

JOÃO BATISTA CORRÊA

ASSOCIAÇÃO CALCÁRIO/GESSO NA MELHORIA DAS
CONDIÇÕES QUÍMICAS DO SOLO PARA CAFEEIROS
(Coffea arábica L.) EM CRESCIMENTO

Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura de Lavras, como parte das exigências do curso de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do grau de "MESTRE.

ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA DE LAVRAS
LAVRAS - MINAS GERAIS

1992

AGRADECIMENTOS

A Escola Superior de Agricultura de Lavras-ESAL, especialmente ao Departamento de Ciência do Solo, pelo acolhimento e pela oportunidade de realizar o presente curso.

À Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais-EPAMIG e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais- FAPEMIG, pelo apoio na execução da pesquisa.

Ao Dr. Paulo Tácito Gontijo Guimarães, Prof. Geraldo A. de Aquino Guedes e Prof. Mozart Martins Ferreira, pela eficiente orientação, apoio, amizade e estímulo no decorrer do curso.

Aos professores Rubens Dely Veiga, Janice Guedes de Carvalho, Valdemar Faquin, José Oswaldo de Siqueira, Marco Aurélio V. Ribeiro e Hércio Andrade, pela amizade.

*A **DEUS**,
pela companhia a **todo** momento;*

*Ao **ESPÍRITO SANTO**, por iluminar-me
nas horas difíceis;*

*Aos meus Pais, **Maçiel** e **Maria**; pelo amor
e compreensão;*

*A minha esposa **Dorinha**, companheira de
sempre, pelo amor, carinho, apoio e
incentivo;*

*Aos meus queridos filhos **Cristiane** e
Marcelo, motivo de minha luta pela
vida - A todos, com muita **Gratidão**
E Amor.*

DEDICO

Aos *laboratoristas* João, Delane, Carlinhos, Humberto, Ana, Adalberto, Manoel, Elaise e Jairo; às *secretárias* da ESAL Vera, Cida; Rozane e Josélia da EPAMIG; aos *funcionários* Josh Roberto, Zé Arcângelo, Daniel, Rogério e Bosco do DCS e Luiz da Biblioteca, pelos *serviços prestados e amizade*.

Especialmente aos *professores* Vicente Gualberto, Nilton Curi, Luiz Roberto Guimarães Guilherme, Fabiano Ribeiro do Vale, do Departamento de Ciência do Solo da ESAL, Antônio Nazareno G. Mendes, pesquisador da Empresa de Pesquisa Agropecuária do Estado de Minas Gerais (EPAMIG), e Cássia Terra pela *valiosa* colaboração.

A todos os demais *que direta ou indiretamente contribuíram para a realização* deste trabalho.

BIOGRAFIA DO AUTOR

JOÃO BATISTA CORRÊA, filho de Maciel Corrêa da Costa e Maria do Carmo Pereira, nasceu em Lavras, Estado de Minas Gerais , aos 02 dias de junho de 1946.

Concluiu os estudos secundários em 1972 no Colégio Estadual Dr. João Batista Hermeto, de Lavras.

Em janeiro de 1973 ingressou no curso de Agronomia da Escola Superior de Agricultura de Lavras, graduando-se em dezembro de 1976.

Ingressou em fevereiro de 1977, no Instituto Brasileiro do Café e, em junho de 1987, foi transferido para a Escola Superior de Agricultura de Lavras.

Em fevereiro de 1989 iniciou o curso de Mestrado em Agronomia, área de concentração em Solos e Nutrição de Plantas da Escola Superior de Agricultura de Lavras, defendendo dissertação em agosto de 1992.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	01
2. REVISÃO DE LITERATURA	04
2.1. Considerações Gerais	04
2.2. Melhoria das Condições Químicas do Solo em Profundidade	08
2.3. Uso do Gesso na Correção Subsuperficial do Solo	17
2.4. Considerações Finais	22
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	25
3.1. Análise do Solo	28
3.1.1. Amostragem	28
3.1.2. Determinações	28
3.2. Análise Foliar	29
3.2.1. Amostragem	29
3.2.2. Determinações	29

3.3.	Dados Fenológicos das Plantas.....	30
3.4.	Análise Estatística.....	30
4 .	RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
4.1.	Análise do Solo	31
4.1.1.	pH em Água	31
4.1.2.	Saturação por Bases	32
4.1.3.	S-SO²⁻₄ no perfil do Solo	38
4.1.4.	Movimentação das Bases no perfil do Solo.....	42
4.1.4.1.	Cálcio Trocável	42
4.1.4.2.	Magnésio Trocável	43
4.1.4.3.	Potássio Disponível.....	49
4.1.5.	Saturação por Alumínio e Alumínio Trocável no perfil do Solo	50
4.2.	Correlações entre os teores de Ca , Mg e S no so- lo e na folha do cafeeiro.....	59
4.3.	Diâmetro do caule, diâmetro de copa, número de internódios e altura da planta	60
4.4.	Relações de nutrientes na folha do cafeeiro.....	61
4.4.1.	Relação Ca/Mg na folha do cafeeiro.....	62
4.4.2.	Relação Ca/K na folha do cafeeiro.....	63
4.4.3.	Relação Mg/K na folha do cafeeiro.....	63
4.4.4.	Relação P/S na folha do cafeeiro.....	66

5 . CONCLUSÕES	68
6 . SUGESTÕES	69
7 . RESUMO	70
8 . SUMMARY	72
9 . REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	74
APÊNDICE	93

LISTA DE QUADROS

Quadro		Página
1	Caracterização químicas e físicas do LR nas camadas de 0 a 20, 20 a 40, 40 a 60, 60 a 80 cm de profundidade (antes da calagem e gessagem) e análise de calcário e gesso agrícola.....	26
2	Resumo da análise de variância para pH em água no solo em função de aplicações de calcário e de gesso nas diferentes profundidades (P) e épocas de amostragens.....	33

Quadro

Página

3	Resumo da análise de variância para índice de saturação por base (V%) no solo em função de aplicações de calcário e de gesso nas diferentes profundidades (P) e épocas de amostragens	36
4	Resumo da análise de variância para enxofre trocável no solo em função de aplicações de calcário e de gesso nas diferentes profundidades (P) e épocas de amostragens	40
5	Resumo da análise de variância para cálcio trocável no solo em função de aplicações de calcário e de gesso nas diferentes profundidades (P) e épocas de amostragens	44
6	Resumo da análise de variância para magnésio trocável no solo em função de aplicações de calcário e de gesso nas diferentes profundidades (P) e épocas de amostragens	41

Quadro		Página
7	Resumo da análise de variância para potássio disponível no solo em função de aplicações de calcário e de gesso nas diferentes profundidades (P) e épocas de amostragens.....	51
8	Resumo da análise de variância para saturação por alumínio (m%) no solo em função de aplicações de calcário e de gesso nas diferentes profundidades (P) e épocas de amostragens.....	55
9	Resumo da análise de variância para alumínio trocável no solo em função de aplicações de calcário e de gesso nas diferentes profundidades (P) e épocas de amostragens.....	56
10	Coeficientes de correlação entre teor de Ca, Mg e S no solo e na folha do cafeeiro em função das doses de calcário, gesso e calcário e gesso associados (E ₄ de amostragem de solo na profundidade 40 a 60 cm e época E ₂ de amostragem de folhas).....	60

Quadro	Página
11 Resumo de análise de variância para diâmetro de caule, de copa, número de internódios e altura de planta em função de aplicações de calcário e gesso.....	62

LISTA DAS FIGURAS

Figuras		Página
1	Valores de pH em água em função de doses de calcário e gesso em diferentes profundidades e épocas de amostragens (GO G1 G2 G3)...	34
2	Valores de saturação por base (V%) em função de doses de calcário e gesso, em diferentes profundidades e épocas de amostragens (GO G1 G2 G3)	37
3	Teores de $S-SO_4^{2-}$ (ppm) no solo em função de doses de calcário e gesso, em diferentes profundidades e épocas de amostragens (GO G1 G2 G3)	41

Figura

Página

4 Teores de Ca trocável (meq./100cm⁻³) no solo em função de doses de calcário e gesso, em diferentes profundidades e épocas de amostragens (GO G1 G2 G3) 45

5 Teores de Mg trocável (meq/100 cm⁻³) no solo em função de doses de calcário e gesso, em diferentes profundidades e épocas de amostragens (GO G1 G2 G3) 48

6 Teores de K disponível (ppm) no solo em função de doses de calcário e gesso, em diferentes profundidades e épocas de amostragens (GO G1 G2 G3) 52

7 Valores de saturação por alumínio (m%) no solo em função de doses de calcário e gesso em diferentes profundidades e épocas de amostragens (GO G1 G2 G3) 57

Figura		Página
8	Teores de alumínio trocável (meq/100cm ³) no solo em função de doses de calcário e gesso em diferentes profundidades e éFocas de amostragens (G0 G1 G2 G3)	58
9	Relação Ca/Mg nas folhas em função das doses (C0, C1 e C2) de calcário, quando considerada a relação ideal para o cafeeiro, (média de 4 repetições).....	64
10	Relação Ca/K nas folhas em função das doses (G0, G1, G2 e G3) de gesso, quando considerada a relação ideal para o cafeeiro (média de 4 repetições)	64
11	Relação Ca/K nas folhas em função das doses (C0, C1 e C2) de calcário, quando considerada a relação ideal para o cafeeiro (média de 4 repetições).....	65

Figura		Página
12	Relação Mg/K nas folhas, em função das doses (C0, C1 e C2) de calcário, quando considerada a relação ideal para o cafeeiro (média de 4 repetições).....	65
13	Relação P/S nas folhas, em função das doses (C0, C1 e C2) de calcários, quando considerada a relação ideal para o cafeeiro, (média de 4 repetições).....	67
14	Relação P/S nas folhas, em função das doses (G0, G1, G2 e G3) de gesso, quando considerada a relação ideal para cafeeiro, (média de 4 repetições).....	67

1. INTRODUÇÃO

O Brasil tem sido, por muitas décadas, o principal produtor mundial de café. Esta posição, entretanto, vem sendo ameaçada por dois importantes fatores: o declínio da fertilidade do solo devido às práticas agrícolas tradicionais e às melhorias no manejo da cultura verificada em outros países, que proporcionaram aumento de sua produtividade. Neste contexto, torna-se necessário a adoção de novas técnicas a fim de que o Brasil possa manter posição de destaque em termos de mercado mundial (I.B.C., 1985).

A cafeicultura em Minas Gerais, como em quase todo o País, está implantada, em sua maior parte, em solos caracterizados pela baixa fertilidade natural, baixa saturação de bases, alta saturação de alumínio, elevada acidez e baixa reserva de minerais primários facilmente intemperizáveis, fonte natural de nutrientes (I.B.C., 1985).

A baixa produtividade e as baixas respostas aos corretivos e fertilizantes podem, de uma maneira geral, além do citado anteriormente, serem atribuídas à alta saturação de alumínio e/ou aos baixos teores de Ca^{2+} ao longo do perfil. Estas condições das camadas subsuperficiais limitam o desenvolvimento do sistema radicular das plantas, tornando-as menos resistentes às condições de deficiência a nutrientes e água, em função do menor volume de solo explorado pelas raízes, afetando também a absorção e transportes de nutrientes, tais como o fósforo, cálcio, magnésio, potássio (LOPES, 1984).

Há muito é conhecido o efeito benéfico da correção da acidez e suprimento de cálcio e magnésio nas camadas superficiais, via calagem. Entretanto, a incorporação de corretivos a maiores profundidades é, por motivos técnico-econômicos, extremamente difícil. No caso específico do cafeeiro, uma cultura perene, a única ocasião com possibilidade real de uma incorporação de calcário a maiores profundidades, via aração e gradagem, acontece por ocasião da implantação da lavoura, pois, após a mesma, poderá haver danos irreparáveis ao sistema radicular da planta.

Nos últimos anos, o uso do gesso agrícola tem despertado bastante interesse, não só como fonte de cálcio e enxofre para as plantas, como também para reduzir os efeitos da acidez do solo na subsuperfície, onde a incorporação de calcário é difícil. Porém, pouco ainda se sabe a cerca das doses de gesso a serem recomendadas para os diferentes solos e culturas, principalmente

em função da complexidade de fontes de acidez nas camadas subsuperficiais, tendo-se com isso resultados bastante inesperados.

Todavia, é importante salientar que apesar de não apresentar poder de correção da acidez do solo, o gesso promove, devido à alta mobilidade do ion sulfato (SO_4^{2-}), aumento dos teores de cálcio em subsolos ácidos, com conseqüente redução da saturação por alumínio, condicionando um ambiente favorável a um melhor desenvolvimento do sistema radicular, reduzindo-se assim o risco de déficit hídrico para as plantas.

Em face do exposto, o presente trabalho teve como objetivo estudar os efeitos da combinação calcário/gesso como melhorador das condições químicas subsuperficiais do solo e seus efeitos na nutrição e crescimento do cafeeiro.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Considerações Gerais

A grande maioria dos **solos** cultivados no Brasil se caracteriza quimicamente pela baixa fertilidade natural, baixa saturação de bases, altos teores de alumínio trocável e elevada acidez.

Estas características têm limitado em muito, a produtividade das culturas. Além das características químicas na superfície, a alta saturação de alumínio e **os** baixos teores de cálcio trocável em profundidade no perfil de muitos **solos** limitam, de forma marcante, **o** desenvolvimento do sistema radicular das plantas, afetando a absorção tanto de água quanto de nutrientes (**LOPES, 1984**).

É importante ressaltar que a acidez do **solo** "per **si**", representada pelo valor do pH, só afeta diretamente **o** crescimento vegetal **a** valores inferiores a 4,2, onde a elevada concentração

de hidrogênio interfere na absorção de cátions pelas raízes (BLACK, 1967). Neste contexto, a causa da baixa fertilidade dos solos ácidos é devida aos baixos valores de pH, à baixa disponibilidade de elementos essenciais e à disponibilidade de elementos não essenciais ou tóxicos às plantas, dentre os quais destaca-se o alumínio, principal componente da acidez (MALAVOLTA, 1980; KAMPRATH, 1977). Segundo RAIJ (1981), à medida que o pH diminui, eleva-se consideravelmente a saturação por alumínio, observando-se uma queda no rendimento máximo das culturas, (ABRUNĂ et alii, 1964 e SANCHEZ, 1981).

Há muito é conhecido o efeito altamente benéfico da calagem na correção das camadas superficiais dos solos. Esta prática visa, dentre outros benefícios, o aumento do pH, com todas as consequências químicas inerentes, a um nível tal que permita um melhor aproveitamento da maioria dos nutrientes, além do fornecimento de cálcio e magnésio para as plantas.

Outros grandes benefícios decorrentes da calagem, em função do aumento do pH, são: as significativas reduções do processo de adsorção de ânions, principalmente fosfato e sulfato (COLEMAN e THOMAS, 1967 e NEPTUNE et alii, 1975); o aumento do efeito do fósforo na produção de diversas culturas em solos ácidos sob cerrado, tais como o feijoeiro (MASCARENHAS et alii, 1967 e MIYASAKA et alii, 1964), a forrageira *Brachiaria decumbens* (EMBRAPA, 1987), a cultura do trigo, o milho (EMBRAPA, 1978), etc.

Além do efeito altamente benéfico da calagem superficial dos solos, é também conhecida a importância da incorporação do calcário em profundidade visando aumentar o crescimento radicular e, conseqüentemente, a absorção de nutrientes e água pelas plantas (GONZALES - ERICO et alii, 1979).

Alguns estudos têm confirmado a possibilidade da movimentação de cálcio e magnésio em profundidade no solo, após a incorporação de calcário nas profundidades convencionais. Em trabalho em um Andossolo (Oxic dystrandept) da Costa Rica foi observada por MORELLI et alii (1971), uma diminuição significativa da acidez trocável em profundidade devido a uma considerável lixiviação de cálcio, evidenciada pelo aumento da concentração deste nutriente até a profundidade de 80 cm. Esta observação foi constatada após 4 anos da aplicação de várias doses de calcário, sendo o efeito mais pronunciado naquelas mais elevadas (7,56; 15,6 e 30,2 t/ha).

GONZALEZ-ERICO et alii (1979) constataram, em um Latossolo Vermelho Escuro no Brasil, uma acentuada movimentação de cálcio até 45 cm de profundidade, sete anos após a aplicação de 10 t/ha de calcário. QUAGGIO et alii (1981) trabalhando em um Latossolo Roxo, chegaram a conclusão 30 meses após a aplicação da dose mais elevada (12 t/ha), que somente dois terços do calcário aplicado tinha reagido com o solo e observaram um ligeiro aumento nos teores de cálcio, até a profundidade de 40 a 60 cm no perfil. Resultados semelhantes foram encontrados em um Latossolo Roxo,

com a cultura do cafeeiro no Paraná, até a profundidades de 60 a 100 cm no perfil (PAVAN & IGUE, 1976). É importante ressaltar que os resultados anteriores foram observados a médio e a longo prazo, além do que a movimentação foi mais acentuada quando se aplicaram doses de calcário mais elevadas sob intensos regimes pluviométricos.

A pouca efetividade de lixiviação do calcário aplicado, além do tipo de reação proporcionada, se dá em função da baixa taxa de dissolução, principalmente das partículas maiores dos carbonatos de cálcio e magnésio (RITCHEY et alii, 1982). A solubilidade do CaCO_3 , principal componente químico dos calcários agrícolas, é de apenas 0,0014% (WEIR, 1974) e, neste contexto, a granulometria do calcário se torna 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.

Segundo ALVES & LOPES (1981), a utilização de calcários de granulometria mais fina < 200 meshes apresentou uma maior movimentação vertical destes, possivelmente pelo arrastamento de partículas não dissociadas. Segundo os autores, a aplicação de calcários micropulverizados reduziu a saturação por alumínio da camada de 20 a 40 cm, em quantidades inferiores às esperadas.

2.2. Melhoria das Condições Químicas do Solo em Profundidade

Como visto, a baixa produtividade e/ou resposta das culturas pode, na grande maioria dos casos, ser atribuída às condições de acidez caracterizada pela alta saturação de alumínio troçável ou aos baixos teores de cálcio ao longo do perfil do solo. Estas características das camadas subsuperficiais limitam o desenvolvimento do sistema radicular das plantas, tornando-as susceptíveis à deficiência de água e nutrientes, pela menor absorção e transporte dos mesmos, além de determinar uma maior fixação de fósforo, um elemento essencial no solo (RAIJ, 1988).

Uma vez que a camada arável do solo pode ser facilmente corrigida via calagem, certas características das camadas mais profundas de solos ácidos, tais como o alumínio em concentrações tóxicas para a maioria das plantas e a baixa saturação por cálcio, passam a ser de fundamental importância para o desenvolvimento das plantas. Porém, a incorporação de calcários a maiores profundidades é muito difícil devido a necessidade do uso de equipamentos especiais e ao alto custo de energia, inviáveis sob o prisma técnico-econômico (EMBRAPA, 1981), como também por provocar, através do tempo, sérios danos às Características físicas do solo, devido à compactação, por exemplo.

O problema do não desenvolvimento em profundidade do sistema radicular das plantas, agrava-se nos solos das regiões dos cerrados, caracterizados, muitas vezes, pela baixa capacidade

de retenção de água e pelo alto potencial de evapotranspiração característico destas regiões. Nestas áreas **são** comuns o longo período de estiagem, denominado veranico, que chega muitas das vezes a atingir duas semanas sem chuvas, e que pode coincidir com épocas críticas de exigências de água pelas culturas anuais, condicionando-as a sérios danos. É importante ressaltar que períodos de oito a dez dias sem chuvas na estação das águas **são** suficientes para secar o solo até 40 a 60cm de profundidade não permitindo a absorção normal de água pelas culturas (WOLF, 1975).

O alumínio interfere diretamente no metabolismo das plantas inibindo a divisão celular, reduz a respiração, interfere em certas enzimas que governam a deposição de polissacarídeos na parede celular, diminui a absorção, o transporte e a utilização de água e nutrientes, inibe o crescimento do sistema radicular e precipita ácidos nucléicos com conseqüente redução no crescimento tanto das raízes quanto da parte aérea (CLARKSON, 1965; FOY, 1974 e FOY et alii, 1978). A proteção das raízes contra o efeito prejudicial de espécies monoméricas específicas de alumínio, de maneira semelhante ao efeito protetor do cálcio contra as injúrias do H^+ , pode ser conseguida pelo aumento do teor de cálcio na solução do solo, devido ao fato de que altos teores de cálcio evitam a entrada do alumínio na constituição do plasmalema das células das raízes, mantendo assim sua permeabilidade (FAWZY et alii, 1954 e JACOBSON et alii, 1960).

