

FÁBIO RIBEIRO PIRES

DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE MECANISMO PARA DISTRIBUIR  
CALCÁRIO, AO LONGO DO PERFIL DO SOLO, NO SULCO DE PLANTIO

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de “Magister Scientiae”.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2000

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e  
Classificação da Biblioteca Central da UFRV**

T

P667d  
2000

Pires, Fábio Ribeiro, 1975-

Desenvolvimento e avaliação de mecanismo para distribuir calcário, ao longo do perfil do solo, no sulco de plantio / Fábio Ribeiro Pires. – Viçosa: UFRV, 2000. xi, 63f. : il. ; 29cm.

Orientador: Caetano Marciano de Souza  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.  
Inclui bibliografia.

1. Palha - Utilização na agricultura. 2. Calcário - Aplicação. 3. Calagem dos solos. 4. Adubos e fertilizantes.  
I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 22.ed. 631.5

FÁBIO RIBEIRO PIRES

DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE MECANISMO PARA DISTRIBUIR  
CALCÁRIO, AO LONGO DO PERFIL DO SOLO, NO SULCO DE PLANTIO

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de “Magister Scientiae”.

APROVADA: 24 de janeiro de 2000.

---

Prof. Daniel Marçal de Queiroz  
(Conselheiro)

---

Prof. Glauco Vieira Miranda  
(Conselheiro)

---

Prof. Liovando Marciano da Costa

---

Prof. Gutemberg Pereira Dias

---

Prof. Caetano Marciano de Souza  
(Orientador)

Aos meus pais Elizeu e Eunice.

À minha querida noiva Catherine.

Ao meu grande irmão Leandro.

## **AGRADECIMENTO**

A Deus, Pai e Criador.

A Jesus, amigo de todas as horas.

À Universidade Federal de Viçosa (UFV), por intermédio do Departamento de Fitotecnia, pela oportunidade concedida e pela acolhida.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos.

Ao professor Caetano Marciano de Souza, pela orientação, pela compreensão, pelo apoio e pela amizade.

Aos professores Glauco Vieira Miranda e João Carlos Cardoso Galvão, pelos conselhos, pelas sugestões, pelo apoio e pela amizade durante as diversas etapas deste trabalho.

Ao professor Daniel Marçal de Queiroz, pela colaboração e pelos oportunos conselhos.

À empresa de sementes Santa Helena, na pessoa do engenheiro-agrônomo Guilherme Henrique Andrade Junqueira, pelo material gentilmente cedido para a realização do experimento.

Aos funcionários da Estação Experimental de Coimbra, pela impagável ajuda; e ao Sr. José Martins, do Setor de Agronomia, pela inestimável colaboração.

Aos funcionários Mara e Vicente, pelos serviços prestados e pelos momentos de descontração; e a José Antônio, Sabino e Jorge, pela amizade.

Aos laboratoristas do Departamento de Fitotecnia Domingos Sávio, Itamar, Souza e Assis e aos do Departamento de Solos Dimas, Carlos e Carlinhos, pelo apoio e pela amizade.

Ao Maurício Bernardes Coelho, técnico de nível superior do Departamento de Fitotecnia, pela contribuição a este trabalho.

Aos meus pais Elizeu e Eunice e ao meu irmão Leandro, pelo apoio inigualável e, acima de tudo, pelo afeto e encorajamento.

À minha pequena Catherine, cujo amor abrandou nossa distância e reforçou meu ideal.

Ao meu colega Ricardo Garcia, pela contribuição imprescindível prestada nesta tese.

Ao meu ex-professor e colega Pezzopane, pela amizade e pelos conselhos oportunos.

Aos meus colegas de curso, por termos compartilhado de bons e difíceis momentos; e ao meu grande amigo Alexandre Rosa dos Santos, pelo companheirismo.

Às demais pessoas que, de alguma forma, contribuíram para o êxito deste trabalho.

## **BIOGRAFIA**

FÁBIO RIBEIRO PIRES, filho de Elizeu Pires de Araújo e Eunice Ribeiro Pires, nasceu em Alegre, Espírito Santo, no dia 18 de março de 1975.

Em agosto de 1997, graduou-se em Agronomia pela Universidade Federal do Espírito Santo, em Vitória, ES.

Nesse mesmo mês e ano, ingressou no Programa de Mestrado em Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, MG, submetendo-se à defesa de tese em janeiro de 2000.

## CONTEÚDO

	Página
EXTRATO .....	viii
ABSTRACT .....	x
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	4
2.1. Importância da correção da acidez dos solos .....	5
2.2. Controle da acidez pela calagem .....	8
2.2.1. Profundidade de aplicação de corretivos, calagem segmentada e movimentação do calcário no solo .....	9
2.2.2. Calagem em plantio direto .....	12
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	17
3.1. Descrição da área .....	17
3.2. Material, procedimento experimental e tratamentos .....	17
3.3. Desenvolvimento do mecanismo para distribuição do calcário ao longo do perfil do solo no sulco de plantio e aplicação do calcário .....	19
3.4. Calagem, plantio, adubação e controle fitossanitário .....	23
3.5. Análises químicas do solo .....	23
3.6. Análise foliar .....	24
3.7. Avaliação de algumas características agronômicas do milho .....	25

	Página
3.8. Análise estatística .....	25
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	26
4.1. Distribuidor de calcário .....	26
4.1.2. Aplicação do calcário .....	29
4.2. Propriedades químicas do solo .....	30
4.2.1. pH .....	30
4.2.2. Cálcio trocável .....	34
4.2.3. Magnésio trocável .....	37
4.2.4. Alumínio trocável .....	40
4.3. Análise do tecido foliar .....	45
4.4. Características agronômicas .....	47
4.5. Sugestão de metodologia de calagem realizada por meio de aplicação de calcário, ao longo do perfil do solo, no sulco de plantio .....	49
5. RESUMO E CONCLUSÕES .....	52
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	55

## EXTRATO

PIRES, F. R., M.S., Universidade Federal de Viçosa, agosto de 2000.  
**Desenvolvimento e avaliação de mecanismo para distribuir calcário, ao longo do perfil do solo, no sulco de plantio.** Orientador: Caetano Marciano de Souza. Conselheiros: Glauco Vieira Miranda, Daniel Marçal de Queiroz e João Carlos Cardoso Galvão.

Este trabalho teve como objetivos desenvolver e avaliar um mecanismo capaz de distribuir calcário ao longo do perfil do solo, no sulco de plantio, sem a necessidade das operações convencionais de aração e gradagem. Utilizou-se a semeadora-adubadora para plantio direto Turbo-Max com algumas adaptações em seu conjunto rompedor e distribuidor de adubo e no dosador de adubo. O mecanismo utilizado para a condução do calcário até sua distribuição ao longo do perfil do solo no sulco de plantio foi o sistema pneumático dosador de sementes da semeadora-adubadora. Construiu-se um novo sulcador-distribuidor. Comparou-se a distribuição promovida ao longo do perfil do solo no sulco de plantio pelo mecanismo desenvolvido com a testemunha sem aplicação de calcário, a aplicação de calcário na superfície do solo e com a aplicação conjunta no sulco e na superfície. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, em parcelas subdivididas, com três repetições. Os tratamentos aplicados nas parcelas foram: a) milho híbrido duplo Z 8447, tolerante ao alumínio; b) variedade de milho AL 25,

medianamente sensível ao alumínio; e c) híbrido duplo AG 122, muito sensível ao alumínio. Os tratamentos aplicados nas subparcelas foram: 1) testemunha sem calagem; 2) calcário aplicado ao longo do perfil do solo no sulco de plantio, na dosagem total recomendada  $\text{m}^{-2}$ ; utilizaram-se duas faixas de 10 cm de largura e 20 cm de profundidade, representando 20% do total recomendado para a área; 3) calcário aplicado a lanço na superfície do solo, com 50% da dosagem total recomendada,  $\text{m}^{-2}$ ; 4) calcário aplicado ao longo do perfil do solo no sulco de plantio, na dosagem total recomendada  $\text{m}^{-2}$ ; utilizaram-se duas faixas de 10 cm de largura e 20 cm de profundidade, o que representou 20% do total recomendado para a área mais calcário aplicado a lanço na superfície, aplicando-se 50% da dosagem total recomendada  $\text{m}^{-2}$ . Nos tratamentos que receberam calcário no sulco, este coincidiu com o sulco de plantio. Realizaram-se amostragens do solo aos 30 e 150 dias após a calagem. As amostras foram coletadas no centro da linha de plantio (somente aos 150 dias) aos 5, 10, 15 e 25 cm de um dos lados da linha de plantio, para cada distância, nas profundidades de 0-2,5; 2,5-5; 5-10; 10-15; e 15-20 cm. Determinaram-se pH em água e cálcio, magnésio e alumínio trocáveis nas amostras. Avaliou-se o estado nutricional do tecido foliar dos três cultivares, bem como algumas características agrônômicas da cultura. Os resultados indicaram que o mecanismo desenvolvido distribuiu o calcário eficientemente ao longo do perfil do sulco até 20 cm de profundidade, em uma faixa de 10 cm de largura, sendo o dosador capaz de aplicar entre 1.000 e 4.000  $\text{kg ha}^{-1}$  de calcário. O calcário aplicado na superfície teve efeito sobre as características químicas do solo somente até 5 cm de profundidade. A aplicação conjunta de calcário ao longo do perfil do solo no sulco de plantio mais calcário em superfície foi mais eficiente, com maiores valores de pH, Ca e Mg trocáveis e menores teores de Al trocável. Não foi observado efeito das modalidades de aplicação de calcário no estado nutricional dos cultivares testados nem sobre as características agrônômicas da cultura do milho analisadas.

## ABSTRACT

PIRES, F. R., M. S., Universidade Federal de Viçosa, August, 2000.  
**Development and evaluation of mechanism for limestone to distribute along the soil profile, into furrows.** Adviser: Caetano Marciano de Souza.  
Committee Members: Glauco Vieira Miranda, Daniel Marçal de Queiroz and João Carlos Cardoso Galvão.

The objectives of this work were to develop and evaluate a mechanism capable of distributing limestone along the soil profile, into furrows, without the need of the conventional operations of tilling and harrowing. A Turbo-Max row-crop-planter was used for no-tillage system with some adaptations in its fertilizer furrow-opener set and fertilizer-metering. The mechanism used for carrying limestone to its distribution along the soil profile into the planting furrow was the seed-meter pneumatic system of the row-crop-planter. A new furrow-opener was built. The distribution promoted along the soil profile into the planting furrow by the equipment, which was developed using the control without limestone application, was compared to the limestone application on soil surface and to the concurrent application into the furrow and on the surface. A randomized block design with split-plots and three replications was used. The treatments applied to the plots were: a) double hybrid corn Z 8447, tolerant to aluminium; b) corn variety AL 25, intermediately sensitive to aluminium; and c) double hybrid AG 122, highly sensitive to aluminium. The treatments applied to the

split-plots were: 1) control without liming; 2) limestone applied along the soil profile into the planting furrow, in the recommended total dose  $\text{m}^{-2}$ ; two strips of 10 cm width and 20 cm depth were used, representing 20% of the total recommended for the area; 3) limestone applied by spreading on soil surface, with 50% of the recommended total dose  $\text{m}^{-2}$ ; 4) limestone applied along the soil profile into the planting furrow, in the recommended total dose; two strips of 10 cm width and 20 cm depth were used, representing 20% of the total recommended for the area added of more limestone applied by spreading on soil surface, with 50% of the recommended total dose  $\text{m}^{-2}$  being applied. In treatments receiving limestone into the furrow, this coincided with the planting furrow. Soil sampling was carried out, at 30 and 150 days after liming. The samples were collected from the central part of the planting line (only at 150 days) at 5, 10 and 25 cm of one of the planting line sides, for each distance at 0-2.5, 2.5-5, 5-10, 10-15, and 15-20 cm depth. The pH was determined in water and calcium, and exchangeable magnesium and aluminium in the samples. Nutritional state of foliar tissue was evaluated for the three cultivars, as well as some crop agronomic characteristics. The results showed that the developed mechanism distributed limestone efficiently along the soil profile up to 20 cm depth, in a 10 cm width strip, being the fertilizer-metering capable of applying between 1000 and 4000  $\text{kg ha}^{-1}$  of limestone. Limestone applied on surface had effect on soil chemical characteristics only up to 5 cm depth. The concurrent application along the soil profile into the planting furrow added of more limestone on the surface was more efficient, with higher values of pH, exchangeable Ca and Mg and lower levels of exchangeable Al. No effect of limestone mode of application was observed on the nutritional state of the tested cultivars or on the analysed agronomic characteristics of the corn crop.

## 1. INTRODUÇÃO

Em decorrência da preocupação com aspectos ambientais – como o controle da erosão –, econômicos e operacionais, tem havido grande interesse em práticas que minimizam o revolvimento do solo. Assim, é que técnicas denominadas cultivo mínimo, dentre elas o plantio direto, têm tido cada vez maior aceitação e uso no Brasil. Entretanto, vários solos brasileiros apresentam problemas de acidez elevada e fertilidade baixa e requerem calagem para serem cultivados com índices aceitáveis de produtividade. A calagem, por seu turno, até o presente requer aração e gradagem para a incorporação do calcário na camada agricultável, operações essas que contrariam as técnicas de cultivo mínimo.

Dentre as modalidades de cultivo mínimo, maior ênfase tem sido dada ao plantio direto, que é uma técnica de manejo que visa, entre outros objetivos, a conservação do solo. Inicialmente, teve maior aceitação e uso na Região Sul do Brasil, especialmente no Estado do Paraná. Atualmente, o plantio direto ocupa uma área de quase 10 milhões de hectares, correspondendo a cerca de 30% da área agrícola do país (FREITAS, 1999). É praticado em diversas regiões, sendo utilizado por um número crescente de produtores, alguns visando ao benefício de seu aspecto conservacionista, outros por motivos econômicos, já que o plantio direto tem proporcionado rentabilidade igual ou superior ao plantio convencional, com menor custo de produção.

Quando comparado com sistemas convencionais de preparo, verificou-se que o plantio direto é mais eficiente na conservação do solo, pois o plantio mobiliza pouco volume de solo, além de utilizar os restos culturais como camada protetora contra a chuva e a incidência direta dos raios solares, que, além disso, atuam como fonte de nutrientes e matéria orgânica.

Mais que uma técnica eficiente no controle da erosão, o plantio direto favorece a biologia do solo, conserva a umidade, diminui a amplitude térmica, diminui a incidência de plantas daninhas anuais e favorece a germinação de sementes. Do ponto de vista econômico, resulta em redução de mão-de-obra, tempo e combustível.

O plantio direto, no entanto, como todo sistema, apresenta limitações. Normalmente, os problemas são verificados na fase inicial de adoção do sistema e relacionam-se ao manejo do solo. Formação de cobertura adequada para proteção do solo; adensamento da camada superficial; acidez subsuperficial, em decorrência da dificuldade de incorporação de corretivos em maior profundidade; e restrição ao desenvolvimento radicular das plantas são alguns problemas comuns na adoção desse sistema de manejo do solo (STOLF, 1984; PAVAN, 1985; SÁ et al., 1994; CANALLI e ROLOFF, 1997).

O desenvolvimento radicular em menor profundidade no plantio direto, quando comparado com preparo convencional do solo, é atribuído à maior acidez e ao alumínio trocável encontrados no subsolo resultantes da calagem superficial, atualmente praticada no primeiro sistema (SHEAR e MOSCHLER, 1969; BLEVINS et al., 1977; BLEVINS et al., 1978; PAIVA et al., 1996).

A aplicação superficial de calcário tem sido o procedimento mais comumente utilizado por agricultores para corrigir a acidez do solo no plantio direto. Essa prática contribui para concentrar nutrientes e, em decorrência disso, as raízes na camada superficial, expondo-as a déficits hídricos, além do risco de ocorrer excessivo aumento de pH. Esse problema é agravado pelas baixas mobilidade e solubilidade apresentadas pelo calcário.

Tradicionalmente, o calcário é incorporado, pelo menos, até 20 cm, a fim de corrigir a acidez do solo na maior profundidade. Entretanto, a ação de incorporar o calcário contraria o princípio de movimentação mínima defendida pelo plantio direto. No entanto, a não-incorporação reduz a superfície de

contato entre as partículas do corretivo e os colóides do solo e, em consequência, a eficácia da operação (SÁ, 1995a).

Em face dessas observações e da necessidade de uma alternativa para a realização da calagem sem as operações convencionais de aração e gradagem, realizou-se o presente trabalho, com os objetivos de desenvolver e avaliar um mecanismo capaz de distribuir calcário ao longo do perfil do solo, no sulco de plantio, até a profundidade de 20 cm.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

A acidez dos solos é um dos problemas dos solos tropicais, ocorrendo em 70% da área total dessa região (SANCHEZ e SALINAS, 1981), o que é, reconhecidamente, um dos principais fatores da redução da produtividade das culturas. Segundo WAGNER (1987), grande parte do território nacional (86%) apresenta elevada acidez e baixa fertilidade natural. Solos ácidos, em geral, contêm elevados teores de alumínio trocável, às vezes de manganês, e teores baixos de cálcio e magnésio. Podem também apresentar disponibilidade reduzida de alguns nutrientes. Tais condições fazem com que esses solos necessitem de manejo específico capaz de garantir condições ao desenvolvimento adequado das plantas.

Nessas condições, a correção da acidez do solo tem efeito benéfico sobre a produção das culturas. Os principais efeitos da calagem são a neutralização do alumínio e manganês tóxicos, o fornecimento de cálcio e magnésio, a correção do pH e a maior disponibilização de nutrientes, favorecendo a sua absorção pelas plantas. Em condições de cultivo mínimo e, principalmente, em plantio direto, a prática da calagem tem sido limitante, já que, após a implantação do sistema, as correções são feitas superficialmente, o que pode restringir o aprofundamento do sistema radicular, que, em condições de déficit hídrico, dificulta a utilização de água armazenada no subsolo, prejudicando a produtividade (SILVA et al., 1984a; SIQUEIRA, 1995). Isso porque a habilidade das plantas em explorar água e nutrientes contidos

em um horizonte do solo depende da concentração de raízes nesse horizonte, que, por sua vez, depende de suas condições físicas e químicas (CANALLI e ROLOFF, 1997).

O estudo de técnicas de correção da acidez e disponibilização de nutrientes nas camadas subsuperficiais do solo, de forma a permitir melhor desenvolvimento radicular com reflexos positivos na absorção de água e nutrientes, minimizando os efeitos de déficits hídricos, é muito importante (RITCHEY et al., 1982; DEDECEK et al., 1986), já que essas condições garantem a produtividade das lavouras.

### **2.1. Importância da correção da acidez dos solos**

O crescimento de plantas em solos ácidos pode ser limitado principalmente pela toxicidade de Al, Fe e, ou, Mn e deficiência de Ca, Mg, K, P, B, N e, ou, Mo (WAGNER, 1987; MARSCHNER, 1991; EDMEADES et al., 1995). Pode ocorrer a fixação de fósforo como fosfato de alumínio e ferro, bem como deficiência de molibdênio por fixação semelhante à do fósforo e pela presença de íons alumínio e manganês em concentrações tóxicas (BLACK, 1968). A acidez elevada provoca também reduções da taxa de decomposição da matéria orgânica, da ciclagem de nutrientes e da absorção de nutrientes pelas raízes das plantas e, mesmo, a inibição do crescimento do sistema radicular (MARSCHNER, 1991; EDMEADES et al., 1995), reduzindo o volume de solo explorado.

Não obstante todos esses impedimentos decorrentes do pH baixo, a toxidez do alumínio trocável talvez seja o principal fator limitante para o crescimento de plantas em solos ácidos. O alumínio, além de interferir no complexo de troca e formar compostos pouco solúveis com diversos ânions, exerce efeito fitotóxico diretamente sobre as plantas, reduzindo o crescimento das raízes, tornando-as curtas, grossas e amarronzadas; e inibe a divisão celular e a síntese de DNA, prejudicando sua replicação (FOY, 1974). Com isso, pode ocorrer redução na absorção de água e de nutrientes em virtude da diminuição da permeabilidade da membrana plasmática. No entanto, o alumínio fixa o fósforo na forma inorgânica na superfície das raízes, interfere na absorção de cálcio e afeta a infecção do nódulo, prejudicando a fixação

biológica do nitrogênio (MACHADO, 1997). Esses efeitos ficam mais sérios em solos muito ácidos, uma vez que a calagem se torna difícil nessa situação. Como resultados, ocorrem redução na penetração de raízes e aumento da probabilidade de injúria em períodos secos, limitando o crescimento e, conseqüentemente, a produtividade das culturas.

