos de aveia preta, nabo forrageiro, mucuna cinza e leucena foram os que proporcionaram maior movimentação de Ca e Mg da superfície para subsolos ácidos. Segundo Miyazawa et al. (2000), a capacidade de neutralização da acidez por restos culturais é maior em resíduos de aveia preta, nabo forrageiro, tremoços, leucena, mucunas e crotalárias, pelo fato dessas culturas conterem maiores teores de cátions e carbono orgânico solúvel.

Assim, em áreas com maior presença de matéria orgânica no solo, haveria maiores chances de uma maior movimentação de calcário aplicado em superfície, conforme observado por Oliveira e Pavan, (1996). Nesses locais, a não incorporação de calcário pode não implicar necessariamente em uma supercalagem do solo, em razão dos maiores estoques de matéria orgânica conferirem um maior poder tampão ao solo (Vale et al., 1997) e em função da melhoria no ambiente de crescimento de raízes em solo e subsolo.

O objetivo deste estudo foi avaliar os efeitos de combinações de práticas de manejo da calagem com os usos ou coberturas vegetais anteriores de um latossolo sobre o estado nutricional e produção de matéria seca do algodoeiro cultivado em casa de vegetação.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido, de novembro de 2002 a janeiro de 2003, em casa de vegetação do Departamento de Ciência do Solo (DCS) da Universidade Federal de Lavras (UFLA), localizada na cidade de Lavras, sul de Minas Gerais, utilizando-se amostras de um Latossolo Vermelho distroférico (textura argilosa).

As análises químicas das amostras do solo sob diferentes usos ou coberturas vegetais anteriores foram realizadas no Laboratório de Fertilidade do Solo do DCS/UFLA e os resultados relativos a algumas características encontram-se na Tabela 2.1. As amostras de solo foram coletadas no Campus da Universidade Federal de Lavras em outubro de 2002, nas profundidades de 0 a 10, 10 a 20 e 20 a 40 cm. Na área sob mata, predomina a vegetação do tipo floresta tropical subcaducifólia; na área sob pastagem, foi implantada há cerca de 15 anos, a *Brachiaria decumbens* L.; a floresta de pinus foi implantada há cerca de 20 anos, o mesmo ocorrendo com a floresta de eucalipto. Nas áreas de plantios comerciais, não há registro de aplicação de fertilizantes e corretivos após o plantio, a não ser na área sob pastagem, que recebeu calcário e fertilizantes há cerca de 6 anos.

Os tratamentos estudados consistiram da combinação de sistemas de manejo da calagem com usos ou coberturas vegetais anteriores do solo estudado. Em relação ao manejo da calagem, foram avaliados os seguintes tratamentos: 1) testemunha - sem calagem (SC); 2) calcário aplicado em superfície (CS); 3) calcário incorporado na camada de solo de 0 a 10 cm (C10) e 4) calcário incorporado na camada de solo de 0 a 20 cm (C20). Esses tratamentos foram combinados com quatro usos anteriores (coberturas vegetais) do solo sob estudo: mata, sob floresta de pinus, sob floresta de eucalipto e sob área de pastagem.

Antes do plantio do algodoeiro cultivar IAC 23, foi realizada a calagem nos sistemas de manejo já descritos, tendo as amostras de solo sido incubadas por 30 dias com o teor de água do solo mantido na capacidade de campo. Foi utilizado no estudo o CaCO_3 p.a., com o objetivo de elevar a saturação por bases a 80%, exceto para a testemunha. A necessidade de calagem para cada tratamento foi feita utilizando-se o método do IAC, cuja quantidade de calcário foi calculada visando elevar a saturação por bases a um valor ideal para a cultura a ser implantada, considerando-se a correção da camada arável (0 a 20 cm), com a aplicação da dose total calculada para todos os manejos da calagem, nas diferentes coberturas vegetais anteriores. No solo sob cobertura anterior eucalipto, foram aplicados 6,85 g/vaso de CaCO_3 ; na área sob mata, foram aplicados 8,16 g/vaso de CaCO_3 p.a.; na área sob pastagem, 2,55 g/vaso e naquela sob cobertura de pinus, 6,06 g/vaso. Nas parcelas experimentais e na testemunha (ausência de calagem), aplicou-se 1,92g de fosfato de cálcio p.a. ($\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) em cada vaso de cultivo, no sentido de atender à exigência nutricional do algodoeiro por esse nutriente.

Durante o cultivo do algodoeiro, o teor de água no solo foi mantido por meio de pesagens diárias dos vasos de cultivo (3,2 litros), mantendo-se a umidade do solo na capacidade de campo. O algodoeiro foi cultivado durante 45 dias, sendo realizadas nesse período duas coberturas nitrogenadas com sulfato de amônio p.a., 1414 mg/vaso; aos 15 e 30 dias após a germinação (DAG), sendo aplicados 150 mg kg^{-1} de N em cada aplicação e de potássio, KCl p.a. sendo aplicados 573 mg/vaso divididos em duas aplicações (150 mg kg^{-1} de K em cada cobertura). Aplicaram-se também micronutrientes, sendo utilizados H_3BO_3 (8,83 mg/vaso), $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (68,44 mg/vaso) e CuSO_4 (18,38 mg/vaso), em aplicação única no plantio do algodoeiro.

O experimento foi conduzido em colunas de PVC de 10 cm de diâmetro e 40 cm de altura, sendo as colunas preenchidas com amostras de solo das quatro

áreas sob diferentes coberturas vegetais, coletadas nas profundidades de 0 a 10, 10 a 20 e 20 a 40 cm. Após os 45 dias de cultivo do algodoeiro (2 plantas/vaso), as plantas foram cortadas, sendo separadas a parte aérea e raízes para secagem e posterior pesagem da matéria seca da parte aérea (MSPA) e raiz (MSR). As raízes foram coletadas separadamente nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm, para a determinação da matéria seca. Não foi feita a coleta de raízes na camada de solo de 20-40 cm, em razão da baixa presença de raiz nessa profundidade de solo.