Nas camadas subsuperficiais dos **solos** ácidos, o efeito limitante pode ser amenizado não apenas pelo suprimento de cálcio, essencial para o desenvolvimento do sistema radicular (HOWARD ADAMS, 1965; ADAMS et alii, 1967 e RITCHEY et alii, 1982), como também pela redução da toxidez de alumínio. Entretanto, o mecanismo de neutralização, com conseqüente redução da atividade do alumínio trocável (Al^{3+}), em solução, não está bem elucidado. Alguns mecanismos propõem o deslocamento do alumínio do complexo de troca pelo cálcio e conseqüente lixiviação do mesmo, sendo que, neste caso, é mais fácil a lixiviação na forma de $AlSO_4^+$ que nas demais, (OATES & CALDWELL, 1985). Outro mecanismo, seria a redução da atividade do alumínio pela formação de pares iônicos e aumento da concentração de cálcio (PAVAN & BINGHAM, 1982; SINGH, 1984 e SUMNER et alii, 1986).

Em um levantamento de **solos** do Distrito Federal (EMBRAPA, 1978), constatou-se a existência de subsolos caracterizados por apresentarem baixos teores de alumínio trocável e baixíssimos teores de cálcio mais magnésio trocáveis, o que levou à hipótese de que o impedimento à penetração de raízes nestes subsolos seria função da deficiência de cálcio e não da toxidez de alumínio: hipótese esta confirmada por resultados de pesquisa (RITCHEY et alii, 1982). Constatou-se também que no desenvolvimento do sistema radicular das plantas, o cálcio tem que estar presente no ambiente de crescimento da extremidade da raiz, já que as plantas não são capazes de translocar satisfatoriamente este

nutriente, absorvido da camada superficial do **solo** corrigido via calagem, para **os** pontos **radiculares** de crescimento (HOWARD & ADAMS, 1965). Sendo assim, **o** teor de cálcio no subsolo tem efeito direto no crescimento da raiz.

A incorporação do calcário a maiores profundidades no solo foi proposta por GONZALES-ERICO et alii (1979), **os** quais compararam as incorporações do calcário nas profundidades de 0 a 15 e de 0 a 30 cm, obtendo-se melhor produção de milho no segundo caso. **As** diferenças entre as profundidades de incorporação acentuaram-se ainda mais com **o** aumento das doses aplicadas. A resposta diferencial dos tratamentos, profundidades e doses, foi atribuída à neutralização do alumínio em profundidade, a qual permitiu um maior aprofundamento e eficiência do sistema radicular do milho em absorver água. Em outro trabalho, SOUZA & RITCHEY (1986), ao aplicarem doses elevadas de calcário (7,5; 15,0 e 22,5 t/ha) em um Latossolo Vermelho Escuro argiloso, obtiveram uma elevação acentuada dos valores de pH na camada de 0 a 50 cm, porém, foram necessários 8 anos para se obter este resultado e, mesmo assim, este efeito foi **inexpressivo** em profundidades superiores a 50 cm .

É importante ainda resaltar que na interpretação de resultados advindos da incorporação de doses elevadas de calcário a maiores profundidades, é necessário considerar a possibilidade da ocorrência de deficiências nutricionais, principalmente de micronutrientes (BATAGLIA, 1988).

Em estudo comparativo entre duas lavouras de soja, uma em área de 1º cultivo e outra em área de 4º cultivo, verificou-se que no 24º dia de veranico as plantas em 1º ano de cultivo apresentaram visíveis sintomas de murcha, enquanto que as em 4º cultivo apresentavam-se normais (RITCHEY et alii, 1982). A distribuição do cálcio no perfil do **solo** em 1º ano de cultivo apresentava-se teores extremamente baixos, em alguns casos inferiores a $0,005 \text{ meq}/100 \text{ cm}^3$, enquanto que no perfil do solo em 4º ano de cultivo o teor de cálcio foi de $0,065 \text{ meq}/100 \text{ cm}^3$. Resultados de testes biológicos para crescimento de raízes mostraram severas restrições na viabilidade de crescimento das mesmas a profundidades maiores de 60 cm no perfil do solo recém cultivado. Nesta área em que a soja apresentava visíveis sintomas de murcha, o padrão de extração de água, medido no 24º dia de veranico, apresentou baixos valores nos primeiros 60 cm superficiais e valores bem mais elevados nas camadas inferiores do perfil. Na área sob cultivo de 4º ano, a soja extraiu água uniformemente ao longo de todo o perfil, indicando a presença de raízes ativas a maiores profundidades no **solo**. Têm-se assim que a redução das limitações ao desenvolvimento do sistema radicular em profundidade, via calagem superficial, pode ocorrer após vários cultivos pela movimentação do cálcio para as camadas inferiores do perfil.

Para promover um maior aprofundamento do sistema radicular das plantas no **solo**, existem alternativas associadas à calagem,

principalmente aquelas envolvendo alterações das propriedades químicas do subsolo e o cultivo de variedades tolerantes. Tem-se, sob o ponto de vista químico, observado a nível de campo, uma boa eficiência do sulfato de cálcio em promover a descida do cálcio em profundidade no perfil do solo (RITCHEY et alii, 1980; QUAGGIO et alii, 1982 e FARINA e CHANNON, 1988). Esta movimentação do cálcio para as camadas subsuperficiais é possível devido a formação do par iônico CaSO_4^0 , que é solúvel e não reage com as cargas elétricas dos colóides do solo (PAVAN, 1983).

Este efeito do íon acompanhante na movimentação do cálcio em profundidade foi registrado em diversos trabalhos. GONZALES-ERICO et alii (1979) trabalhando em um Latossolo Vermelho Amarelo textura média do Distrito Federal, constataram um movimento significativo do cálcio até a profundidade de 45 cm, quando foram aplicados 499,5 kg de P_2O_5 /ha na forma de superfosfato simples, sendo o fato atribuído ao gesso, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, que faz parte da composição deste adubo fosfatado. Estes resultados de campo foram confirmados também a nível de laboratório (RITCHEY et alii, 1980).

Em um trabalho realizado em um Latossolo e um Podzólico de Porto Rico PEARSON et alii (1962), demonstraram que a aplicação de doses elevadas de sulfato de amônio em associação à calagem resultou na movimentação, tanto de cálcio quanto de magnésio, até 60 cm de profundidade após um período de dois anos e meio, nas formas de sulfato e nitrato, formados pela nitrificação do amônio

na camada corrigida, sendo o acúmulo de cálcio e magnésio na rizosfera resultante da adsorção do SO_4^{2-} na superfície coloidal do solo e da absorção de NO_3^- pela planta.

Visando estudar o efeito da natureza do ânion acompanhante na movimentação do cálcio e sua influência na acidez em profundidade no solo,, foi conduzido um trabalho em colunas, simulando o perfil de um Latossolo Vermelho Escuro argiloso, utilizando-se três fontes de cálcio (CaCl_2 , CaCO_3 e CaSO_4) na quantidade de 2.000 kg/ha de cálcio incorporado na camada de 0 a 15 cm (RYTCHEY et alii, 1981) . As colunas foram percoladas com 1200 mm de água. Dentre os tratamentos, o que proporcionou menor movimentação de cálcio em profundidade foi o CaCO_3 , com maior acúmulo na camada de 20 a 25 cm de profundidade: fato compreensível devido a reação de neutralização que ocorre na camada superficial do solo e, conseqüentemente, não havendo um ânion acompanhante para o cálcio quase que completamente retido no complexo de troca da camada de incorporação (REEVE & SUMNER, 1970). Em relação ao CaSO_4 , houve maior concentração de cálcio na profundidade de 45 a 60 cm, evidenciando sua maior solubilidade em relação ao CaCO_3 . Por último, o tratamento com CaCl_2 , devido a maior solubilidade e baixa reação com o solo, foi o que atingiu maiores profundidades (150 cm),

Os primeiros trabalhos visando utilizar o gesso na neutralização do alumínio solúvel e no aumento da disponibilidade de cálcio no subsolo foram conduzidos em Oxisols da Africa do Sul

(REEVE & SUMNER, 1972). Nestes, o gesso foi considerado mais efetivo do que o calcário na redução do teor de alumínio trocável em profundidade. Os autores sugeriram a associação calcário-gesso no intuito de eliminar o alumínio trocável nas camadas superficiais e subsuperficiais do solo. Deve-se, todavia, ressaltar que o crescimento de raízes em solos ácidos pode ser inibido tanto pela toxidez de alumínio (RITCHEY et alii, 1982) quanto pela deficiência de cálcio, as quais restringem o volume de solo explorado pelo sistema radicular na absorção de água e nutrientes (LOPES, 1984).

Segundo ROSOLEM & MACHADO (1984), a utilização da gessagem demonstra uma possibilidade real para a melhoria da fertilidade do solo em camadas subsuperficiais. Entretanto, em solos arenosos com baixo teor de matéria orgânica, baixa CTC e pobres em bases, esta prática, dependendo da dose, pode resultar em desequilíbrios nutricionais com reflexos negativos na produção. Segundo estes autores, a associação calagem-gessagem diminui estes efeitos, exceto em relação ao potássio.

Com pH da solução igual a 4,2 o aumento na concentração de CaSO_4 reduz a atividade de Al^{3+} , $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$ e $\text{Al}(\text{OH})^+$ e aumenta a de AlSO_4^+ , com significativo aumento no comprimento radicular da soia, (NOBLE et alii, 1988). Por outro lado, a atividade de AlSO_4^+ reduz com elevação do pH para 4,8 enquanto a de $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$ e $\text{Al}(\text{OH})^+$ aumenta, causando redução do desenvolvimento radicular. Segundo os autores, isso confirma a relação inversa

entre atividade do $AlSO_4^+$ em solução e comprimento radicular e, também, que as formas hidratadas de alumínio, com exceção de $Al(OH)_3$, são fitotóxicas.

A redução na saturação de alumínio, quando se utiliza o gesso, é apenas uma questão de diluição do mesmo devido ao aumento do teor de cálcio (RAIJ, 1988). Segundo este autor, é tão pouca a formação do par iônico $AlSO_4^+$ que não deve ser considerada uma reação de neutralização, tratando-se apenas de uma associação de ions em solução, com neutralização mútua de cargas, mas sem transferência de prótons. Neste caso, o complexo

formado é de baixa estabilidade e se desfaz por diluição da solução, deixando Al^{3+} livre para ser absorvido pelas raízes, apesar desta associação ser benéfica ao desenvolvimento radicular provavelmente em função desta associação ocorrerem distante das zonas de crescimento das raízes, uma vez que o $AlSO_4^+$ é mais lixiviado do que o alumínio livre (OATES & CALDWELL, 1985). Em razão do exposto, evidencia-se que a ação do gesso em reduzir a fitotoxidez do alumínio não se encontra bem esclarecida.

No solo, a neutralização elétrica do sistema é mantida em seu equilíbrio dinâmico e, assim, ions positivamente carregados não lixiviam isolados, sendo os cátions acompanhados por ânions (RITCHEY et alii, 1983). Em solos ácidos, os ions carbonatos e bicarbonatos, resultantes da dissolução dos calcários, têm curta existência antes de suas neutralizações pela acidez do solo e, neste caso, a taxa de movimentação do cálcio deverá ser governada

pela natureza e característica de outros ânions disponíveis. Neste contexto, caso exista baixa disponibilidade de ânions a lixiviação de cátions, dentre os quais o cálcio, ocorrerá muito lentamente.

2.3. Uso do Gesso na Correção Sub superficial do Solo

Além da possibilidade de incorporação de calcário a maiores profundidades no perfil e da utilização de calcários de menor granulometria visando contornar o problema das altas saturações por alumínio em profundidade no solo, o uso do gesso agrícola tem despertado a atenção dos pesquisadores nos últimos tempos, não só como fonte de cálcio e enxofre para as plantas como, também, por reduzir a acidez abaixo da camada arável, em profundidade nas quais a aplicação de calcário não é possível (ALVES & LOPES, 1981).

O gesso agrícola, $(\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O})$, é um produto residual da obtenção do ácido fosfórico utilizado na fabricação do superfosfato triplo e fosfatos de amônio (MAP e DAP). O mesmo apresenta em sua composição, CaO (26 a 28%), S (15 a 16%), P_2O_5 (0,6 a 0,75%), umidade livre (15 a 17%), SiO_2 insolúveis em ácidos (1,26%), F (0,63%), $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ (0,37%), (VITTI et alii, 1986). A sua solubilidade é de aproximadamente 2,5 g/l, (RAIJ, 1988), sendo a forma mineral mais solúvel de cálcio (COLLINGS, 1950).

A dissociação do gesso na solução do **solo** produz as espécies iônicas Ca^{2+} , SO_4^{2-} . Os ions Ca^{2+} e SO_4^{2-} irão participar, respectivamente, de trocas catiônicas e aniônicas no **solo** (PAVAN, 1983). Do total do cálcio solúvel aproximadamente 40% se encontra presente na forma de CaSO_4^0 que é potencialmente móvel no **solo** (PAVAN & BINGHAM, 1982). Portanto, a aplicação de produtos que contenham ions SO_4^{2-} , como o gesso, contribuem para o movimento de cálcio e magnésio no perfil do **solo** devido principalmente à formação de complexos químicos solúveis neutros, CaSO_4^0 e MgSO_4^0 . Estes fatos foram comprovados em estudos em casa de vegetação, onde aplicações elevadas de gesso, acima de $3.0 \text{ meq}/100 \text{ cm}^3$, causaram perdas de mais da metade do magnésio nativo, cerca de $1,7 \text{ meq}/100 \text{ cm}^3$ (REEVE & SUMNER, 1972). Em ensaios em coluna e a campo (EMBRAPA, 1982), a aplicação isolada de gesso promoveu uma lixiviação de potássio mais intensa do que a observada quando se aplicou calcário e gesso. Este fato foi explicado pelo aumento da CTC do **solo** neste tratamento.

Apesar da controvérsia de apresentar ou não correção da acidez do **solo** em profundidade, o gesso promove aumento na concentração de bases, principalmente de cálcio e determina também uma redução na saturação por alumínio proporcionando condições para um melhor desenvolvimento do sistema radicular, reduzindo com isto, os riscos de déficit hídrico para as plantas (BORKERT et alii, 1987).

Além dos aspectos favoráveis citados, é relatado ainda o fato de que a presença do flúor na composição química do gesso agrícola favorece a formação do complexo $Al-F$ em solução, reduzindo a atividade e, conseqüentemente, a toxidez do alumínio trocável, (VITTI et alii, 1986; CAMERON et alii, 1986).

O gesso, tem sido utilizado desde a antiguidade, por gregos e romanos, como fonte de Ca e S para as plantas. Estes nutrientes são considerados macronutrientes essenciais e, portanto, são elementos que as plantas necessitam em quantidades relativamente grandes (BORKERT et alii, 1987).

Em um trabalho com milho e mucuna em um Podzólico Vermelho-Amarelo distrófico, FORESTIERY & DE-POLL1 (1990) usando como tratamento calcário, enxofre e micronutrientes, constataram que a calagem proporcionou um aumento na matéria seca do milho e o enxofre, uma diminuição na da mucuna preta. Quando se usou a interação dos tratamentos calagem-adubação e enxofre houve correção do efeito negativo na produção de matéria seca da mucuna preta.

Além do problema de toxidez do alumínio e dos baixos teores de cálcio do solo, também o enxofre aparece com marcante deficiência em cerca de 50% dos Oxissols e Ultisols da América Tropical, (SANCHEZ & SALINAS, 1981). Este fato já é, há muito, conhecido. Assim (McCLUNG et alii, 1959) baseado no fato de que quando não aplicaram enxofre em experimentos conduzidos em solos do Planalto Central Brasileiro, verificaram que o crescimento das plantas foi 4 a 30% do obtido, quando se aplicou um fertilizante

completos. **Os** aspéctos negativos da deficiência de enxofre se agravam com o aumento da produção nos trópicos (BLAIR, 1979).

Efeitos positivos da aplicação de gesso como fonte de enxofre no Brasil, têm sido constatados em pastagens e várias culturas anuais tais como arroz, feijão, soja, trigo, sorgo sacarino, etc, enquanto que em culturas perenes o exemplo mais típico é o do cafeeiro (VITTI, 1986). Entretanto, deve ficar claro que o gesso não pode ser considerado como um corretivo de solo deve ser aplicado ao solo para resolver problemas específicos, e tomando-se precauções para escolher a maneira que irá atingir as finalidades a que se propõe com a aplicação.

GUIMARÃES et alii (1983) trabalhando com gesso e calcário na cultura de cafeeiro, com o objetivo de verificar **os** efeitos dos mesmos nas camadas subsuperficiais e também o valor fertilizante do gesso como fonte de **S** e **Ca**, constataram um aumento, no primeiro biênio, de **11** para **24** sacas de café beneficiado/ha.

SOUZA & RODRIGUES (1991) conseguiram boas produções de arroz, soja, milho e trigo, em períodos de deficit hídricos, quando utilizaram várias doses de gesso aplicadas a lanço após a calagem e incorporados com grade niveladora. **Os** autores constataram uma rápida movimentação de **Ca**, **Mg** e **K** no perfil do **solo**, com redução na saturação do alumínio em profundidade, o que propiciou um melhor desenvolvimento do sistema radicular e maior eficiência na absorção de água e nutrientes.

Em experimento com a cultura do sorgo utilizando-se combinação gesso-calcário, GOMES et alii (1991), obtiveram sucesso na redução das saturações de alumínio de 50 e 35% e, aumento em torno de 120 e 20% nas saturações em bases das camadas de 0 a 30 e 30 a 60 cm de profundidade do solo, respectivamente.

QUAGGIO et alii (1987) constataram que, após dois meses da aplicação de gesso, o movimento descendente dos ions Ca^{2+} , Mg^{2+} e SO_4^{2-} foi bastante acentuado. Aos 18 meses, quase todo o SO_4^{2-} havia sido lixiviado para as camadas inferiores a 60 cm, enquanto que nas camadas superiores, houve apenas substituição parcial de Mg^{2+} por Ca^{2+} com pequeno acréscimo de bases trocáveis.

Diversos trabalhos (REEVE & SUMNER, 1972; RITCHEY et alii, 1980; QUAGGIO et alii, 1982 e PAVAN et alii, 1984), constataram que a aplicação de gesso pode ocasionar a lixiviação de potássio e magnésio nas formas de K_2SO_4^0 e MgSO_4^0 , além da movimentação descendente de cálcio, no perfil do solo.

Segundo ALCARDE (1988), a lixiviação do Ca^{2+} e SO_4^{2-} originados da dissociação do gesso pode, em função da intensidade, ser benéfica ou maléfica. Segundo o autor, se os nutrientes catiônicos percolados permanecerem em camadas subsuperficiais ao alcance das raízes, os mesmos estimulam o desenvolvimento destas com efeitos benéficos principalmente nas épocas de estiagem. Todavia, se os nutrientes forem arrastados para profundidades fora do alcance das raízes o efeito é maléfico por promover o empobrecimento do solo. Segundo o autor a intensidade de

lixiviação depende do tipo de **solo**, da quantidade de água recebida através das chuvas ou irrigação e da quantidade de gesso aplicada.

A adsorção e, conseqüentemente, a mobilidade do sulfato no solo é afetada decisivamente pelos teores de argila, pelos óxidos de ferro e alumínio, pela matéria orgânica e pela presença de outros ions (COUTO et alii, 1979; FASSBENDER, 1986). A influência do cátion acompanhante na adsorção do sulfato ocorre na seguinte ordem: $\text{Na}_2\text{SO}_4 < (\text{NH}_4)\text{SO}_4 < \text{K}_2\text{SO}_4 < \text{CaSO}_4$, (FASSBENDER, 1986 e MARCANO-MARTINEZ & McBRIDE, 1989).

As razões que levam o sulfato ser menos retido na camada arável, quando comparada com as camadas subsuperficiais dos solos ácidos, **são** em geral, as seguintes: a maior eletronegatividade; o pH mais elevado e a presença de maiores teores de fosfato, preferencialmente adsorvido em relação ao sulfato (COUTO et alii, 1979; RAIJ, 1988).

2.4. Considerações Finais

A enorme extensão de **solos** ácidos existentes no Brasil, quer incorporados ou não ao sistema produtivo atual, **são** caracterizados quimicamente pela elevada saturação por alumínio e baixos teores de bases, principalmente cálcio e magnésio, no subsolo, o que limita o desenvolvimento do sistema radicular das plantas, tornando-as menos produtivas e/ou mais suscetíveis a condições de stress hídricos .

A utilização da calagem visando corrigir estas limitações dos solos em profundidade no perfil é, quando positiva, na maioria dos casos a longo prazo.