É fato que no plantio direto há concentração de nutrientes na superfície do solo em decorrência da aplicação superficial de adubos e corretivos e do não-revolvimento do solo (SHEAR e MOSCHLER, 1969; LAL, 1976; RAMOS e DEDECEK, 1979; MUZILLI, 1983; CENTURION et al., 1985; DEDECEK et al., 1986; SÁ, 1993a; SHNEIDER, 1997) e do acúmulo de matéria orgânica na superfície. Em conseqüência, o sistema radicular das plantas tende a concentrar-se na superfície mais enriquecida, caso as camadas subjacentes não estejam em condição semelhante de fertilidade (RAMOS e DEDECEK, 1979; SCHULTZ, 1987; SIQUEIRA, 1995; GASSEN e GASSEN, 1996) e apresentem aumento da saturação de alumínio à medida que se aprofunda no perfil. Vários autores encontraram redução do pH com o aumento da profundidade em áreas cultivadas no sistema de plantio direto, dentre eles HARGROVE et al. (1982), SÁ (1993b), PAULETTI et al. (1995) e ARSHAD et al. (1997). Destaque pode ser dado ao trabalho de MERTEN e MIELNICZUK (1991), que, avaliando o efeito do plantio convencional e do plantio direto nas propriedades químicas e físicas do solo e na distribuição do sistema radicular de aveia-preta, trigo, milho e soja, observaram que o pH era baixo e o teor de alumínio era alto, a 5-10 cm de profundidade, no plantio direto. Concluíram que a calagem realizada na superfície, 15 meses antes da amostragem, ainda não havia atingido maior profundidade nesse sistema. Como resultado, as raízes de milho e soja aprofundaram-se e concentraram-se na camada de 10-20 cm de profundidade no preparo convencional, enquanto no PD elas se mantiveram à profundidade de 5-10 cm.

Outros autores relataram que, com o aumento da profundidade do solo, ocorre aumento também do conteúdo de Al trocável em plantio direto (BLEVINS et al., 1978; BLEVINS et al., 1983; CENTURION et al., 1985; BAYER e MIELNICZUK, 1997). A presença de Al em níveis tóxicos abaixo da camada corrigida pode restringir o aprofundamento do sistema radicular,

diminuindo o volume de solo explorado pelas raízes, com prejuízos à absorção de água e nutrientes (SILVA et al., 1984b).

Outro trabalho a ser destacado é o de HOLANDA et al. (1998), que, avaliando o efeito de diferentes sistemas de preparo do solo, cultivado com milho e soja, nos EUA, observaram que a freqüente e pesada adubação nitrogenada contribuiu para a ocorrência de acidez na profundidade de fertilização, principalmente em sistemas conservacionistas (plantio direto e reduzido), podendo, no longo prazo, afetar negativamente a disponibilidade de nutrientes para as plantas. Observaram, ainda, que os sistemas conservacionistas, de maneira geral, propiciaram menor produção que o convencional. Nos anos de baixa precipitação, isso foi atribuído à concentração de nutrientes próximos à superfície que limitou o crescimento radicular em profundidade. No entanto, quando se praticou a rotação de culturas, esse efeito foi amenizado.

Alguns resultados, como os obtidos por SIDIRAS e PAVAN (1985), contrariam os anteriores, os quais, após quatro anos de manejo de dois solos do Paraná, encontraram aumentos significativos de pH nos tratamentos plantio direto e cobertura permanente, em relação ao plantio convencional, na camada superficial de 0-10 cm, permanecendo sempre superior no plantio direto até a profundidade de 60 cm. Observaram também menores valores de saturação de alumínio no plantio direto. Tais resultados foram atribuídos aos efeitos benéficos da cobertura do solo com resíduos vegetais, presentes nos sistemas de cultura permanente e plantio direto, que promoveram a complexação dos íons  $Al^{3+}$  com as substâncias orgânicas, formando compostos de baixa solubilidade (THOMAS, 1975; LIND e HEM, 1975; HUE et al., 1985; ERNANI et al., 1995). Explicação semelhante apresentaram ERNANI et al. (1998) para o fato de que, no experimento realizado, o alumínio não restringiu substancialmente a produção de milho, mesmo em condição de solo ácido (pH 4,7 e saturação de Al de 56%). Igualmente, PAIVA et al. (1996) citaram a complexação do alumínio por radicais orgânicos provenientes da mineralização dos restos vegetais de tremoço, como explicação para o fato de que, mesmo com o decréscimo do pH do solo na condição estudada, não houve elevação dos teores de alumínio.

## **2.2. Controle da acidez pela calagem**

A calagem apresenta inúmeros benefícios, dentre os quais se podem citar: diminui a toxidez de alumínio, ferro e manganês; fornece cálcio e magnésio; eleva o pH; diminui a adsorção de fósforo, aumentando sua disponibilidade; diminui a lixiviação de potássio; aumenta a disponibilidade de molibdênio no solo (MUNSON, 1982); aumenta a CTC efetiva; favorece a mineralização da matéria orgânica; tem efeito positivo na fixação simbiótica do nitrogênio; e estimula sistemas radiculares mais extensos, favorecendo o aproveitamento de água e nutrientes existentes no solo (RAIJ, 1991).

A importância da acidez do solo e da calagem para sua correção foi verificada por MALAVOLTA et al. (1989), segundo os quais o pH talvez seja o fator isolado que mais influencia a disponibilidade de nutrientes. Na faixa de pH que vai de 6,0 a 6,5, o elemento apresenta-se com disponibilidade máxima (caso dos macronutrientes) ou afastada do mínimo (micronutrientes). Conseqüentemente, a calagem afeta a disponibilidade da maioria dos nutrientes, devido ao seu efeito sobre o pH (CANTARELLA, 1993), além de fornecer cálcio e magnésio, essenciais ao desenvolvimento das plantas (PAVAN, 1985).

Com relação ao efeito sobre o desenvolvimento do sistema radicular das plantas, sabe-se que o cálcio tem que estar presente no ambiente de crescimento da extremidade da raiz, já que as plantas não são capazes de translocar, satisfatoriamente, esse nutriente, absorvido da camada superficial do solo e corrigido via calagem, para os pontos radiculares de crescimento (HOWARD e ADAMS, 1965), ou seja, o teor de cálcio no solo tem efeito direto sobre o crescimento da raiz e deve estar próximo a ela.

Além do efeito no crescimento, o cálcio é importante na proteção das raízes contra o efeito prejudicial do alumínio. Essa proteção pode-se dar, de acordo com FAWZY et al. (1954) e JACOBSON et al. (1960), pelo aumento do teor de cálcio na solução do solo, devido ao fato de altos teores de cálcio evitarem a entrada do alumínio na constituição do plasmalema das células das raízes, mantendo, assim, sua permeabilidade.

### **2.2.1. Profundidade de aplicação de corretivos, calagem segmentada e movimentação do calcário no solo**

Segundo CANTARELLA (1993), a incorporação de calcário ao solo deve ser feita na maior profundidade possível, a fim de neutralizar a acidez de maior volume de solo. Os benefícios de maior profundidade de incorporação de calcário estão associados a uma melhor distribuição de cálcio + magnésio no perfil, diminuição da saturação de alumínio em profundidades maiores e maior desenvolvimento do sistema radicular em profundidade. Sistema radicular mais profundo implica aumento da possibilidade das plantas em explorar a umidade das camadas subsuperficiais, resultando em maior resistência aos veranicos, que ocorrem durante o período das chuvas (CORRÊA, 1992). De acordo com SILVA (1986), sistemas de cultivo que colocam as camadas mais ricas em nutrientes e matéria orgânica em profundidades maiores tendem a facilitar a absorção de nutrientes e, conseqüentemente, a produzir mais.

SCOTT et al. (1997), testando a incorporação de calcário até diferentes profundidades, constataram que a incorporação feita até 20 cm aumentou o rendimento de soja e trigo, em comparação com a incorporação feita até 10 cm de profundidade. Esse aumento foi notadamente maior quando as culturas foram cultivadas em época de baixa precipitação pluviométrica. No entanto, a incorporação de corretivo é necessária em razão da pequena movimentação do calcário aplicado superficialmente; esse fato ocorre em razão do tipo de reação proporcionada e da baixa taxa de dissolução, principalmente das partículas maiores dos carbonatos de cálcio e magnésio (RITCHEY et al., 1982). A solubilidade do  $\text{CaCO}_3$  é baixa e, dessa forma, a granulometria do calcário torna-se importante não só por interferir na velocidade de dissolução, como também por possibilitar a movimentação puramente física das partículas através dos poros ou canais do solo (CORRÊA, 1992). Além disso, a não-incorporação do calcário ao solo restringe a superfície de contato entre o corretivo e o solo, reduzindo o volume de solo corrigido.

O  $\text{CaCO}_3$ , ao dissolver, libera componentes básicos,  $\text{OH}^-$  e  $\text{HCO}_3^-$ , que rapidamente reagem com o  $\text{H}^+$  da solução do solo. Assim, seu deslocamento no perfil será lento e sua atuação, mais pronunciada na superfície,

proporcionando pequena movimentação de cátions ao longo do perfil (GIONGO et al., 1997).

Prova da baixa mobilidade do calcário no solo foi constatada por DIAS et al. (1984), em experimento conduzido em anéis de PVC montados em colunas de 30 cm de altura. Observaram que o carbonato aplicado às colunas, submetidas à lixiviação com água equivalente a 300, 600 e 900 mm de chuva, neutralizou o Al trocável apenas na camada superficial da coluna.

Em outro experimento conduzido para avaliar a movimentação de cálcio, magnésio e alumínio em colunas de latossolo após a mistura de calcário ou gesso aos 2 cm superficiais do solo, PAVAN et al. (1984) observaram aumento de cálcio trocável do solo apenas na camada de 0 a 10 cm. Os pesquisadores atribuíram essa baixa movimentação de cálcio à baixa solubilidade do calcário e à falta de um ânion solúvel estável que facilitasse a movimentação dos cátions trocáveis.

ANDERSON e HENDRICK (1983) desenvolveram um protótipo para injeção de calcário, por via aquosa, na camada de 18-36 cm no perfil, visando corrigir o solo na maior profundidade e com menor revolvimento. Foi observado boa uniformidade de distribuição na camada aplicada, bem como resposta positiva em relação ao desenvolvimento radicular dos cereais testados, que se desenvolveram no sulco que recebeu calcário até 36 cm de profundidade. Além disso, devido à profundidade de trabalho, foi possível o rompimento da camada compactada.

A calagem segmentada, onde o calcário é aplicado em porções limitadas de solo e não em seu volume total, apresenta, por sua vez, resultados benéficos em algumas situações. KAUFFMAN e GARDNER (1978), ao realizarem um experimento com acondicionamento do solo em caixas, observaram que a dose de 2,24 t ha<sup>-1</sup> de calcário foi adequada para reduzir sintomas de toxicidade de alumínio em raízes de trigo crescendo em limitadas porções de solo quando o calcário foi misturado com 10 e 30% do volume total de solo. De um pH inicial de 3,6, conseguiu-se sua elevação a valores de 6,3 e 5,2 com a correção de 10 e 30% do volume de solo, respectivamente, utilizando a mesma quantidade de calcário. Segundo esses autores, as plantas podem crescer em condições de solo muito heterogêneas e que, para

crescimento satisfatório, não é necessário misturar calcário ao volume total do solo.

Alguns pesquisadores têm considerado que, em plantio direto, o solo apresenta características distintas com relação ao plantio convencional, as quais facilitariam a penetração do calcário no perfil do solo, o que poderia justificar sua aplicação superficialmente, sem incorporação. Assim, no plantio direto, a movimentação de cálcio pode ser favorecida pelos canais contínuos, formados por raízes mortas e insetos e pela grande quantidade de ácidos orgânicos simples e ácidos fúlvicos (PAVAN, 1994; GIONGO et al., 1997); pela mineralização dos resíduos culturais depositados na superfície, que, liberando  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{SO}_4^{2-}$ , resultaria na formação de par iônico com cálcio, deslocando-o em profundidade (SÁ, 1995b). VALLEJOS MERNES (1998) verificou maior interligação entre os poros do solo em plantio direto, resultado de sua menor mobilização, que ocasiona uma rede de macroporos mais bem distribuída e resulta em melhor dinâmica de água até 15 cm de profundidade. Essa condição de porosidade e dinâmica da água favorece a movimentação de calcário ao longo do perfil.

A importância da movimentação de cátions até camadas mais profundas reside no fato de que os cátions, principalmente  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ , irão competir pelos sítios de troca com o  $\text{Al}^{3+}$ , além do que poderão deslocá-lo, por ação de massas, para a solução. Estando o  $\text{Al}^{3+}$  na solução, este poderá ser complexado por ácidos orgânicos. Nesse caso, o  $\text{Al}^{3+}$  pode ficar na solução em uma forma química não-tóxica ou ser lixiviado (GIONGO et al., 1997). Essa hipótese foi confirmada por CASSIOLATO et al. (1998), que observaram que o calcário aplicado à superfície, combinado com a aplicação de resíduos vegetais, resultou na movimentação do cálcio no solo e em maior rendimento radicular do trigo, em colunas de solo. Porém, a aplicação isolada do calcário sem a presença de resíduos orgânicos, apesar de ter exercido efeito positivo sobre o pH e cálcio trocável, diminuindo o alumínio trocável até 10 cm de profundidade, não favoreceu o crescimento radicular do trigo. Concluíram que a formação de complexos organometálicos pode ter sido o mecanismo responsável pelos resultados obtidos quando foram aplicados resíduos orgânicos.

OLIVEIRA e PAVAN (1994) também observaram redução da acidez e do alumínio trocável até 40 cm de profundidade, após 32 meses da aplicação do corretivo na superfície, em plantio direto. Atribuíram tal comportamento à movimentação física do calcário propiciada, provavelmente, pelos canais formados por raízes mortas mantidos intactos, o que se relaciona também com a continuidade dos poros observada em plantio direto (VALLEJOS MERNES, 1998).

Outra possível explicação para a movimentação do cálcio em plantio direto está relacionada, segundo Miyazawa et al., 1996, citados por CAIRES et al. (1998), à formação de complexos hidrossolúveis presentes nos restos de plantas na superfície. O  $\text{Ca}^{2+}$  associado a esses compostos tem sua mobilidade facilitada e lixívia; porém, é pouco estável e, em subsuperfície, é trocado pelo  $\text{Al}^{3+}$ , que forma complexos mais estáveis, o que diminui a acidez e aumenta o cálcio trocável em subsuperfície. Reações semelhantes também ocorrem com o magnésio. Segundo CAIRES et al. (1998), a aplicação de calcário superficialmente em área com cultivos já estabelecidos, não preparados convencionalmente, pode atingir camadas mais profundas. Tal situação foi observada através da correção da acidez comprovada pela elevação do pH e pela redução do alumínio trocável até 10 cm de profundidade e em camadas subsuperficiais, proporcionada pela calagem em superfície.

Dos autores consultados, pode-se concluir que os resultados obtidos com relação à movimentação do calcário no solo, e em particular no sistema de plantio direto, são conflitantes e pouco conclusivos.

### **2.2.2. Calagem em plantio direto**

A calagem em solos com plantio direto é um assunto polêmico com relação ao manejo de solos nesse sistema. Os resultados obtidos não são conclusivos, e há divergência de resultados e opiniões entre autores. A questão principal a ser esclarecida é se o calcário deve ser aplicado na superfície do solo ou ser incorporado em áreas que apresentam necessidade de reaplicação do calcário após a implantação do sistema.

Segundo CASSOL et al. (1995), um dos mais sérios problemas dos solos cultivados em plantio direto diz respeito à formação de frente de

acidificação, que ocorre em gradiente no perfil do solo, ocasionada pela nitrificação do amônio originado dos fertilizantes nitrogenados aplicados superficialmente e da decomposição de resíduos vegetais na superfície do solo. Outro problema é a pouca eficiência do calcário aplicado superficialmente nesse sistema, em razão de sua baixa mobilidade no perfil em corrigir o pH e o alumínio em profundidade.

A maioria dos resultados indica efeito da calagem superficial restrita a 2,5; 5; ou 10 cm de profundidade.

FLORES et al. (1998) observaram, após três anos da aplicação do calcário na superfície, a movimentação de cálcio até a profundidade de 10-15 cm, porém apenas na dosagem mais elevada ( $17 \text{ t ha}^{-1}$ ), sendo mais pronunciado seu efeito sobre as propriedades químicas do solo na profundidade de 5-10 cm.

Após 40 meses da aplicação superficial de calcário, CAIRES et al. (1997a) verificaram que a calagem elevou o pH até a camada de 20 cm, ressaltando-se que, na camada de 10-20 cm, a elevação de pH se deu apenas com a maior dose utilizada ( $6 \text{ t ha}^{-1}$ ).

Outros autores têm constatado o limitado efeito da aplicação de calcário na superfície do solo em plantio direto. BEN et al. (1997), avaliando a aplicação de calcário na superfície do solo sobre a acidez em campo natural, observaram que essa modalidade de aplicação teve seu efeito limitado aos primeiros centímetros, com a presença de alumínio em valores acima de  $1,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  na camada de 4-6 cm, mesmo nas doses mais altas de calcário utilizadas. No entanto, a incorporação de calcário para elevar o pH do solo a 6,0-20 cm de profundidade corrigiu a acidez em todas as camadas estudadas.

Em outro estudo, VOSS et al. (1998) verificaram que a aplicação superficial não foi eficiente na disponibilização de molibdênio para a soja, exercendo efeito positivo sobre pH, cálcio e magnésio e na redução do alumínio apenas até a profundidade de 2,5 cm. Esse comportamento ocorreu, provavelmente, devido à lenta ou quase nula mobilidade do calcário, que, segundo AMARAL e ANGHINONI (1997), depois de aplicado na superfície do solo, atingiu 3 cm de profundidade após 90 dias.

De forma semelhante, CASSOL et al. (1995) desenvolveram um experimento com reaplicação de calcário após quatro anos, em diferentes

sistemas de plantio, no qual observaram que, quando o calcário foi aplicado superficialmente, maiores valores de pH, CTC efetiva e cálcio trocável e menores valores de Al trocável foram detectados somente na camada de 0-2,5 cm. O solo sob plantio direto apresentou maior tamponamento, provavelmente em razão da maior quantidade de matéria orgânica. Segundo esses autores, tais dados confirmaram que a acidificação, além de ter sido mais intensa, apresentou características diferenciadas no plantio direto, comparativamente ao convencional.

Outra alternativa encontrada para contornar o problema seria a incorporação do calcário no plantio direto quando se fizesse necessário. Objetivando estudar essa alternativa, AMARAL e ANGHINONI (1998) promoveram a reaplicação de calcário, quatro a oito anos após a implantação do experimento. Compararam o plantio direto e o plantio convencional, e cada sistema foi subdividido em calagem superficial e com incorporação. Os efeitos da última aplicação de calcário, sem incorporação ao solo, no sistema de plantio direto sobre pH, necessidade de calagem, alumínio, cálcio e magnésio trocáveis manifestaram-se predominantemente na camada de 0-5 cm. Já a mobilização do solo para incorporação do calcário no sistema de plantio direto resultou em maior uniformidade no perfil do solo, deixando-o com características semelhantes às do sistema convencional. Porém, o rendimento de grãos de milho não foi afetado pelos métodos de preparo do solo ou de incorporação de calcário. Resultados semelhantes foram obtidos por CASSOL et al. (1995), que concluíram que uma prática de mobilização é suficiente para eliminar possíveis diferenças observadas ao longo de quatro anos de cultivo em plantio direto, promovendo-se, dessa forma, uma calagem de manutenção no lugar de uma calagem corretiva. Entretanto, a mobilização do solo para incorporação de corretivos não seria desejável no plantio direto, segundo AMARAL e ANGHINONI (1997), pois pode ser responsável pela destruição das características físicas favoráveis do ponto de vista da conservação, obtidas ao longo do tempo de adoção do sistema, principalmente a continuidade de poros, como demonstrou VALLEJOS MERNES (1998).