A parte aérea foi coletada, seca em estufa a 70°C por 72 horas e moída em moinho do tipo Willey, o mesmo acontecendo com as raízes. As raízes foram separadas de solo adjacente, lavadas em água corrente e, a seguir, em água destilada e secas em estufa a 70°C.

Foram avaliados, para a parte aérea, os teores de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn. O acúmulo de nutrientes por vaso foi calculado tendo como base os teores de nutrientes e peso da MSPA. Na etapa de análise foliar, o método utilizado para a determinação química foi o da digestão úmida nitroperclórica para P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn e Zn, e posterior leitura de K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn em aparelho espectrofotômetro de absorção atômica; o boro foi determinado após incineração da amostra de solo em mufla a 550°C e sua leitura em colorímetro. Os teores de P e S no tecido vegetal foram quantificados pelo método de colorimetria. O nitrogênio foi determinado por meio da digestão sulfúrica, destilação e titulação do N evoluído na forma de amônia (Silva, 1999).

O delineamento experimental utilizado no estudo foi em blocos casualizados, em três repetições. Os tratamentos utilizados representaram a combinação de quatro sistemas de manejo da calagem com quatro usos anteriores (coberturas diferentes) do solo estudado. Os procedimentos estatísticos constaram da análise de variância, aplicando-se o teste F para

detectar diferenças estatísticas e grau de significância a 5% de probabilidade ($p < 0,05$). Consistiram em fatores de análise os diferentes tratamentos (sem calagem, calagem 0 a 10 cm, calagem 0 a 20 cm e calagem superficial), avaliando-se a interação entre os sistemas de manejo da calagem e uso anterior do solo (eucalipto, mata, pastagem, pinus), para os diferentes atributos avaliados. As médias dos atributos que foram significativas pelo teste F, para as diferentes interações testadas, foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).



3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Estado nutricional do algodoeiro

Em relação ao acúmulo de nitrogênio (N) na parte aérea do algodoeiro, conforme dados apresentados na Tabela 3.1, observou-se que, independente da forma de manejo da calagem, houve um maior armazenamento desse nutrientes nas plantas cultivadas em solo corrigido. As plantas crescidas em solo sob uso anterior com pastagem apresentaram, em todos os manejos de calagem, quantidades de N superiores às demais coberturas. Nos tratamentos C10 e C20, o algodoeiro apresentou maiores quantidades acumuladas de N, enquanto que para o tratamento CS, apesar de os valores para pinus, pastagem e mata não se mostrarem estatisticamente diferentes dos tratamentos C10 e C20, houve uma diminuição na absorção de N quando o calcário não foi incorporado. Silva et al. (1997a) observaram que, em condições de adequada correção da acidez, as plantas podem absorver mais nitrogênio do solo e depender menos da adubação mineral, em função do mais intenso desenvolvimento das raízes. Assim, esse fato, aliado a uma provável maior taxa de mineralização do N, em função da calagem do solo, principalmente onde houve incorporação, pode explicar a maior absorção de N pelas plantas.

Em relação ao P acumulado no algodoeiro, notam-se os benefícios da prática da calagem, que favoreceu a absorção deste elemento pelas plantas. Esse maior acúmulo de P nas plantas pode ser explicado pelo aumento da disponibilidade de P no solo por meio da mineralização da matéria orgânica, pela possibilidade de maior desenvolvimento radicular e, conseqüentemente, uma maior exploração do solo e pela redução do fosfato fixado por ferro e alumínio, em razão da elevação do pH. No solo sob cobertura vegetal anterior de pastagem, notou-se, em todos os métodos de manejo da calagem, que o

algodoeiro cultivado em solos corrigidos apresentou mais P acumulado na parte aérea. Para o tratamento CS, observa-se que o P acumulado não diferiu de acumulado nos tratamentos C10 e C20, em nenhuma das coberturas vegetais anteriores, apesar de apresentar valores inferiores em relação àqueles tratamentos.

O K foi mais absorvido pelo algodoeiro nos tratamentos C10 e C20. Esse fato deve estar relacionado a um maior crescimento radicular devido à prática da calagem e a uma maior disponibilidade de cargas na CTC do solo, permitindo, possivelmente, uma maior adsorção desse nutriente na fase sólida, o que pode diminuir as perdas por lixiviação, mantendo-o ao alcance das raízes. Com relação ao uso anterior com pastagem, por ser um solo com melhores características químicas que os demais, o que proporcionou um melhor desenvolvimento das plantas, houve uma maior absorção de K, inclusive para o tratamento SC. No tratamento SC, exceção feita à cobertura anterior pastagem, uma explicação para o menor acúmulo de K seria o menor desenvolvimento radicular e a menor disponibilidade de cargas na CTC, devido às condições químicas do solo, já que isso pode diminuir a absorção desse nutriente.

Para o cálcio, conforme Tabela 3.1, a incorporação do calcário até a camada de 20 cm foi o tratamento que mais favoreceu o acúmulo desse nutriente nas plantas. Esses dados estão de acordo com os valores encontrados para matéria seca de raiz total, revelando que houve um maior desenvolvimento radicular no tratamento C20 devido às melhores condições químicas de solo geradas pela calagem, que propiciou a maior exploração do solo e, conseqüentemente, maior absorção de cálcio pelas raízes do algodoeiro, devido ao maior desenvolvimento das plantas sob esse manejo de calagem. Apesar de apresentar em solo teores médios de cálcio no tratamento CS, na profundidade de 5 a 20 cm, conforme Tabelas 5 e 6, o suprimento de cálcio se mostrou adequado para o algodoeiro em razão dos valores de acúmulo na parte aérea.

Analisando-se os dados obtidos para o teor de magnésio na parte aérea (Tabela 3.1), notou-se que o algodoeiro cultivado sob uso ou cobertura vegetal anterior de pastagem apresentou os maiores teores, independentemente da calagem ou não do solo. Quando foi efetuada a calagem, nos tratamentos C10 e C20, verificou-se que, para as demais coberturas, houve um aumento nos teores de magnésio na planta, fato que deve estar relacionado ao maior desenvolvimento radicular da cultura sob estes tratamentos, conforme os dados da Tabela 3.4, propiciando uma maior absorção de magnésio pela planta. Para o solo sob cobertura vegetal anterior de mata, os teores de Mg para CS não diferiram dos obtidos com a incorporação do calcário.