A prática da gessagem, uma prática genuinamente brasileira, apresenta-se como uma alternativa, em face de vários resultados positivos obtidos em diversos trabalhos de pesquisas, altamente promissora e viável sob o ponto de vista técnico-econômico-científico ao sanar limitações antagônicas existentes no subsolo da grande maioria dos solos brasileiros (RAIJ, 1988). A mesma, baseada em diversos resultados práticos já obtidos, pode, quando praticada isoladamente, causar sérios problemas de empobrecimento do perfil do solo devido ao deslocamento e lixiviação de potássio e magnésio e, por isto, deve ser praticada em associação com a calagem a qual, pela liberação de cargas dependentes de pH, reduz este efeito negativo, além de corrigir a acidez nas camadas superficiais dos solos.

Dentre as atuais sugestões para se determinar a dosagem de gesso a se aplicar no solo tem-se: Malavolta (1991) citado por SOUZA et alii (1992), o qual propõe que para se elevar o teor de cálcio no solo, ou diminuir o teor de alumínio em 1.0 meq/100cc são necessários a aplicação de 2.5 t de gesso / ha: Lopes (1986) citado por SOUZA et alii (1992) que propõe substituir 25% do CaO do calcário a aplicar por CaO do gesso agrícola, quando o cálculo da calagem for feito pelo método da saturação por base e quando o cálculo for feito através do método do Al^{3+} e $Ca^{2+} + Mg^{2+}$,

adicionam na forma de gesso agrícola **25%** a mais do CaO do calcário e, **SOUZA** et alii (1992) que sugere a aplicação do gesso, cujas quantidades **são** dependentes dos teores de argila, de Ca retido e de Ca na solução do solo, do **S** retido e **S** na **solução** do **solo** e, ainda, da densidade do solo.

Diversos **são os** trabalhos desenvolvidos a respeito do **uso** combinado de calagem e gessagem, visando a correção das camadas superficiais e, simultaneamente a, melhoria do ambiente radicular das plantas em profundidade, principalmente em relação à cultura do café, de grande importância para a economia do país, motivo pelo qual o presente trabalho foi realizado.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi conduzido em uma área no recinto da Escola Superior de Agricultura de Lavras. O solo utilizado pertence à unidade de mapeamento Latossolo Roxo distrófico A moderado, textura muito argilosa, fase cerradão em transição para floresta tropical subperenifolia, com relevo suave ondulado, e que segundo WAMBEKE (1981), enquadra-se nos regimes térmicos e hídricos, caracterizados como, isotérmico e údico, respectivamente. O solo apresenta nas camadas subsuperficiais, baixos teores de cálcio e média saturação por alumínio, condições estas limitantes ao desenvolvimento do sistema radicular das plantas (CFSEMG 1989).

Na escolha do local, foi feita uma caracterização da área através de análises químicas e físicas de amostras coletadas até 80 cm de profundidade (QUADRO 1).

A cultivar plantada em 27/02/89, foi a Mundo Novo LCP 379-19, em espaçamento de 2,5 x 1,25 m com duas plantas por cova,

eliminando-se uma após verificação do pegamento das mudas. Devido à morte de grande quantidade de plantas, por ocasião do plantio, causada pela falta de chuvas, o experimento foi totalmente replantado em 05/12/89. A sub parcela foi constituída de quatro linhas de seis plantas, onde as plantas úteis foram as quatro plantas de cada duas linhas centrais, perfazendo um total de oito plantas.

QUADRO 1- Característização químicas e físicas do LR nas camadas de 0 a 20, 20 a 40, 40 a 60, 60 a 80 cm de profundidade (antes da calagem e gessagem) e análise do calcário e do gesso agrícola.

Parâmetros	Profundidade de Amostragem (cm)					
	0-20	20-40	40-60	60-80		
pH (H ₂ O 1:2,5)	4,8	4,7	4,8	4,8		
P (ppm) Melich I	2	1	1	1		
K (ppm) Melich I	23	17	11	8		
Ca (meq/100cm ³) KCl 1N	0,8	0,4	0,2	0,2		
Mg (meq/100cm ³) KCl 1N	0,2	0,2	0,1	0,1		
Al (meq/100cm ³) KCl 1N	0,4	0,3	0,3	0,2		
H + Al (meq/100cc) SMP	6,3	6,3	5,0	4,0		
S (meq/100 cm ³)	1,1	0,6	0,3	0,3		
SO ₄ 4 ppm 3	8,12	4,41	4,41	4,41		
t (meq/100cm ³)	1,5	0,9	0,6	0,5		
T (meq/100cm ³)	7,4	6,9	5,3	4,3		
m (%)	27	32	48	38		
V (%)	14	9	6	7		
Areia (%)	20	18	17	16		
Limo (%)	16	12	11	10		
Argila (%)	64	70	72	74		
Fe ₂ O ₃ (%)	-	-	20,9	19,8		
M.O. (%)	3,40	2,90	2,30	1,90		
Calcário	CaO (%) 35,3	MgO (%) 17,7	S (%) -	PN 101,5	RE 69,4	PRNT 70,4
Gesso						
Agrícola	28,0	-	17,0	-	-	-

Os tratamentos foram aplicados em **15/02/89**, sendo utilizadas três doses de calcário dolomítico e quatro de gesso agrícola, perfazendo um total de 12 tratamentos em um delineamento de blocos casualizados em parcelas subdivididas (calcário na parcela e gesso na subparcela), com quatro repetições. **As** análises do calcário e do gesso utilizado encontram-se no Quadro 1.

As quantidades de calcário foram: (C0) 0t/ha; (C1) 3,65 t/ha e (C2) 7,3 t/ha. A quantidade de 7,3 t/ha foi calculada para elevar a saturação por bases a **80%** (PEDRO Jr, et alii, 1987). **As** quantidades de gesso foram de (G0) 0 ; (G1) 2,5 ; (G2) 5,0 e (G3) 10,0 t/ha.

O calcário foi aplicado na área total, incorporado **com** arado e grade a **20** cm e o gesso, a lanço, também em área total. **Em** seguida procedeu-se a abertura dos sulcos de plantio onde foram incorporados nas covas, superfosfato triplo, calcário e gesso. **As** doses de calcário e gesso aplicadas foram calculadas levando-se em consideração o volume do **solo** da cova de plantio e os tratamentos utilizados.

As quantidades de N, P_2O_5 e K_2O aplicadas foram: (a) Plantio - 15, 60 e 15, (b) 1º ano - 30, 0 e 30, (c) 2º ano - 60, 20 e 60 e, (d) 3º ano - 120, 40 e 180g/cova.

Como fonte de N, P e K foram utilizados, o sulfato de amônio em cobertura na primeira aplicação, sendo nas demais utilizada uréia, o superfosfato triplo e o cloreto de potássio.

A justificativa de usar o sulfato de amônio foi a de eliminar o efeito nutricional naquelas parcelas que não receberam S através do gesso. No decorrer do trabalho foram efetuados todos os tratamentos culturais específicos à cultura, assim como o controle de pragas e doenças.

3.1. Análise do Solo

3.1.1. Amostragem

Foram feitas 4 amostragens de solo, em intervalos de 7 meses a partir da aplicação dos tratamentos nas profundidades de 0 a 20, 20 a 40, 40 a 60 e 60 a 80 cm. Utilizaram-se 9 amostras simples para perfazer uma amostra composta em cada uma das profundidades. Evitou-se retirar amostras no mesmo local de uma época de amostragem para outra.

3.1.2. Determinações

As amostras coletadas foram secas ao ar e passadas em peneira com abertura de malha de 2 mm. Determinou-se o pH em água por potenciometria e o cálcio, magnésio e alumínio trocáveis foram extraídos com KCl 1 N e analisados por titulometria (VETORI 1969), os teores de fósforo e potássio foram extraídos com Melich I e analisados, respectivamente, por colorimetria e fotometria de

chama VETTORI (1969) , os teores de sulfato por turbidimetria segundo metodologia de BLANCHARD et alii (1965), e acidez potencial ($H^+ Al$) determinada potencialmente pela solução tampão SMP (RAIJ et alii, 1987).

3.2. Análise Foliar

3.2.1. Amostragem

Em cada subparcela foram feitas duas coletas de folhas para análise, em janeiro de 1991 e janeiro de 1992. Foram colhidos o 3º ou 4º pares de folhas, dos dois lados das linhas de plantio nas 8 plantas úteis, perfazendo o total de 32 folhas por amostragem. As folhas colhidas foram lavadas e acondicionadas em sacos de papel e secas em estufa com circulação de ar a 70°C até atingir peso constante. A matéria seca foi moída em moinho tipo Willey com peneira de 40 meshes e armazenada em frasco de vidro até o momento das determinações químicas.

3.2.2. Determinações

O teor de nitrogênio total foi determinado pelo método semimicro Kjeldahl segundo LIAO (1981) , e a destilação e titulação segundo BREMNER & EDWARDS (1965). No extrato, obtido por digestão nitroperclórica ZAROSKI & BURAU (1977), foram

dosados **os** teores totais de **P** por colorimetria; **os** de Ca, Mg, Fe e Mn por espectrofotometria de absorção atômica; **os** de K por fotometria de emissão de chama; **os** de S-total por turbidimetria BLANCHARD et alii (1965).

3.3. Dados Fenológicos das Plantas

Em novembro de 1991 foram feitas avaliações relativas à altura das plantas, diâmetro da copa, diâmetro do caule e contagem do número de internódios.

3.4. Análise Estatística

Os dados relativos às análises do solo obtidos nas diversas profundidades e em cada época de amostragem, **os** teores de nutrientes nas folhas, suas relações e dos dados fenológicos das plantas foram submetidos à análise de variância, seguindo o delineamento de blocos casualizados, com parcela subdivididas. **Os** dados das análises de solo e planta foram submetidos ainda a estudos de regressão e correlação. **Os** teores do solo da época 4 nas profundidade de 40 a 60 cm, foram correlacionados com os teores foliares da época 2 de amostragem de folhas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Análise do Solo

4.1.1. pH em Água

Observando o Quadro 2, verifica-se que houve efeito significativo do calcário, do gesso, da profundidade e das interações calcário x gesso, calcário x profundidade e gesso x profundidade sobre os valores de pH do solo.

Pela Figura 1, observa-se que houve um aumento nos valores do pH para todas as profundidades analisadas, quando as doses de calcário foram aumentadas. Em relação ao gesso, a elevação de suas doses causou uma ligeira redução neste parâmetro. Por outro lado, o efeito interativo se caracterizou de tal maneira, que, aumentando-se as doses de gesso dentro de cada dose de calcário, houve uma diminuição nos valores de pH, sendo este efeito menos pronunciado na época E4 quando observou-se que a maior dose de gesso já atingia valores superiores de pH em relação à testemunha

(CoGo). Observou-se também uma eficiência do calcário, em reduzir a acidez do solo nas camadas superficiais de 0 a 20 e 20 a 40 cm, fato não verificado em relação ao gesso.

A ação da calagem promovendo aumentos no pH é bem conhecida (LOPES, 1984; THOMAS & HARGROVE, 1984 e MORAES, 1988). Entretanto, experimentos utilizando o gesso têm sido divergentes nos resultados. De maneira geral, muitos trabalhos têm mostrado ligeiras alterações para mais ou para menos nos valores de pH com a adição do gesso. Diminuição no pH na camada superficial do solo, pela utilização do gesso, foi registrada por PAVAN et alii (1984); SOPRANO (1986); SILVA (1990) E ALVA et alii (1990). Estes últimos autores justificam que a provável redução nos valores de pH é causada pelo efeito salino ou a hidrólise do alumínio. Verificou-se no presente caso, que as mudanças nos valores são de pequena magnitude com a sucessão das amostragens nas diferentes épocas. Observa-se no entanto uma ligeira tendência de acréscimo, talvez devido a uma maior reação do calcário, em função do tempo. À medida em que se aprofundou no perfil do solo, observa-se ainda uma diminuição destes valores.

4.1.2. Saturação por Bases

Verifica-se pelo Quadro 3 que houve efeito significativo do calcário, do gesso, da profundidade e das interações calcário x gesso, calcário x profundidade e gesso x profundidade sobre o índice de saturação por base (V%).

QUADRO 2 - Resumo da análise de variância para pH em água no solo em função de aplicações de calcário e de gesso nas diferentes profundidades (P) e épocas de amostragens.

F.V.	G.L.	ÉPOCAS			
		E1	E2	E3	E4
		QM			
Bloco	3				
Calcário	2	2.7503643**	1.0393747*	0.0924999	1.3922391*
Resíduo (A)	6	0.0332118	0.1052083	0.2695834	0.2472396
Parcelas	11				
Gesso	3	0.0050695	0.0707639*	0.1170834*	0.3326910**
Cal x Gesso	6	0.0725173**	0.0243055	0.1420834**	0.2027951**
Profund.	3	0.0559027	0.1324305**	1.1943056**	0.3389409**
Cal x Prof.	6	0.0783507**	0.1043055**	0.3757639**	0.1138367*
Ges x Prof.	9	0.0237268	0.0300231	0.0832407**	0.0673206
Cal x Ges x Prof.	18	0.0204109	0.0159954	0.0330324	0.0320775
Resíduo (B)	135	0.0244421	0.01199583	0.0324722	0.0393901
Total	191				
C.V. (A)		0,90	1,61	2,50	2,51
C.V. (B)		3,09	2,81	3,47	4,02

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F
 ** Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

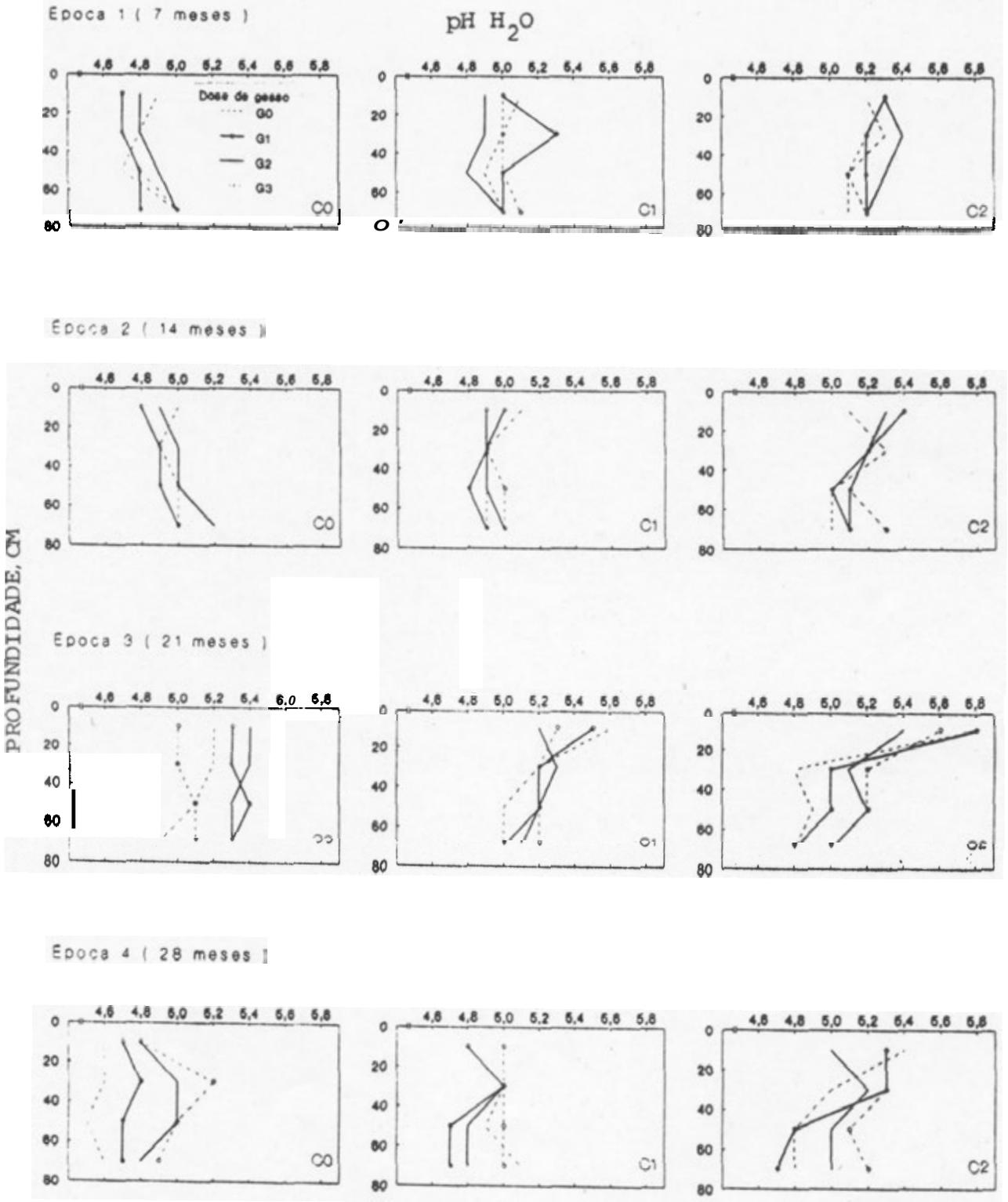


FIGURA 1. Valores de pH em água em função de doses de calcário e gesso, em diferentes profundidades e épocas de amostragens.

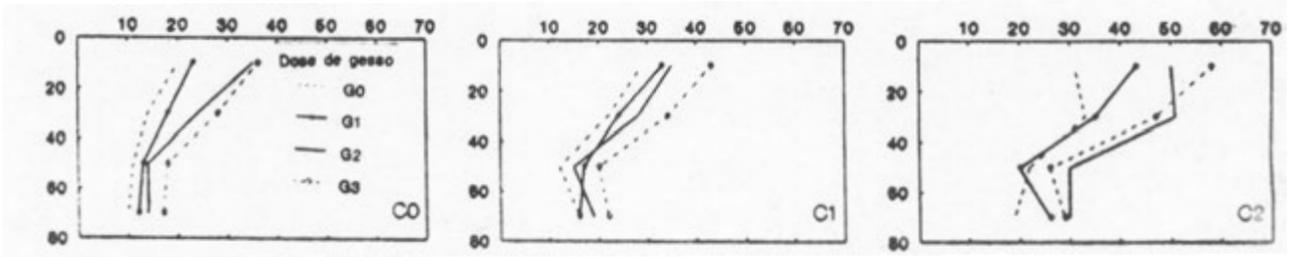
Pela Figura 2 observa-se, que com a utilização somente das doses de gesso houve aumento na saturação por bases em relação a testemunha, sendo este aumento uniforme no perfil do solo nas quatro épocas estudadas. Com a aplicação de doses de gesso dentro das doses de calcário este aumento acentuou-se. Observa-se assim na dose C1 de calcário, que a aplicação de doses de gesso, proporcionaram um aumento na saturação por bases a medida em que se elevou as doses de gesso, nas quatro épocas analisadas. Na utilização da maior dose de calcário associada à maior de gesso, este aumento acentuou-se ainda mais, chegando a atingir o dobro da saturação por bases na época E4 em relação a época E1, quando se utilizou somente o gesso. Constatou-se também que em todas as épocas estudadas a utilização do calcário aumentou a saturação por base somente nas camadas 0 a 20 e 20 a 40. Este fato permitiu concluir ser útil a associação do gesso e calcário para se obter uma saturação por bases mais uniforme no perfil do solo. Na superfície é benéfica a utilização do calcário, cujos componentes não são translocados à maiores profundidades, enquanto o gesso apresenta a vantagem de se dissociar em Ca^{2+} , SO_4^{2-} , contribuindo assim para o movimento de cálcio e magnésio no perfil do solo devido à formação de complexos químicos neutros solúveis (CaSO_4^0 e MgSO_4^0), principalmente.

QUADRO 3. Resumo da análise de variância para índice de saturação por base (V%) no solo em função de aplicações de calcário e de gesso nas diferentes profundidades (P) e épocas de amostragens.