MIELNICZUK et al. (1995), avaliando a eficiência da reaplicação de calcário incorporado no sistema convencional e em superfície no plantio direto, realizada cinco a oito anos após a instalação do experimento, observaram que,

no tratamento com revolvimento do solo, o pH foi uniforme até a profundidade de 17,5 cm e neutralizou o Al trocável até essa camada; no sistema sem preparo, o pH foi mais alto nas camadas superficiais e manteve baixos teores de Al trocável até 12,5 cm de profundidade. Embora menos eficiente que a incorporação, a aplicação superficial de calcário manteve o pH e os teores de  $Al^{3+}$  em níveis não-limitantes ao desenvolvimento das plantas.

Essa situação tem sido observada em grande parte dos trabalhos realizados, nos quais, apesar de o efeito da calagem ficar restrito às camadas superficiais, a produção das diversas culturas não tem sido afetada. Isso leva a crer que, mesmo com uma pequena faixa corrigida do perfil, as plantas consigam se desenvolver e produzir normalmente. O sistema radicular parece restringir-se à camada corrigida, e esta se mostra suficiente para a manutenção das plantas. Entretanto, tal restrição ao aprofundamento do sistema radicular pode ser relevante, em condições de déficits hídricos, nas quais as plantas são prejudicadas em razão da dificuldade de explorar o perfil, já que a superfície rapidamente perde água. Segundo WOLF (1975), períodos de 8 a 10 dias sem chuva na estação das águas são suficientes para secar o solo até 40 a 60 cm de profundidade, não permitindo absorção normal de água pelas culturas.

Segundo SANTOS et al. (1995), a aplicação de calcário na superfície, em PD, foi eficiente para a manutenção do pH, evitando a reacidificação superficial do solo, e não afetou o rendimento de grãos de soja, determinando, ainda, aumento do rendimento de aveia-branca. Resultados semelhantes foram obtidos por VERNETTI JÚNIOR et al. (1998) para produção de grãos de soja, com a ressalva de que, para a aveia-preta, o melhor tratamento foi a incorporação do calcário.

Testando o efeito de métodos de calagem (incorporação e superficial) em solo cultivado em plantio direto por longo período e com elevada acidez, SÁ (1995b) observou elevação dos teores de  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  até a profundidade de 5 cm no tratamento em superfície, com diferenças significativas em relação à testemunha. Todavia, os resultados foram semelhantes aos do tratamento com incorporação, porém neste a distribuição de bases no perfil amostrado foi mais uniforme; observou também que as produções de soja, trigo e milho não diferiram significativamente em resposta aos métodos de calagem

PÖTTKER et al. (1995) verificaram que a aplicação de calcário em superfície nas quantidades 1 a ¼ da necessidade de calagem, determinada pelo método SMP, mostrou-se viável para a produção de grãos de soja, não diferindo do calcário incorporado e nem da aplicação de calcário finamente moído (*Filler*) nas linhas de plantio. A cultura do trigo, no entanto, respondeu melhor ao calcário incorporado ao solo. No entanto, as quantidades de calcário *Filler* aplicadas foram muito menores que a indicada pela necessidade de calagem (8 t ha<sup>-1</sup>) e pelos resultados obtidos para soja; essa modalidade pode constituir-se em uma alternativa para a calagem em plantio direto.

Ainda com relação à calagem na linha de plantio, CARVALHO e MEUMER (1980) aplicaram calcário na linha de semeadura da soja, junto com o adubo, e no dia do plantio, 5 cm abaixo e ao lado da semente. Observaram maior rendimento de grãos em relação ao da testemunha sem calcário, sendo, no entanto, inferior à calagem efetuada por meio de incorporação em toda a área e não teve efeito sobre o pH do solo.

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1. Descrição da área**

O experimento foi conduzido de outubro de 1998 a maio de 1999, na Estação Experimental do município de Coimbra, pertencente à Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa, Minas Gerais.

Situada a 20° 45' de latitude sul e a 42° 51' de longitude oeste, com uma altitude média de 600 a 700 m, a região do planalto de Viçosa, onde está localizada a Estação Experimental, caracteriza-se, climaticamente, por uma temperatura média anual de 19°C e precipitação média anual de 1.300 a 1.400 mm, concentrada, principalmente, no período de outubro a março, com média anual de umidade relativa do ar de 80 a 85%.

O solo utilizado foi o Podzólico Vermelho-Amarelo Câmbico, de textura argilosa e topografia plana. Anteriormente à instalação do experimento, foram coletadas amostras de solo à profundidade de 0-20 cm, para caracterização química (Quadro 1).

#### **3.2. Material, procedimento experimental e tratamentos**

Foi usado o delineamento experimental de blocos ao acaso, em parcelas subdivididas, composto, nas parcelas, de três cultivares de milho (*Zea mays* L.) e, nas subparcelas, de três modalidades de aplicação de calcário mais a

Quadro 1 – Características químicas da camada arável (0-20 cm) do solo da área experimental

Características	Valores		
	Blocos		
	I	II	III
pH em água (1:2,5)	5,1	4,7	4,7
P (mg dm <sup>-3</sup> )	16	27	11
K (mg dm <sup>-3</sup> )	86	88	86
Al <sup>3+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,2	0,5	0,7
Ca <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	1,9	2,0	1,2
Mg <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,6	0,5	0,4
H + Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	5,93	6,86	6,86
CTC total (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	8,66	9,53	8,74
Sat. bases – V (%)	31	28	21
Sat. alumínio - m (%)	7	16	27
Classificação textural	argiloso		

testemunha (sem aplicação de calcário), com três repetições, perfazendo um total de 36 unidades experimentais.

A área experimental foi de 9.595 m<sup>2</sup>. Cada parcela teve área total de 100 m<sup>2</sup> (20 x 5 m) e área útil de 30 m<sup>2</sup> (10 x 3 m). As parcelas, dentro do bloco, foram separadas entre si, por ruas de 4 m no sentido da largura e por 5 m no sentido do comprimento. Um bloco foi separado do outro por ruas de 5 m.

Os tratamentos utilizados foram os seguintes:

#### **Nas parcelas**

- a) Híbrido duplo Z 8447, tolerante ao alumínio.
- b) Variedade de milho AL 25, medianamente sensível ao alumínio.
- c) Híbrido duplo AG 122, muito sensível ao alumínio.

#### **Nas subparcelas**

- a) Testemunha, sem aplicação de calcário.

b) Calcário aplicado ao longo do perfil do solo no sulco de plantio, na dosagem total recomendada  $m^{-2}$ , com base no método de saturação por bases; utilizaram-se duas faixas de 10 cm de largura e 20 cm de profundidade, representando 20% do total recomendado para a área.

c) Calcário aplicado a lanço na superfície do solo, com 50% da dosagem total recomendada  $m^{-2}$ .

d) Calcário aplicado ao longo do perfil do solo no sulco de plantio, na dosagem total recomendada  $m^{-2}$ , com base no método de saturação por bases; utilizaram-se duas faixas de 10 cm de largura e 20 cm de profundidade – representando 20% do total recomendado para a área – mais calcário aplicado a lanço na superfície, mediante a aplicação de 50% da dosagem total recomendada  $m^{-2}$ .

No Quadro 2, mostram-se as características químicas do calcário utilizado.

Quadro 2 – Características químicas do calcário utilizado

CaO (%)	MgO (%)	PN	PRNT (%)	FAIXA	CLASSIFICAÇÃO
26	14	81,26	76,05	C	Dolomítico

### **3.3. Desenvolvimento do mecanismo para distribuição do calcário ao longo do perfil do solo no sulco de plantio e aplicação do calcário**

O mecanismo distribuidor de calcário ao longo do perfil do solo no sulco de plantio foi desenvolvido no Setor de Agronomia do Departamento de Fitotecnia da UFV. Utilizou-se como fonte de potência nos testes e na implantação do experimento um trator Massey Ferguson, modelo 275 4x4 TDA, com potência máxima de 71 kW no motor a 2.000 rpm.

O mecanismo foi desenvolvido para usar sistemas pneumáticos. Nesse trabalho, a semeadora-adubadora utilizada era da marca Turbo-Max, própria para PD (versão soja e milho), com três linhas para milho e cinco para soja e

feijão (Figura 1). Optou-se pela utilização dessa semeadora-adubadora, apesar de ser um modelo antigo, visando à utilização de seu sistema pneumático dosador de sementes.



Figura 1 – Semeadora-adubadora Turbo-Max, utilizada no desenvolvimento do mecanismo de distribuição de calcário.

Realizaram-se, no desenvolvimento do mecanismo, adaptações no conjunto rompedor e distribuidor de fertilizante. Manteve-se o disco de corte da palhada. O depósito para o calcário foi o mesmo usado para o adubo, assim como as mangueiras de descarga do fertilizante e a haste, responsáveis por sua condução até o solo.

O sistema pneumático de circulação de ar da semeadora-adubadora Turbo-Max foi utilizado para a condução do calcário até a sua distribuição no solo. Desviou-se o fluxo de ar que seria utilizado para a dosagem das sementes, direcionando-o para a mangueira e a haste de aplicação do adubo. Esse sistema foi considerado o mais viável para a condução do calcário, já que por gravidade, como opera a distribuição do adubo, seria difícil sua condução

pelas tubulações até sua distribuição no solo. Colocou-se uma junção de PVC de 50 mm, ligando o sistema de circulação de ar ao fluxo de calcário a ser distribuído. O calcário foi direcionado ao orifício de saída do depósito por um dosador tipo rotor dentado e desceu por gravidade até a junção de PVC, em que foi interceptado pelo fluxo de ar que o arrastou até o solo, distribuindo-o no perfil (Figura 2).

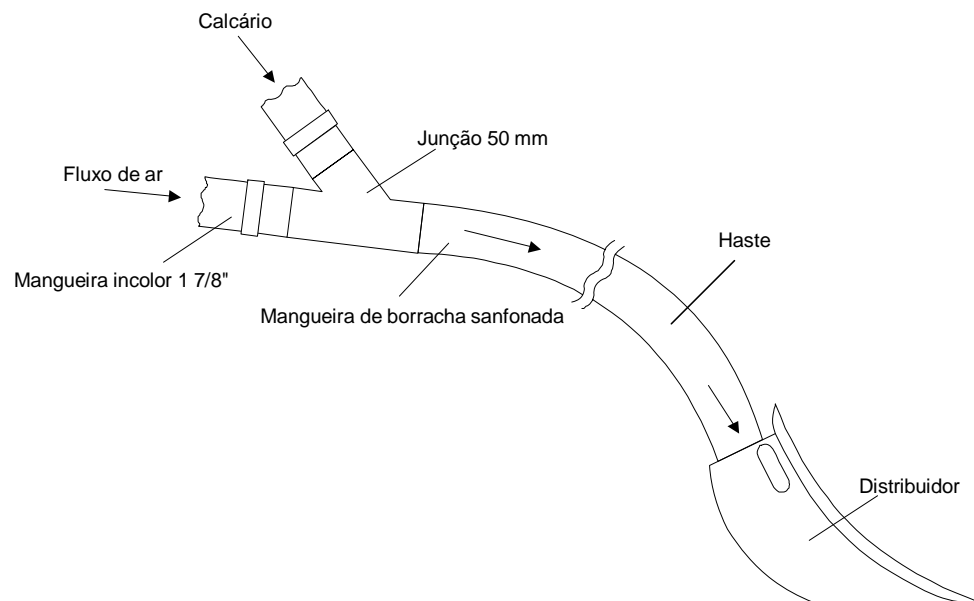


Figura 2 – Esquema do método de condução do calcário por meio do aproveitamento do fluxo de ar até sua distribuição no solo.

Em teste preliminar, determinou-se a vazão do ar ( $3,30 \text{ m}^3/\text{s}$ ) gerado pelo ventilador da semeadora-adubadora Turbo-Max e utilizado na distribuição do calcário pelo pneumático. Para o cálculo da vazão desse sistema, determinou-se a velocidade do ar por meio do velômetro ALNOR, série 6.000, nas cinco linhas de semeadura utilizadas para a aplicação do calcário.

Com relação ao distribuidor propriamente dito, substituiu-se o sulcador original da semeadora-adubadora, construindo-se um novo sulcador-distribuidor com o uso de chapas de aço carbono. A peça frontal, responsável pela penetração e pelo rompimento do solo, foi construída de ferro fundido. A união do distribuidor de calcário ao sulcador foi feita utilizando solda elétrica.

Foram testados orifícios de diferentes diâmetros e formas de disposição, na parte posterior do sulcador-distribuidor, observando-se a uniformidade de distribuição e sua vazão. Testaram-se orifícios com diâmetros menores na base, aumentando gradativamente até a extremidade superior da peça. Testou-se um diâmetro maior para todos os orifícios, de 13,4 mm. Testou-se também a substituição dos orifícios por uma fenda ocupando toda a parte posterior da peça.

O mecanismo desenvolvido trabalhou a uma velocidade de 5 km h<sup>-1</sup>, correspondendo, no trator, à 2<sup>a</sup> marcha reduzida a 1.700 rpm. A velocidade de deslocamento do trator foi obtida, determinando-se o tempo gasto pelo sistema trator/sulcador-distribuidor para percorrer uma distância de 20 m. Essa distância, dividida pelo tempo de percurso, resultou na velocidade de trabalho.

O mecanismo foi adaptado às cinco linhas da semeadora-adubadora. Utilizaram-se todas as linhas na operação de calagem, distanciadas 0,50 cm umas das outras.

Em teste preliminar, através de medições na superfície do solo e da abertura de trincheiras, observou-se a movimentação de 10 cm de largura e até 30 cm de profundidade de solo em cada linha onde o calcário foi aplicado pelo mecanismo desenvolvido. Com base nessa movimentação, calculou-se a quantidade de calcário para os tratamentos que envolviam calagem no sulco, supondo a correção de 20% da área total a ser utilizada, com os sulcadores espaçados 0,50 cm.

A necessidade de calcário requerida foi determinada pelo método da saturação por bases, utilizado para se aplicarem quantidades diferenciadas em cada bloco, de forma a uniformizá-los.

Nos tratamentos em que o calcário foi aplicado ao longo do perfil do sulco, com o mecanismo desenvolvido, os sulcos de plantio coincidiram com os de aplicação do calcário, que estavam distanciados 1 m entre si, ficando um sulco de aplicação de calcário entre eles, já que a aplicação de calcário foi feita em sulcos distanciados 50 cm uns dos outros.

Em teste preliminar foram determinadas as quantidades mínimas e máximas aplicadas pelo mecanismo. Para cada dosagem, percorreu-se a distância de 20 m, realizando em cada uma, por três vezes, a coleta e a

pesagem do material. O resultado obtido foi utilizado para determinar a quantidade de calcário aplicada por hectare.

A eficiência do mecanismo desenvolvido foi avaliada mediante as análises de pH, cálcio, magnésio e alumínio.

### **3.4. Calagem, plantio, adubação e controle fitossanitário**

A aplicação de calcário ocorreu no dia 17.11.1998, sendo o plantio realizado com semeadora-adubadora tipo Turbo-Max, em 19.11.1998, dois dias após a realização da calagem.

O espaçamento utilizado foi de 1 m entre sulcos e 0,20 m entre plantas, utilizando-se uma população de 60.000 plantas ha<sup>-1</sup>.

A adubação no plantio foi feita com 250 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 4-14-8. Efetuou-se a adubação nitrogenada em cobertura quando o milho apresentava quatro folhas, com a aplicação de 30 kg ha<sup>-1</sup> de N, na forma de sulfato de amônio (COMISSÃO..., 1989).

O controle de plantas daninhas foi feito antes do plantio, promovendo-se a dessecação das plantas daninhas encontradas com o herbicida glyphosate, na dose de 5 L ha<sup>-1</sup>. Vinte dias após o plantio, fez-se o controle das plantas daninhas emergidas ou remanescentes com a mistura de herbicidas Gesaprin (atrazine) + Sanson (nicossulfuron), na dosagem de 2,5 L ha<sup>-1</sup> + 1,0 L ha<sup>-1</sup>.

O controle fitossanitário (controle de pragas) foi realizado quando se fez necessário, de acordo com os procedimentos técnicos indicados para a cultura do milho na região de Viçosa.

### **3.5. Análises químicas do solo**

O material para as análises químicas do solo foi coletado aos 30 e 150 dias após a calagem. As amostras de solo foram coletadas com o auxílio de um trado de 4 cm de diâmetro, a partir do centro da linha e perpendicularmente a esta, nas distâncias de 5, 10, 15 e 25 cm de um dos lados da linha de plantio, retiradas na área útil de cada parcela. Para cada distância foram coletadas amostras em cinco profundidades: 0-2,5; 2,5-5; 5-10; 10-15; e 15-20 cm.

Na amostragem realizada aos 150 dias após a calagem foram incluídas também amostras retiradas no sulco de calagem, que coincidiu com o sulco de plantio, identificada como distância 0 (zero).

As análises foram realizadas no Laboratório de Fertilidade do Solo do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa, utilizando-se a metodologia descrita por DEFELIPO e RIBEIRO (1981). Foram determinados: pH em água, alumínio, cálcio e magnésio trocáveis.

Utilizaram-se o programa computacional SURFER 32, versão 6.04, e o método Kriging de interpolação, para geração de curvas de contorno indicando a distribuição de pH em água, alumínio, cálcio e magnésio trocáveis ao longo do perfil analisado.

### **3.6. Análise foliar**

A coleta de folhas para análise foi feita na época do florescimento da cultura, conforme recomendação de MALAVOLTA et al. (1989). De cada parcela foram retiradas 20 folhas em plantas da área útil. Realizou-se a amostragem aos 67 dias após a emergência das plantas, em folhas completamente desenvolvidas, situadas imediatamente abaixo e opostas à primeira espiga (MALAVOLTA et al., 1989).

As amostras foram acondicionadas em sacos de papel e levadas ao laboratório, sendo colocadas, posteriormente, em estufa de circulação forçada de ar, a aproximadamente 70°C, até a obtenção de peso constante do material. Em seguida, foram trituradas e acondicionadas em recipientes de vidro até a realização das análises.

O método de determinação utilizado foi por via úmida, fazendo-se digestão nitroperclórica para fósforo, potássio, cálcio, magnésio, cobre, ferro, manganês e zinco em 0,5 g de tecido vegetal. A quantificação dos nutrientes das amostras do extrato foi feita de acordo com as seguintes metodologias: fósforo - método colorimétrico da vitamina C, de acordo com BRAGA e DEFELIPO (1974); potássio - método da fotometria de chama; e cálcio, magnésio, cobre, ferro, manganês e zinco - método da espectrofotometria de absorção atômica.

### 3.7. Avaliação de algumas características agronômicas do milho

Foram avaliadas as seguintes características: estande final, n<sup>o</sup> de espigas ha<sup>-1</sup>, altura de plantas, altura da espiga superior, peso de espigas e produção de grãos (kg ha<sup>-1</sup>).

Os valores médios de altura de plantas e de inserção da primeira espiga foram obtidos por meio da amostragem de quatro plantas competitivas ao acaso, feita na área útil de cada parcela.

O número de espigas por hectare, estande final, peso de espigas e produção de grãos foram obtidos logo após a colheita, quando foi feita a contagem na área útil em cada parcela. Os valores encontrados foram transformados para um hectare.

Nas características peso de grãos e peso de espigas, corrigiu-se a umidade para 13%, pela fórmula

$$P_{\text{cor}}(13\%) = P_{\text{med}}(100-U)/87$$

$P_{\text{cor}}$  = produtividade corrigida, kg ha<sup>-1</sup>;

$P_{\text{med}}$  = produtividade determinada experimentalmente com o produto apresentando teor de umidade; e

U = teor de umidade do produto, % de base úmida.