O mesmo raciocínio parece explicar a absorção de S pelo algodoeiro. Os valores adequados, segundo CFSEMG (1999), para os teores de Mg e S, estão por volta de 0,50 e 0,40 dag/kg, respectivamente; sendo observados, no experimento, valores para o tratamento CS de 0,48 a 1,12 dag/kg para S e 0,08 a 0,24 dag/kg para Mg. Assim, pode-se inferir que, para o S, os valores acumulados na parte aérea do algodoeiro foram suficientes, enquanto para Mg se mostram muito menores do que aqueles considerados adequados pela CFSEMG (1999).

Não foi notado sintoma de deficiência de Mg nas plantas, conforme os descritos por Cia et al. (1999), que se caracterizam pela clorose internerval das folhas velhas evoluindo rapidamente para vermelho-púrpura em contraste com o verde normal das nervuras na planta. Este fato leva a crer que, mesmo em teores mais baixos, a planta conseguiu, nos primeiros 45 dias, desenvolver-se adequadamente, principalmente nos tratamentos C10 e C20, não havendo nenhum dano aparentemente à cultura. Silva et al. (1997b), em experimento com calcário e gesso, observaram diminuição nos teores de Mg (foliar), sem apresentar sintoma de deficiência, mesmo com índice de análise foliar de 5,0 g/kg de Mg, onde se aplicou gesso.

Para o boro, conforme Tabela 3.2, os tratamentos C10 e C20 apresentaram valores em mg/kg suficientes para o bom desenvolvimento do algodoeiro. O tratamento CS, apesar de ter apresentado teores superiores de B apenas em relação à testemunha, estes foram, em geral, inferiores aos teores considerados adequados para o boro nas plantas, não apresentando sintomas visíveis de deficiência desse nutriente. Segundo Cia et al. (1999), a deficiência de Boro no algodoeiro é caracterizada inicialmente por uma clorose no ponteiro, com folhas enrugadas, que contrastam bem com o verde normal do baixeiro, além de anéis concêntricos no pecíolo, rachaduras nos nós, superbrotamento e até morte do ponteiro em deficiência excessiva, ou, então, os relatados por Silva (2001), que observou uma queda anormal de formações frutíferas, em lavouras deficientes.

Uma possível explicação para o menor acúmulo de B no tratamento CS pode ser devido a uma elevação do pH a valores acima dos ideais em relação aos demais tratamentos de incorporação de calcário nas camadas superiores do solo, o que ocasionaria, nestas condições, a complexação do boro com compostos orgânicos e óxidos de ferro e alumínio, segundo Bissani et al. (2004), diminuindo a sua disponibilidade, e, no caso do tratamento SC, um valor de pH inferior ou próximo a 5,0 pode ter, do mesmo modo, diminuído a disponibilidade de boro, pela menor decomposição da matéria orgânica (Vale et al., 1997). Na ausência de boro, Rosolem & Costa (1999), cultivando o algodão em solução nutritiva, afirmaram que, mesmo em ausência temporária, houve uma redução da produção de matéria seca total, além da altura da planta e o número de estruturas reprodutivas do algodoeiro, o que comprometeu o desenvolvimento da planta. Assim, sob essas condições, a aplicação do calcário em superfície pode ter comprometido a produção do algodoeiro, fato que não pôde ser constatado neste estudo pelo fato do término do experimento ter ocorrido aos 45 dias de cultivo.

O cobre (Tabela 3.2) apresentou a mesma tendência de acúmulo nas plantas submetidas aos tratamentos estudados, em relação ao boro. Uma explicação para esse fato seria o valor de pH próximo à neutralidade, influenciando a disponibilidade do nutriente no solo, o que pode diminuir sua absorção pela planta de algodoeiro. O mesmo acontece para Zn, exceção feita ao solo sob cobertura anterior de pastagem, no tratamento CS. Os dados referentes ao acúmulo de Fe e Mn nas plantas (Tabela 3.2), mostraram que a menor absorção desses nutrientes pela cultura nos tratamentos C10 e CS, quando comparados a C20, está relacionada a maior elevação do pH nessas amostras de solo, diminuindo a disponibilidade destes elementos. Mesmo assim, as quantidades desses nutrientes absorvidas foram suficientes para o algodoeiro e superiores ao acúmulo de Fe e Mn verificados no tratamento SC.

Os resultados obtidos principalmente para os micronutrientes B, Cu, Fe, Mn, e Zn acumulados na parte aérea do algodoeiro demonstraram a necessidade de se ter atenção ao se fazer a correção do solo para que não ocorra diminuição da disponibilidade de alguns nutrientes a partir de uma supercalagem do solo, conforme foi relatado por Silva et al. (1987).

TABELA 3.1 Quantidades de N, P, K, Ca, Mg e S acumuladas na parte aérea do algodoeiro (mg/vaso), após 45 dias de cultivo sob diferentes manejos de calagem em Latossolo Vermelho distroférico, sob quatro usos anteriores de cobertura vegetal.