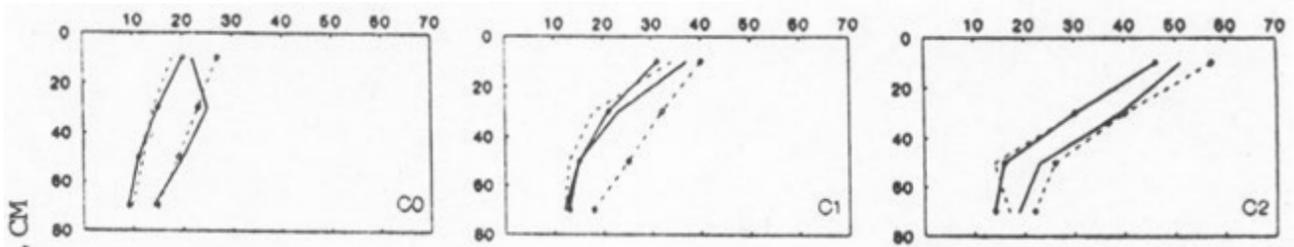
F.V.	G.L.	ÉPOCAS			
		E1	E2	E3	E4
		----- QM -----			
Bloco	3			*	
Calcário	2	3881.1927083**	2982.7968750**	3122.3489583	2633.4739583**
Resíduo (A)	6	66.2413194	238.4704861	320.4878472	125.6822917
Parcelas	11				
Gesso	3	1294.0347222**	854.0972222**	1964.8385417**	1056.4913194**
Cal x Cesso	6	70.4565972	34.1024306	85.7239583	62.3142361
Profund.	3	3704.3541667**	4425.3750000**	2685.7968750**	1528.9496528**
Cal x Prof.	6	93.5885417*	489.8385417**	292.1031250**	103.5017361**
Ges x Prof.	9	89.3865741*	24.0462963	67.1440912	44.0792824
Cal x Ges x Prof.	18	20.7320602	10.6070602	27.6336806	26.2216435
Resíduo (B)	135	37.3233796	28.8821759	35,2899306	30.5741898
Total	191				
C.V. (A)		7,67	16,60	14,74	11,63
C.V. (B)		23,32	23,11	19,57	22,94

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.
 ** Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

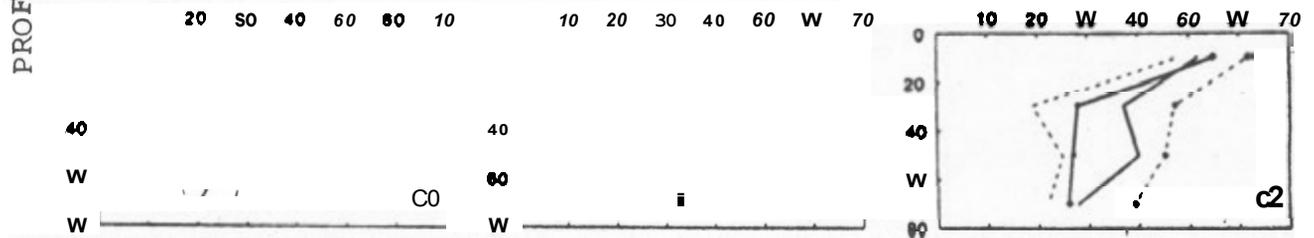
Época 1 | 7 meses | SATURAÇÃO POR BASE, V%



Época 2 (14 meses)



Época 3 (21 meses)



Época 4 (28 meses)

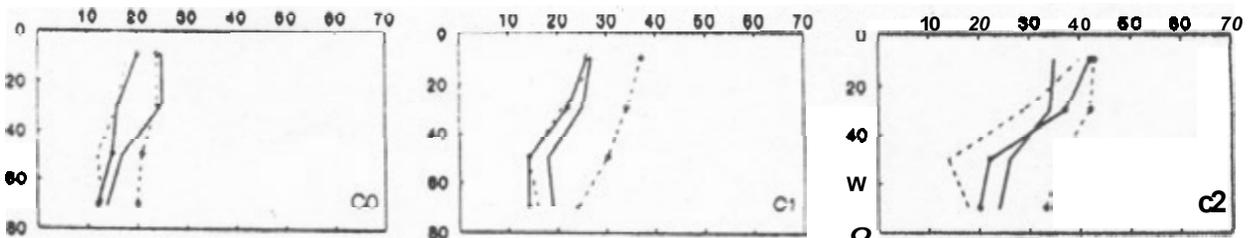


FIGURA 2. Valores de saturação por bases (V%) em função de doses de calcário e gesso, em diferentes profundidades e épocas de amostragens.

Os fatos aqui constatados foram comprovados, em ensaio de colunas em casa de vegetação por REEVE & SUMNER (1972), que observaram que aplicações elevadas de gesso, acima de 3,0 meq/100 cm³, causaram perdas de mais da metade do magnésio nativo, cerca de 1.1 meq/100 cm³. Em ensaio de campo, foi demonstrado que a aplicação de gesso promoveu uma lixiviação de potássio mais intensa do que a observada quando se aplicou calcário e gesso (EMBRAPA 1979). RITCHEY et alii (1982), afirmaram que existe uma baixa efetividade de lixiviação quando se aplica somente calcário, pela baixa taxa de dissolução, das partículas maiores dos carbonatos de cálcio e magnésio principalmente.

4.1.3. S-SO₄²⁻ no Perfil do Solo

Ao analisar o Quadro 4, verifica-se que houve efeito significativo do calcário, do gesso, da profundidade e das interações calcário x gesso, calcário x profundidade e gesso x profundidade sobre os teores S-SO₄²⁻.

Observa-se pela Figura 3 que, com o aumento das quantidades do gesso aplicadas, ocorreram expressivos acréscimos nos teores de sulfato no solo, principalmente na dose mais elevada de calcário onde verificou-se uma maior tendência de aumento, na disponibilidade de S-SO₄²⁻. Este aumento foi mais acentuado na superfície com relação a época (E1), talvez devido ao menor espaço de tempo entre a aplicação dos tratamentos e a primeira coleta de solo. Já nas épocas E2, E3 e E4 observou-se uma

melhor distribuição de $S-SO_4^{2-}$ no perfil do **solo**, com aumentos lineares até 40 cm de profundidade, destacando-se a combinação calcário x gesso principalmente nas suas maiores doses. A movimentação de sulfato em profundidade pareceu ter ocorrido predominantemente como ânion acompanhante, dada a relação entre os teores de cálcio e de sulfato. Em condições de campo, PINTO, (1989) observou que após dois anos de aplicação de gesso, que a camada arável foi a que apresentou maiores teores de $S-SO_4^{2-}$. A justificativa para este fato deveu-se à influência do maior pH do **solo**, com conseqüente aumento das cargas negativas, o que contribuiu para reduzir a adsorção de sulfato. Tais fatos foram também constatados por KAMPRATH et alii (1956) e COUTO et alii (1979).

A utilização de fórmulas mais concentradas de adubos, atualmente, e a expansão das fronteiras agrícolas para áreas de baixa fertilidade natural levaram muitos pesquisadores a dar maior importância à avaliação do $S-SO_4^{2-}$ no solo. Neste contexto, MALAVOLTA et alii (1987) trabalhando com cafeeiro no estados de São Paulo e Minas Gerais sugeriram um nível crítico entre 10 a 15 ppm de S utilizando o extrator Ca $(H_2PO_4)_2 \cdot HOAC$ - 500 ppm de P, teores que foram superados por todos os tratamentos, no presente trabalho, a exceção daqueles que não receberam gesso no **solo** amostrado. Verifica-se também pela Figura 3 que após 28 meses da aplicação dos tratamentos, as quantidades de $S-SO_4^{2-}$ mostraram-se elevadas em todos aqueles que receberam gesso se confrontados com as quantidades propostas por VITTI (1989).

QUADRO 4. Resumo da análise de variância para enxofre trocável no solo em função de aplicações de calcário e de gesso nas diferentes profundidades (P) e épocas de amostragens.

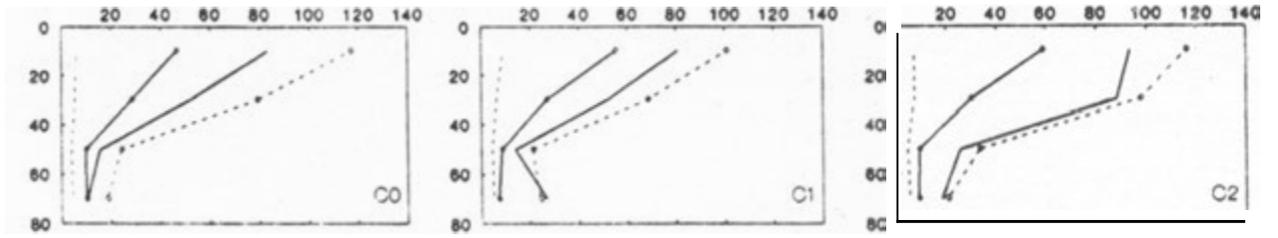
F.V.	G.L.	ÉPOCAS			
		E1	E2	E3	E4
		----- QM -----			
Bloco	3				
Calcário	2	1022.4509708	2633.2634623**	2656.6907317	506.3404127
Resíduo (A)	6	529.6560890	44.4614873	488.2552561	280.8915713
Parcelas	11				
cesso	3	27600.4531283**	10908.2148924**	15344.3508286**	15353.374500**
Cal x Gesso	6	300.4351102	1451.6860271	638.7517123	166.9455418
Profund.	3	29820.0960955**	6151.7782673	3841.4155412	5950.2782996
Cal x Prof.	6	296.2865745	533.7090295	179.5546884	79.9256177
Ges x Prof.	9	4121.9418165**	1018.0759915**	443.7501838	688.9402289
Cal x Ges x Prof.	18	133.0420584	318.7970408	133.7678886	95.5122964
Resíduo (B)	135	141.2820989	44.3473917	169.3595680	76.5562369
Total	191				
C.V. (A)		16,76	7,60	19,21	16,83
C.V. (B)		3,98	0,08	2,26	35,16

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F,

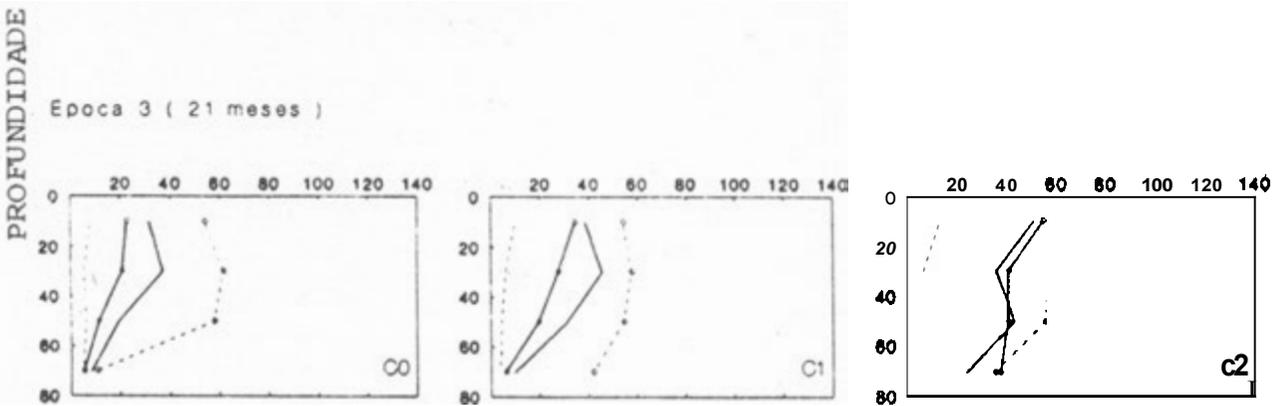
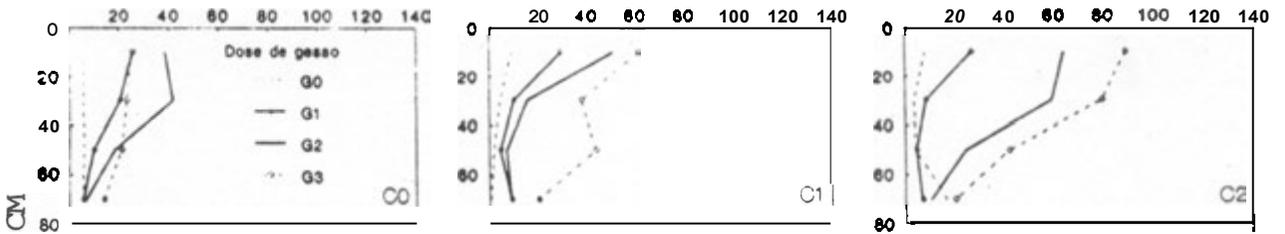
** Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F,

Época 1 (7 meses)

S-SO₄²⁻, ppm



Época 2 (14 meses)



Época 4 (28 meses)

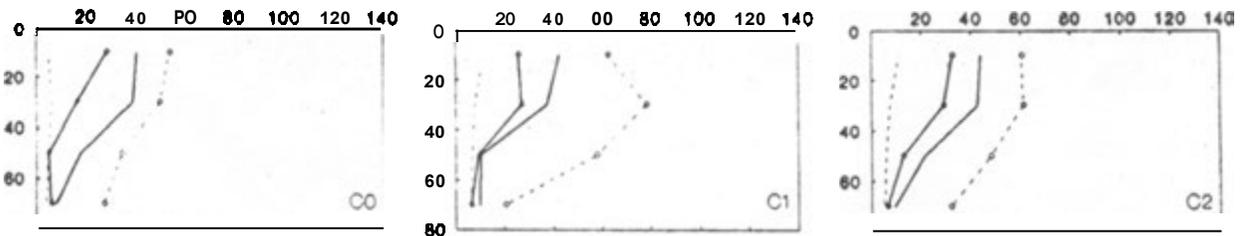


FIGURA 3. Teores de S-SO₄²⁻ (ppm) no solo em função de doses de calcário e gesso, em diferentes profundidades e épocas de amostragens.

4.1.4. Movimentação das Bases no Perfil do Solo

4.1.4.1. Cálcio Trocável

Verifica-se no Quadro 5, que houve efeito significativo do calcário, gesso, profundidades e das interações calcário x profundidade e gesso x profundidades quanto aos teores de cálcio no solo.

O aumento nos teores de cálcio trocável nas camadas 0 a 20, 20 a 40, 40 a 60 e 60 a 80 cm (Figura 4) evidencia que houve movimentação de cálcio em profundidade. Os aumentos nas camadas de 0 a 20 e 20 a 40 cm foram mais acentuados na época E1, talvez pelo curto período de reação dos tratamentos com o solo. Já nas demais épocas (E2, E3 e E4), com o aumento das dosagens de calcário e gesso houve uma melhor distribuição do cálcio trocável no perfil do solo, com uma redução nas camadas superiores e um aumento nas camadas subsuperficiais. O enriquecimento das camadas subsuperficiais pelo cálcio, quando da adição de gesso ao solo, também foi observado por PAVAN et alii (1984) e DAL BÓ et alii (1986). Apesar de não se ter observado significância, ressalta-se, entretanto, que quando se usou as doses de calcário associadas com as doses de gesso, os aumentos nos teores de cálcio trocáveis foram mais acentuados em profundidade, comprovando-se que a lixiviação de cálcio para as camadas subsuperficiais depende também da quantidade de gesso aplicada, fato este também observado por DAL BÓ et alii (1986).

Nas doses mais elevadas de calcário e gesso, notou-se que o cálcio trocável atingiu os maiores teores acompanhado de maiores valores de $S-SO_4^{2-}$. RAIJ (1988) argumenta sobre a necessidade de usar doses elevadas de gesso se o objetivo é a melhoria do ambiente radicular em subsuperfície. Entretanto, a adição excessiva de Ca^{2+} e $S-SO_4^{2-}$ via gesso deve ser avaliada com cuidado, visto que eventuais problemas de nutrição vegetal poderão ocorrer em relação a outros nutrientes (QUAGGIO et alii, 1982; FARINA & CHANNON, 1988 e SILVA, 1990).

4.1.4.2. Magnésio Trocável

Ao se analisar o Quadro 6 verifica-se que houve efeito significativo do calcário, do gesso, da profundidade e das interações calcário x profundidades e gesso x profundidades quanto aos teores de magnésio.

Verifica-se pela Figura 5, que apesar de não ter sido observado variações significativas nos teores de Mg em função do uso do gesso nas épocas E1 e E2, tem-se que quanto maior a dose de gesso agrícola aplicada, maior foi a tendência de sua movimentação em profundidade com o tempo. Verifica-se ainda pela Figura 5 que quando se utilizou somente as doses de gesso na ausência de calcário, houve tendência de caminhamento descendente de Mg no perfil do solo, com um pequeno aumento nos teores do mesmo enquanto que quando se utilizou as doses de calcário, este aumento foi mais acentuado, principalmente na maior dose.

QUADRO 5. Resumo da análise de variância para cálcio trocável no solo em função de aplicações de calcário e de gesso nas diferentes profundidades (P) e épocas de amostragens.

F.V.	G.L.	ÉPOCAS			
		E1	E2	E3	E4
		QM			
Bloco	3				
Calcário	2	10,8906772**	7,1991142*	4,3902084*	5,5288019**
Resíduo (A)	6	0,5345659	0,7050869	0,6857639	0,3649123
Parcelas	11				
Gesso	3	12,9071356**	7,3595835**	8,0163019**	4,5129861**
Cal x Gesso	6	0,17554688	0,0949479	0,1079167	0,0594965
Profund.	3	38,5210241**	34,0613885	18,0468576	14,6202080
Cal x Prof.	6	0,6510243*	1,6198784**	0,7595139**	0,2952604**
Ges x Prof.	9	1,7984781**	0,5501389**	0,2519965*	0,1118750
Cal x Ges x Prof.	18	0,1136864	0,0368229	0,0733333	0,1156771
Resíduo (B)	135	0,2494317	0,1226782	0,1122488	0,0810486
Total	191				
C.V. (A)		11.54	15.72	14.71	12.79
C.V. (B)		31.53	26.22	23.92	24.12

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

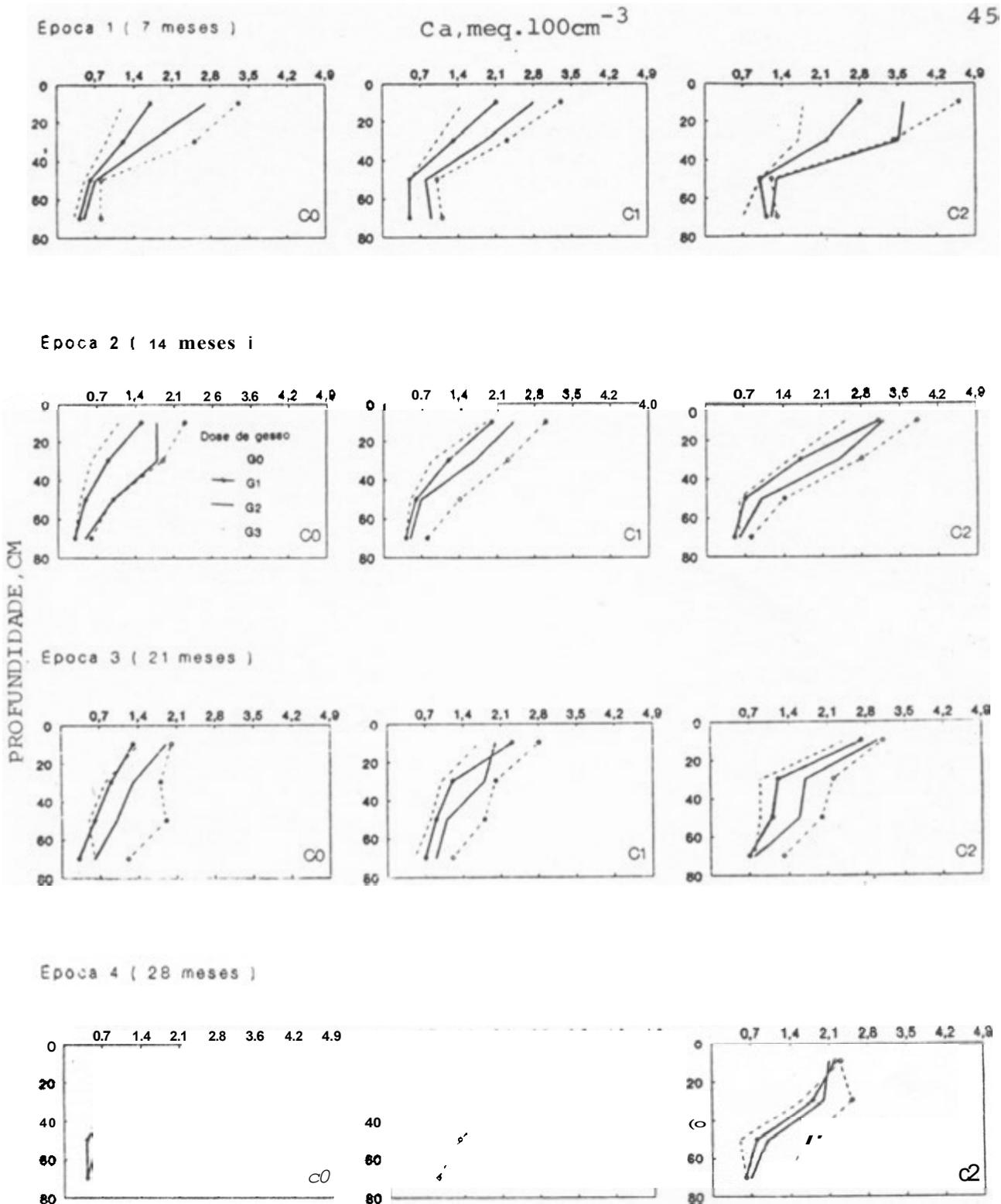


FIGURA 4. Teores de Ca trocável (meq/100 cm⁻³) no solo em função de doses de calcário e gesso, em diferente profundidades e épocas de amostragens.