### 3.8. Análise estatística

A análise estatística do experimento foi realizada com o apoio do programa de análises estatísticas (SAEG).

Os dados foram submetidos a uma análise de variância em cada combinação de distância e profundidade, seguindo-se o modelo para parcelas subdivididas. Aplicou-se o teste F aos cultivares, alocados nas parcelas; e às modalidades de aplicação de calcário, alocadas nas subparcelas. As médias dos tratamentos, quando pertinentes, foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Distribuidor de calcário

Na Figura 3 é apresentado o sulcador-distribuidor desenvolvido e utilizado no experimento para aplicação do calcário ao longo do perfil do solo e no sulco de plantio. O distribuidor foi construído, colocando-se chapas de aço carbono unidas por solda elétrica ao sulcador, Figura 3 (A). As chapas direcionavam a saída do calcário pelos orifícios dispostos na parte posterior da peça, Figura 3 (A e B). Tais chapas fortalecia a estrutura do sulcador e impedia o entupimento da haste.

O mecanismo desenvolvido permitiu distribuir o calcário de maneira uniforme no perfil até a profundidade de 20 cm, o que foi possível em razão da utilização do fluxo de ar contínuo da semeadora-adubadora e dos orifícios distribuídos na parte posterior do sulcador-distribuidor. Os orifícios, de diâmetro de 12 mm, espaçados 8 mm entre si, apresentaram melhor distribuição, sem entupimentos, em relação aos orifícios maiores testados (13,4 mm), aos diâmetros diferenciados para os orifícios e à abertura de uma fenda em substituição aos orifícios.

A fixação do sulcador à haste foi feita através de um parafuso na parte superior frontal da peça, Figura 3 (C). Essa forma de fixação permitiu fácil e rápida substituição do sulcador original para realização da operação de calagem. Além do sulcador, todas as demais alterações no mecanismo, visando adaptá-lo à aplicação de calcário, não são fixas.

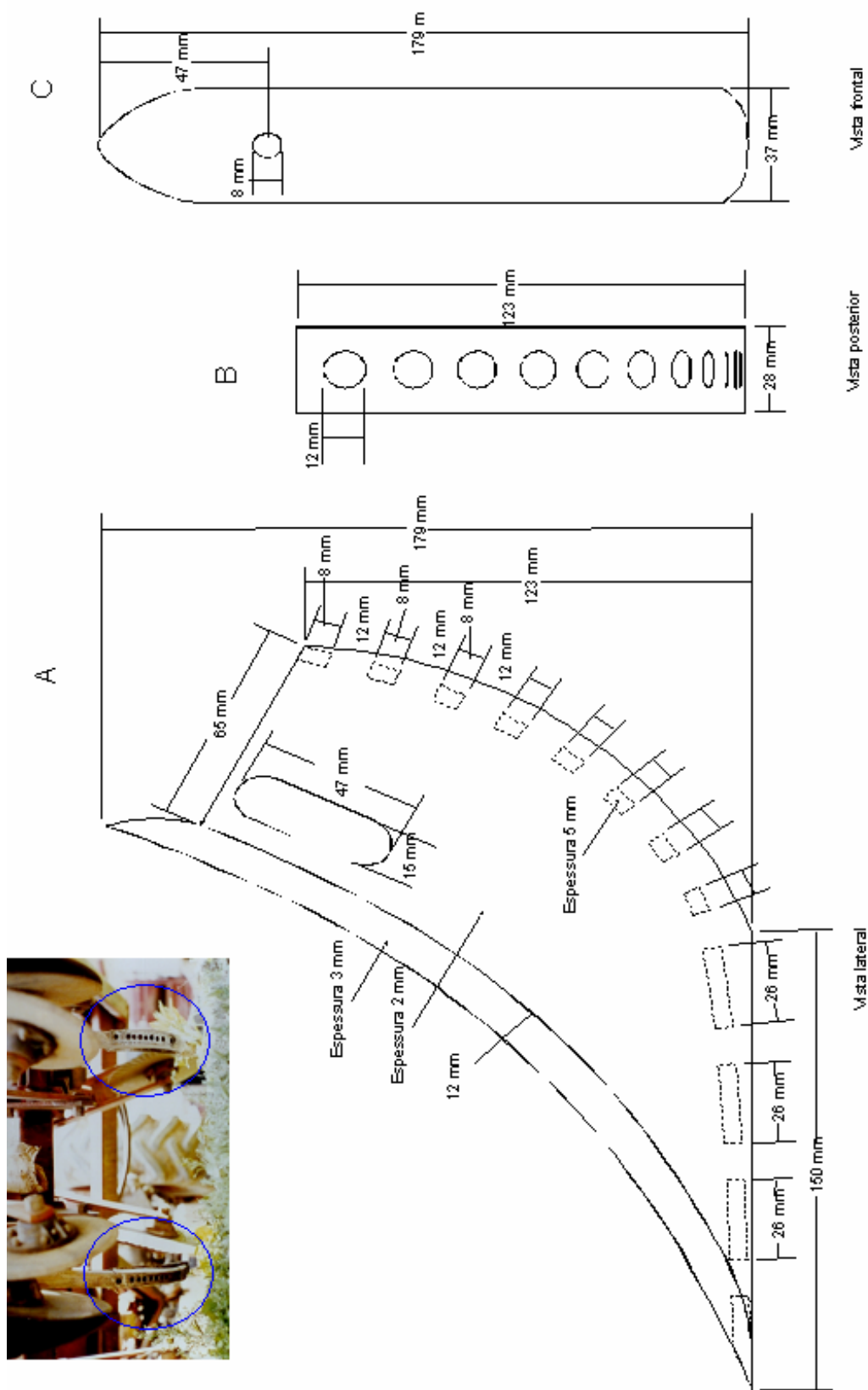


Figura 3 – Vistas lateral, posterior e frontal do sulcador-distribuidor protótipo, desenvolvido para aplicação de calcário ao longo do perfil do solo, no sulco de plantio.

O peso do sulcador construído (0,962 kg) é irrelevante quando comparado com o da semeadora-adubadora (1.700 kg), contribuindo, de forma desprezível, para o aumento da força de tração, no que se refere ao aumento de peso.

A regulagem da profundidade de operação do distribuidor (sulcador) foi obtida, variando-se o ponto de engate da haste que liga o chassi da semeadora-adubadora ao distribuidor, como é feita no sulcador original e também pela regulagem da roda compactadora. Essa regulagem permitiu que o sulcador desenvolvido operasse até a profundidade de 30 cm no perfil, aumentando, dessa forma, quando necessário, a profundidade do solo corrigido e mesmo o comprimento de camadas compactadas. Utilizou-se, no entanto, neste trabalho, a aplicação do calcário até 20 cm.

Devido ao dosador original, localizado na parte inferior do depósito de adubo, que foi utilizado para depósito de calcário, apresentar a possibilidade de distribuir, no máximo, 14 g por metro linear, correspondendo a  $1.400 \text{ kg ha}^{-1}$ , foi desenvolvido um novo dosador, que seguiu o modelo original, tipo rotor dentado, aumentando-se, porém, o tamanho dos “dentes” e a distância entre eles (Figura 4). Reduziu-se o número de dentes para 8, que no rotor original era de 14. O material utilizado para sua construção foi chapa de aço, de espessura de 12,5 mm, laminado para 11 mm. Seu funcionamento foi semelhante ao do original, acionado e controlado por meio de engrenagens ligadas à roda de sustentação da semeadora-adubadora. Com o dosador construído, realizaram-se testes de distribuição para determinar as quantidades mínimas e máximas aplicadas pelo mecanismo, as quais foram de 10 a 40 g por metro linear, correspondendo a  $1.000$  e  $4.000 \text{ kg ha}^{-1}$ , no espaçamento entre sulcos de 0,50 m.

Comparando, de forma teórica, a aplicação do calcário no sulco de plantio aqui proposto com o método de injeção de calcário por via úmida, desenvolvido por ANDERSON e HENDRICK (1983), verificou-se que este necessitava tracionar um tanque com um mecanismo de agitação constante da suspensão água/calcário, além do uso de dispersantes para calda. Apresentou também problemas de obstrução dos orifícios de saída do calcário. A aplicação de calcário realizada pelo mecanismo desenvolvido implica distribuição do corretivo ao longo do perfil do solo no sulco de plantio e não na área total, o

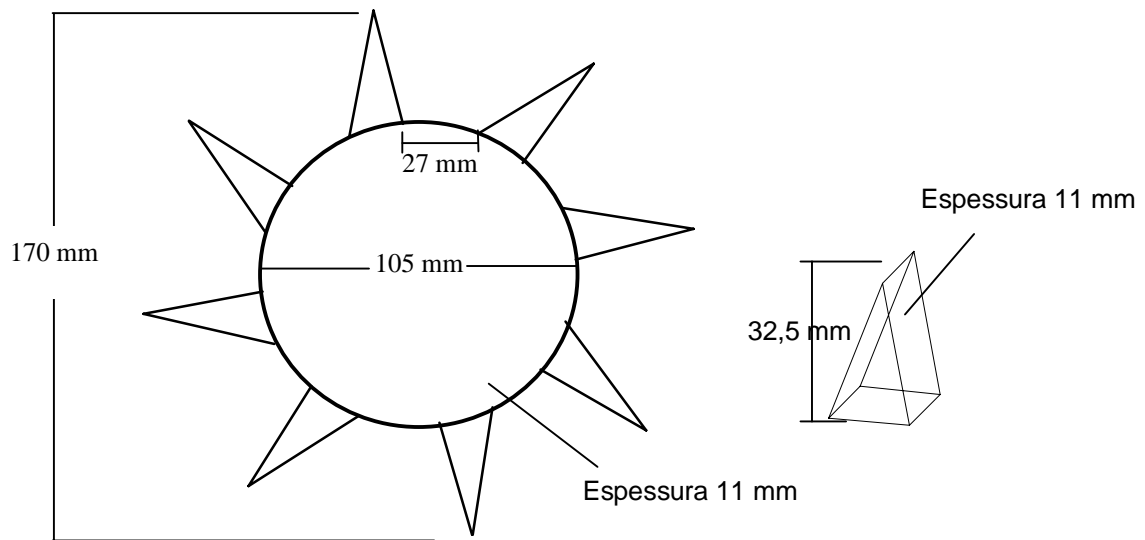


Figura 4 – Distribuidor de calcário aperfeiçoado, tipo rotor dentado. À direita, detalhe do “dente”.

que, segundo KAUFFMAN e GARDNER (1978), é suficiente para o fornecimento de cálcio e magnésio e elevação do pH, com reflexos positivos no desenvolvimento radicular e na produção de grãos e não teve os inconvenientes apresentados pelo mecanismo desenvolvido por ANDERSON e HENDRICK (1983), visto utilizar o mesmo depósito do adubo e calcário em pó, não obstruindo os orifícios de saída do calcário.

A correção promovida em faixas estreitas pelo mecanismo desenvolvido, ao distribuir o corretivo de forma uniforme ao longo do perfil do solo no sulco de plantio, promoverá condições adequadas ao enraizamento e, conseqüentemente, possibilitará a absorção de nutrientes em maior volume de solo, desde a superfície até a profundidade corrigida, resultando-se em menor risco e maior produtividade da cultura.

#### 4.1.2. Aplicação do calcário

A calagem promovida pelo mecanismo desenvolvido resultou na distribuição de calcário ao longo do perfil do sulco e possibilitou a correção de 20% da área total, como mostrado na Figura 5, na qual se observa uma faixa de solo de 100 cm de largura e 20 cm de profundidade. Essa correção foi

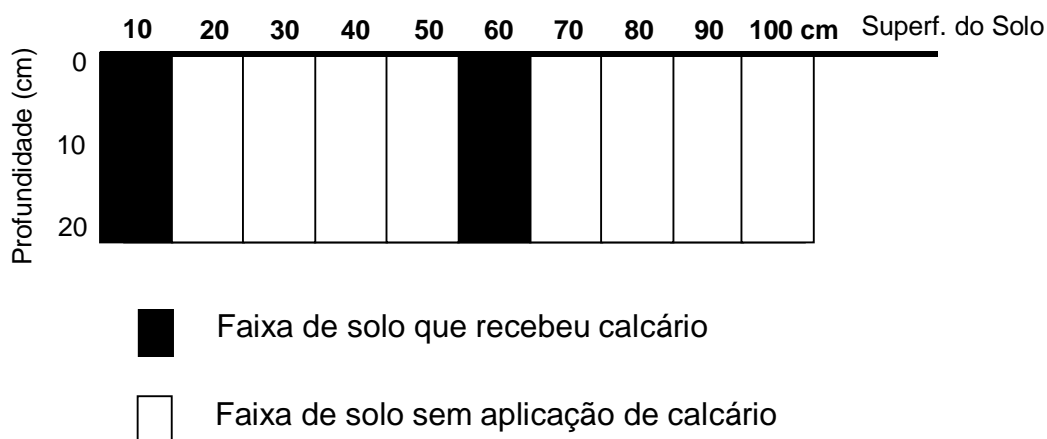


Figura 5 – Esquema da aplicação do calcário ao longo do perfil do solo, no sulco de plantio, realizada no experimento.

possível, distanciando-se os sulcadores/distribuidores em 50 cm uns dos outros e corrigindo uma faixa de 10 cm em cada sulco, que recebeu calcário até a profundidade de 20 cm. A correção segmentada, segundo KAUFFMAN e GARDNER (1978), é suficiente para se promover um crescimento adequado das plantas. Entretanto, com o mecanismo desenvolvido, pode-se corrigir todo o solo por etapas ao longo do tempo e sem que isso traga prejuízos à produtividade.

## 4.2. Propriedades químicas do solo

### 4.2.1. pH

O teste F para cultivares e para a interação cultivares x modalidades de aplicação de calcário foi não-significativo para pH do solo. Por essa razão, as modalidades foram discutidas separadamente.

No Quadro 3 são apresentados os valores médios de pH obtidos aos 30 e 150 dias após a calagem, e, na Figura 6, tem-se a variação das características analisadas no perfil do solo, lateralmente ao sulco onde foi aplicado e em profundidade.

Quadro 3 – Valores médios de pH em água (1:2,5) nos diferentes tratamentos amostrados aos 30 e 150 dias após a calagem, nas distâncias laterais de 0, 5, 10, 15 e 25 cm e nas profundidades de 0-2,5; 2,5-5; 5-10; 10-15; e 15-20 cm

PROF. (cm)	TRA.*	DISTÂNCIA LATERAL (cm)																											
		0					5					10					15					25							
		30	150	30	150	30	150	30	150	30	150	30	150	30	150	30	150	30	150	30	150	30							
0-2,5	1	-	4,77	B	5,16	B	5,09	B	5,08	AB	5,00	B	4,99	B	5,29	B	5,17	B	-	4,89	B	5,03	B	4,92	B	4,95	B	5,05	B
	2	-	4,87	B	4,89	B	5,45	B	6,29	A	5,88	A	5,91	A	5,84	A	5,94	A	-	5,95	A	5,93	A	5,84	A	5,88	A	5,94	A
	3	-	5,65	B	5,45	B	6,29	A	5,88	A	5,91	A	5,84	A	5,94	A	5,94	A	-	5,95	A	5,93	A	5,84	A	5,88	A	5,94	A
	4	-	6,06	A	6,19	A	5,93	A	5,93	A	5,84	A	5,84	A	5,94	A	5,94	A	-	5,95	A	5,93	A	5,84	A	5,88	A	5,94	A
2,5-5	1	-	4,70	B	4,71	B	4,74	B	4,79	B	4,80	A	4,47	B	4,84	A	4,95	A	-	4,75	B	4,82	A	4,78	B	4,79	A	4,97	A
	2	-	4,75	B	4,69	B	4,83	B	4,82	A	4,75	B	4,88	A	4,79	A	4,97	A	-	4,99	B	4,98	A	4,81	B	4,79	A	4,79	A
	3	-	4,99	B	4,57	B	5,11	AB	4,86	B	4,98	A	4,81	B	4,79	A	4,97	A	-	4,99	B	4,98	A	4,81	B	4,79	A	4,79	A
	4	-	5,92	A	5,61	A	5,49	A	5,58	A	5,28	A	5,72	A	5,31	A	5,55	A	-	5,92	A	5,61	A	5,49	A	5,58	A	5,31	A
5-10	1	-	4,60	AB	4,43	B	4,61	A	4,72	A	4,63	A	4,72	A	4,56	B	4,81	A	-	4,55	AB	4,77	A	4,72	A	4,79	A	4,76	A
	2	-	4,37	B	4,40	B	4,65	A	4,66	A	4,49	A	4,61	A	4,47	B	4,78	A	-	4,37	B	4,40	B	4,65	A	4,66	A	4,47	B
	3	-	4,37	B	4,40	B	4,65	A	4,66	A	4,49	A	4,61	A	4,47	B	4,78	A	-	4,37	B	4,40	B	4,65	A	4,66	A	4,47	B
	4	-	5,10	A	5,27	A	4,96	A	4,96	A	4,87	A	5,06	A	5,28	A	5,17	A	-	5,10	A	5,27	A	4,96	A	4,96	A	5,28	A
10-15	1	-	4,55	AB	4,57	A	4,56	A	4,73	A	4,59	A	4,28	A	4,52	A	4,76	A	-	4,55	AB	4,57	A	4,56	A	4,73	A	4,52	A
	2	-	4,76	AB	4,69	A	4,72	A	4,83	A	4,70	A	4,76	A	4,67	A	5,03	A	-	4,76	AB	4,69	A	4,72	A	4,83	A	4,67	A
	3	-	4,28	B	4,41	A	4,36	B	4,60	A	4,40	A	4,53	A	4,47	A	4,43	A	-	4,28	B	4,41	A	4,36	B	4,60	A	4,47	A
	4	-	5,06	A	4,98	A	4,79	A	5,00	A	4,72	A	5,05	A	5,03	A	5,11	A	-	5,06	A	4,98	A	4,79	A	5,00	A	5,03	A
15-20	1	-	4,67	A	4,59	AB	4,70	A	4,84	A	4,58	A	4,81	A	4,52	A	4,83	A	-	4,67	A	4,59	AB	4,70	A	4,84	A	4,52	A
	2	-	4,72	A	4,60	AB	4,61	A	4,95	A	4,68	A	4,77	A	4,57	A	4,79	A	-	4,72	A	4,60	AB	4,61	A	4,95	A	4,68	A
	3	-	4,33	A	4,39	B	4,46	A	4,63	A	4,51	A	4,62	A	4,51	A	4,81	A	-	4,33	A	4,39	B	4,46	A	4,63	A	4,51	A
	4	-	4,98	A	4,86	A	4,75	A	5,07	A	4,86	A	5,20	A	4,64	A	4,95	A	-	4,98	A	4,86	A	4,75	A	5,07	A	4,64	A

As médias seguidas de uma mesma letra na coluna, nas mesmas distância, profundidade e amostragem, não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

\*1) testemunha sem calagem; 2) calcário aplicado ao longo do perfil do solo no sulco de plantio; 3) calcário aplicado na superfície sem incorporação; e 4) calcário aplicado ao longo do perfil do solo, no sulco de plantio, mais calcário na superfície, sem incorporação.