Cobertura	N			
	SC	C10	C20	CS
Eucalipto	110,0 B b	200,0 AB b	270,0 A a	140,0 B b
Mata	60,0 B b	240,0 A b	290,0 A a	200,0 A b
Pasto	290,0 A a	380,0 A a	320,0 A a	350,0 A a
Pinus	140,0 B b	280,0 A ab	280,0 A a	210,0 AB b
-----P-----				
Eucalipto	5,0 C b	10,0 AB c	15,0 A b	9,0 AB b
Mata	1,0 B b	10,0 A c	14,0 A b	9,0 A b
Pasto	22,0 B a	30,0 A a	30,0 A a	26,0 AB a
Pinus	7,0 B b	19,0 A b	17,0 A b	14,0 A b
-----K-----				
Eucalipto	50,0 C b	130,0 AB b	140,0 A b	80,0 BC b
Mata	30,0 B b	140,0 A b	150,0 A b	100,0 A b
Pasto	190,0 B a	270,0 A a	240,0 A a	230,0 AB a
Pinus	70,0 C b	150,0 AB b	160,0 A b	100,0 BC b
-----Ca-----				
Eucalipto	50,0 C b	220,0 B c	330,0 A a	130,0 C b
Mata	20,0 C b	220,0 AB c	280,0 A a	170,0 B b
Pasto	230,0 C a	430,0 A a	360,0 AB a	340,0 B a
Pinus	70,0 C b	330,0 A b	350,0 A a	180,0 B b
-----Mg-----				
Eucalipto	2,0 C b	7,0 AB c	11,0 A c	5,0 BC b
Mata	2,0 C b	14,0 AB b	16,0 A b	10,0 B b
Pasto	34,0 C a	47,0 A a	40,0 B a	39,0 B a
Pinus	2,0 C b	13,0 A bc	10,0 AB c	5,0 BC b
-----S-----				
Eucalipto	20,0 A a	40,0 A a	50,0 A b	30,0 A b
Mata	10,0 A a	40,0 A a	60,0 A b	30,0 A b
Pasto	90,0 B a	160,0 AB a	230,0 A a	190,0 AB a
Pinus	10,0 A a	60,0 A a	80,0 A b	50,0 a b

Médias seguidas por mesmas letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, em cada nutriente e cobertura vegetal anterior do solo analisados, não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$); SC, sem calagem; C10, calagem na camada de solo de 0-10 cm; C20, calagem na camada de solo de 0-20 cm e CS, calagem em superfície do solo.

TABELA 3.2 Quantidades de B, Cu, Fe, Mn e Zn acumuladas na parte aérea do algodoeiro (mg/vaso), após 45 dias de cultivo sob diferentes manejos de calagem em Latossolo Vermelho distroférrico, sob quatro usos anteriores de cobertura vegetal.

Cobertura	B			
	SC	C10	C20	CS
Eucalipto	0,10 C b	0,44 AB b	0,48 A b	0,26 BC b
Mata	0,05 B b	0,45 A b	0,47 A b	0,34 A b
Pasto	0,50 B a	0,77 A a	0,73 A a	0,65 AB a
Pinus	0,22 C b	0,52 AB b	0,48 AB b	0,33 BC b
-----Cu-----				
Eucalipto	0,03 B b	0,06 AB c	0,07 A a	0,04 AB b
Mata	0,01 C b	0,08 AB bc	0,09 A a	0,05 B ab
Pasto	0,12 Aa	0,12 A a	0,09 A a	0,09 A a
Pinus	0,04 C b	0,10 A ab	0,09 AB a	0,06 BC ab
-----Fe-----				
Eucalipto	0,26 A ab	0,55 A a	0,75 A b	0,36 A a
Mata	0,16 B b	0,83 A a	0,76 AB b	0,42 AB a
Pasto	0,87 B a	0,97 AB a	1,54 A a	0,77 B a
Pinus	0,54 A ab	0,77 A a	0,74 A b	0,46 A a
-----Mn-----				
Eucalipto	0,16 B bc	0,28 AB b	0,36 A b	0,18 AB b
Mata	0,09 B c	0,23 AB b	0,31 A b	0,23 AB b
Pasto	1,62 A a	0,96 C a	1,21 B a	1,10 BC a
Pinus	0,27 A b	0,38 A b	0,38 A b	0,33 A b
-----Zn-----				
Eucalipto	0,10 B b	0,19 AB bc	0,24 A ab	0,15 B ab
Mata	0,09 B b	0,18 AB c	0,20 A b	0,13 AB b
Pasto	0,32 A a	0,30 A a	0,30 A a	0,24 A a
Pinus	0,17 B b	0,28 A ab	0,25 AB ab	0,17 B ab

Médias seguidas por mesmas letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, em cada nutriente e cobertura vegetal anterior de solo analisados, não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$); SC, sem calagem; C10, calagem na camada de solo de 0-10 cm; C20, calagem na camada de solo de 0-20 cm e CS, calagem em superfície do solo.

3.2 Produção de matéria seca

Nas Tabelas 3.4 e 3.5, estão apresentados os dados relativos à produção de matéria seca do algodoeiro, em função da combinação de métodos de manejo da calagem com sistemas de uso/cobertura vegetal do solo.

Em geral, foi possível verificar uma concentração de raízes do algodoeiro (Tabela 3.4) na camada de solo de 0-5 cm, independentemente do sistema de manejo da calagem e da cobertura vegetal analisada. A não correção da acidez do solo limitou seriamente o crescimento do sistema radicular do algodoeiro, à exceção do solo sob uso ou cobertura vegetal anterior de pastagem. Nesta cobertura, na profundidade de 0-5 cm, não houve diferença entre os manejos da calagem, sendo um bom indicativo de ambiente propício ao bom desenvolvimento do sistema radicular sob condições naturais de cultivo, o que deve estar relacionado à melhor fertilidade natural deste solo em relação aos diferentes coberturas vegetais anteriores (Tabela 3.3).

Na profundidade de solo de 5-10 cm, na área sob pinus, as maiores produções de MSR foram observadas nos tratamentos que receberam calcário, com um aumento mínimo de 2,5 (CS) até 4,5 vezes (C20) na massa de raízes em relação à testemunha. Observou-se que, para os tratamentos C10 e CS, não foram notadas diferenças significativas nessa profundidade, o que demonstra que o calcário aplicado superficialmente proporcionou um melhor desenvolvimento do sistema radicular do algodoeiro. Um maior desenvolvimento radicular de algodoeiro também foi observado por Silva et al. (1987), em um ensaio de calagem e adubação com superfosfato simples, em que ocorreram lixiviação de bases no perfil, aumento do pH em profundidade e maior aproveitamento de água e nutrientes pelas plantas.