Nos tratamentos que receberam calcário pode-se dizer que mantiveram-se **os** teores do magnésio no **solo** provenientes do corretivo. Após 28 meses observou-se que **os** teores encontrados enquadravam-se em médio e alto, quando comparados com aqueles dos tratamentos que não receberam calcário, que classificaram-se como baixo, segundo a CFSEMG (1989).

Pela Figura 5, nota-se ainda no presente caso grande potencialidade para o deslocamento do magnésio no perfil do solo. A intensidade de tais efeitos é dependente dos teores iniciais deste nutriente no **solo**, do **uso** ou não de calcário dolomítico e das doses de gesso aplicadas. De certa forma o comportamento do magnésio seguiu a mesma tendência observada por REEVE E SUMNER (1972); QUAGGIO et alii (1982); ROSOLEM & MACHADO (1984); PAVAN et alii (1984); DAL BÓ (1985); FARINA & CHANNON (1988); PINTO (1989) e SILVA (1990). A associação de calcário dolomítico com o gesso tem sido preconizada pelos autores anteriormente mencionados, no intuito de se evitar desbalanços entre **os** cátions básicos no solo. Outro aspecto relevante refere-se à necessidade de estudos mais prolongados, visando-se avaliar o efeito residual em função das doses de calcário e de gesso sobre diferentes **solos**, culturas e manejo das adubações, uma vez que a lixiviação de bases em solos tropicais sob clima úmido é um processo constante e deve ser controlada, conforme argumentos de GUIMARÃES (1986) e RAIJ (1988).

QUADRO 6. Resumo da análise de variância para magnésio trocável no solo em função de aplicações de calcário e de gesso nas diferentes profundidades (P) e épocas de amostragens.

F.V.	G.L.	ÉPOCAS			
		E1	E2	E3	E4
		QM			
Bloco	3				
Calcário	2	2,4447396**	2,2384896**	2,3589063**	2,8925521**
Resíduo (A)	6	0,1055035	0,0245313	0,1088368	0,0092188
Parcelas	11				
Gesso	3	0,0556250	0,0146528	0,4800521**	0,1304688
Cal x Gesso	6	0,0449479	0,0248090	0,0355729	0,0667187
Profund.	3	1,3797917**	1,4892361**	1,2006076**	1,1543576**
Cal x Prof.	6	0,2078646**	0,5675174**	0,3292535**	0,4031076**
Ges x Prof.	9	0,0500231	0,0421991	0,0246817	0,0782465
Cal x Ges x Prof.	18	0,0559433	0,0187442	0,0472164	0,0378299
Resíduo (B)	135	0,0439606	0,0251366	0,0449734	0,0383021
Total	191				
C.V. (A)		21,35	11,42	16,24	6,28
C.V. (B)		55,14	46,26	41,76	51,26

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

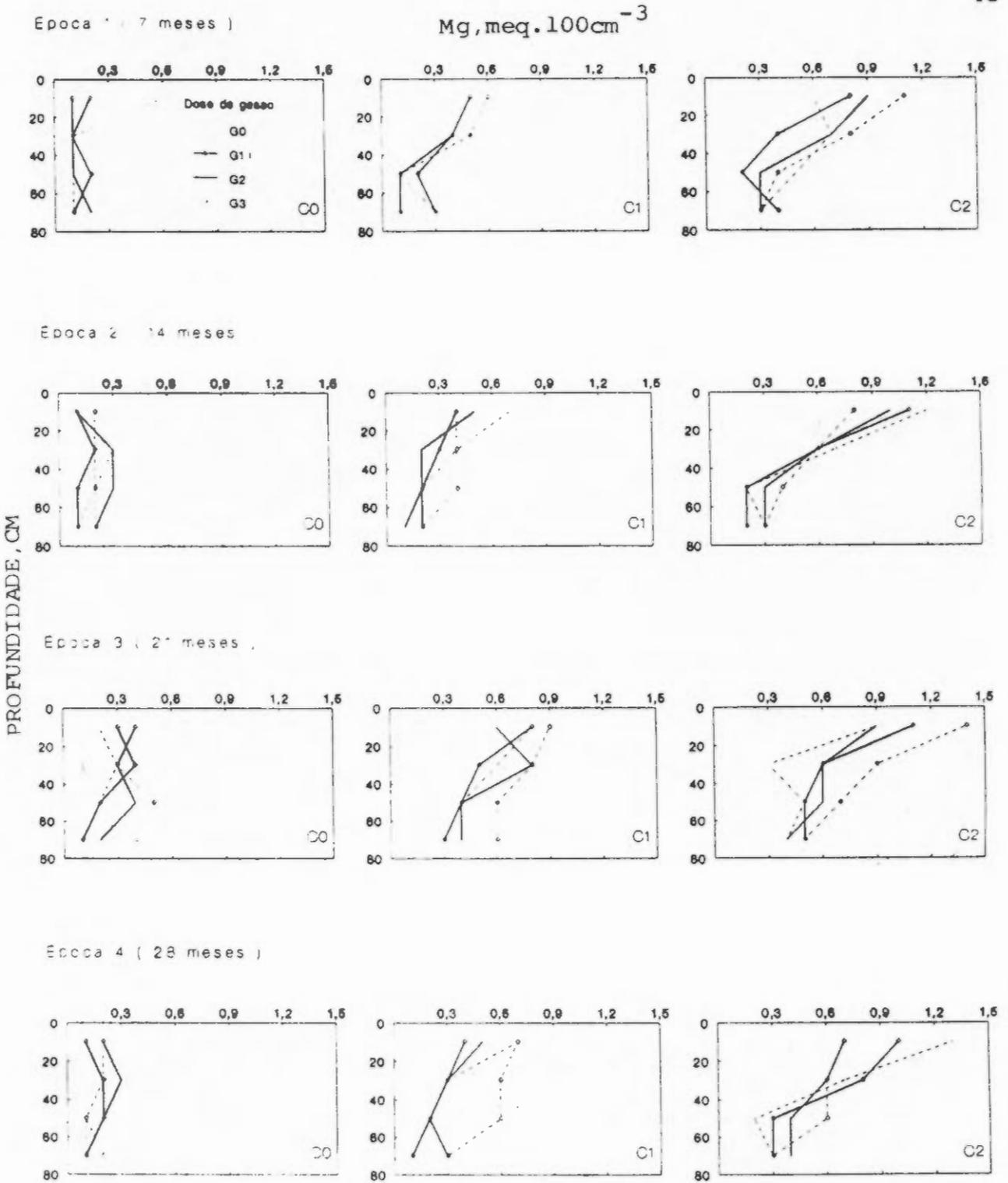


FIGURA 5. Teores de Mg trocável (meq/100 cm⁻³) no solo em função de doses de calcário e gesso, em diferentes profundidades e épocas de amostragens.

4.1.4.3. Potássio Disponível

Observa-se pelo Quadro 7, que houve efeito significativo do calcário, gesso e da interação calcário \times gesso sobre os teores de potássio.

Verifica-se pela Figura 6 que não houve movimentação em profundidade do potássio em desacordo com as observações feitas por QUAGGIO et alii (1982); PAVAN et alii (1984) e DAL BÓ et alii (1986). Por outro lado, os resultados do presente estudo quanto à movimentação de potássio estão de acordo com as observações de FARINA & CHANNON (1988). A ausência de lixiviação de potássio, no presente estudo, pode ser atribuída a prática da adubação potássica em cobertura, feita de forma parcelada. Assim sendo, tal manejo para a adubação potássica, associado à prática da calagem, pode ser útil para minimizar as perdas de potássio quando se utiliza o gesso.

Pela Figura 6, observa-se ainda que houve uma tendência decrescente nos teores de K disponível com aumento das doses de gesso, principalmente na maior dose (G3) sem calcário, nas camadas superficiais, sendo que dentro de C1 e C2, esta tendência decrescente foi ligeiramente amenizada nas quatro épocas estudadas. Tal comportamento do gesso em relação ao K disponível foi verificado por OLIVEIRA et alii (1986). YORK Jr, et alii (1953) admitem a possibilidade do gesso deslocar algum K fixado, entretanto, COSTA et alii (1990) constataram que

diferentes fontes de cálcio, dentre elas o gesso, aumentavam a quantidade de K fixado. Tais observações podem confirmar eventuais faltas de resposta das culturas à adubação potássica em solos com teores trocáveis relativamente baixos neste nutriente (RAIJ et alii, 1982; e CASTRO & MENEGBELLI, 1989).

4.1.5. Saturação por Alumínio e Alumínio Trocável no Perfil do Solo

As análises de variância mostram efeitos altamente significativos do calcário, do gesso, das profundidades e da interação calcário x profundidades e calcário x gesso, com relação à saturação por alumínio (m%), (Quadro 8), e do calcário, do gesso, das profundidades, e das interações calcário x gesso, calcário x profundidades e gesso x profundidades, sobre o teores de alumínio trocável. (Quadro 9).

Nas diferentes épocas (Figura 7), observou-se uma redução na saturação por alumínio, sendo esta eficiência mais pronunciada quando se levou em consideração a associação calcário x gesso. Observou-se ainda que o gesso, na ausência do calcário, proporcionou uma tendência de diminuição na saturação por alumínio, de maneira mais significativa. Um aumento na dose de calcário (C0 para C1) foi suficiente para reduzir o teor de alumínio trocável, (Figura 8), e a saturação por alumínio, (Figura 7), a valores mais baixos. Neste caso, a calagem pode

QUADRO 7. **Resumo** da análise de variância para potássio disponível no **solo** em função de aplicações de calcário e de gesso nas diferentes profundidades (P) e épocas de amostragens.

		ÉPOCAS			
		E1	E2	E3	E4
BLOCO	3	QM			
Calcário	2	4202.0156250**	10923.2239583**	5849.7239583**	11411.0781250**
Resíduo (A)	6	171.2864583	55.5086806	150.2864583	259.0781250
Parcelas	11				
Gesso	3	351.7552083**	1213.6250000**	613.3958333**	1326.0138889**
Cal x Gesso	6	218.5156250**	408.5156250**	401.2656250**	461.3211806**
Profund.	3	25.8940972	20.0138889	117.8402778	139.4583353
Cal x Prof.	6	23.6753472	12.6961806	33.2517361	18.8489583
Ges x Prof.	9	0.3709491	18.7962963	6.4004630	9.5555556
Cal x Ges x Prof.	18	35.3327546	37.7841435	39.0063657	53.1753472
Resíduo (B)	135	35.6890046	59.6881944	67.4571759	67.5807870
Total	191				
C.V. (A)		13,16	6,37	12,93	15,14
C.V. (B)		24,03	26,43	34,65	30,94

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.
 ** Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

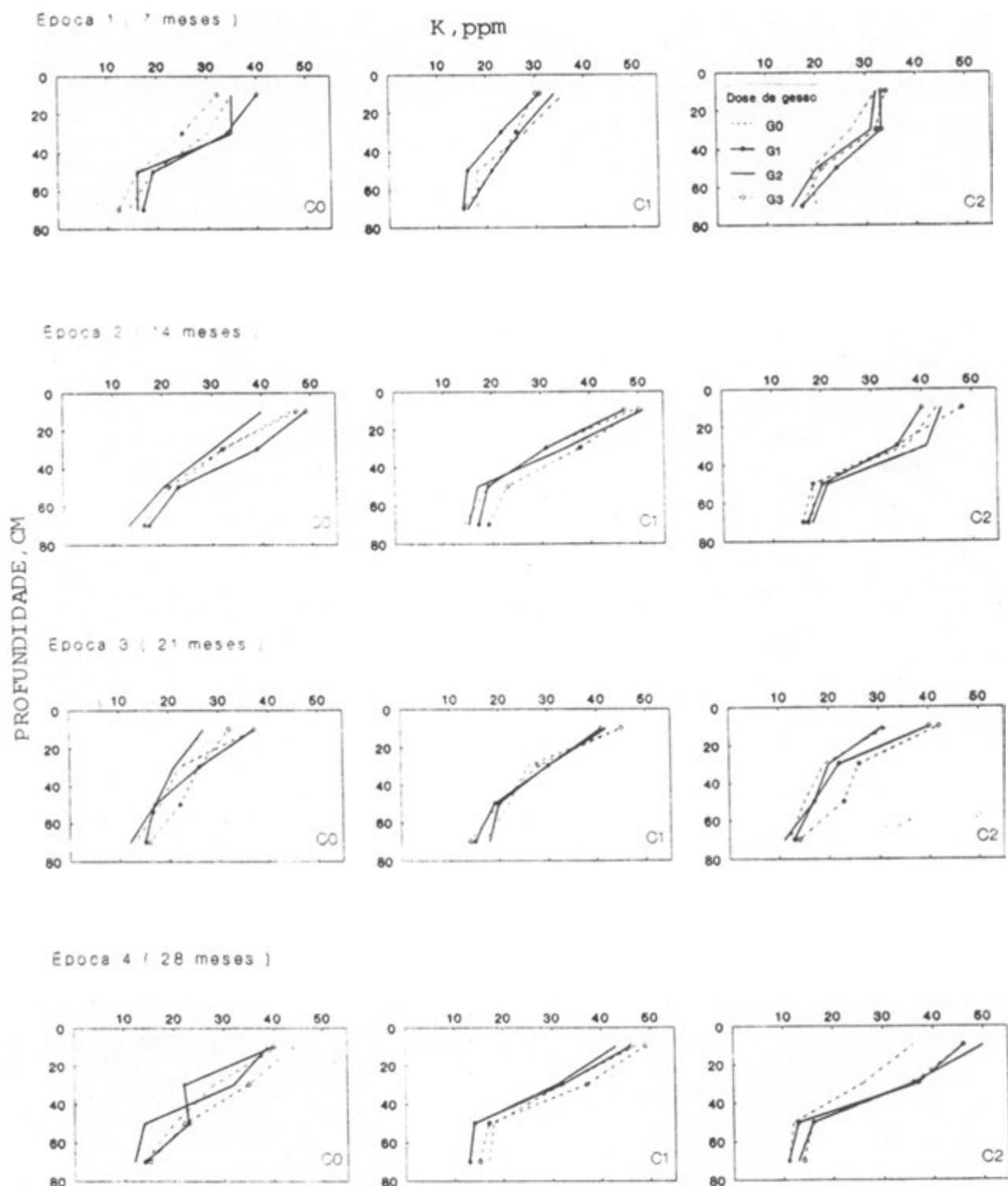


FIGURA 6. Teores de K disponível (ppm) no solo em função de doses de calcário e gesso, em diferentes profundidades e épocas de amostragens.

ser muito mais eficiente do que a gessagem, o que também foi constatado por PAVAN et alii (1984); DAL BÓ (1985); GUILHERME (1986) e SILVA (1990).

Na Figura 7, observa-se ainda que a redução da saturação, por alumínio foi mais pronunciada na superfície do solo até 40cm nas quatro épocas, quando utilizou-se as doses C_1 e C_2 de calcário, sendo esta diminuída significativamente com o tempo, à medida em que se aprofundou no perfil do solo. Quando se utilizou as maiores doses da associação calcário e gesso, a redução na saturação por alumínio atingiu o máximo nas épocas E3 e E4.

Pela Figura 8, tem-se que a utilização do gesso na ausência de calcário reduziu os teores de alumínio trocável em todo perfil do solo. Esta redução foi mais acentuada na combinação $C_2 + G_3$. A redução do Al trocável em todo perfil do solo foi bem mais expressiva nas épocas E3 e E4, chegando a sua ausência, o mesmo aconteceu, na combinação $C_2 + G_3$, apesar dos teores de alumínio no solo original enquadrarem como médio, segundo CFSEMG (1989). É provável que a redução dos teores de alumínio se deveu ao deslocamento do OH^- por SO_4^{2-} da superfície de óxidos hidratados de ferro e alumínio com consequente neutralização parcial do alumínio (CHANG & THOMAS, 1983; ADAMS & RAWAJFIH 1977; RAJAN, 1978). Outros autores constataram esta capacidade do gesso em reduzir o alumínio no solo, como é o caso de PAVAN et alii (1984); GUILHERME (1986) e OLIVEIRA et alii (1986), em

experimentos conduzidos em vasos com o cafeeiro, plantas de milho e feijão, respectivamente.

As observações de PAVAN et alii (1984) indicam que quando se aplica gesso, ocorre a complexação do alumínio pelo sulfato, formando o par iônico $AlSO_4^+$. SOPRANO (1986), sugere que esta redução no alumínio trocável pode ser devida a precipitação ou passagem para formas não extraíveis com KCl 1 N. Entretanto, ALVA et alii (1990) levantam dúvidas a respeito deste processo, mencionando não conhecerem plenamente o exato mecanismo envolvido. OATES & CALDWELL (1985) afirmam que o gesso agrícola contém fluor como impureza, o qual complexa alumínio favorecendo sua lixiviação para camadas mais profundas do solo. Esse fenômeno foi também constatado por FARINA & CHANNON (1988) ao observarem lixiviação do Al^{3+} para camadas inferiores a 90 cm de profundidade. RAIJ (1988) menciona que ocorre apenas diluição do alumínio pelo SO_4^{2-} , não podendo-se interpretar como diminuição efetiva da acidez ou do alumínio trocável. Todavia, deve-se ressaltar que as reduções nos teores de alumínio trocável causadas pelo gesso, que a princípio parecem pouco significativas, são de importância devida a baixa CTC efetiva do solo em estudo.

QUADRO 8. Resumo da análise de variância para saturação por alumínio (m%) no solo em função de aplicações de calcário e de gesso nas diferentes profundidades (P) e épocas de amostragens.

C. /	G.L.	ÉPOCAS			
		E1	E2	E3	E4
		QM			
H1oco	3				
Calcário	2	2909.3593750 **	3546.8802083 **	1231.1927083	2230.8489583 **
Resíduo (A)	6	135.9496528	261.7690972	259.0885417	135.4045139
Parcelas	11				
Gesso	3	794.5138889 **	1140.5416667 **	1015.4218750 **	877.3802083 **
Cal x Cesso	6	98.0815972 *	149.1927083 **	97.2760417	94.5989583
Profund.	3	841.2361111 **	1252.0972222 **	424.1440972 **	65.4913194
Cal x Prof.	6	45.4288194	82.1857639 *	91.3732639	67.1892361
Ges x Prof.	9	49.5925926	70.0740741	89.9959491	24.6209491
Cal x Ges x Prof.	18	23.4380787	36.2945602	28.0584491	18.3466435
Resíduo (B)	135	36.6979167	38.0229167	53.8144676	48.9890046
Total	181				
C.V. (A)		20,01	24,36	40,38	19,30
C.V. (B)		41,59	37,13	73,62	46,45

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

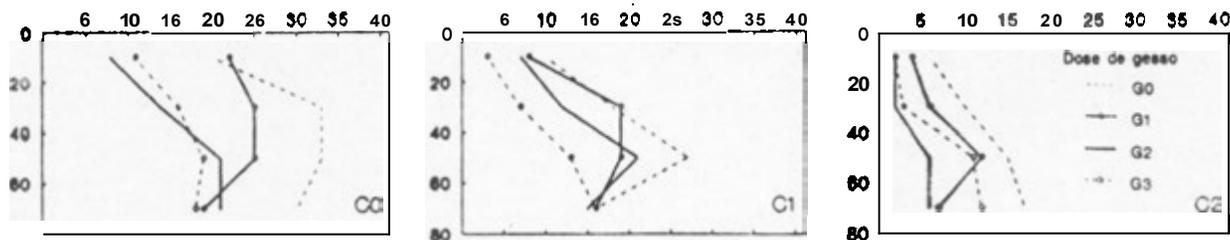
QUADRO 9. Resumo da análise de variância para alumínio trocável no solo em função de aplicações de calcário e de gesso nas diferentes profundidades (P) e épocas de amostragens.