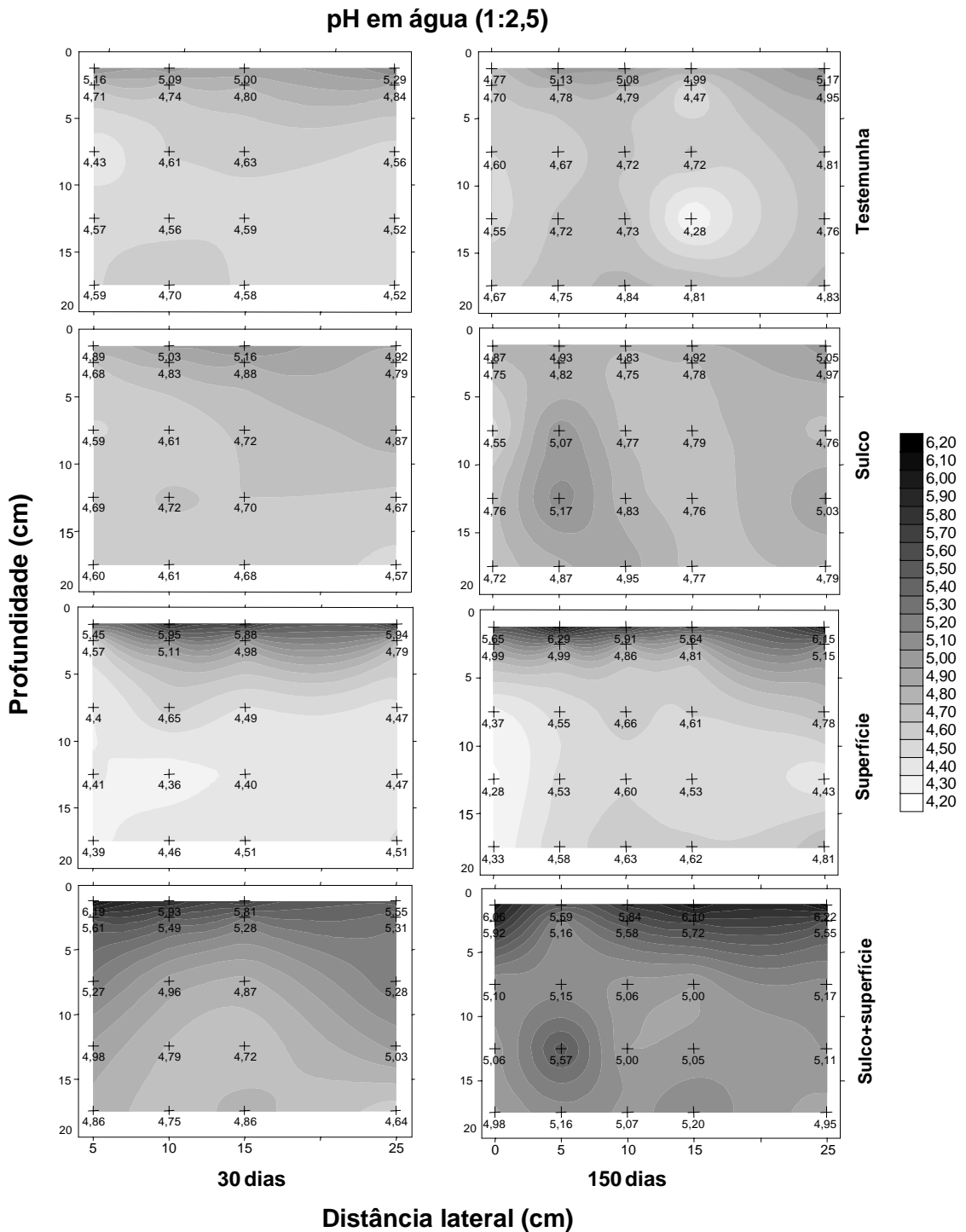


Figura 6 – Variação do pH lateralmente ao sulco de plantio e em profundidade, nas amostras coletadas aos 30 e 150 dias após a calagem.

Em todas as distâncias laterais e na profundidade de 0-2,5 cm, aos 30 e 150 dias, os tratamentos que envolveram a aplicação de calcário na superfície (tratamentos 3 e 4) foram mais eficientes na correção da acidez, com valores de pH mais elevados, decorrentes da maior concentração do calcário na camada superior, quando aplicado na superfície, sem incorporação. A aplicação de calcário no sulco (tratamento 2), isoladamente, não diferiu da testemunha (tratamento 1), na camada de 0-2,5 cm. Observou-se que a aplicação do calcário na superfície do solo foi eficiente em corrigir a acidez até 2,5 cm de profundidade, o que se mostrou coerente com os resultados obtidos por HARGROVE et al. (1982), DIAS et al.(1984), CENTURION et al. (1985), MERTEN e MIELNICZUK (1991), PAULETTI et al. (1995), CASSOL et al. (1995) e VOSS et al. (1998).

Na profundidade de 2,5-5 cm, observou-se que na linha (distância 0), aos 150 dias, o tratamento 4 apresentou pH superior ou igual aos demais em todas as distâncias laterais e profundidades. Pode-se observar, nessa profundidade, redução nos valores de pH em todos os tratamentos em relação aos obtidos à profundidade de 0-2,5 cm. Esse resultado ocorreu em razão da baixa mobilidade do calcário no perfil do solo.

As diferenças estatísticas entre os tratamentos diminuem a partir da profundidade de 5-10 cm em todas as distâncias laterais. Observou-se que os menores valores de pH foram obtidos no tratamento com aplicação de calcário na superfície de 0 e 5 cm de distância lateral em todas as profundidades. Nessa profundidade, até a distância lateral de 5 cm, foram observados maiores valores de pH para os tratamentos que receberam calagem no sulco.

Notou-se que, a partir da distância lateral de 10 cm e da profundidade de 5-10 cm, os tratamentos eram semelhantes. Novamente, o tratamento 4 mostrou-se superior ou igual aos demais. O tratamento 2, nas distâncias laterais de 0 e 5 cm e a partir de 5 cm de profundidade, mostrou-se semelhante ao tratamento 4 e superior ao 3, em valores absolutos. A não-significância do teste para superioridade do tratamento 2 em relação ao 3 deveu-se ao rigor do teste em detectar diferenças estatísticas entre as médias de tratamentos.

Esses resultados indicaram que a aplicação de calcário ao longo do perfil do sulco mais a aplicação de calcário na superfície do solo é alternativa eficiente para correção do pH do solo sem seu revolvimento, com maior

uniformidade e menor risco em períodos sujeitos à ocorrência de déficits hídricos. Apesar da redução do pH observada com o aumento da profundidade, de modo geral, nos tratamentos 2 e 4, a variação dos valores de pH do solo em todo o perfil, em todas as distâncias laterais, é menor quando comparada com o tratamento que recebeu calagem na superfície. Esses resultados evidenciaram que houve uniformidade na distribuição do calcário aplicado ao longo do perfil do solo no sulco de plantio.

#### **4.2.2. Cálcio trocável**

O teste F de cultivares e da interação cultivares x modalidades de aplicação de calcário foi não-significativo para cálcio trocável. Dessa forma, as modalidades foram discutidas separadamente.

No Quadro 4 são apresentados os valores médios de cálcio trocável no solo, e na Figura 7 é mostrada a variação do cálcio no perfil do solo, lateralmente ao sulco onde foi aplicado o calcário e em profundidade. Observam-se, nessa figura, maiores teores de cálcio nos tratamentos 3 e 4, na camada de 0-2,5 cm de profundidade, em todas as distâncias laterais e nas duas amostragens, realizadas aos 30 e 150 dias após a calagem. Isso ocorreu devido à calagem superficial, comum nos dois tratamentos, e ao não-revolvimento do solo (MUZILLI, 1983; CENTURION et al., 1985; DEDECEK et al., 1986; PAIVA, 1996).

Na profundidade de 2,5-5 cm, o tratamento 4 apresentou teores de cálcio superiores ou iguais, comparativamente, aos dos demais tratamentos, em todas as distâncias laterais. Esse resultado comprovou a eficiência da aplicação do calcário ao longo do perfil do sulco, junto com a calagem na superfície, na distribuição de cálcio no perfil do solo. Isso é mais bem observado a partir da profundidade de 5-10 cm, principalmente até 5 cm da linha, aos 150 dias. Verificou-se que o tratamento 2 apresentou valores de cálcio semelhantes aos do tratamento 4, até a distância de 5 cm da linha em razão da aplicação do calcário ao longo do perfil do sulco, comum nesses dois tratamentos, comparativamente à aplicação superficial realizada no tratamento 3, que apresentou redução dos teores em relação à camada de 2,5-5 cm.

Quadro 4 – Valores médios de cálcio trocável ( $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ ) nos diferentes tratamentos amostrados aos 30 e 150 dias após a calagem, nas distâncias laterais de 0, 5, 10, 15 e 25 cm e nas profundidades de 0-2,5; 2,5-5; 5-10; 10-15; e 15-20 cm

PROF. (cm)	TRA	DISTÂNCIA LATERAL (cm)														
		0			5			10			15			25		
		30	150	30	150	30	150	30	150	30	150	30	150	30	150	
0-2,5	1	-	2,33 B	2,04 B	1,58 B	1,66 B	1,52 B	1,73 C	1,51 B	1,91 AB	1,58 B					
	2	-	2,67 B	1,73 B	1,45 C	1,79 B	1,37 B	1,79 BC	1,60 B	1,60 B	1,51 B					
	3	-	4,19 A	2,63 AB	3,2 A	3,11 A	2,67 A	3,01 A	2,59 A	2,70 A	2,91 A					
	4	-	3,61 A	3,38 A	2,50 AB	2,90 A	2,46 A	2,81 AB	2,75 A	2,24 AB	2,92 A					
2,5-5	1	-	2,63 B	1,76 B	1,30 B	1,36 B	1,15 A	1,41 A	1,26 B	1,55 A	1,38 B					
	2	-	3,82 AB	1,42 B	1,47 AB	1,62 B	1,36 A	1,61 A	1,58 B	1,49 A	1,50 B					
	3	-	4,20 AB	1,63 B	1,49 AB	1,82 AB	1,35 A	1,67 A	1,26 B	1,67 A	1,57 B					
	4	-	4,69 A	3,29 A	2,06 A	2,38 A	2,09 A	2,06 A	2,47 A	2,40 A	2,30 A					
5-10	1	-	2,01 AB	1,30 A	1,50 B	1,48 A	1,26 A	1,49 A	1,56 A	1,33 B	1,27 AB					
	2	-	2,26 AB	1,75 A	1,60 AB	1,38 A	1,43 A	1,47 A	1,57 A	1,44 AB	1,31 AB					
	3	-	1,95 B	1,51 A	1,23 B	1,46 A	1,28 A	1,28 A	1,09 A	1,41 AB	1,17 B					
	4	-	3,45 A	2,29 A	2,27 A	1,77 A	1,76 A	1,80 A	1,69 A	2,54 A	1,78 A					
10-15	1	-	1,76 AB	1,49 A	1,43 B	1,55 A	1,52 AB	1,50 A	1,47 A	1,62 A	1,42 A					
	2	-	2,23 AB	1,58 A	2,10 AB	1,74 A	1,52 AB	1,59 A	1,77 A	1,53 A	1,77 A					
	3	-	1,50 B	1,31 A	1,26 B	1,31 A	1,31 B	1,28 A	1,10 A	1,35 A	1,17 A					
	4	-	2,57 A	2,08 A	2,84 A	1,80 A	2,11 A	1,61 A	1,64 A	2,25 A	1,80 A					
15-20	1	-	1,78 AB	1,58 AB	1,52 B	1,63 A	1,52 AB	1,51 A	1,52 A	1,51 A	1,47 A					
	2	-	2,13 AB	1,60 AB	1,71 AB	1,69 A	1,59 AB	1,53 A	1,60 A	1,50 A	1,35 A					
	3	-	1,41 B	1,32 B	1,30 B	1,41 A	1,27 B	1,44 A	1,15 A	1,44 A	1,44 A					
	4	-	2,35 A	2,01 A	2,24 A	1,83 A	2,28 A	2,12 A	1,75 A	1,68 A	1,66 A					

As médias seguidas de uma mesma letra na coluna, nas mesmas distância, profundidade e amostragem, não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

\*1) testemunha sem calagem; 2) calcário aplicado ao longo do perfil do solo no sulco de plantio; 3) calcário aplicado na superfície sem incorporação; e 4) calcário aplicado ao longo do perfil do solo, no sulco de plantio, mais calcário na superfície, sem incorporação.

### Ca trocável ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ )

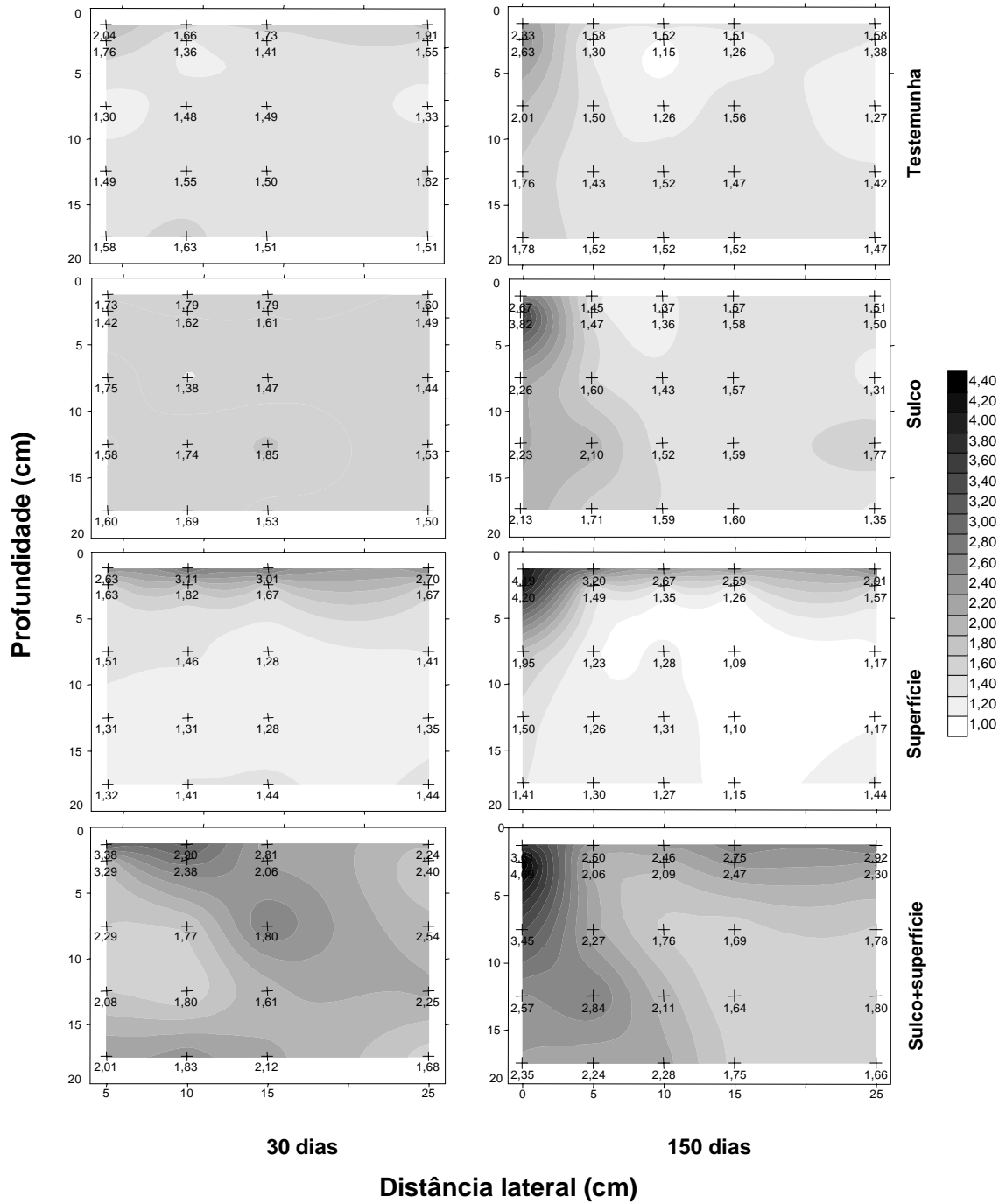


Figura 7 – Variação do Ca trocável lateralmente ao sulco de plantio e em profundidade nas amostras coletadas aos 30 e 150 dias após a calagem.

Os resultados obtidos a partir de 5 cm de profundidades e de distância lateral de 10 cm são semelhantes, não havendo diferenças estatísticas entre os tratamentos. Verificou-se que a aplicação superficial do calcário não foi eficaz para aumentar o teor de cálcio em profundidade, pois os teores mais baixos de cálcio nessas profundidades foram observados no tratamento 3.

Os teores mais elevados, de modo geral, foram obtidos na linha, principalmente nos tratamentos com a aplicação de calcário ao longo do perfil do solo e no sulco de plantio, os quais também apresentaram maior uniformidade de distribuição de cálcio em todo o perfil amostrado, estando de acordo com os resultados obtidos por ANDERSON e HENDRICK (1983), que injetaram calcário em suspensão aquosa no sulco, por meio de um subsolador. O tratamento 4 foi o mais eficiente no fornecimento de cálcio, em praticamente todo o perfil amostrado.

#### **4.2.3. Magnésio trocável**

O teste F dos cultivares e da interação cultivares x modalidades de aplicação de calcário foi não-significativo para magnésio trocável. Dessa forma, as modalidades foram discutidas separadamente.

Os resultados obtidos no magnésio trocável no solo foram semelhantes aos obtidos no cálcio e pH aos 30 e 150 dias após a calagem (Quadro 5 e Figura 8).

Na profundidade de 0-2,5 cm foram encontrados os maiores teores de magnésio nos tratamentos 3 e 4, pois em ambos ocorreu a calagem superficial, concentrando o magnésio fornecido pelo calcário na camada superior do solo. Resultados semelhantes foram encontrados por MIELNICZUK et al. (1995) e BEN et al. (1997) em magnésio, com calcário aplicado na superfície.

Na camada subjacente, 2,5-5 cm de profundidade, notou-se que os tratamentos 3 e 4 foram iguais estatisticamente e superiores aos tratamentos 1 e 2, na distância 0 cm da linha. Distanciando da linha de plantio, os tratamentos igualaram-se, porém a 10 e 25 cm o tratamento 4 diferiu dos demais. Notou-se redução dos teores de magnésio na maioria dos tratamentos, nas duas amostragens, em relação à camada de 0-2,5 cm.

Quadro 5 – Valores médios de magnésio trocável nos diferentes tratamentos amostrados aos 30 e 150 dias após a calagem, nas distâncias laterais de 0, 5, 10, 15 e 25 cm e nas profundidades de 0-2,5; 2,5-5; 5-10; 10-15; e 15-20 cm

PROF. (cm)	TRA.*	(cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) DISTÂNCIA LATERAL (cm)														
		0			5			10			15			25		
		30	150	30	150	30	150	30	150	30	150	30	150	30	150	
0-2,5	1	-	0,58 B	0,87 B	0,60 B	0,81 B	0,59 B	0,75 B	0,56 B	1,00 AB	0,60 B	0,72 B	0,57 B			
	2	-	0,61 B	0,87 B	0,49 B	0,86 B	0,50 B	0,73 B	0,60 B	0,72 B	0,60 B	0,72 B	0,57 B			
	3	-	1,56 A	2,28 A	1,97 A	1,97 A	2,00 A	1,94 A	1,63 A	1,77 A	1,72 A	1,77 A	1,72 A			
	4	-	1,70 A	2,12 AB	1,42 A	1,74 AB	1,54 A	1,59 AB	1,81 A	1,39 AB	1,90 A	1,39 AB	1,90 A			
2,5-5	1	-	0,32 B	0,64 B	1,30 B	0,53 B	0,37 B	0,39 C	0,38 B	0,59 A	0,42 C	0,59 A	0,42 C			
	2	-	0,32 B	0,57 B	1,47 AB	0,67 B	0,42 B	0,62 BC	0,51 B	0,63 A	0,48 C	0,63 A	0,48 C			
	3	-	0,74 A	0,94 AB	1,49 AB	1,09 AB	0,61 B	0,99 AB	0,69 AB	1,02 A	0,91 B	1,02 A	0,91 B			
	4	-	1,06 A	1,62 A	2,06 A	1,29 A	1,11 A	1,11 A	1,38 A	1,32 A	1,25 A	1,32 A	1,25 A			
5-10	1	-	0,28 B	0,35 A	0,28 B	0,43 A	0,32 B	0,35 A	0,29 B	0,32 B	0,30 B	0,32 B	0,30 B			
	2	-	0,30 AB	0,50 A	0,53 AB	0,47 A	0,40 AB	0,50 A	0,43 AB	0,59 B	0,37 B	0,59 B	0,37 B			
	3	-	0,41 AB	0,53 A	0,45 AB	0,56 A	0,50 AB	0,53 A	0,48 AB	0,32 B	0,45 B	0,32 B	0,45 B			
	4	-	0,58 A	0,54 A	0,76 A	0,74 A	0,75 A	0,54 A	0,67 A	0,96 A	0,82 A	0,96 A	0,82 A			
10-15	1	-	0,34 A	0,41 A	0,31 B	0,41 A	0,35 B	0,44 A	0,33 A	0,48 AB	0,32 A	0,48 AB	0,32 A			
	2	-	0,51 A	0,56 A	0,60 AB	0,63 A	0,45 AB	0,65 A	0,49 A	0,37 B	0,52 A	0,37 B	0,52 A			
	3	-	0,34 A	0,55 A	0,40 B	0,33 A	0,43 AB	0,38 A	0,38 A	0,28 B	0,38 A	0,28 B	0,38 A			
	4	-	0,70 A	0,84 A	1,23 A	0,58 A	0,83 A	0,45 A	0,57 A	0,63 A	0,86 A	0,63 A	0,86 A			
15-20	1	-	0,40 AB	0,49 A	0,35 A	0,58 A	0,38 B	0,43 B	0,37 A	0,43 A	0,37 A	0,43 A	0,37 A			
	2	-	0,60 AB	0,61 A	0,51 A	0,78 A	0,53 AB	0,47 B	0,42 A	0,42 A	0,42 A	0,42 A	0,42 A			
	3	-	0,33 B	0,44 A	0,36 A	0,44 A	0,34 B	0,44 B	0,42 A	0,44 A	0,42 A	0,44 A	0,42 A			
	4	-	0,82 A	0,69 A	0,88 A	0,57 A	0,95 A	0,70 A	0,59 A	0,53 A	0,59 A	0,53 A	0,59 A			

As médias seguidas de uma mesma letra na coluna, nas mesmas distância, profundidade e amostragem, não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

\*1) testemunha sem calagem; 2) calcário aplicado ao longo do perfil do solo e no sulco de plantio; 3) calcário aplicado na superfície sem incorporação; e 4) calcário aplicado ao longo do perfil do solo e no sulco de plantio mais calcário na superfície, sem incorporação.