A incorporação do calcário otimizou o crescimento de raízes, contudo, esse efeito ficou restrito, em geral, à camada de solo superficial (0-5 cm). Nas

outras camadas de solo analisadas, não foram observadas maiores diferenças entre os tratamentos quanto ao crescimento de raízes. A exceção foi a área sob uso anterior de eucalipto, onde foi maior o crescimento de raiz em camadas mais profundas de solo no tratamento C20.

As plantas de algodoeiro que foram cultivadas em solo sob cobertura de pastagem apresentaram, na camada de solo de 10 a 20 cm de profundidade, menores valores para matéria seca de raiz em comparação à camada de 0 a 10 cm do solo. Isso pode ser explicado pelo fato do solo sob esta cobertura vegetal anterior apresentar melhores condições químicas naturais em menores profundidades quando comparado às outras coberturas vegetais anteriores. Assim, o algodoeiro teve provavelmente condições adequadas de desenvolvimento nas camadas superiores, não havendo necessidade de aumentar a profundidade de seu sistema radicular para aquisição de nutrientes para seu desenvolvimento, concentrando, assim, suas raízes até 10 cm de profundidade, o que provavelmente não afetou a produção de MSPA. Nos tratamentos onde houve a incorporação do calcário e um melhor condicionamento do solo para o desenvolvimento radicular do algodoeiro na camada mais superficial, fica evidente esta diminuição do crescimento radicular.

Os dados relativos à relação raiz/parte aérea do algodoeiro, em função da interação de práticas de manejo da calagem com o uso ou cobertura vegetal anterior do latossolo estudado, são apresentados na Figura 3.1. Os índices da relação raiz/parte aérea variaram na faixa de 0,13 a 0,83, sendo essa variável pouco influenciada pelo tratamentos estudados. A exceção foi a amostra de solo sob uso anterior de mata, no qual a ausência da calagem resultou em um maior crescimento de raiz, que não foi acompanhado, nas mesmas taxas, pela parte aérea. Silva et al. (1998) observaram que a adição de CaCO_3 a 20 cm de profundidade e para a testemunha sem adição de calcário foram obtidos valores

de relação raiz/parte aérea de 0,18 e 0,82, respectivamente, que são muito semelhantes aos obtidos neste trabalho.

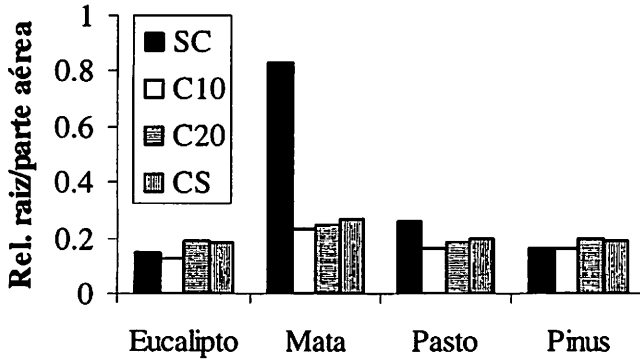


FIGURA 3.1 Relação raiz/parte aérea do algodoeiro, em função da interação de práticas de manejo da calagem com o uso ou cobertura vegetal anterior de Latossolo Vermelho distroférico de Lavras, MG. SC, sem calagem; C10, calagem na camada de solo de 0-10 cm; C20, calagem na camada de solo de 0-20 cm e CS, calagem em superfície do solo.

A aplicação de calcário em superfície afetou o crescimento do algodoeiro, restringindo a produção de matéria seca, tanto de raiz quanto da parte aérea. Uma das explicações para esse fato poderia estar ligada ao aumento de pH, que foi acima do normalmente recomendado para o algodoeiro, sendo excessiva a correção da acidez, principalmente na camada de solo de 0 a 5 cm. Nas camadas de solo mais profundas, apesar de ter ocorrido uma elevação de pH, principalmente para o solo sob uso ou cobertura vegetal anterior de mata, essa elevação do pH foi pequena, insuficiente, portanto, para o pleno crescimento do algodoeiro. Assim, o aumento exagerado de pH na superfície pode ter diminuído a disponibilidade de nutrientes para o algodoeiro, ao passo que a maior acidez em camadas mais profundas do solo que receberam calagem

em superfície pode ter restringido o crescimento das raízes do algodoeiro, e isso afetou negativamente a produção de matéria seca.

À exceção do solo sob uso anterior de pastagem, a ausência de correção da acidez do solo limitou seriamente a produção de matéria seca total (MSPA + MSR), o mesmo ocorrendo para a MSPA e MSR em todas as camadas de solo avaliadas. Os resultados obtidos estão de acordo aqueles apresentados por Silva et al. (1998) que atestam a pouca tolerância do algodoeiro a condições de elevada acidez do solo. Independente do sistema de manejo da calagem, as maiores produções de matéria seca foram obtidas no solo sob uso anterior de pastagem, não sendo notadas, nesta área, grandes diferenças entre a produção de matéria seca no tratamento sem calagem, em relação aos demais tratamentos nos quais a acidez do solo foi corrigida. Na ausência da calagem, as produções de matéria seca total do algodoeiro sob esta cobertura foram de 3,7 a 7,4 vezes maiores do que aquelas verificadas nos demais sistemas de uso de solo em qualquer manejo de calagem. Em parte, essa resposta pode ser explicada pelo maior valor de pH na área testemunha (SC) sob uso anterior de pastagem, em relação à testemunha de outros usos ou coberturas vegetais anteriores. Uma outra explicação para o maior crescimento do algodoeiro na área sob pastagem, principalmente nos tratamentos com calagem, poderia estar ligada à maior concentração de substâncias alelopáticas nas áreas sob uso anterior de eucalipto, mata e pinus.