F.V.	G.L.	ÉPOCAS			
		E1	E2	E3	E4
		QM			
Bloco	3				
Calcário	2	0,4908334**	0,4952083*	0,2326563	0,2578646*
Resíduo (A)	6	0,0344444	0,0289583	0,0464063	0,0315451
Parcelas	11				
Gesso	3	0,0675521**	0,0561806**	0,0588021**	0,0389410*
Cal x Gesso	6	0,0220833**	0,0136806*	0,0182813	0,0138368
Profund.	3	0,1322743**	0,1440972**	0,1454688**	0,3406077**
Cal x Prof.	6	0,0576389**	0,0495139**	0,0682813**	0,0557118**
Ges x Prof.	9	0,0157002*	0,0091435	0,0164410	0,0051910
Cal x Ges x Prof	18	0,0067593	0,0059491	0,0083507	0,0069618
Resíduo (B)	135	0,0069988	0,0059954	0,0120752	0,0116215
Total	191				
C.V. (A)		19,48	17,83	32,21	19,15
C.V. (B)		35,74	32,46	65,72	46,51

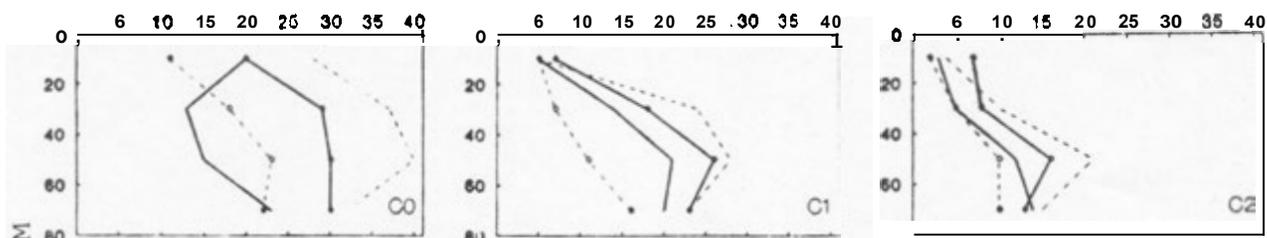
* Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

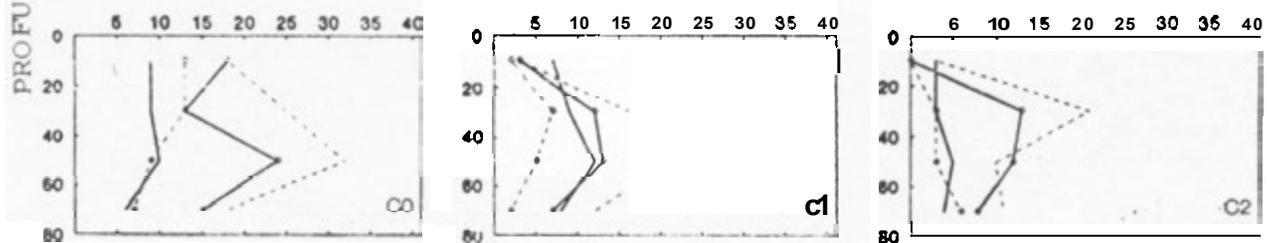
Epoca 1 (7 meses) SATURAÇÃO POR ALUMÍNIO, m%



Epoca 2 (14 meses)



Epoca 3 (21 meses)



Epoca 4 (28 meses)



FIGURA 7. Valores de saturação por alumínio (m%) no solo em função de doses de calcário e gesso, em diferentes profundidades e épocas de amostragens.

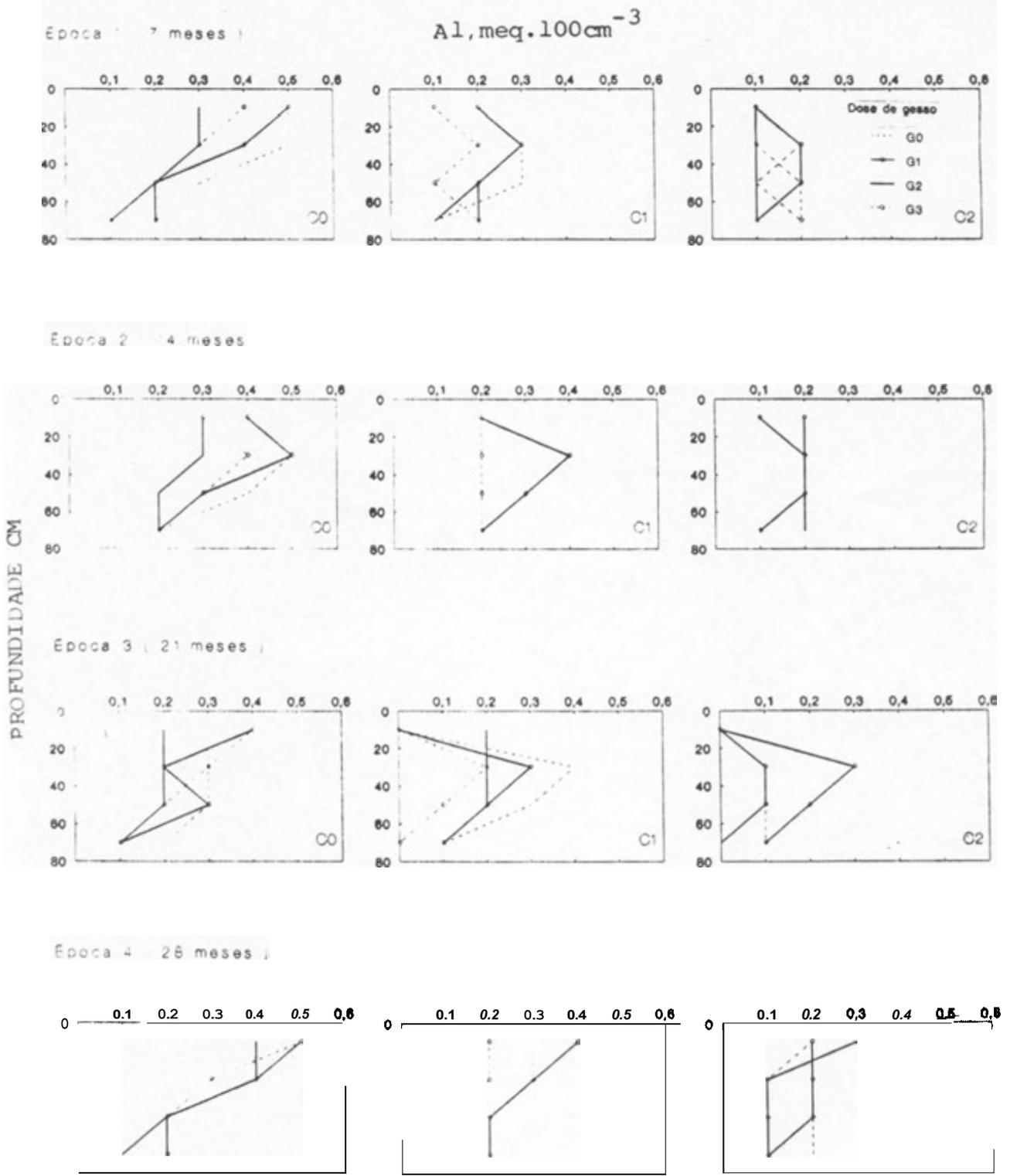


FIGURA 8. Teores de alumínio trocável ($meq/100cm^{-3}$) no solo em função de doses de calcário e gesso, em diferentes profundidades e épocas de amostragens.

4.2. Correlações entre os Teores de Ca, Mg e S no Solo e na folha do Cafeeiro.

As correlações obtidas entre os teores de Ca no solo e na folha confirmam a sua movimentação em profundidade, observando-se ainda que o maior coeficiente de correlação foi obtido com a aplicação do gesso. Esse resultado confirma aqueles encontrados por DAL BÓ (1986), segundo os quais a lixiviação do Ca para as camadas subsuperficiais depende da quantidade de gesso aplicada. As correlações envolvendo calcário associado ao gesso e somente calcário são de menor magnitude devido à pouca mobilidade do calcário.

Com relação ao Mg, observou-se que os maiores coeficientes de correlação foram encontrados naqueles tratamentos que envolveram a aplicação de calcário. Esses resultados demonstram o efeito residual da aplicação do calcário dolomítico, devido à liberação do Mg contido no corretivo, o mesmo não acontecendo com o uso somente do gesso. De certa maneira o comportamento do magnésio seguiu a mesma tendência observada por PINTO (1990).

Finalmente o Quadro 10 mostra ainda que a aplicação do gesso acarretou expressivos acréscimos nos teores de S tanto no solo quanto na folha, o que não ocorreu com a aplicação do calcário isoladamente. A correlação negativa entre os teores de S no solo e na planta deveu-se, provavelmente, ao fato de que, com a aplicação do calcário, houve correção da acidez do solo e, conseqüente, aumento de cargas negativas, o que propiciou uma maior lixiviação do SO_4^{2-} existente no solo.

QUADRO 10. Coeficientes de correlação entre teores de Ca, Mg e S no **solo** e na folha do cafeeiro em função das doses de calcário, gesso e calcário e gesso **associados** (época **E4** de amostragem de solo na profundidade de 40 a 60 cm e épocas **E2** de amostragem de folhas).

	Ca	Mg	S
Calcário/gesso	0,511 N.S.	0,825 N.S.	0,589 N.S.
Gesso	0,961**	0,581 N.S.	0,936*
Calcário	0,434 N.S.	0,924 *	-0,613 N.S.

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t.

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste t.
N.S. Não significativo

4.3. Diâmetro de caule, diâmetro de **copa**, número de internódios e altura da planta

Pelo Quadro 11, verifica-se que houve efeito significativo do gesso para número de internódios e diâmetro de copa e uma não significância para altura das plantas e diâmetro de caule. Com relação ao calcário e às interações calcário e gesso, **os** efeitos **não** foram significativos para todos **os** parâmetros estudados.

O Ca e S são dois dos macronutrientes essenciais para a formação das raízes, tronco, ramos e folhas do cafeeiro. Provavelmente estes nutrientes contidos no gesso agrícola, em função da mobilidade no perfil do **solo** (Figuras 3 e 4) e da

elevada solubilidade do mesmo, reduziu **os** efeitos da acidez do **solo**, propiciando condições favoráveis para um maior desenvolvimento do sistema radicular, proporcionando assim uma boa resposta ao desenvolvimento da parte aérea do cafeeiro, principalmente diâmetro de copa e número de internódios. Estes resultados corroboram **os** dados de FAWZY et alii (1954) e JACOBSON et alii (1960), **os** quais constataram que o aumento do teor de cálcio na **solução** do **solo** pode proteger as raízes do efeito prejudicial de espécies monoméricas específicas de alumínio, de maneira análoga ao efeito protetor do cálcio contra as injúrias do H^+ , devido ao fato de que o cálcio em concentrações elevadas evita a entrada do alumínio na constituição do plasmalema da célula da raiz, mantendo assim sua permeabilidade. RAJAN (1978) afirma que a adsorção de sulfato **pelos** óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio liberando OH^- para a solução representa outro mecanismo de redução da fitoxidez do alumínio.

4.4. Relações de Nutrientes na **Folha do** Cafeeiro

As relações entre **os** nutrientes nas plantas, em muitos casos, podem indicar um melhor efeito que se estabelece entre eles, podendo resultar ou não no bom desenvolvimento da planta. **Os** valores das relações entre P/S, Mg/K, Ca/K, Ca/Mg foram significativamente influenciados pelas doses de calcário e gesso, não sendo, entretanto, para suas interações, como consta no Quadro 10 A.

QUADRO 11. Resumo de análise de variância para diâmetro de caule, diâmetro de copa, número de internódios e altura da planta em função de aplicações de calcário e gesso.

F.V.	G.L.	Diâmetro		Número de		Altura da	
		Caule	Copa	Internódios	Planta		
		----- QM -----					
Bloco	3						
Calc.	2	0,1221271 NS	481,3958333 NS	3,1458333 NS	34,7708333 NS		
Resíduo(A)	6	0,0549882	384,0902778	4,8680556	65,4930556		
Parcelas	11			*			
Gesso	3	0,2065743 NS	895,2222222	12,8541667*	96,4722222 NS		
Cal x Cesso	6	0,0235910 NS	160,6180556 NS	2,6458333 NS	52,2430556 NS		
Resíduo (B)	27	0,126132	293,3379630	3,9560185	94,6712963		
Total	47						

C.V. (A)		6,12	9,81	10,74	4,62		

C.V. (B)		18,54	17,15	19,36	11,11		

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F
N.S. Não significativo

4.4.1. Relação Ca/Mg na Folha do Cafeeiro

É contextual mencionar que a prática da calagem, quando utilizada com objetivo de neutralizar a acidez, pode também fornecer Ca e Mg em quantidades superiores às exigências das culturas. Em função das quantidades utilizadas ou dos teores de Ca e Mg, poderão ocorrer desequilíbrios entre os cátions no solo, influenciando a nutrição e o crescimento das plantas.

A relação foliar Ca/Mg reduziu-se com o aumento das doses de calcário (Figura 9). Estes valores confirmam a capacidade de adaptação da planta para uma amplitude relativamente grande de

relações, dentro de certos limites suportáveis.

O valor da relação Ca/Mg ideal para o bom desenvolvimento do cafeeiro gira em torno de 3:1 conforme I.B.C. (1985). Observa-se na Figura 9, que a relação ideal foi atingida com a menor dose de calcário. No entanto, os teores, tanto de Ca como de Mg, na folha, estão abaixo do nível limiar, (Quadro 11A). Quando a relação atingiu novamente a proporção 3:1, com aproximadamente a maior dose de calcário, os teores, tanto de Ca como de Mg, chegaram ao nível limiar, confirmando que uma boa relação Ca/Mg na folha em valores acima do limiar, só foi atingida com a dose máxima usada no presente estudo.

4.4.2. Relação Ca/K na **Folha do Cafeeiro**

Pelas Figuras 10 e 11, verifica-se que os aumentos nas doses, tanto de gesso como de calcário, promoveram acréscimos significativos nas relações Ca/K na folha do cafeeiro. No entanto, não atingiu uma relação considerada ideal de 0,6:1 segundo I.B.C. (1985), uma vez que os teores de K sempre foram altos e os de Ca ficaram abaixo do nível limiar, (Quadro 11A).

4.4.3. Relação Mg/K na **Folha do Cafeeiro**

No tocante à relação Mg/K, observa-se pela Figura 12, que os aumentos nas doses de calcário promoveram significativos

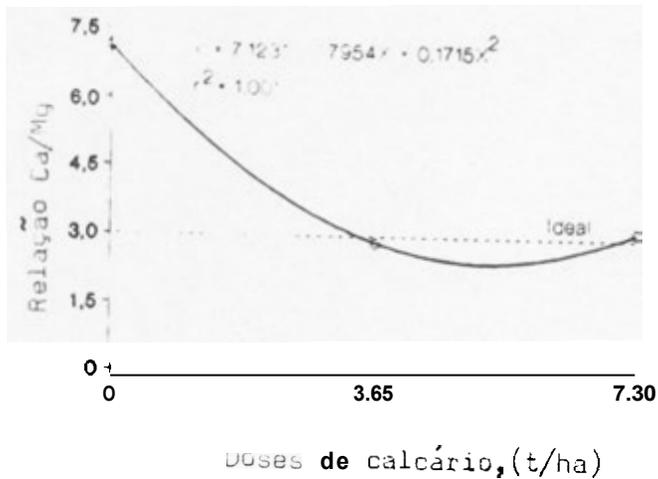


FIGURA 9. Relação Ca/Mg nas folhas em função das doses (C0, C1 e C2) de calcário, quando considerada a relação ideal para o cafeeiro, (média de 4 repetições).

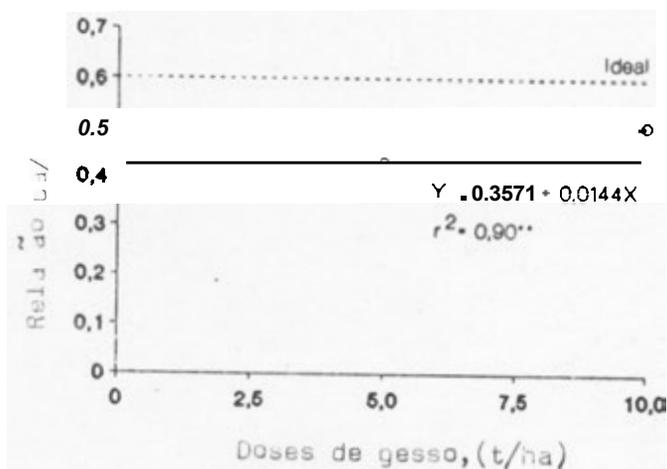


FIGURA 10. Relação Ca/K nas folhas, em função das doses (G0, G1, G2 e G3) de gesso, quando considerada a relação ideal para o cafeeiro, (média de 4 repetições).

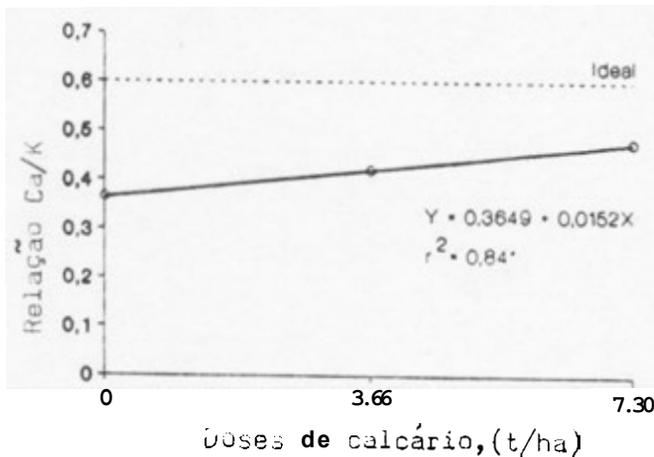


FIGURA 11. Relação Ca/K nas folhas, em função das doses de (C0, C1 e C2) de calcário, quando considerada relação ideal para o cafeeiro, (Média de 4 repetições).

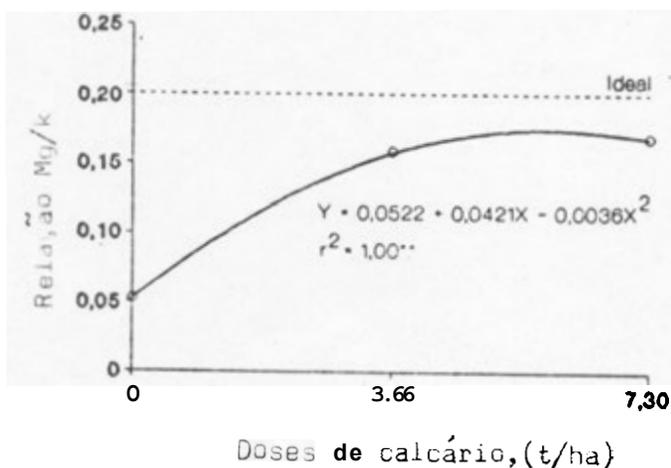


FIGURA 12. Relação Mg/K nas folhas, em função das doses (C0, C1 e C2) de calcário. Quando considerada relação ideal para o cafeeiro, (Média de 4 repetições).

aumentos na mesma, não chegando entretanto a atingir a relação ideal de 0,2:1. Observou-se ainda a mesma tendência da relação Ca/K, sendo que os teores de K excederam e os de Mg ficaram abaixo do nível limiar. Provavelmente, tanto a relação Ca/K como Mg/K, em consequência da adubação parcelada de K e o período estudado de 3 anos, não foram suficientes para atingir uma relação Ca/K e Mg/K, considerada ideal para o bom desenvolvimento vegetativo do cafeeiro, (Quadro 11A).

4.4.4. Relação P/S na Folha do Cafeeiro

Observa-se pela Figura 13, que, aumentando as doses de calcário, diminui-se a relação P/S. Talvez devido à aplicação do calcário, tenha havido a correção da acidez superficial, gerando cargas negativas que proporcionaram uma menor adsorção do enxofre, sendo este absorvido pelas raízes com respostas via foliar.

Pela Figura 14, observa-se que, com o aumento das doses de gesso, houve uma diminuição da relação P/S, chegando esta a atingir a relação quase ideal de 0,5:1 (I.B.C., 1985). Provavelmente esta resposta foi resultante da adição do S ao solo, através do tratamento com gesso e com resposta via foliar. Como pode-se notar no Quadro 11A, à medida em que se aumenta a dose de gesso, aumenta-se o teor de S na folha, chegando a aproximar do nível limiar.

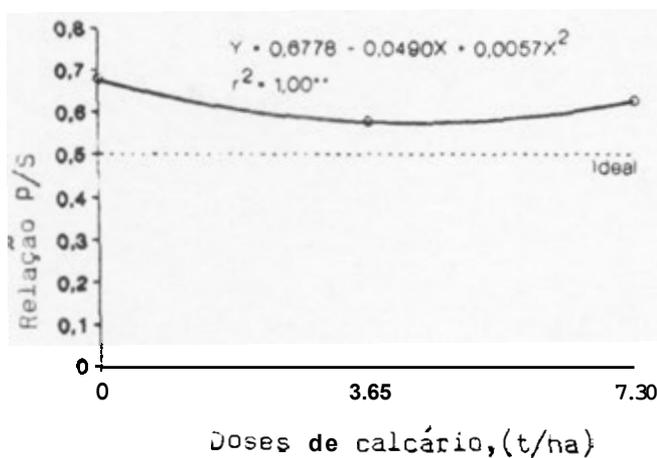


FIGURA 13. Relação P/S nas folhas em função das doses (C0, C1 e C2) de calcário, quando considerada a relação ideal para o cafeeiro, (média de 4 repetições).