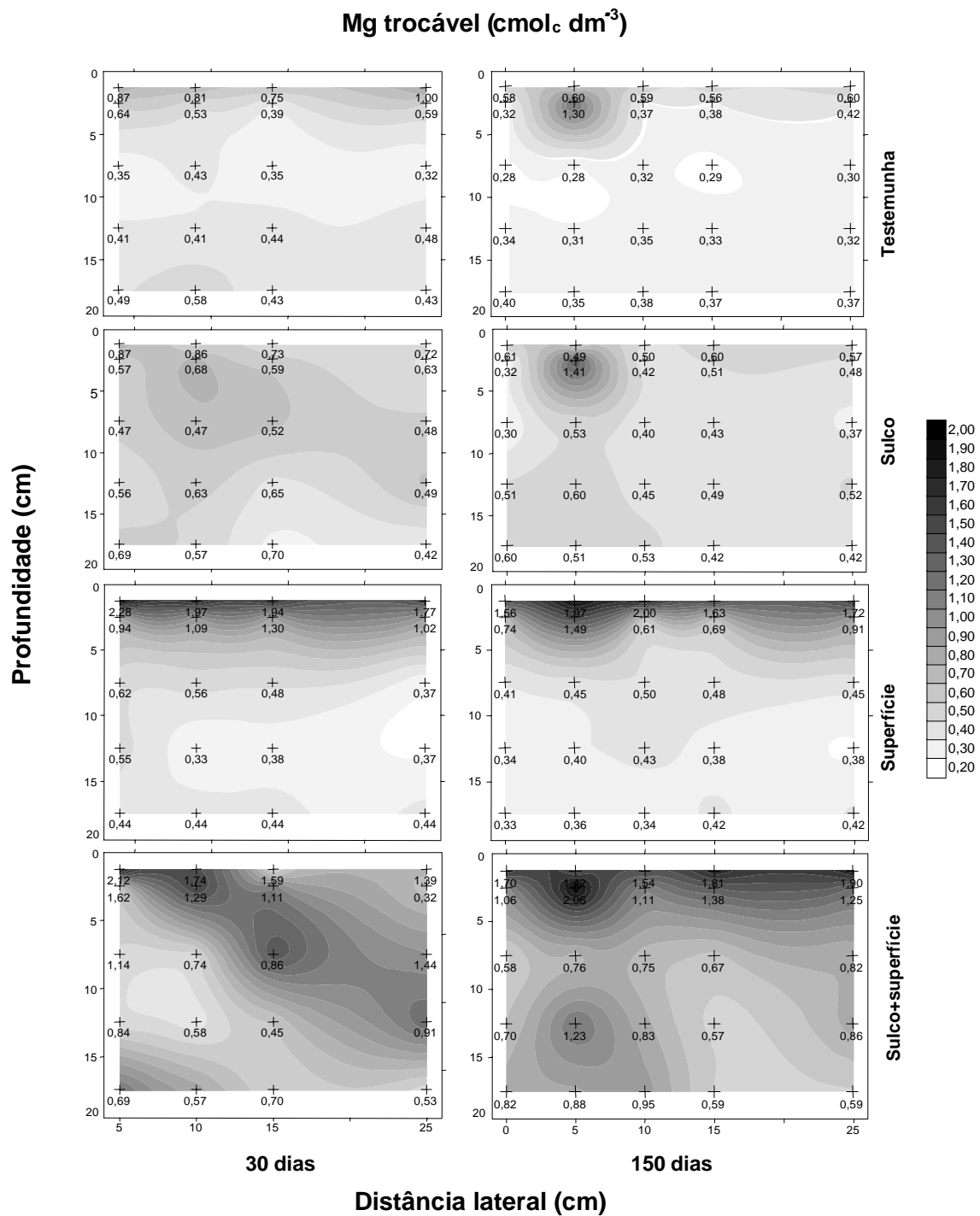


Figura 8 – Variação do Mg trocável lateralmente ao sulco de plantio e em profundidade, nas amostras coletadas aos 30 e 150 dias após a calagem.

Observou-se que na camada de 5-10 cm houve diferença significativa entre os tratamentos aos 30 dias somente na distância de 25 cm da linha, com o tratamento 4 apresentando teores de magnésio superiores aos dos demais. Na amostragem realizada aos 150 dias após a calagem, notou-se que os teores de magnésio foram iguais ou superiores no tratamento 4, comparativamente aos dos demais tratamentos. Verificou-se, dessa forma, que, com maior tempo de reação, o tratamento 4 foi mais eficiente, comparativamente aos demais na uniformidade de distribuição do magnésio, indicando novamente que a calagem ao longo do perfil do sulco foi eficiente e resultou na colocação dos nutrientes ao longo do perfil corrigido.

Nas profundidades de 10-15 e 15-20 cm, os tratamentos tenderam a se igualar, inclusive não diferindo da testemunha sem calagem. A calagem ao longo do perfil do sulco (tratamento 2) indicou tendência de apresentar teores médios de magnésio maiores do que aqueles obtidos com a aplicação do calcário na superfície (tratamento 3), mesmo não se diferindo estatisticamente, sendo esse efeito mais pronunciado na faixa que recebeu calcário, ou seja, até 5 cm da linha. BEN et al.(1997) e AMARAL e ANGHINONI (1998) constataram que a reaplicação de calcário superficialmente resultou em elevação do teor de magnésio até 4 e 5 cm, respectivamente.

A interação entre a aplicação do calcário ao longo do perfil do sulco e a aplicação superficial foi efetiva no fornecimento de magnésio e superior às demais, principalmente abaixo de 5 cm de profundidade.

#### **4.2.4. Alumínio trocável**

O teste F de cultivares e de interação cultivares x modalidades de aplicação de calcário foi não-significativo quanto a alumínio trocável. Dessa forma, as modalidades foram discutidas separadamente.

Os resultados de alumínio trocável no solo amostrado aos 30 e 150 dias após a calagem encontram-se no Quadro 6, e a variação do alumínio no perfil do solo, lateralmente ao sulco onde foi aplicado o calcário e em profundidade, pode ser observada na Figura 9.

Quadro 6 – Valores médios de alumínio trocável ( $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ ) nos diferentes tratamentos amostrados aos 30 e 150 dias após a calagem, nas distâncias laterais de 0, 5, 10, 15 e 25 cm e nas profundidades de 0-2,5; 2,5-5; 5-10; 10-15; e 15-20 cm

PROF. (cm)	TRA.*	DISTÂNCIA LATERAL (cm)																								
		0					5					10					15					25				
		30	150	30	150	30	150	30	150	30	150	30	150	30	150	30	150	30	150	30	150					
0-2,5	1	-	0,22 A	0,17 AB	0,27 AB	0,19 A	0,26 AB	0,18 AB	0,28 A	0,21 A	0,22 AB															
	2	-	0,25 A	0,26 A	0,37 A	0,18 A	0,36 A	0,23 A	0,29 A	0,22 A	0,28 A															
	3	-	0,06 B	0,11 BC	0,03 C	0,05 B	0,11 B	0,06 C	0,12 B	0,13 A	0,06 C															
	4	-	0,08 B	0,03 C	0,13 BC	0,07 B	0,18 AB	0,09 BC	0,10 B	0,11 A	0,10 BC															
2,5-5	1	-	0,32 A	0,26 A	0,42 A	0,31 A	0,45 A	0,32 A	0,42 A	0,23 A	0,35 A															
	2	-	0,27 AB	0,30 A	0,37 A	0,22 AB	0,40 A	0,20 AB	0,37 A	0,28 A	0,34 A															
	3	-	0,17 BC	0,33 A	0,35 AB	0,20 B	0,37 A	0,28 AB	0,42 A	0,24 A	0,27 AB															
	4	-	0,07 C	0,11 B	0,19 B	0,13 B	0,22 A	0,14 B	0,21 A	0,19 A	0,14 B															
5-10	1	-	0,41 A	0,36 AB	0,51 A	0,34 A	0,48 A	0,28 A	0,48 A	0,36 AB	0,46 A															
	2	-	0,36 AB	0,33 AB	0,38 AB	0,33 A	0,40 A	0,33 A	0,41 A	0,47 A	0,31 AB															
	3	-	0,42 A	0,48 A	0,53 A	0,40 A	0,48 A	0,43 A	0,58 A	0,49 A	0,49 A															
	4	-	0,18 B	0,23 B	0,18 B	0,25 A	0,28 A	0,24 A	0,33 A	0,20 B	0,31 A															
10-15	1	-	0,39 AB	0,32 A	0,45 AB	0,29 A	0,46 A	0,35 AB	0,43 A	0,34 A	0,44 A															
	2	-	0,29 AB	0,35 A	0,29 BC	0,29 A	0,41 A	0,24 B	0,42 A	0,36 A	0,32 A															
	3	-	0,55 A	0,48 A	0,60 A	0,47 A	0,51 A	0,46 A	0,62 A	0,46 A	0,49 A															
	4	-	0,23 B	0,23 A	0,11 C	0,25 A	0,28 A	0,27 AB	0,36 A	0,20 A	0,43 A															
15-20	1	-	0,36 AB	0,28 AB	0,41 A	0,28 A	0,38 A	0,31 A	0,41 A	0,29 A	0,40 A															
	2	-	0,30 AB	0,32 AB	0,35 AB	0,33 A	0,37 A	0,33 A	0,39 A	0,38 A	0,45 A															
	3	-	0,54 A	0,43 A	0,47 A	0,38 A	0,48 A	0,38 A	0,56 A	0,37 A	0,41 A															
	4	-	0,19 B	0,21 B	0,15 B	0,24 A	0,18 A	0,20 A	0,27 A	0,29 A	0,32 A															

As médias seguidas de uma mesma letra na coluna, nas mesmas distância, profundidade e amostragem, não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

\*1) testemunha sem calagem; 2) calcário aplicado ao longo do perfil do solo e no sulco de plantio; 3) calcário aplicado na superfície sem incorporação; e 4) calcário aplicado ao longo do perfil do solo e no sulco de plantio mais calcário na superfície, sem incorporação.

### Al trocável (cmolc dm<sup>-3</sup>)

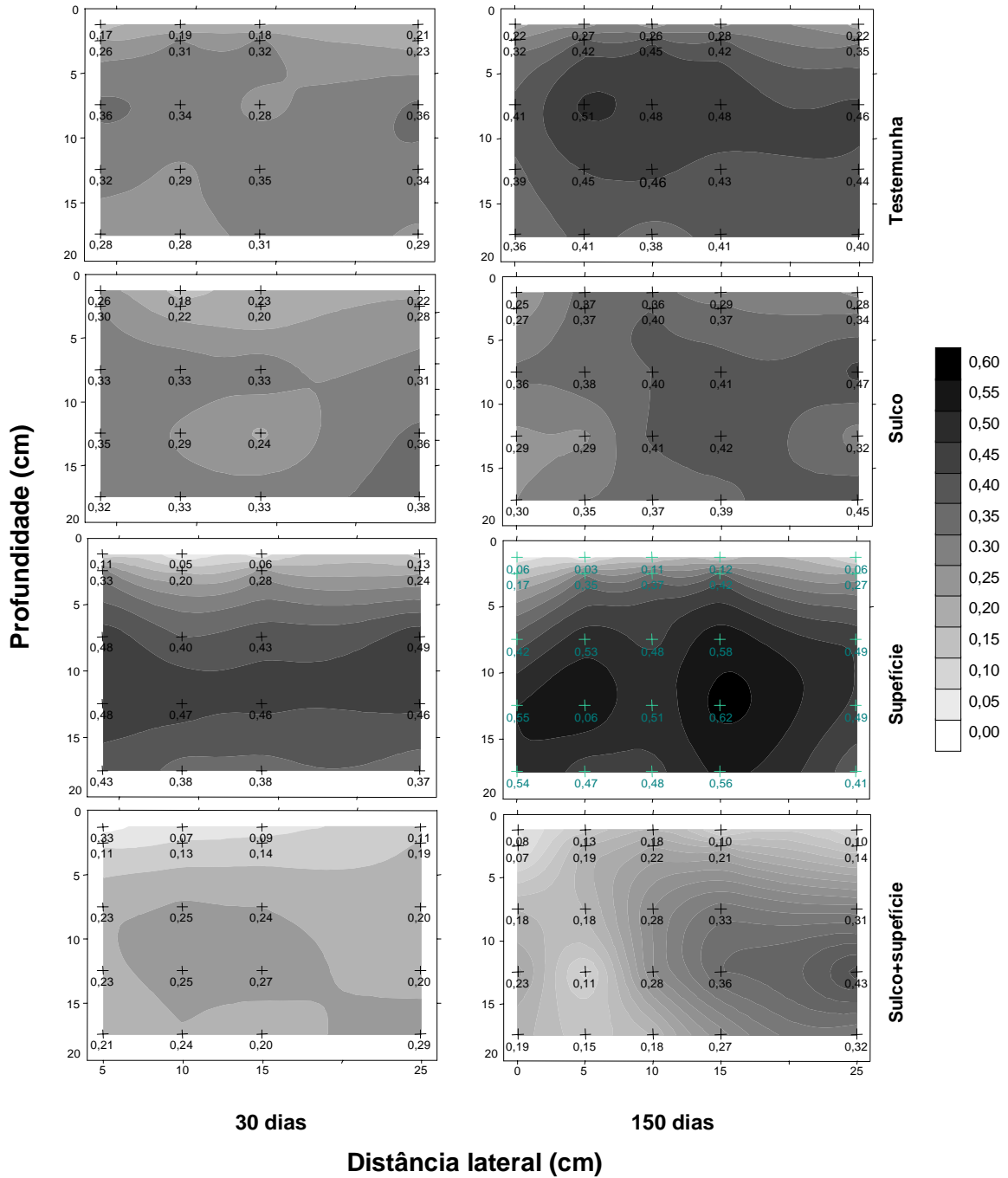


Figura 9 – Variação do Al trocável lateralmente ao sulco de plantio e em profundidade, nas amostras coletadas aos 30 e 150 dias após a calagem.

Observou-se que mesmo a testemunha, sem aplicação de calcário, apresentou baixos teores de alumínio no solo, o que pode ser comprovado pela análise realizada antes da implantação do experimento (Quadro 1).

Verificou-se que, na camada de 0-2,5 cm, os teores de alumínio, em geral, foram mais baixos no solo, especialmente nos tratamentos que receberam calagem na superfície, nas duas amostragens, como também foi observado por MUZILLI (1983) e SHNEIDER (1997). Isso ocorreu devido à aplicação do calcário na superfície, neutralizando o alumínio e impedindo seu efeito tóxico.

O tratamento 4, na camada de 2,5-5 cm, foi o de melhor neutralização do alumínio, especialmente até 5 cm de distância da linha de plantio. Os tratamentos apresentaram poucas diferenças estatísticas entre si. No entanto, notou-se elevação dos valores de alumínio no tratamento 3, em comparação com a camada superior, o que indica o efeito da calagem realizada na superfície, sem incorporação, limitado aos primeiros centímetros da camada arável.

Observando os teores de alumínio no solo na profundidade de 5-10 cm, verificou-se que os tratamentos são estatisticamente iguais em praticamente todas as distâncias e amostragens. Até a distância de 5 cm da linha, o tratamento 3 apresentou teores mais elevados para alumínio comparativamente aos demais tratamentos, com a ressalva de que o tratamento 4 apresentou os menores teores de alumínio entre os tratamentos testados. Porém, em ambas as situações, os valores foram iguais estatisticamente.

Na profundidade de 10-15 cm, o tratamento 3 apresentou maiores teores de alumínio trocável em comparação com os demais tratamentos. Mesmo com efeito restrito a 5 cm de distância lateral, a aplicação no sulco promove melhores condições para enraizamento e maior tolerância a déficits hídricos (KAUFFMAN e GARDNER, 1978). Diferenças estatísticas foram observadas apenas até 5 cm da linha de plantio aos 150 dias e a 15 cm da linha aos 30 dias após a calagem.

Na profundidade de 15-20 cm, o tratamento 4, em todas as distâncias laterais e em ambas as amostragens, apresentou os menores teores de alumínio trocável, principalmente até a distância de 10 cm da linha, indicando

ser a combinação da aplicação superficial e com a distribuição do calcário no perfil do solo a melhor opção entre as testadas na redução do alumínio trocável. Isso é corroborado pelo fato de o tratamento 3 ter apresentado os maiores teores de alumínio no solo nessa profundidade, como em praticamente todo o perfil, abaixo da camada de 2,5-5 cm.

Observou-se que, na maioria dos casos, os teores de alumínio trocável no solo foram superiores na amostragem realizada aos 150 dias, comparativamente à amostragem feita aos 30 dias. SANTOS e SIQUEIRA (1996) obtiveram resultados semelhantes. Eles encontraram que o teor de alumínio do solo foi maior após a implantação do experimento, em relação ao valor encontrado antes da sua instalação. Esse resultado pode estar relacionado, segundo esses autores, à adição de fertilizantes nitrogenados e à manutenção dos tecidos das plantas na superfície, que, gerando acidez, podem ser responsáveis pela solubilização e, conseqüentemente, pela elevação dos teores de alumínio no solo, mesmo que este tenha sido corrigido.

Os resultados obtidos neste trabalho discordam dos de alguns pesquisadores, que constataram o efeito da calagem em superfície até maiores profundidades, bem como efeitos benéficos sobre as culturas testadas (CAIRES et al., 1998; VERNETTI JÚNIOR et al., 1998). Em se tratando de plantio direto, os fatores microclima e solo são diferentes quando comparados com o plantio convencional. Exemplificando, VALLEJOS MERNES (1998) verificou que, no sistema de plantio direto, ocorre continuidade dos poros, o que possibilita melhor movimentação de água, podendo esta carrear elementos até a subsuperfície.