É sabido que essas substâncias interferem no crescimento das plantas inibindo ou restringindo o seu desenvolvimento, como observado por Marques (1992), em um experimento com algodoeiro, em que a decomposição de maiores quantidades de resíduo de caruru de mancha (*Amaranthus visididis*) no solo apresentou efeito alelopático inibitório na germinação e crescimento do algodoeiro. Essa inibição foi mais acentuada em solos mais arenosos e sob condições mais ácidas e isso afetou, principalmente, a absorção de nitrogênio,

além de inibir os mecanismos de absorção e utilização de água, havendo, conseqüentemente, uma diminuição na transpiração das plantas e uma menor produção de matéria seca. As principais classes das substâncias alelopáticas encontradas, segundo Pires-O'Brien & O'Brien (1995), são os compostos fenólicos, aldeídos, cumarinas, glucosídeos e os terpenos. É bastante provável que a mudança de pH altere a disponibilidade no solo dessas classes de compostos, já que, em solos corrigidos, predominam as bactérias, em relação aos fungos e essa classe de microrganismos decompõe a MOS em taxas mais elevadas do que os fungos.

Dentro de um mesmo uso ou cobertura vegetal anterior do solo, as maiores produções de matéria seca total foram observadas nos tratamentos em que o calcário foi incorporado, principalmente quando o corretivo foi aplicado na camada de solo de 0 a 20 cm. Na área sob uso anterior de pastagem, a produção de matéria seca total, no tratamento C10, foi superior à observada no C20, mesmo estando o pH na camada de 5 a 10 cm acima do valor considerado adequado para o desenvolvimento do algodoeiro.

Em geral, os dados relativos à produção de matéria seca total refletem aqueles verificados para a produção de matéria seca da parte aérea. No solo sob uso ou cobertura vegetal anterior de mata, a incorporação do calcário de 0 a 20 cm de profundidade aumentou a produção de matéria seca da parte aérea em cerca de 5 vezes em relação à testemunha e, sob esta cobertura vegetal, o crescimento da parte aérea do algodoeiro não foi afetado pelo modo de incorporação de calcário.

TABELA 3.3 Atributos de acidez do solo sob influência de sistemas de uso e de modos de incorporação de corretivo, após um mês de incubação para reação do calcário com o solo, e antes do plantio do algodoeiro.

Uso do solo	Manejo do calagem	pH em água			V, %			m, %		
		Prof. do solo (cm)			Prof. do solo (cm)			Prof. Do solo (cm)		
		0-5	5-10	10-20	0-5	5-10	10-20	0-5	5-10	10-20
Eucal.	SC*	4,6	4,7	4,8	15	15	18	37	36	31
	C10	6,5	6,8	5,5	88	88	32	0	0	13
	C20	5,8	6,0	6,1	72	71	71	1	1	1
	CS	6,7	5,2	5,0	87	24	22	0	29	29
Mata	SC	4,1	4,3	4,4	14	16	16	37	38	32
	C10	6,4	6,7	4,8	90	90	26	0	5	19
	C20	5,4	5,7	5,7	73	72	72	1	1	1
	CS	6,4	4,9	4,8	87	30	33	0	18	12
Past.	SC	5,7	5,9	5,6	53	55	43	4	2	5
	C10	6,3	6,6	6,1	84	85	58	0	0	2
	C20	6,0	6,2	6,3	73	74	74	2	2	2
	CS	6,8	6,8	6,1	85	60	48	0	5	5
Pinus	SC	5,1	4,9	5,0	17	19	19	35	32	26
	C10	6,6	6,7	5,3	85	86	33	0	0	12
	C20	5,7	6,0	6,0	67	69	73	1	1	0
	CS	-	-	-	-	-	-	-	-	-

* SC, sem calagem; C10, calagem na camada de solo de 0-10 cm; C20, calagem na camada de solo de 0-20 cm e CS, calagem em superfície do solo. Eucal. – uso anterior ou cobertura vegetal Eucalipto; (Past.) – uso anterior ou cobertura vegetal Pastagem.

TABELA 3.4 Produção de matéria seca de raiz do algodoeiro sob influência de combinações de práticas de manejo da calagem com usos ou coberturas vegetais anteriores de Latossolo Vermelho distroférico, após 45 dias de cultivo do algodoeiro.

Cobertura vegetal	Produção de matéria seca			
	Manejo da calagem			
	SC	C10	C20	CS
	g vaso ⁻¹			
	MSR (camada de solo de 0 a 5 cm)			
Eucalipto	0,2 C c	0,6 B c	0,8 A c	0,3 C d
Mata	0,4 C b	1,1 B b	1,3 A b	0,9 B b
Pastagem	2,0 A a	1,5 BC a	1,6 B a	1,4 C a
Pinus	0,3 D bc	1,0 B b	1,4 A b	0,72 C c
	MSR (camada de solo de 5 a 10 cm)			
Eucalipto	0,08 C c	0,27 AB b	0,41 A c	0,13 BC c
Mata	0,36 BC b	0,40 B b	0,66 A b	0,24 C bc
Pastagem	0,9 c a	1,44 A a	1,23 B a	1,04 C a
Pinus	0,15 B c	0,37 A b	0,38 A c	0,37 A b
	MSR (camada de solo de 10 a 20 cm)			
Eucalipto	0,17 B b	0,07 B b	0,68 A b	0,13 B c
Mata	1,00 A a	0,7 B a	0,99 A a	0,87 AB a
Pastagem	1,07 A a	0,69 B a	0,51 B b	1,04 A a
Pinus	0,23 B b	0,55 A a	0,50 A b	0,43 A b
	MSRtotal (camada de solo de 0 a 20 cm)			
Eucalipto	0,45 C c	0,92 B c	1,89 A c	0,59 BC d
Mata	1,76 C b	2,17 B b	2,94 A b	2,02 BC b
Pastagem	4,04 A a	3,66 B a	3,32 B a	3,45 B a
Pinus	0,68 C c	1,92 A b	2,23 A c	1,52 B c

Médias seguidas por mesmas letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, em cada atributo e profundidade de solo analisados, não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$); MSR-(Matéria Seca de Raiz em diferentes profundidades); SC, sem calagem; C10, calagem na camada de solo de 0-10 cm; C20, calagem na camada de solo de 0-20 cm e CS, calagem em superfície do solo.