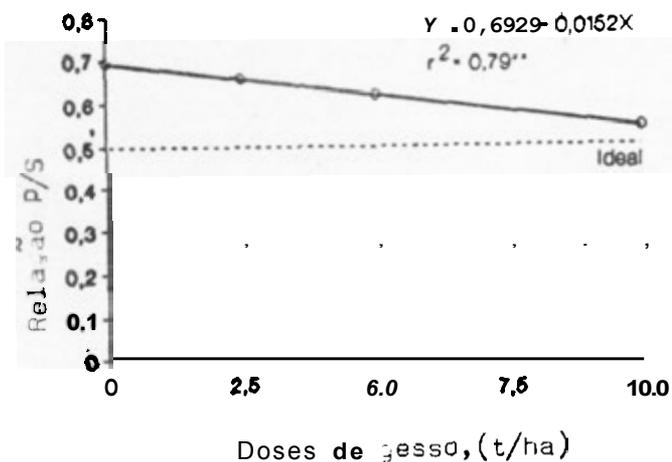


FIGURA 14. Relação P/S nas folhas, em função das doses (G0, G1, G2 e G3) de gesso, quando considerada a relação ideal para o cafeeiro, (Média de 4 repetições).

5. CONCLUSÕES

Nas condições em que foram efetuados **os** estudos, **os** dados obtidos permitem concluir :

A aplicação de gesso em associação com calcário proporcionou uma melhoria acentuada nas condições químicas na subsuperfície, com diminuição na saturação por alumínio e aumento da saturação por base, fornecendo ainda Ca, Mg e S a cultura.

Houve uma boa movimentação no perfil do **solo** dos cátions Ca^{2+} e Mg^{2+} e do ânion S-SO_4^{2-} , sendo que **o** mesmo não **se** verificou em relação ao cátion K^+ , provavelmente devido à adubação potássica parcelada no período estudado.

6. SUGESTÕES

Os resultados obtidos **no** presente trabalho e examinando as sugestões de outros autores existentes para recomendações de aplicação de gesso agrícola, sugere-se para a cultura em questão, e levando em consideração o curto período experimental, condições de **solos** e climas semelhantes, a combinação: (C₂) 7,3 t/ha de calcário dolomítico calculado para elevar a saturação por base a **80%** em área total e incorporado com grade, com (G1 a G2) 2,5 a 5,0 t/ha de **gesso** agrícola também em área total.

7. RESUMO

Com o objetivo de estudar os efeitos do calcário e gesso como corretivo das camadas superficiais do solo e a movimentação diferencial de ions ao longo do perfil frente à diferentes doses de calcário e/ou gesso na cultura do cafeeiro, o presente trabalho foi instalado no campo, em um Latossolo Roxo distrófico, fase cerrado com 70% de argila. A cultivar utilizada foi o Mundo Novo LCP-379-19, em um espaçamento de 2,5 m x 1,25m. Como tratamento, foram utilizadas 3 doses de calcário dolomítico 0; 1/2 (3,65 t/ha) e dose completa (7.3 t/ha) necessária para elevar a saturação por base a 80% e 4 doses de gesso agrícola 0 t/ha; 2,5 t/ha; 5,0 t/ha e 10,0 t/ha. Foram efetuadas quatro amostragens de solo nas fundidades de 0 a 20, 20 a 40, 40 a 60 e 60 a 80 cm, sendo que as mesmas foram feitas de sete em sete meses após aplicação dos tratamentos. Determinou-se, pela análise do solo, os valores de pH, Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Al^{3+} , SO_4^{2-} , v% e m% e os teores na folha, de N, P, K, Ca, Mg, S, Fe e Mn.

Foi observado, pela aplicação do gesso, uma movimentação de Ca e Mg no solo, com redução da saturação por alumínio em profundidade, sendo que os teores de alumínio trocável chegaram a atingir zero; e aumento da saturação por base. O sulfato foi o ânion que predominantemente acompanhou os cátions trocáveis, sendo observados teores do mesmo acima do nível crítico após os 28 meses de aplicação dos tratamentos. Em relação ao potássio, não foi observada sua movimentação no perfil do solo, talvez pelo uso da adubação potássica parcelada durante o período observado. O calcário corrigiu a acidez superficial e forneceu Ca e Mg para a cultura, que não se movimentaram no perfil do solo, no período.

Foram obtidas correlações positivas entre os teores de Ca, Mg e S no solo e na folha: e um bom desenvolvimento da parte vegetativa de forma significativa, com relação ao diâmetro da copa e número de internódios,

Foram obtidas relações entre nutrientes na folha ideais para o bom desenvolvimento da parte aérea do cafeeiro para P/S e Ca/Mg o mesmo não acontecendo com as relações Mg/K e Ca/K que não seguiram as mesmas tendências positivas das relações mencionadas.

8. SUMMARY

With the objective of studying the effects of liming and gypsum as corrective of subsuperficial layers of soil and the differential movement of ions through the soil profile in relation to different doses of lime and/or gypsum in coffee crop, the present work was installed at field conditions, in a dystrophic Dusky Red Latosol, cerrado phase with 70% clay. The utilized cultivar was LCP-379-19 Mundo Novo (New World), in a spacing of 2.5 m x 1,25 m. As treatments were utilized 3 doses of dolomitic lime - 0; 1/2 (3.65 ton/ha) and complete dose (7.3 ton/ha) - need to elevate the base saturation to 80% and 4 doses of agricultural gypsum - 0; 2.5; 5,0 and 10 ton/ha. It were performed 4 samplings of soil at 0 - 20, 20 - 40, 40 - 60 and 60 - 80cm depth, being that they were done at each 7 months after application of treatments. It were determined at each 7 months after application of treatments. It were determined by soil analyses the values of pH, Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} , Al^{3+} , SO_4^{2-} , v% and m%, and the amounts of N, P, K, Ca, Mg, S, Fe and Mn in leaves.

It was observed by the application of gypsum a movement of Ca and Mg in the soil, with reduction of Al saturation in depth, being that the amounts of exchangeable Al reached 0, and increase of base saturation. The sulphate was the anion which mainly followed the exchangeable cations, being observed amounts of it above the critical level after the 28 months of application of treatments. In relation to K, it was not observed its movement in the soil profile, perhaps by the use of parcelled k fertilization during the observed period. The lime corrected the superficial acidity and provided Ca and Mg to the crop, which did not move in the soil profile during the studied period.

It were obtained positive correlations between the amounts of Ca, Mg and S in the soil and in the leave, and a good development of the vegetative part in a significative form with relation to the diameter of crown and number of internodes.'

It were obtained rations between nutrientes in leaf ideals for the good development of the aerial part of the coffee crop for P/S and Ca/MG, the same not happening with the Mg/K and Ca/k rations which did not follow the same positive trends as the former mentioned ratios.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRUÑA, F.; VICENTE-CHANDLER, J. & PEARSON, R.W. Effects of liming on yields and composition of heavily fertilizer grasses and on soil properties under humid tropical conditions. Soil Science Society of American Proceedings, Madison, 28:657-61, 1964.

ADAMS, F.; PEARSON, R.W. & DOSS, B.D. Relative effects of acid subsoils on cotton yield in field experiments and on cotton roots in growth chamber experiments. Agronomy Journal, Madison, 59(5):453-6, Sept./Oct. 1967.

_____ & RAWAJFIH, Z. Basalunite and alunite: A possible cause of sulfate retention by acid soils. Soil Science Society of America Journal, Madison, 41(4):682-92, July/Aug. 1977.

ALCARDE, J.C. Contraditória, confusa, e polêmica é a situação do uso do gesso na agricultura. Piracicaba, POTAFÓS, 1988. 12p. (Informações Agronômicas, 41).

ALVA, A.K.; SUMNER, M.E. & MILLER, W.P. Reaction of gypsum on phosphogypsum in highly weathered acid subsoils. Soil Science Society of America Journal, Madison, 54(4)993-8, July/Aug. 1990.

ALVES, H.M.R. & LOPES, A.S. Efeito de corretivos e fertilizantes na redução da percentagem de saturação de alumínio nas camadas subsuperficiais de solos sob cerrado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO SOLO, 18, Salvador, 1981. Programa e Resumos... Salvador, SBCS, 1981. P.95-6.

BATAGLIA, O.C. Micronutrientes: Disponibilidade e interações. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO, 17, Londrina, 1988. Anais do simpósio: enxofre e micronutrientes na agricultura. Londrina, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1988.

BLACK, C.A. Soil plant relationships, New York, John Wiley and Sons, 1967. 729p.

BLAIR, G.J. Sulfur in the tropics. Alabama, Sulfur Institute and International Fertilizer Development Center. Muscle Shoals, 1979. 69p. (Technical Buletin IFDC-T-12).

BLANCHAR, R.W.; REHM, G. & CALDWELL, A.C. Sulfur in plant material digestion with nitric and perchloric acids. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 29(1):71-2, Jan./Feb. 1965.

BORKERT, C.M.; PAVAN, M.A. & LANTMAN, A.F. Considerações sobre o uso de gesso na agricultura. Piracicaba, POTAFOS, 1987. (Informações Agronômicas, 40).

BREMNER, J.M. & EDWARDS, H.P. Determination and isotope ratio analysis of different forms of nitrogen in soils. I. Apparatus and procedures for distillation and determination for ammonium. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 29(5):504-7, Sept./Oct. 1965.

CAMERON, R.S.; RITCHIE, G.S.P. & ROBSON, A.D. Relative toxicities of inorganic aluminum complexes to barley. Soil Science Society of America Journal, Madison, 50(5):1231-6, Sept./Oct. 1986.

CASTRO, A.D. de & MENEGHELLI, N. do A. As relações $K^+ / (Ca^{++} + Mg^{++})$ e $K^+ / (Ca^{++} + Mg^{++})$ no solo e as respostas à adubação potássica. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 24(6):751-60, Jun. 1989.

CHANG, M.L. & THOMAS, G.W. A suggested mechanism for sulfate adsorption by soils. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, 27(3):281-83, May/June 1983.

CLARKSON, D.T. The effect of aluminum and trivalent metal cations on cell division in the root apices of *Allium cepa*. *Annals Botany*, London, 29:209-315, 1965.

COLEMAN, N.T. & THOMAS, G.W. The basic chemistry of soil acidity. In: PEARSON, R.W. & ADAMS, F., eds. *Soil acidity and liming*. Madison, American Society of Agronomy, 1967. p.1-41. (Agronomy, 12).

COLLINGS, G.H. *Comercial fertilizers*. 4.ed. Toronto, The Blackiston Company, 1950. 522p.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. *Recomendações do uso de fertilizantes e corretivos para o Estado de Minas Gerais; 4ª Aproximação*. Lavras, 1989. 159p.

COSTA, A.C.S.; REICHARDT, K.; DONA, S.; LIMA, J. L. GOBBI, M. A. Fixação de potássio em solos distróficos corrigidos com diferentes fontes de cálcio. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS: adubação para os anos 2.000, 19, Santa Maria, 1990. Resumos... Santa Maria, SBCS, 1990. p.35.

COUTO, W.; LATHWELL, D.L. & BOULDIN, D.R. Sulfate Sorption by two Oxisols and Alfisols of the tropics. Soil Science, Baltimore, 127(2):108-118, Feb. 1979.

DAL BÓ, M.A. Movimentação de bases e crescimento de raízes de cana-de-açúcar em colunas de solo em função da adição de diferentes sais de cálcio. Viçosa, UFV, 1985. 78p. (Tese MS).

_____; RIBEIRO, A.C.; COSTA, L.M.; THIEBAUT, J.T.L. & NOVAIS, R.E. Efeito da acidez de diferentes fontes de cálcio em colunas de solo cultivadas com cana-de-açúcar. I - Movimentação de bases no solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 10(3):195-98, Set./dez. 1986.

EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados. Relatório técnico anual - 1976/1977. Planaltina, 1978. V.2, p.45-52.

EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados. Relatório técnico anual - 1979/1980. Planaltina, 1981. 190p.

_____. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados. Relatório técnico anual - 1980/1981. Brasília, 1982. 163p.

_____. Centro Nacional de Pesquisa do Gado de Leite. Programa de pesquisa em pastagem para a região dos Campos das vertentes.. Coronel Pacheco, 1987. 5p.

FARINA, N.P.W. & CHANNON, P. Acid-subsoil amelioration. I. A comparison of several mechanical procedures. Soil Science Society of America Journal, Madison, 52(1):169-75, Jan./Feb. 1988.

FASSBENDER, H.W. Química de suelos; con énfases en suelos de America Latina. San José, IICA, 1986. 398p.

FAWZY, H.; OVERSTREET, R. & JACOBSON, L. Influence of hydrogen ion concentration on cation absorption by barley roots. Plant Physiology, London, 29(3):234-37, May 1954.

FORESTIERY, E.F. & DE-POLLI, H. Calagem, enxofre e micronutrientes no crescimento do milho e de mucuna-preta num Podzólico Vermelho-Amarelo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 14(2):167-72, Maio/Ago. 1990.

FOY, C.D. Effects of aluminum on plant growth. In: CARSON, E. W. The plant root and its environment. Charlottesville, University Press of Virginia, 1974. p.601-42.

_____ ; CHANEY, R.L. & WHITE, M.C. The physiology of metal toxicity in plant. Annual Review of Plant Physiology, Palo Alto, 29:511-48, 1978.

GOMES, R.V.; TABOSA, J.N.; SIMÕES, A.L.; CAVALCANTE, F.J. de A.; MELO, P.C.S.; LIRA, M. de A. & BRANDÃO, A.R. de M. Utilização do calcário + gesso em solos ácidos na cultura do sorgo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, Porto Alegre, 23, 1991. Resumos... Porto Alegre, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1991. p.97.

GONZALES-ERICO, E.; KAMPRATH, E.J.; NADERMAN, G.C. & SOARES, W.V. Effect of depth of lime incorporation on the growth of corn an oxisol of Central Brazil. Soil Science Society of America Journal, Madison, 43(6):1155-58, Nov./Dec. 1979.

GUILHERME, M.R. Efeitos da aplicação de calcário calcinado - gesso e mistura calcário calcinado e gesso em culturas de interesse econômico. Piracicaba, ESALQ-USP, 1986. 63P, (Tese MS).

GUIMARÃES, P.T.G.; MELLES, C.C.A.; FREIRE, F.M, L PONTES, A. M, influência do gesso e do calcário como corretivos e fornecedores de cálcio e enxofre para o cafeeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA CAFEIEIRO, 10, Poços de Caldas, 1983. Anais... s.n.t., 1983. p.164-5.

_____. O gesso agrícola na neutralização do alumínio nas camadas superficiais do solo: Aplicações às culturas anuais e perenes. In: SEMINARIO SOBRE O USO DE FOSFOGESSO NA AGRICULTURA, 1, Brasilia, 1986. Anais... Brasilia, EMPRAPA-DDT, 1986. p.145-67.

HOWARD, D.D, L ADAMS, F. Calcium requirement for penetration of subsoils by primary cotton roots. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 29(5):558-62, Sept./Oct. 1965.

INSTITUTO BRASILEIRO DO CAFÉ - Ministério da Indústria e do Comércio. Cultura de café no Brasil; manual de recomendações. 5 ed, Rio de Janeiro, 1985. 580p.

- JACOBSON, L.: MOORE, D.P. & HANN APPEL, R.J. Role of calcium in absorption of monovalent cations. *Plant Physiology*, London, 35(3)352-8, May 1960.
- KAMPRATH, E.J.; NELSON, W.L. & FITTS, J.W. The effects of pH, sulfate and phosphate concentrations on the adsorption of sulfate by soils. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, 20(4)463-6, Oct. 1956.
- KAMPRATH, E.J. Phosphorus fixation and availability in high weathered soils. In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO: Bases para utilização agropecuária, 4, Brasília. 1976. Quarto... Belo Horizonte, Itatiaia, 1977. p.333-98.
- LIAO, C.F.H. Devard's alloy method for total nitrogen determination. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, 45(5):852-5, Sept./Oct. 1981.
- LOPES, A.S. **Solos** sob Cerrado.: Características, propriedades e manejo. 2.ed. Piracicaba, Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fósforo, 1984. 162p.
- MALAVOLTA, E. O pH e as Plantas. In: ——. *Elementos de nutrição mineral de plantas*. São Paulo, Agronômica Ceres, 1980. p.27-40.

- MALAVOLTA, E; VITTI, G.C.; ROSOLEM, C.A.; FAGERIA, N.K. & GUIMARÃES, P.T.G. Sulphur response of Brazilian crops. *Journal of Plant Nutrition*, New York, **10(9/16):2153**, 1987.
- MARCANO-MARTINEZ, E. & McBRIDE, M.B. Calcium and sulphate retention by two oxisols of the Brazilian cerrado. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, **53(1):63-9**, jan./feb. 1989.
- MASCARENHAS, H. A.A.; MIYASAKA, S.; IGUE, T.; LOVADINI, L.A. & FREIRE, E.S. Adubação mineral do feijoeiro. XI - Efeito de N, P, K e da calagem em campos cerrados do Planalto Paulista. *Bragantia*, Campinas, **26(22):303-16**, jun. 1967.
- McLUNG, A.C.; FREITAS, L.M.M. de & LOTT, W.L. Analysis of several Brazilian soils in relation to plant. Responses to sulfur. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, **23(3):221-4**, 1959.
- MIYASAKA, S.; FREIRE, E.S. & MASCARNHAS, H.A.A. Ensaio de adubação da soja e do feijoeiro em solo do arenito Botucatu, com vegetação de cerrado. *Bragantia*, Campinas, **23(5):45-54**, jan. 1964.

- MORAES, J.F.V. Calagem e Adubação. In: INSTITUTO DA POTASSA E DO FÓSFORO. Cultura do Feijoeiro: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba, POTAFOS, 1988. p.261-301.
- MORELLI, M.; IGUE, K. & PUENTES, R. Efecto del incalado en el complejo de câmbio de movimento de Ca e Mg. Turrialba, Putumayo, 21(3):317-22, Jul./Set. 1971.
- NEPTUNE, A. L. M.; TABATABAI, M.A. & HANWAY, J.J. Sulfur fractions and carbon-nitrogen-phosphorus-sulfur relationship in some Brazilian and Iowa Soils. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 39(1):51-5, Jan./Feb. 1975.
- NOBLE, A.D.; FEY, M.V. & SUMMER, M.E. Calcium aluminium balance and the growth of soybean roots in nutrient solution. Soil Science Society of America Journal, Madison, 52(6):1951-6, Nov./Dec. 1988.
- OATES, K.M. & CALDWELL, A.C. Use of by product gypsum to alleviate soil acidity. Soil Science Society of America Journal, Madison, 49(4):915-18, July/Aug. 1985.

OLIVEIRA, I.P, de: KLUTHCOSKI, J. & REYNER, F.N, Efeito de fosfo-
gesso na produção de feijão e arroz e no comportamento de
alguns nutrientes. In: SEMINARIO SOBRE O USO DO FOSFOGESSO
NA AGRICULTURA, 1, Brasilia, 1985. Anais... Brasilia,
EMBRAPA-DDT, 1986. P,45-60,

PAVAN, M.A, IGUE, K, Estudos de calagem em cafeeiros. In: CON-
GRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 4, Caxambú, 1976.
Resumos... Rio de Janeiro, IBC-GERCA, 1976. P.41,

_____ & BINGHAM, F.T, Toxicity of aluminum to coffee seed-
lings grown in nutrient solution. Soil Science Society of
America Journal, Madison, 46(5):993-7, Sept./Oct. 1982.

_____. Ação dos corretivos e fertilizantes na dinâmica de
ions no solo. In: INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ, Curso
de Atualização em Fertilidade do Solo. Londrina, ANDA/PP/
IPT, 1983. P,47-63,

_____; BINGHAM, F.T, & PRATT, P.F, Redistribution of exchan-
geable calcium, magnesium and aluminum following lime or gypsum
application to a Brazilian Oxisol. Soil Science Society of
America Journal, Madison, 48(1):33-8, Jan./Feb. 1984.

PEARSON, R.W.; ABRUÑA, F. h VICENT-CHANDLER, Jr. Effect of Lime and nitrogen applications on downward movement of calcium and magnesium in two tropical soils of Puerto Rico. Soil Science, Baltimore, 93(2):77-82, Feb. 1962.

PEDRO JR., M.J.P.; BULIXANI, E.A.; PROMMER, C.V.; PASSOS, F.A.; GODOY, J.I. h ARANHA, C. Instruções agrícolas para o Estado de São Paulo. Campinas, Instituto Agrônomo, 1987. 231p. (Boletim, 100).