Nas condições do experimento do presente trabalho, a aplicação de calcário na superfície do solo, sem incorporação, teve seu efeito restrito às camadas superficiais, sendo a aplicação combinada de calcário na superfície e ao longo do perfil a mais eficiente na correção da acidez e neutralização do alumínio trocável, bem como no fornecimento de cálcio e magnésio, com efeitos positivos até 20 cm de profundidade, nas proximidades da linha de aplicação do calcário.

### 4.3. Análise do tecido foliar

Não foram observadas diferenças significativas, pelo teste F, na interação cultivares x modalidades de aplicação de calcário. Dessa forma, avaliou-se isoladamente o efeito de cultivares e de modalidades de aplicação de calcário sobre o teor de nutrientes no tecido foliar das plantas de milho.

Encontram-se, no Quadro 7, os valores médios de fósforo, potássio, cálcio, magnésio, cobre, ferro, manganês e zinco, nos três cultivares testados, com diferentes suscetibilidades à toxidez de alumínio. Observa-se, nesse quadro, a não-ocorrência de diferenças estatísticas entre os tratamentos. Esse resultado se encontra relacionado aos baixos teores de alumínio trocável no solo, os quais não influenciaram a absorção dos nutrientes analisados nem a fertilidade do solo da área experimental (Quadro 1). Embora estatisticamente os resultados tenham sido iguais, o milho híbrido duplo Z 8447, tolerante ao alumínio, apresentou os teores mais elevados de quase todos os nutrientes analisados, excetuando-se apenas o potássio e o manganês. É relevante ressaltar que os teores de fósforo, potássio, cálcio e magnésio, em todas as cultivares, encontraram-se próximos das faixas consideradas adequadas propostas por BÜLL (1993). Também, não ocorreram diferenças estatísticas entre os cultivares com relação à concentração foliar de cobre, ferro, manganês e zinco. Os teores mantiveram-se dentro da faixa considerada adequada no tecido foliar de plantas de milho, de acordo com BÜLL (1993).

Segundo JONES JÚNIOR et al. (1991), além das condições ambientais e da fertilidade do solo, a concentração de nutrientes na planta de milho pode variar conforme o seu potencial genético, resultando em menor acúmulo de nutrientes. No entanto, não foram evidenciadas diferenças entre os cultivares testados, no tocante ao aspecto nutricional.

No Quadro 8, apresentam-se os valores de macro e micronutrientes no tecido foliar de plantas de milho nas diferentes modalidades de calagem. Não foram observadas diferenças estatísticas, indicando que as modalidades de aplicação de calcário não afetaram os teores foliares de macro e micronutrientes nas plantas de milho. A condição adequada de umidade, os baixos teores de alumínio no solo e sua condição de fertilidade, anterior à

instalação do experimento, podem ser as possíveis causas da não-diferenciação entre os tratamentos.

Quadro 7 – Valores médios de P, K, Ca e Mg ( $\text{dag kg}^{-1}$ ), Cu, Fe, Mn e Zn ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) na matéria seca de folhas, dos três cultivares de milho, Z 8447 tolerante ao alumínio, AL 25 medianamente tolerante ao alumínio e AG 122 muito sensível ao alumínio

NUTRIENTES	CULTIVARES		
	Z 8447	AL 25	AG 122
Fósforo	0,28	0,27	0,26
Potássio	1,81	2,02	2,16
Cálcio	0,57	0,49	0,45
Magnésio	0,24	0,22	0,20
Cobre	14,88	12,55	11,72
Ferro	204,52	172,80	198,84
Manganês	145,23	151,07	108,28
Zinco	31,66	29,10	26,47

Não houve diferença significativa pelo teste F a 5% de probabilidade.

Quadro 8 – Valores médios de P, K, Ca e Mg ( $\text{dag k}^{-1}$ ) e Cu, Fe, Mn e Zn ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) na matéria seca de folhas de milho, nas diferentes modalidades de calagem estudadas

NUTRIENTE	MODALIDADE			
	TESTEMUNH A	SULCO	SUPERFÍCIE	SULCO+SUPER F.
Fósforo	0,27	0,26	0,27	0,27
Potássio	20,35	20,14	20,00	19,52
Cálcio	0,53	0,47	0,50	0,52
Magnésio	0,22	0,19	0,21	0,23
Cobre	13,86	12,57	13,05	12,71
Ferro	194,21	185,85	194,60	190,88
Manganês	145,49	129,88	159,46	104,62
Zinco	27,62	30,08	30,67	27,93

Não houve diferença significativa pelo teste F a 5% de probabilidade.

#### 4.4. Características agronômicas

Com relação às características agronômicas, o teste F foi não-significativo na interação cultivares x modalidades de aplicação de calcário. Compararam-se as modalidades e os cultivares isoladamente, mediante a avaliação de seus efeitos sobre algumas características agronômicas.

No Quadro 9, pode-se verificar que apenas a variedade Al 25 apresentou maior altura da espiga superior (AE), comparativamente à dos demais cultivares. Nas demais características, não ocorreram diferenças estatísticas entre os tratamentos. Isso indica que as modalidades de aplicação de calcário não influenciaram as características agronômicas do milho. Tal resultado ocorreu porque a fertilidade do solo (Quadro 1) e as condições hídricas favoráveis, as quais nivelaram os tratamentos, foram suficientes para o suprimento das exigências da cultura. Resultados semelhantes foram obtidos por CAIRES et al. (1998) e PORTELA (1984).

Quadro 9 – Valores médios de altura de plantas (AP), altura da espiga superior (AE), estande final (EF), número de espigas por hectare (NE), produção de grãos (PG) e peso de espigas (PE) de milho de três cultivares de milho

CULT.	AP	AE	EF	NE	PG	PE
	cm	cm	pl ha <sup>-1</sup>	esp ha <sup>-1</sup>	kg ha <sup>-1</sup>	kg ha <sup>-1</sup>
Z 8447	232,25	113,50 B	60.333,33	60.750,00	8.712,58	11.003,00
AL 25	238,42	138,00 A	59.652,75	62.375,00	7.664,08	9.345,58
AG 122	229,33	120,33 B	61.579,33	60.085,42	8.068,08	9.554,33

Médias seguidas de uma mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O efeito da calagem em profundidade é esperado em condições de déficit hídrico (CAIRES et al., 1999). Como no presente experimento não ocorreu déficit hídrico não somente em razão de o período ser o de chuvas na região, mas também da irrigação suplementar, quando necessário, não foram

observados efeitos sobre as características agronômicas, decorrentes da calagem em profundidade.

No Quadro 10, verifica-se que não ocorreram diferenças entre as modalidades de aplicação de calcário em relação às características agronômicas. Esses resultados ocorreram em virtude da tolerância do milho a níveis elevados de saturação de alumínio, que, segundo EVANS e KAMPRATH (1970), podem chegar até 60%, com a ressalva de que, no presente trabalho, o solo utilizado apresentou saturação de alumínio máxima de 27% (Quadro 1).

Quadro 10 – Valores médios de altura de plantas (AP), altura da espiga superior (AE), estande final (EF), número de espigas por hectare (NE) e produção de grãos (PG) de milho nas diferentes modalidades de calagem estudadas

MODAL.	AP	AE	EF	NE	PG	PE
	cm	cm	pl ha <sup>-1</sup>	esp ha <sup>-1</sup>	kg ha <sup>-1</sup>	kg ha <sup>-1</sup>
Testemunha	230,78	121,89	62.473,55	63.214,33	8.998,22	11.129,00
Sulco	233,44	125,67	58.074,11	57.407,45	7.936,89	9.540,11
Superfície	230,22	119,89	62.354,45	62.381,00	7.663,56	9.558,67
Sulco+Sup.	238,89	128,33	59.185,11	61.277,78	7.996,00	9.642,78

Não houve diferença significativa pelo teste F a 5% de probabilidade.

A menor resposta das culturas à calagem no sistema de plantio direto pode estar relacionada com o menor efeito tóxico do alumínio, decorrente da formação de complexos orgânicos solúveis presentes nos restos das plantas (Miyazawa et al., 1996, citados por CAIRES et al., 1999) e, ou, do fato de os teores de cálcio, magnésio e potássio apresentarem disponibilidade suficiente no perfil do solo para manter uma relação adequada com o alumínio (CAIRES et al., 1998).

Não obstante esses resultados, CAIRES et al. (1997b) obtiveram resultado positivo, testando o efeito da calagem sobre a cultura do milho. Observaram aumento da produção com a incorporação do calcário, sendo significativamente superior à aplicação do calcário na superfície, sem incorporação. PÖTTKER et al. (1995) verificaram que a aplicação de

450 kg ha<sup>-1</sup> de calcário finamente moído na linha de plantio de soja, além de proporcionar rendimento de grãos semelhante ao obtido com a aplicação de 8 t ha<sup>-1</sup> (1 SMP) de calcário comum em superfície, ainda apresentou efeito residual na cultura do trigo. As quantidades de calcário *Filler* aplicadas foram menores que a indicada pela necessidade de calagem (8 t ha<sup>-1</sup>) e, pelos bons resultados obtidos na soja, essa modalidade pode-se constituir em alternativa para a calagem sem revolvimento do solo.

Além da fertilidade do solo, da baixa saturação de alumínio e da condição de disponibilidade de água no presente experimento, outra possível explicação para os resultados obtidos neste trabalho é a capacidade que as plantas têm de se desenvolver utilizando pequena faixa de solo corrigida. De acordo com SCOTT et al. (1997), nutrição e umidade podem ser favoráveis na superfície do solo em algumas regiões, e as plantas podem não necessitar de explorar a subsuperfície em solos ácidos. Foi o que verificou RODRIGUES (1997), com a aplicação de calcário apenas no anel superior de colunas de solo, em duas variedades de café, uma sensível e outra tolerante à toxidez de alumínio. Essa aplicação foi suficiente para manutenção do crescimento e da produção de matéria seca da parte aérea. Também, não afetou a quantidade de matéria seca total de raízes, mas alterou, no entanto, sua distribuição, ocorrendo maior concentração de raízes no anel superior, comprovando, dessa forma, o impedimento químico ao seu aprofundamento, provocado pela elevada saturação de alumínio nos anéis inferiores (93%). No entanto, a maior concentração de raízes no anel superior foi suficiente para a nutrição e o desenvolvimento da parte aérea, em condição de suprimento hídrico regular.

SILVA et al. (1984a) e BORGES et al. (1988) obtiveram resultados semelhantes na soja, indicando que a correção da acidez e a adubação superficiais podem ser suficientes para manter o crescimento normal da parte aérea, desde que não ocorra déficit hídrico.

#### **4.5. Sugestão de metodologia de calagem realizada por meio de aplicação de calcário ao longo do perfil do solo, no sulco de plantio**

A aplicação de calcário no sulco e na superfície mostrou-se eficiente através da elevação do pH do solo e de redução do alumínio trocável, bem

como do fornecimento de cálcio e magnésio. Optando-se por aplicar calcário no sulco e na superfície, tem-se a segurança de uma correção melhor e em menor tempo. A aplicação de calcário na superfície seria feita a cada três ou quatro anos e a aplicação de calcário no sulco, todos os anos, em sulcos não-coincidentes.

Na Figura 10, pode-se observar o esquema de calagem proporcionado pelo mecanismo desenvolvido, em que, realizando a calagem em anos seguidos em sulcos não-coincidentes, nas faixas de 10 cm de largura, pode-se corrigir até 60% da área, em três anos (corrigem-se 10 cm a cada 0,5 m, à profundidade de 20 cm). O sulco de plantio deve coincidir com o sulco de aplicação do calcário. No entanto, mesmo não havendo essa coincidência, o crescimento lateral do sistema radicular alcançará, sem dificuldades, faixas corrigidas lateralmente ao sulco de plantio. Essas faixas corrigidas promoveriam condições favoráveis ao desenvolvimento normal do sistema radicular, permitindo este se aprofundar e absorver nutrientes no perfil do solo e não apenas na superfície.

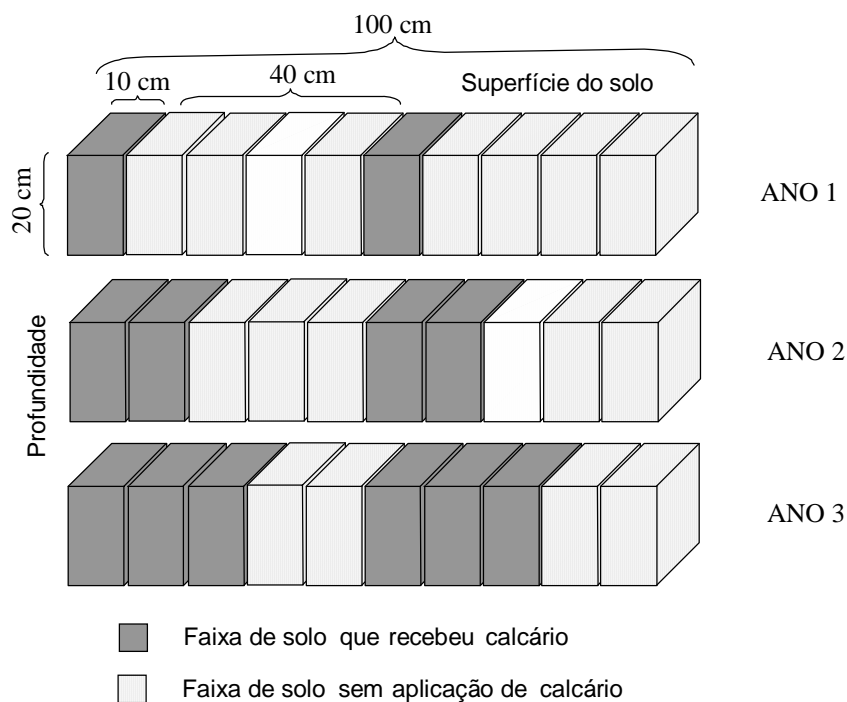


Figura 10 – Esquema mostrando a metodologia da calagem no sulco após três anos de aplicação do calcário.

Abaixo são apresentadas duas sugestões para se fazer a calagem, aplicando-se calcário no sulco, sem necessidade de aração e gradagem do terreno:

1. A primeira seria fazer a calagem juntamente com o plantio de culturas que visam à formação de palhada. Como no plantio dessas culturas raramente são feitas adubações, poder-se-iam semeá-las simultaneamente à aplicação do calcário e no mesmo sulco aberto para sua distribuição, utilizando o depósito de adubo como depósito de calcário em uma semeadora que opere por gravidade, adaptando-se o sistema pneumático.

2. Realização da calagem simultaneamente ao plantio e à adubação. Essa operação seria possível através da introdução de um depósito, específico para o armazenamento do calcário, em um conjunto semeador-adubador que operasse por gravidade nas duas operações, de adubação e plantio. O sistema pneumático seria introduzido como mecanismo de distribuição do calcário. Este seria aplicado no sulco, na entrelinha do sulco de plantio, espaçado de acordo com o espaçamento da cultura. Essa tripla operação possibilitaria a redução do número de operações e do trânsito de máquinas, com maior economia de tempo e melhoria das condições químicas do solo, sem a necessidade de seu revolvimento.

A calagem no sulco pode trazer benefícios de ordens ambiental e econômica para o produtor, já que a dosagem total recomendada nessa modalidade ( $0,2 \text{ NC m}^{-2}$ ) é cinco vezes menor que a recomendada no sistema convencional ( $1,0 \text{ NC m}^{-2}$ ) e duas vezes e meia menor que a indicada para a calagem em superfície, no PD ( $0,5 \text{ NC m}^{-2}$ ). Além disso, reduzem-se os riscos de erosão, já que a estrutura do solo é mantida, assim como os restos culturais na superfície, impedindo a exposição direta do solo ao impacto das gotas de chuvas e outras intempéries.

## 5. RESUMO E CONCLUSÕES

Este trabalho foi realizado com os objetivos de desenvolver e testar um mecanismo capaz de distribuir calcário ao longo do perfil do solo no sulco de plantio, sem as operações convencionais de aração e gradagem.

Utilizou-se a semeadora-adubadora de plantio direto Turbo-Max para a realização do experimento. Foram feitas algumas adaptações em seu conjunto rompedor e distribuidor e no dosador de adubo. O mecanismo utilizado para a condução do calcário até sua distribuição no solo foi o sistema pneumático distribuidor de sementes da própria semeadora-adubadora. Construiu-se um novo sulcador-distribuidor. Comparou-se a distribuição promovida pelo mecanismo desenvolvido com a aplicação de calcário na superfície do solo com a aplicação conjunta no sulco e na superfície e com a testemunha, sem aplicação de calcário.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, em parcelas subdivididas, com três repetições. Os tratamentos aplicados nas parcelas foram: a) milho híbrido duplo Z8447, tolerante ao alumínio; b) variedade de milho AL 25, medianamente sensível ao alumínio; e c) milho híbrido duplo AG 122, muito sensível ao alumínio. Os tratamentos aplicados nas subparcelas foram: 1) testemunha sem calagem; 2) calcário aplicado ao longo do perfil do solo no sulco de plantio, na dosagem total recomendada  $m^{-2}$ ; utilizaram-se duas faixas de 10 cm de largura e 20 cm de profundidade, representando 20% do total recomendado para a área; 3) calcário aplicado a

lanço na superfície do solo, com 50% da dosagem total recomendada  $m^{-2}$ ; e 4) calcário aplicado ao longo perfil do solo no sulco de plantio, na dosagem total recomendada  $m^{-2}$ ; utilizaram-se duas faixas de 10 cm de largura e 20 cm de profundidade, representando 20% do total recomendado para a área mais calcário aplicado a lanço na superfície, com a aplicação de 50% da dosagem total recomendada  $m^{-2}$ . Nos tratamentos que receberam calcário no sulco, este coincidiu com o sulco de plantio. Realizaram-se amostragens do solo aos 30 e 150 dias após a calagem. As amostras foram retiradas no centro da linha de plantio (somente aos 150 dias) aos 5, 10, 15 e 25 cm de um dos lados da linha de plantio e, para cada distância, nas profundidades de 0-2,5, 2,5-5, 5-10, 10-15 e 15-20 cm. Determinaram-se pH em água, cálcio, magnésio e alumínio trocáveis nas amostras de solo. Avaliou-se o estado nutricional do tecido foliar dos três cultivares, bem como algumas características agronômicas da cultura. No experimento realizado, constatou-se que:

- A distribuição de calcário promovida pelo mecanismo desenvolvido foi uniforme até a profundidade de 20 cm, movimentando uma faixa de solo de 10 cm de largura.
- A calagem realizada na superfície do solo, sem revolvimento, corrigiu o solo até a profundidade máxima de 5 cm.
- A aplicação conjunta de calcário no sulco mais calcário na superfície foi a mais eficiente, com maiores valores de pH, Ca e Mg e menores de Al trocável.
- Menores diferenças entre as modalidades de aplicação de calcário foram observadas a partir de 10 cm de distância da linha de plantio e 5 cm de profundidade.
- Não houve efeito dos tratamentos na absorção de nutrientes pelas plantas.
- Não ocorreram respostas significativas das características agronômicas em relação aos tratamentos de calagem.

Com base nos resultados, chegou-se às seguintes conclusões:

- O mecanismo para condução e distribuição do calcário, o sulcador-distribuidor e o dosador desenvolvidos mostraram-se adequados, apresentando boa uniformidade de distribuição, o que proporcionou eficiente elevação do pH e dos teores de Ca e Mg e redução do teor de Al.