TABELA 3.5 Produção de matéria seca da parte aérea e matéria seca total do algodoeiro sob influência de combinações de práticas de manejo da calagem com usos ou coberturas vegetais anteriores de Latossolo Vermelho distroférico, após 45 dias de cultivo do algodoeiro.

Cobertura vegetal	Produção de matéria seca			
	Manejo da calagem			
	SC	C10	C20	CS
	-----g vaso ⁻¹ -----			
	MSPA			
Eucalipto	3,0 B b	8,6 A b	10,9 A b	4,8 B b
Mata	2,0 B b	8,9 A b	10,3 A b	6,9 A b
Pastagem	14,8 C a	22,6 A a	19,4 AB a	16,8 BC a
Pinus	3,9 B b	11,4 A b	11,9 A b	6,7 B b
	Mstotal			
Eucalipto	3,5 B b	9,5 A c	12,8 A b	5,4 B b
Mata	3,8 C b	11,1 AB Bc	13,3 A b	8,9 B b
Pastagem	18,9 C a	26,3 A a	22,7 AB a	20,2 BC a
Pinus	4,5 C b	13,4 A b	14,0 A b	8,3 B b

Médias seguidas por mesmas letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, em cada atributo e profundidade de solo analisados, não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$); MSPA-(matéria seca da parte aérea); MStotal, (matéria seca de raiz + MSPA); SC, sem calagem; C10, calagem na camada de solo de 0-10 cm; C20, calagem na camada de solo de 0-20 cm e CS, calagem em superfície do solo.

4 CONCLUSÕES

Em qualquer sistema de manejo da calagem, as maiores produções de matéria seca do algodoeiro são observadas no solo sob cobertura vegetal anterior de pastagem.

A correção da acidez do solo aumenta a produção de matéria seca do algodoeiro, que é maior nos tratamentos onde o calcário é incorporado.

A aplicação de calcário em superfície restringe o crescimento de raiz e diminui o acúmulo de nutrientes na parte aérea do algodoeiro, em relação ao tratamento onde o corretivo não é incorporado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BISSANI, C. A.; GIANELLO, C.; TEDESCO, M. J.; OLIVEIRA CAMARGO, F. A. **Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas**. Porto Alegre: Genesis, 2004. 328 p.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; MARTIN-NETO, L. Efeito de sistemas de preparo e de cultura na dinâmica da matéria orgânica e na mitigação das emissões de CO₂. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 3, p. 599-607, jul./set. 2000.
- CIA, E.; FREIRE, E. C.; SANTOS, W. J. **Cultura do Algodoeiro**. Piracicaba: POTAFOS, 1999. 286 p.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, 1999. 359 p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manejo da Acidez dos solos de cerrado e de várzea do Brasil**. 1999. 42 p. (Embrapa Arroz e Feijão. Documentos, n. 92).
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Solos dos Cerrados: tecnologias e estratégias de manejo**. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados, 1986. 422 p.
- MARQUES, M. R. **Potencial alelopático de resíduos de caruru (*Amarantus viridis*, L.), incorporado em três tipos de solos, sobre a germinação e crescimento inicial do algodoeiro (*Gossypium hirsutum*, L.)**. 1992. 125 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.
- MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; FRANCHINI, J. C. Evaluation of plant residues on the mobility of surface applied lime. **Brazilian Archive Biology and Technology**, Curitiba, v. 45, n. 3, p. 251-256, 2002.
- MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; FRANCHINI, J. C. Neutralização da acidez do perfil do solo por resíduos vegetais. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 92, dez. 2000. Disponível em: <www.potafos.org>. Acesso em: 23 set. 2004.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; FRANCHINI, J. C. Organic mobility of surface applied lime under no-tillage. In: INTERNATIONAL MEETING OF THE INTERNATIONAL HUMIC SUBSTANCE SOCIETY, 1998, Adelaide. 166 p.

OLIVEIRA, E. L.; PAVAN, M. A. Control of soil acidity in no-tillage system for soybean production. *Soil and Tillage Research*, Amsterdam, v. 38, n. 1/2, p. 47-57, Aug. 1996.

PIRES-O'BRIEN, M. J.; O'BRIEN, C. M. **Ecologia e Modelamento de Florestas Tropicais**. Belém: Ministério da Educação e do Desporto/FCAP, 1995. 400 p.

RITCHEY, K. D.; SOUZA, D. M. G.; LOBATO, E.; CORREA, O. Calcium leaching to increase rooting depth in a Brazilian Savannah Oxisol. *Agronomy Journal*, Madison, v. 72, n. 1, p. 40-44, Jan./Feb. 1980.

ROSOLEM, C. A.; COSTA, A. Nutrição boratada e crescimento do algodoeiro em função de deficiência temporária de boro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 1999, Ribeirão Preto. *Anais...* Campina Grande: Embrapa-Algodão, 1999. p. 403-406.

SILVA, F. C. da (Org.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. 370 p.

SILVA, N. M. Calagem e adubação do algodoeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 3., 2001, Campo Grande, MS. **Produzir sempre, o grande desafio: resumos das palestras**. Campina Grande: Embrapa Algodão; Campo Grande: UFMS; Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2001. p. 155-157.

SILVA, N. M.; CARVALHO, L. H.; CIA, E.; FUZZATTO, M. G.; CHIAVEGATO, E. J.; ALLEONI, L. R. F. Seja o doutor do seu algodoeiro. *Arquivo do agrônomo*, Piracicaba, n. 8, p. 17, 1995.

SILVA, N. M.; CARVALHO, L. H.; HIROCE, R.; QUAGGIO, J. A. A calagem na reação do algodoeiro à adubação com superfosfato simples. *Bragantia*, Campinas, v. 46, n. 2, p. 381-396, 1987.

SILVA, N. M.; FURLANI JÚNIOR, E.; QUAGGIO, J. A.; CANTARELLA, H. Calagem e adubação nitrogenada do algodoeiro. In: CONGRESSO

BRASILEIRO DE ALGODÃO, 1997, Fortaleza. **Anais...** Campina Grande: Embrapa-Algodão, 1997a. p. 290-292.

SILVA, A. A.; VALE, F. R.; FERNANDES, L. A.; FURTINI NETO, A. E.; MUNIZ, J. A. Efeitos de relações $\text{CaSO}_4/\text{CaCO}_3$ na mobilidade de nutrientes no solo e no crescimento do algodoeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, n. 3, p. 451-457, jul./set. 1998.

SILVA, N. M.; VAN RAIJ, B.; CARVALHO, L. H.; BATAGLIA, O. C.; KONDO, J. I. Efeitos do calcário e do gesso nas características químicas do solo e na cultura do algodão. **Bragantia**, Campinas, v. 56, n. 2, p. 389-401, 1997b.

STEVENSON, F. J. **Humus chemistry**. New York: John Wiley, 1994. 496 p.

VALE, F. R.; GUILHERME, L. R. G.; GUEDES, G. A. A.; FURTINI NETO, A. E. **Fertilidade do solo: dinâmica e disponibilidade de nutrientes**. Lavras, Lavras: UFLA/FAEPE, 1997. 171 p.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O manejo da calagem exerce influência sobre o crescimento do algodoeiro e a incorporação de corretivo se mostra essencial para a planta desenvolver o sistema radicular, acumular mais nutrientes e produzir mais matéria seca. A calagem superficial alterou para níveis muito altos os teores de bases trocáveis, o pH e a saturação por bases de camadas superficiais do latossolo, e esse pode ter sido um dos motivos que restringiram a produção de matéria seca do algodoeiro nesse tratamento. Em áreas mais ricas em matéria orgânica, como na área de mata, é maior a chance de o calcário, incorporado ou não, se movimentar para camadas de solo além dos locais de aplicação do corretivo. Assim, um manejo que preserve o solo e que resulte em aumento no estoque e melhoria na qualidade da matéria orgânica, por meio de coberturas vegetais mais ricas em ácidos e outros ânions orgânicos capazes de se ligarem ao cálcio, uma adubação balanceada e o controle do regime hídrico, pode garantir a eficiência da calagem superficial, o que poderia contribuir para a diminuição das operações de revolvimento do solo e de todos os prejuízos a elas associados. Entretanto, a aplicação superficial do calcário requer cuidados na definição da dose e época de aplicação do corretivo, para que não ocorra supercalagem e para que o desenvolvimento das culturas não seja prejudicado por falta de cálcio e magnésio e pela restrição do desenvolvimento radicular em camadas mais profundas de solos ácidos.

É necessário, porém, que sejam desenvolvidos mais estudos envolvendo a interação dos diversos fatores que podem favorecer a mobilidade do calcário aplicado em superfície, bem como estudos em diversas regiões do país abrangendo a nossa grande diversidade climática. Isso porque o clima pode restringir, em algumas regiões, a produção de resíduos e o acúmulo de matéria orgânica e a disponibilidade de água no solo, em certas épocas do ano. Tais

estudos deveriam ter como objetivo elucidar o papel de cada fator na mobilização do corretivo no perfil do solo e na neutralização da acidez.

A ciência deve, assim, proporcionar ao produtor os meios para que o manejo da calagem, mesmo quando em superfície, associada aos demais cuidados no cultivo, promova condições próximas da ideal para desenvolvimento e produção das culturas, aumentando a eficiência de uso da água, fertilizantes e outros insumos, em razão do maior aprofundamento do sistema radicular. A melhoria do ambiente radicular em solo e subsolo, de certo modo, se traduz em melhoria da fertilidade do solo como um todo, já que as plantas passam a explorar um maior volume de solo e isso garante mais água e nutriente disponíveis em todo o ciclo de cultivo.

ANEXO

	Página
TABELA 1A Resultados obtidos para CV(%) nas análises estatísticas dos atributos químicos do solo após 30 dias em incubação para reação do calcário com o solo e após 45 dias de cultivo do algodoeiro.....	88
TABELA 2A Resultados obtidos para CV(%) nas análises estatísticas para matéria seca do algodoeiro.....	88
TABELA 3A Resultados de CV (%) para as análises estatísticas de nutrientes acumulados no algodoeiro.....	88

TABELA 1A Resultados obtidos para CV(%) nas análises estatísticas dos atributos químicos do solo, após 30 dias em incubação para reação do calcário com o solo e após 45 dias de cultivo do algodoeiro.

Profundidade (cm)	pH		Ca		Al		V		M	
	In.*	Fin.	In.	Fin.	In.	Fin.	In.	Fin.	In.	Fin.
0-5	1,8	5,1	6,6	8,7	10,7	19,5	2,1	6,5	9,2	17,6
5-10	1,9	5,1	3,1	11,8	70,4	19,8	1,7	8,5	20,7	22,6
10-20	2,3	1,5	5,4	11,1	18,5	17,6	5,1	5,7	20,1	15,6
20-40	1,6	2,5	20,6	23,1	44,8	10,4	16,0	18,3	44,8	15,3

* In. – Início do experimento (após 30 dias em incubação para reação do calcário com o solo); Fin. – Fim do experimento (após 45 dias de cultivo com algodoeiro).

TABELA 2A Resultados obtidos para CV(%) nas análises estatísticas para matéria seca do algodoeiro.

	MSR* (0-5 cm)	MSR (5-10 cm)	MSR (10-20 cm)	MSRTotal	MSPA	MSTotal
CV (%)	8,7	12,6	14,7	7,4	15,8	13,2

* MSR – matéria seca de raiz em diferentes profundidades; MSRTotal – matéria seca de raiz total; MSPA – matéria seca de parte aérea; MSTotal – (MSR + MSPA)

TABELA 3A Resultados de CV (%) para as análises estatísticas de nutrientes acumulados no algodoeiro.

	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
CV (%)	23,9	22,3	16,1	16,9	20,1	80,6	19,2	23,5	44,1	16,3	21,0