- A aplicação de calcário ao longo do perfil do solo no sulco, promovida pelo mecanismo desenvolvido, mostrou-se alternativa eficaz para a correção do solo sem a necessidade de seu revolvimento e com resultados ainda melhores quando realizada concomitantemente com a aplicação superficial.
- Através da aplicação de calcário no sulco, podem-se reduzir a quantidade de calcário aplicada, reduzir o número de operações e promover a correção do solo de forma satisfatória para o crescimento das plantas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMARAL, A. S., ANGHINONI, I. Parâmetros químicos no perfil do solo após reaplicação de calcário, com e sem incorporação, em sistema plantio direto estabelecido. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26, 1997, Rio de Janeiro. **Resumos...** Viçosa: UFV, SBCS, 1997. (CD-ROM).
- AMARAL, A. S., ANGHINONI, I. Avaliação das características químicas dos solos e rendimento de milho após a reaplicação de calcário nos sistemas plantio direto e convencional. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 23; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 7; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 5; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 2, 1998, Caxambu. **Resumos...** Lavras: ESAL, SBCS, 1998. p. 199.
- ANDERSON, D. L., HENDRICK, J. G. Subsoil lime injector. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 47, p. 337-9, 1983.
- ARSHAD, M. A., GILL, K. S., TURKINGTON, T. K., WOODS, D. L. Canola root and yield response to liming and tillage. **Agron. J.**, v. 89, p. 17-22, 1997.
- BAYER, C., MIELNICZUK, J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. **Rev. Bras. Ci. Solo**, v. 21, p. 105-12, 1997.
- BEN, J. R., PÖTTKER, D., FONTANELI, R. S., WIETHÖLTER, S. Efeito da aplicação de calcário na superfície do solo sobre fatores de acidez em campo natural. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26, 1997 Rio de Janeiro. **Resumos...** Viçosa: UFV, SBCS, 1997. (CD-ROM).
- BLACK, C. A. **Soil plant relationships**. 2. ed. New York: John Wiley, 1968. 792p.

- BLEVINS, R. L., THOMAS, G. W., CORNELIUS, P. L. Influence of no-tillage, and nitrogen fertilization on certain soil properties after 5 years of continuous corn. **Agron. J.**, v. 60, p. 383-6, 1977.
- BLEVINS, R. L., MURDOCK, L. W., THOMAS, G. W. Effect of lime application on no-tillage and conventionally tilled corn. **Agron. J.**, v. 70, p. 322-6, 1978.
- BLEVINS, R. L., SMITH, M. S., THOMAS, G. W., BLEVINS, R. L., SMITH, M. S., THOMAS, G. W. Influence of soil tillage on soil properties. **J. of Soil and Water Conservation**, v. 38, p. 301-5, 1983.
- BORGES, E. N., NOVAIS, R. F., REGAZZI, A. J., FERNANDES, B., BARROS, N. F. Respostas de variedades de soja à compactação de camadas de solo. **Rev. Ceres**, v. 35, p. 553-68, 1988.
- BRAGA, J. M., DEFELIPO, B. V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extrator de solo e material vegetal. **R. Ceres**, v. 21, p. 73-85, 1974.
- BÜLL, L. T. Nutrição mineral do milho In: BÜLL, L. T., CANTARELLA, H. **Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: POTAFOS, 1993. p. 63-145.
- CAIRES, E. F., FIGUEIREDO, A., FONSECA, A. F. Efeito residual da aplicação de calcário e gesso na superfície em sistema de plantio direto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26, 1997, Rio de Janeiro. **Resumos...** Viçosa: UFV, SBCS, 1997a. (CD-ROM).
- CAIRES, E. F., WEIRICH NETO, P. H., JUSTINO, A., DIAS, J. Eficiência de métodos de incorporação de calcário na correção da acidez do solo e resposta do milho cultivado em campo nativo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26, 1997, Rio de Janeiro. **Resumos...** Viçosa: UFV, SBCS, 1997b. (CD-ROM).
- 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. **Rev. Bras. Ci. Solo**, v. 22, p. 27-34, 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. **Rev. Bras. Ci. Solo**, v. 23, p. 315-327, 1999.
- CANALLI, L. B., ROLOFF, G. Influência do preparo e da correção do solo na condição hídrica de um Latossolo Vermelho-Escuro sob plantio direto. **Rev. Bras. Ci. Solo**, v. 21, p. 99-104, 1997.

- CANTARELLA, H. Calagem e adubação do milho. In: BÜLL, L. T., CANTARELLA, H. **Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: POTAFOS, 1993. p. 147-96.
- CARVALHO, T. A. A., MEUMER, E. J. Aplicação de calcário a lanço e em linhas para o cultivo de soja. **Rev. Bras. Ci. Solo**, v. 4, p. 170-3, 1980.
- CASSIOLATO, M. E., MEDA, A. R., PAVAN, M. A., MIYAZAWA, M. Dinâmica de íons no solo manejado com resíduos vegetais. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 23; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 7; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 5; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 2, 1998, Caxambu. **Resumos...** Lavras: ESAL, SBCS, 1998. p. 371.
- CASSOL, L. C., ANGHINONI, I., MIELNICZUK, J. Características químicas do solo após a reaplicação de calcário, com e sem incorporação, em sistemas de preparo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25, 1995, Viçosa. **Anais...** Viçosa: UFV, SBCS, 1995. p. 1106.
- CENTURION, J. F., DEMATTÉ, J. L. I., FERNANDES, F. M. Efeitos de sistemas de preparo nas propriedades químicas de um solo sob cerrado cultivado com soja. **Rev. Bras. Ci. Solo**, v. 9, p. 267-70, 1985.
- COMISSÃO DE FERTILIZANTES DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**; 4ª aproximação. Lavras: 1989. 176p.
- CORRÊA, J. B. **Associação calcário/gesso na melhoria das condições químicas do solo para cafeeiros (*Coffea arabica* L.) em crescimento**. Lavras: ESAL, 1992. 104p. Dissertação (Mestrado em Solo e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura de Lavras, 1992.
- DEDECEK, R. A., PEREIRA, J., IKE, M., IWATA, F. Efeito de profundidade de aração inicial, modos de adubação corretiva e sistemas de preparo do solo na produção de soja em solo de cerrados. **Rev. Bras. Ci. Solo**, v. 10, p. 173-80, 1986.
- DEFELIPO, B. V., RIBEIRO, A. C. **Análise química do solo**. Viçosa: UFV, 1981. 17p. (Boletim de Extensão, 29).
- DIAS, L. E., FERREIRA, F. A., RIBEIRO, A. C., COSTA, L. M. Movimento de cálcio em colunas de solo tratado com carbonato e sulfato de cálcio. **Rev. Ceres**, v. 31, p. 407-14, 1984.
- EDMEADES, D. C., BLAMEY, F. P. C., FARINA, M. P. W. Techniques for assessing plant responses on acid soils. In: DATE (Eds.). **Plant-soil interactions at low pH: principles and management**. Dordrecht: 1995. p. 221-33.

- ERNANI, P. R., NASCIMENTO, J. A., FREITAS, E. G., OLIVEIRA, L. C. O milho não precisa de pH muito elevado em solos que tenham bastante matéria orgânica, mesmo possuindo alumínio trocável alto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25, 1995. **Anais...** Viçosa: UFV, SBCS, 1995. p. 1059.
- ERNANI, P. R., NASCIMENTO, J. A. L., OLIVEIRA, L. C. Increase of grain and green matter of corn by liming. **Rev. Bras. Ci. Solo**, v. 22, p. 275-80, 1998.
- EVANS, C. E., KAMPRATH, E. J. Lime response as related to percent Al saturation, solution Al, and organic matter content. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.**, v. 34, 893-6. 1970.
- FAWZY. H., OVERSTREET, R., JACOBSON, L. Influence of hydrogen in concentration on cation absorption by barley roots. **Plant Physiology**, v. 29, p. 239-47, 1954.
- FLORES, J. P., KAMINSKI, J., GATIBONI, L. C., PELLEGINI, J. B. R., RHEINHEIMER, D. S. Doses de calcário e sistemas de incorporação ao início de plantio direto em campo nativo – Ano III. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 23; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 7; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 5; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 2, 1998, Caxambu. **Resumos...** Lavras: ESAL, SBCS, 1998. p. 625.
- FOY, D. C. Effects of aluminum on plant growth. In: CARSON, E. W. **The plant root and its environment**. Charlottesville: University Press of Virginia, 1974. p. 601-642.
- FREITAS, P. L. O sistema de plantio direto e a sustentabilidade na agricultura. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p. 25, 1999. (Boletim Informativo).
- GASSEN, D. N., GASSEN, F. R. **Plantio direto: o caminho para o futuro**. Passo Fundo: Aldeia Sul, 1996. 207p.
- GIONGO, V., BISSANI, C., MIELNICZUK, J., SALET, R. L. Correção da acidez pela aplicação superficial de calcário e gesso em sistema plantio direto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26, 1997, Rio de Janeiro. **Resumos...** Viçosa: UFV, SBCS, 1997. (CD-ROM).
- HARGROVE, W. L., REID, J. T., TOUCHTON, J. T., GALLAHER, R. N. Influence of tillage practices on the fertility status of and acid soil double – cropped to wheat and soybeans. **Agron. J.**, v. 74, p. 684-7, 1982.

- HOLANDA, F. S. R., MENGEL, D. B., BERTON, J. C., CARVALHO, J. G. Matéria orgânica e pH no solo cultivado com milho e milho-soja, em diferentes sistemas de manejo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 12, 1998, Fortaleza. **Resumos expandidos...** Fortaleza: UFC, SBCS, 1998. p.374.
- HOWARD, D. D., ADAMS, F. Calcium requirement for penetration of subsoils by primary cotton roots. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.**, v. 29, p. 558-62, 1965.
- HUE, N. V., GRADOCK, G. R., ADAMS, F. Effect of organic and acids on aluminum toxicity in subsoils. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 50, p. 28-35, 1985.
- JACOBSON, L., MOORE, D. P., HANN APEL, R. J. Role of calcium in absorption of monovalent cations. **Plant Physiology**, v. 35, p. 352-8, 1960.
- JONES JUNIOR., J. B., WOLF, B., MILLS, H. A. **Plant analysis handbook – a practical sampling, preparation, analysis, and interpretation guide.** Georgia: Micro-Macro, 1991. 213p.
- KAUFFMAN, M. D., GARDNER, E. H. Segmental liming of soil and its effect on the growth of wheat. **Agron. J.**, v. 70, p. 331-6, 1978.
- LAL, R. No-tillage effects on soil properties under different crops in Western Nigeria. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 40, p. 762-8, 1976.
- LIND, C. J., HEN, J. D. Effects of organic solutes on chemical reactions of aluminum. In: LIND, C. J., HEN, J. D. **United States Geological Survey Water Supply. Paper C.** Washington, United States Government, 1975. 83p.
- MACHADO, P. L. O. A. **Considerações gerais sobre a toxicidade do alumínio nas plantas.** Rio de Janeiro: EMBRAPA; CNPS, 1997. 22p.
- MALAVOLTA, E., VITTI, G. C., OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações.** Piracicaba: POTAFOS, 1989. 201p.
- MARSCHNER, H. Mechanisms of adaptation of plants to a soil. **Plant Soil**, v. 134, p. 1-20, 1991.
- MERTEN, G. H., MIELNICZUK, J. Distribuição do sistema radicular e dos nutrientes em Latossolo Roxo sob dois sistemas de preparo do solo. **Rev. Bras. Ci. Solo**, v. 15, p. 369-74, 1991.
- MIELNICZUK, J., BURLE, M. L., FERNANDES, S. V., BAYER, C., AMADO, T. J. C. Eficiência da aplicação de calcário em sistemas de cultura e preparos de solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25, 1995, Viçosa. **Anais...** Viçosa: UFV, SBCS, 1995. p. 1848-50.

- MUNSON, R. D. **Potassium, calcium and magnesium in the tropics and subtropics**. New York: IFDC, 1982. 62 p. (Technical bulletin T, 23).
- MUZILLI, O. Influência do sistema de plantio direto, comparado ao convencional, sobre a fertilidade da camada arável do solo. **Rev. Bras. Ci. Solo**, v. 7, p. 95-102, 1983.
- OLIVEIRA, E. L., PAVAN, M. A. Redução da acidez do solo pelo uso de calcário e gesso e resposta da soja cultivada em plantio direto. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 21, 1994, Petrolina. **Anais... Petrolina**: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo; EMBRAPA; CPATSA, 1994. p.178.
- PAIVA, P. J. R., VALE, F. R., FURTINI NETO, A. E., FAQUIN, V. Acidificação de um Latossolo Roxo do estado do Paraná sob diferentes sistemas de manejo. **Rev. Bras. Ci. Solo**, v. 20, p. 71-5, 1996.
- PAULETTI, V., VIEIRA, S. M., SANTOS, A. F., OLIVEIRA, S. O., MOTTA, A. C. V. Avaliação da fertilidade do solo em profundidade e da palhada em áreas sob plantio direto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25, 1995, Viçosa. **Anais... Viçosa**: UFV, SBCS, 1995. p. 630.
- PAVAN, M. A., BINGHAN, F. T., PRATT, P. F. Redistribution of exchangeable calcium, magnesium, aluminum following lime or gypsum applications to a Brazilian Oxisol. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 48, p. 33-8, 1984.
- PAVAN, M.A. Fertilidade do solo em plantio direto. In: ENCONTRO NACIONAL DE PLANTIO DIRETO, 3, 1985, Ponta Grossa. **Anais... Ponta Grossa**: Fundação ABC, 1985. p. 67-74.
- PAVAN, M. A. Movimentação de calcário no solo através de técnicas de manejo da cobertura vegetal em pomares de macieira. **Rev. Bras. Frutic.**, v. 16, p. 86-91, 1994.
- PORTELA, M. C. L. S. **Necessidade de calagem para as culturas do feijão e milho, em consórcio, em solos da microrregião Mata de Viçosa, Minas Gerais**. Viçosa: UFV, 1984. 68p. Dissertação (Mestrado e Solo e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, 1984.
- PÖTTKER, D., DERNARDIN, J. E., BEM, J. R., KOCHHANN, R. A. Efeito da aplicação de calcário sobre pastagem natural no rendimento de grãos de soja e de trigo cultivados no sistema plantio direto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25, 1995, Viçosa. **Anais... Viçosa**: UFV, SBCS, 1995. p. 1111-3.
- RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Agronômica. Ceres, 1991. 343p.
- RAMOS, M., DEDECEK, R. A. Efeitos de sistemas de preparo do solo na produção de soja. **Pesq. Agropec. Bras.**, v. 14, p. 149-53, 1979.

- RITCHEY, K D., SILVA, J. E., COSTA, U. F. Calcium deficiency in clayey B horizons of savan oxisols. **Soil Sci.**, v. 133, p. 378-82, 1982.
- RODRIGUES, L. A. **Crescimento e composição mineral na parte aérea e nas raízes de duas variedades de café em resposta à calagem na subsuperfície do solo.** Viçosa: UFV, 1997. 89p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 1997.
- SÁ, J. C. M. Manejo da fertilidade do solo no plantio direto. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE PLANTIO DIRETO EM SISTEMAS SUSTENTÁVEIS, 1993, Castro. **Anais...** Ponta Grossa: Fundação ABC, 1993a. p. 76-104.
- SÁ, J. C. M. **Manejo da fertilidade do solo no plantio direto.** Castro: Fundação ABC, 1993b. 96p.
- SÁ, J. C. M., PETRERE, C., ROLOFF, G. Avaliação do sistema radicular do milho em solos sob plantio direto na região dos campos gerais, centro-sul do Paraná. In: SEMINÁRIO SOBRE A CULTURA DO MILHO SAFRINHA, 2, 1994, Assis. **Resumos...** Assis: IAC, 1994. p. 15-20.
- SÁ, J. C. M. Plantio direto: a alternativa de manejo do solo em regiões tropicais. In: FT-PESQUISA E SEMENTES. **Recomendações de cultivo 1995.** Ponta Grossa: 1995a. p. 5-14.
- SÁ, J. C. M. Efeito de métodos de calagem em um LEa argiloso sob longo período em plantio direto com elevada acidez. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25, 1995, Viçosa. **Anais...** Viçosa: UFV, SBCS, 1995b. p. 1108-10.
- SANCHEZ, P. A., SALINAS, J. G. Low-input technology for manazing oxisols and ultisols in Tropical America. **Adv. Agron.**, v. 34, p. 279-405, 1981.
- SANTOS, H. P., TOMM, G. O., LHAMBY, J. C. B. Plantio direto *versus* convencional: efeito na fertilidade do solo e no rendimento de grãos de culturas em rotação com cevada. **Rev. Bras. Ci. Solo**, v. 19, p. 449-54, 1995.
- SANTOS, H. P., SIQUEIRA, O. J. W. Plantio direto e rotação de culturas para cevada: efeitos sobre a fertilidade do solo. **Rev. Bras. Ci. Solo**, v. 20, p. 163-9, 1996.
- SCHULTZ, L. A. **Manual do plantio direto: técnicas e perspectivas.** 2. ed. Porto Alegre: SAGRA, 1987. 124p.
- SCOTT, B. J., CONYERS, M. K., POILE, G. J., CULLIS, B. R. Subsurface acidity and liming affect yield of cereals. **Aust. J. Agric. Res.**, v. 48, p. 843-54, 1997.

- SHEAR, G. M., MOSCHLER, W. W. Continuous corn by the no-tillage and conventional tilled methods: a six-year comparison. **Agron. J.**, v. 61, p. 524-6, 1969.
- SHNEIDER, S. Aspectos práticos e demandas sobre a fertilidade do solo sob plantio direto. In: CURSO SOBRE ASPECTOS BÁSICOS DE FERTILIDADE E MICROBIOLOGIA DO SOLO NO SISTEMA PLANTIO DIRETO, Passo Fundo. **Resumos...** de palestras. Passo Fundo: Aldeia Norte, 1997. p. 56-103.
- SIDIRAS, N., PAVAN, M. A. Influência do sistema de manejo do solo no seu nível de fertilidade. **Rev. Bras. Ci. Solo**, v. 9, p. 249-54, 1985.
- SILVA, J. B. C., NOVAIS, R. F., SEDIYAMA, C. S. Identificação de genótipos de sorgo tolerantes à toxicidade de alumínio. **Rev. Bras. Ci. Solo**, v. 7, p. 77-83, 1984a.
- SILVA, J. B. C., NOVAIS, R. F., SEDIYAMA, C. S. Comportamento de genótipos de soja com alta saturação de alumínio. **Pesq. Agrop. Bras.**, v. 19, p. 287-98, 1984b.
- SILVA, A. B. **Caracterização dos principais solos do agreste de Pernambuco e o efeito do manejo de um Regossolo eutrófico sobre a erosão e produtividade de milho e feijão.** Viçosa: UFV, 1986. 108p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, 1986.
- SIQUEIRA, N. S. **Influência de sistemas de preparo sobre algumas propriedades químicas e físicas do solo e sobre a cultura do milho (*Zea mays* L.).** Viçosa: UFV, 1995. 78p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 1995.
- STOLF, R. Cultivo mínimo para cana-de-açúcar. In: TORRADO, P. V., ALOISI, R.R. **Plantio direto no Brasil.** Campinas: Fundação Cargil, 1984. p. 113-24.
- THOMAS, G. W. The relationship between organic matter content and exchangeable aluminum in acid soil. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.**, v. 39, p. 591, 1975.
- VALLEJOS MERNES, F. J. **Influência de sistemas de preparo em algumas propriedades químicas e físicas de um Podzólico Vermelho-Amarelo Câmbico, argiloso, e na cultura do trigo (*Triticum aestivum* L.).** Viçosa: UFV, 1998. 81p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 1998.

- VERNETTI JÚNIOR, F., GOMES, A. S., SILVEIRA, L. D. N., GONÇALVES, G. K. Efeito de formas de aplicação e de doses de calcário, sob o rendimento de grãos de soja. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 23; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 7; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 5; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 2, 1998, Caxambu. **Resumos...** Lavras: ESAL, SBCS, 1998. p. 285.
- VOSS, M., PÖTTKER, D., BELLAVER, J. F. Resposta da soja à aplicação de molibdênio em plantio direto com correção da acidez em superfície. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 23; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 7; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 5; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 2, 1998, Caxambu. **Resumos...** Lavras: ESAL, SBCS, 1998. p. 374.
- WAGNER, E. Desenvolvimento da região dos cerrados. In: GOEDERT, W. J. (Ed.). **Solos dos cerrados**; tecnologia e estratégia de manejo. São Paulo: NOBEL; BRASÍLIA: EMBRAPA. 1987. p. 19-31.
- WOLF, J. M. Soil water relation in oxisols of Puerto Rico and Brazil. In: BORNEMISZA, E., ALVARADO, A. **Soil management in tropical america**. Raleigh: N.C.S.U., 1975. p. 145-54.