PINTO, M.B.A.B. de A. Efeito residual da calagem, adubação fosfatada corretiva e gesso agrícola na dinâmica de bases e características químicas do solo e subsolo. Lavras, ESAL, 1989. 93p. (Tese MS).

QUAGGIO, J.A. MASCARENHAS, H.A.A. h BATAGLIA, O.C. Resposta da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) à aplicação de doses crescentes de calcário. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 18, Salvador, 1981. Programa e Resumos... Salvador, SBCS, 1981. p.46.

QUAGGIO, J.A.; DECHEN, A.R. h VAN RAIJ, B. Efeitos da aplicação de calcário e gesso sobre a produção de amendoim e lixiviação de bases no solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 6(3):189-94, set./dez. 1982.

QUAGGIO; RAIJ, B. van.: GALLO, P.B. & MASCARENHAS, H.A.A.,
 Resposta da soja a aplicação de doses de calcário e de gesso e
 lixiviação de bases no **solo**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE
 CIÊNCIA DO SOLO, Programa e Resumos... Campinas, SBCS, 1987.
 p.95.

RAIJ, B. van **Avaliação** da fertilidade do solo. Piracicaba,
 Instituto Internacional da Potassa, 1981. 142p.

_____ ; CANTARELLA, H. ; CAMARGO, A. P. & SOARES, E. Perda
 de cálcio e magnésio durante 5 anos em ensaio de calagem. Re-
 vista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 6(1):33-7,
 jan./abr. 1982.

_____ ; QUAGGIO, J. A. ; CANTARELLA, H. ; FERREIRA, M. E. ;
 LOPES, A. S. L. & BATAGLIA, O. C. Análise Química do **Solo** para
 Fins de Fertilidade. Campinas, Fundação Cargill, 1987. 170p.

_____ . **Gesso** agrícola na melhoria do ambiente radicular no
subsolo. São Paulo, Associação Nacional para Difusão de Adu-
 bos e Corretivos Agrícolas, 1988. 38p.

RAJAN, S.S.S. Sulfate adsorbed on hydrated aluminum legands du-
 plicated and changes in surface charge. Soil Science Society
of America Journal, Madison, 42(1):39-44, Jan./Feb. 1978.

REEVE, N.G. & SUMNER, M.E. Effects of aluminum toxicity and phosphorus fixation on crop growth on oxisols in Natal. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, **34(2):263-7**, Mar./Apr. 1970.

_____. & _____. Amelioration of subsoil acidity in Natal oxisols by leaching of surface. Applied amendments. Agro-chemophisica, Pretoria, **4(1):1-6**, Jan./Feb. 1972.

RITCHEY, K.D.; SOUZA, D.M.G.; LOBATO, E. & CORRÊA, O. Calcium leaching to increase rooting dept in a brasilian savannah oxisol. Agronomy Journal, Washington, **72(1):40-4**, Jan./Feb. 1980.

RITCHEY, K.D.; SILVA, J.E. & SOUZA, D.M.G. Lixiviação de cálcio e crescimento de raízes em solos de cerrado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 18, Salvador, 1981. Programa e Resumos... Salvador, SBCS, 1981. P.96.

_____ & _____. Manejo de cálcio para o crescimento de raízes em solos de cerrados. Brasilia, 1982. n.p. (Trabalho apresentado no VI Simpósio sobre cerrado). Brasilia, 1982).

RITCHEY, K.D.; SILVA, J.E. & SOUZA, D.M.G. Relações entre teor de cálcio no **solo** e desenvolvimento de raízes avaliado por um método biológico. Revista Brasileira de Ciência do **Solo**, Campinas, 7(3):269-75, set./dez, 1983.

ROSOLEM, C.A. L MACHADO, J.R. Efeitos de calagem e gessagem na produção de algodão e na lixiviação de bases em dois latossolos. Revista Brasileira de Ciência do solo, Campinas, **8(1): 103-109**, Jan./Abr, 1984.

SANCHEZ, P.A. Suelos del **tropico**; Características e manejo. San José, IICA, 1981. 660p.

_____. L SALINAS, J. G. Low input technology for managing Oxisols and Ultisols in Tropical America - Advances in Agronomy, New York, 34:279-406, 1981.

SILVA, A. de A. Efeito de relações $\text{CaCO}_3/\text{CaSO}_4$ no movimento de nutrientes no solo e no desenvolvimento do algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.) Lavras, ESAL, 1990. 80p. (Tese MS),

SINGH, S.S. Increase in neutral salt extractable cation exchange capacity of some acid soil as affected by CaSO_4 applications. Canadian Journal Soil Science, Ottawa, 64(2):153-61, May 1984.

SOPRANO, E. Movimentação de ions e crescimento de café **em função** da aplicação de cálcio em colunas de solo. Viçosa, UFV, 1986. 92 p. (Tese MS).

SOUZA, D.M.G. de & RITCHEY, K.D. Uso de gesso no solo de cerrado. In: SEMINÁRIO SOBRE O USO DE FOSFOGESSO NA AGRICULTURA, 1, Brasilia, 1986. Anais... Brasilia, EMBRAPA-DDT, 1986. p. 119-44.

_____. & RODRIGUES, G.C. Uso de gesso em um latossolo de cerrado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 23, Porto Alegre, 1991. Resumos... Porto Alegre, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1991. p.97.

SOUZA, D.M.G.; REIN, T.A.; LOBATO, E.; RITCHEY, K.D. Sugestões para diagnose e recomendação de gesso em solos de cerrado. In: SEMINÁRIO SOBRE O USO DO GESSO NA AGRICULTURA, 2, Uberaba, 1992. Anais... Uberaba, IBRAFOS, 1992. 139-58.

SUMNER, M.E.; SHANDEH, H.; BOUTON, J. & HAMMEL, J. Amelioration of an acid soil profile through deep liming and surface application of gypsum. Soil Science Society of America Journal, Madison, 50(5):1254-78, Sept./Oct. 1986.

- THOMAS, G.W, L HARGROVE, W.L. The chemistry of soil acidity. In: ADAMS, F., ed. Soil acidity and liming. 2.ed. Madison, ASA/CSSA/SSCA, 1984. p.3-56.
- VETTORI, L. Métodos de Análises de Solo. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, 1969. 24p. (Boletim Técnico, 7).
- _____ ; FERREIRA, M.E. L MALAVOLTA, E. Respostas de culturas anuais e perenes. In: SEMINARIO SOBRE O USO DO FOSFOGESSO NA AGRICULTURA, 1, Brasilia, 1985. Anais... Brasilia, EMBRAPA-DDT, 1986. p.17-44.
- VITTI, G.C. FERREIRA, M.E. L MALAVOLTA, E. Respostas de culturas anuais e perenes. In: SEMINARIO SOBRE O USO DO FOSFOGESSO NA AGRICULTURA, 1, Brasilia, 1985. Anais... Brasilia, EMBRAPA-DDT, 1986. p. 17-44.
- VITTI, G.C. Avaliação e interpretação do enxofre no solo e na planta. Jaboticabal, FUNEP, 1989. 37p.
- WAMBEKE, A. van, Calculated soil moisture and temperature regimes of South America: A compilation of soil climatic regimes calculated by using a mathematical model developed by F. Newhall. Ithaca, Cornell University, 1981. 25p. (SMSS Technical Monography, 2).

WEIR, C.C. Effect of lime and nitrogen application on citrus yields and on the downward movement of calcium and magnesium in a soil. *Tropical Agriculture, Trinidad*, 51(2):230-4, Apr. 1974.

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.

YORK JR., E. T.; DREDFIELD, R. & PEECH, M. Calcium-potassium interactions in soil and plants. I. Lime-induced potassium fixation in Mardin Silt Loam. *Soil Science, Baltimore*, 76(5): 379-87, Nov. 1953.

ZAROSKI, R.J. & BURAU, R.G. A rapid nitric perchloric acid digestion method for multi-element tissue analysis. *Communications in Soil Science and Plant Analysis, New York*, 8(5):425-36, 1977.

APÊNDICE

QUADRO 1A - Equações de regressão para pH no solo e respectivos coeficientes de determinação (R^2) em função das doses de calcário (C) e de gesso (G) a diversas profundidades (P), obtidas nas 4 épocas (E) de amostragem.

Variável	Equação de Regressão	R^2	
E1	(C) $y = 4,843490 + 0,4109375 C$	0,982	**
E2	(C) $y = 4,962500 - 0,2749999 C$	1,000	**
E4	(C) $y = 4,788542 + 0,2906249 C$	0,970	**
E2	(G) $y = 4,996250 - 0,0072857 G$	0,656	**
E4	(G) $y = 4,85000 + 0,0180238 G$	0,854	
	(C0) N.S.		
E3	(C1) N.S.		
	(C2) $y = 5,038750 + 0,0240000 G$	0,9956	**
	(C0) $y = 4,646250 + 0,035857 G$	0,897	**
E4	(C1) N.S.		
	(C2) $y = 5,018750 + 0,0171429 G$	0,8004	*
E2	(P) $y = 5,063958 - 0,0008958 P$	0,1939	**
E3	(P) $y = 5,522552 - 0,0137083 P + 0,00010156 P^2$	0,923	**
E4	(P) $y = 5,026771 - 0,0023229 P$	0,5094	**
	(C0) $y = 4,736875 + 0,0030625 P$	0,7964	**
E1	(C1) N.S.		
	(C2) $y = 5,344062 - 0,0018437 P$	0,7313	*
	(C0) $y = 4,870000 + 0,0023125 P$	0,8101	**
E2	(C1) N.S.		
	(C2) $y = 5,463594 - 0,0141875 P + 0,00013281 P^2$	0,9483	**
	(C0) N.S.		
E3	(C1) $y = 5,407500 - 0,0048750 P$	0,8895	**
	(C2) $y = 5,868438 - 0,0320625 P + 0,00026563 P^2$	0,9056	**
	(C0) N.S.		
E4	(C1) N.S.		
	(C2) $y = 5,321250 - 0,0056875 P$	0,7414	**
	(G0) $y = 5,654792 - 0,0227500 P + 0,00017708 P^2$	0,9469	**
E3	(G1) $y = 5,646771 - 0,0182917 P + 0,00014063 P^2$	0,8580	*
	(G2) $y = 5,365833 - 0,0034167 P$	0,9976	**
	(G3) $y = 5,325417 - 0,0032917 P$	0,7112	**

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade

** significativo ao nível de 1% de probabilidade

N.S. Não Significativo

QUADRO 2A - Equações de regressão para índice de saturação de base (V%) no solo e respectivos coeficientes de determinação (R^2) em função das doses de calcário (C) Gesso (G) a diversas profundidades (P), obtidas nas 4 épocas (E) de amostragens.

Variável	Equação de Regressão	R^2	
E1	(C) $y = 18,580729 + 15,2343750 C$	0,956	**
E2	(C) $y = 16,476563 + 13,5468750 C$	0,984	**
E3	(C) $y = 23,364583 + 13,9687500 C$	0,999	**
E4	(C) $y = 17,747396 + 12,7031250 C$	0,980	*
E1	(G) $y = 19,874053 + 2,1710227 G - 0,09674242 G^2$	0,980	**
E2	(G) $y = 19,079167 + 0,9533333 G$	0,931	**
E3	(G) $y = 23,795833 + 1,4978571 G$	0,999	**
E4	(G) $y = 19,341667 + 1,0873810 G$	0,979	**
	(C0) $y = 17,337500 + 1,3871429 G$	0,928	**
E3	(C1) $y = 25,212500 + 1,1550000 G$	0,930	**
	(C2) $y = 28,837500 + 1,9514286 G$	0,997	**
E1	(P) $y = 43,878646 - 0,6785417 P + 0,00450521 P^2$	0,930	**
E2	(P) $y = 42,705729 - 0,7229167 P + 0,00450521 P^2$	0,997	**
E3	(P) $y = 46,633073 - 0,6730208 P + 0,00506510 P^2$	0,952	**
E4	(P) $y = 32,561458 - 0,2115625 P$	0,936	*
	(C0) $y = 34,357031 - 0,5740625 P + 0,00386719 P^2$	0,986	**
E1	(C1) $y = 43,605469 - 0,8203125 P + 0,00644531 P^2$	0,943	**
	(C2) $y = 50,150000 - 0,3850000 P$	0,839	**
	(C0) $y = 23,793750 - 0,1706250 P$	0,990	**
E2	(C1) $y = 42,700781 - 0,7959375 P + 0,00542969 P^2$	0,999	**
	(C2) $y = 62,482031 - 1,2646875 P + 0,00886719 P^2$	0,989	**
	(C0) $y = 29,031250 - 0,1406250 P$	0,974	*
E3	(C1) $y = 46,952344 - 0,6653125 P + 0,00472656 P^2$	0,996	**
	(C2) $y = 63,485938 - 1,1818750 P + 0,01007813 P^2$	0,883	**
	(C0) $y = 23,228125 - 0,1240625 P$	0,969	**
E4	(C1) $y = 31,362500 - 0,2075000 P$	0,945	**
	(C2) $y = 43,093750 - 0,3031250 P$	0,906	**
	(G0) $y = 28,845833 - 0,2154167 P$	0,895	*
E1	(G1) $y = 40,164583 - 0,6783333 P + 0,00510417 P^2$	0,963	**
	(G2) $y = 43,470833 - 0,3612500 P$	0,853	**
	(G3) $y = 56,043750 - 0,9508333 P + 0,00656250 P^2$	0,940	**

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade

N.S. Não significativo

QUADRO 3A - Equações de regressão para enxofre ($S-SO_4^{2-}$) no solo e respectivos coeficientes de determinação (R^2) em função das doses de calcário (C) e de gesso a diversas profundidades (P), obtidas nas 4 épocas (E) de amostragens.

Variável	Equação de Regressão	R^2
E2	(C) $y = 17,027031 - 2,0759378 C$	1,000
E3	(C) $y = 22,351875 + 12,7981250 G$	0,986**
E1	(G) $y = 4,641866 + 10,4086686 G - 0,48325076 G^2$	0,992**
E2	(G) $y = 4,835509 + 5,0893065 G - 0,15796592 G^2$	0,974**
E3	(G) $y = 8,193873 + 6,3416837 G - 0,21905681 G^2$	0,970**
	(GO) $y = 4,830347 + 6,2659557 G - 0,46375228 G^2$	0,960**
E2	(C1) $y = 3,786750 + 3,6022071 G$	0,996**
	(C2) $y = 6,016250 + 5,2946785 G$	0,931**
	(C0) $y = 5,289375 + 3,9990000 G$	0,997**
E3	(C1) $y = 8,294625 + 4,4777286 G$	0,989**
	(C2) $y = 11,770716 + 9,9077566 G - 0,59532270 G^2$	0,830**
	(C0) $y = 5,649250 + 3,6589572 G$	0,989**
E4	(C1) $y = 8,444665 + 2,4143420 G + 0,21819319 G^2$	0,997**
	(C2) $y = 8,316375 + 4,2304000 G$	0,997**
E1	(P) $y = 83,650162 - 1,8284084 P + 0,01133776 P^2$	0,955**
E2	(P) $y = 42,812377 - 0,6909823 P + 0,00321185 P^2$	0,997**
E3	(P) $y = 34,4999932 + 0,2004646 P - 0,00655599 P^2$	0,989**
E4	(P) $y = 37,099760 - 0,0970917 P - 0,00396823 P^2$	0,951**
	(C0) $y = 28,260156 - 0,2808281 P$	0,932**
E2	(C1) $y = 47,826585 P - 1,2356344 P + 0,01006914 P^2$	0,932**
	(C2) $y = 52,827343 - 0,5911719 P$	0,957**
	(GO) N.S.	
E1	(G1) $y = 72,335793 - 1,9898751 P + 0,01528125 P^2$	0,993**
	(G2) $y = 111,299052 - 2,3357042 P + 0,01373281 P^2$	0,928**
	(G3) $y = 142,204918 - 2,8559667 P + 0,01527917 P^2$	0,949**
	(GO) N.S.	
E2	(G1) $y = 36,950218 - 1,0815458 P + 0,00938281 P^2$	1,000**
	(G2) $y = 58,457459 - 0,7435042 P$	0,970**
	(G3) $y = 65,827249 - 0,6573166 P$	0,988**
	(GO) N.S.	
E3	(G1) $y = 40,499417 - 0,3441000 P$	0,997**
	(G2) $y = 37,667886 + 0,3795125 P - 0,01022135 P^2$	0,999**
	(G3) $y = 47,598542 + 1,0027917 P - 0,01785625 P^2$	0,967**
	(GO) N.S.	
E4	(G1) $y = 33,660292 - 0,4155125 P$	0,927**
	(G2) $y = 51,439750 - 0,6125667 P$	0,911**
	(G3) $y = 54,667354 + 0,6469334 P - 0,01515521 P^2$	0,983**

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade

N.S. Não Significativo

QUADRO 4A - Equações de regressão para cálcio (Ca) no solo e respectivos coeficientes de determinação (R^2) em função das doses do calcário (C) e de gesso (G) a diversas profundidades (P), obtidas nas 4 épocas (E) de amostragens.

Variável	Equação de Regressão	R^2
E1	(C) $y = 1,194010 + 0,7796875 C$	0,893 **
E2	(C) $y = 1,002604 + 0,6656250 C$	0,984 *
E3	(C) $y = 1,139583 + 0,5218750 C$	0,992 **
E4	(C) $y = 0,891927 + 0,5765625 C$	0,962 *
E1	(G) $y = 0,968769 + 0,1988295 G - 0,00776515 G^2$	0,987 **
E2	(G) $y = 0,936667 + 0,0911429 G$	0,987 **
E3	(G) $y = 0,984167 + 0,0951667 G$	0,988 **
E4	(G) $y = 0,869167 + 0,0710952 G$	0,980 **
E1	(P) $y = 3,313411 - 0,0624479 P + 0,00036589 P^2$	0,950 **
E2	(P) $y = 2,928125 - 0,0545833 P + 0,00028125 P^2$	0,990 **
E3	(P) $y = 2,617682 - 0,0449896 P + 0,00027734 P^2$	0,965 **
E4	(P) $y = 2,012708 - 0,0208125 P$	0,948 *
E1	(C0) $y = 2,842812 + 0,0565000 P + 0,00032813 P^2$	0,969 **
	(C1) $y = 3,122344 - 0,0673750 P + 0,00047656 P^2$	0,977 **
	(C2) $y = 3,652813 - 0,0400313 P$	0,888 **
E2	(C0) $y = 1,885313 - 0,0214688 P$	0,988 **
	(C1) $y = 2,883125 - 0,0579375 P + 0,00034375 P^2$	0,996 **
	(C2) $y = 3,977266 - 0,0815313 P + 0,00046484 P^2$	0,986 **
E3	(C0) $y = 1,770313 + 0,0160938 P$	0,962 *
	(C1) $y = 2,590234 - 0,0407813 P + 0,00022266 P^2$	0,992 **
	(C2) $y = 3,385078 - 0,0702813 P + 0,00051172 P^2$	0,928 **
E4	(C0) $y = 1,622500 - 0,0174375 P$	0,969 **
	(C1) $y = 1,890312 - 0,0194062 P$	0,947 **
	(C2) $y = 2,525312 - 0,0255937 P$	0,916 **
E1	(G0) $y = 1,692917 - 0,0173750 P$	0,957 **
	(G1) $y = 2,424583 - 0,0271250 P$	0,931 *
	(G2) $y = 3,863229 - 0,0719583 P + 0,00040104 P^2$	0,932 **
	(G3) $y = 4,837500 - 0,1016667 P + 0,00066667 P^2$	0,944 **
E2	(G0) $y = 2,427083 - 0,0620833 P + 0,00047917 P^2$	0,999 **
	(G1) $y = 2,815208 - 0,0660833 P + 0,00044792 P^2$	0,997 **
	(G2) $y = 2,815417 - 0,0342917 P$	0,961 **
	(G3) $y = 3,437083 - 0,0400417 P$	0,989 **
	(G0) $y = 2,292396 - 0,0573750 P + 0,00048437 P^2$	0,961 **
	(G1) $y = 2,645312 - 0,0614583 P + 0,00046354 P^2$	0,966 **
E3	(G2) $y = 2,551667 - 0,0265000 P$	0,979 **
	(G3) $y = 2,803750 - 0,0217083 P$	0,926 **

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade

N.S. Não significativo

QUADRO 5A - Equação de regressão para magnésio (Mg) no solo e respectivos coeficientes de determinação (R^2) em função das doses de calcário (C) e de gesso (G) a diversas profundidades (P), obtidas nas 4 épocas (E) de amostragens.

Variável	Equação de Regressão	R^2	
E1	(C) $y = 0,184896 + 0,3906250 C$	0,998	**
E2	(C) $y = 0,179688 + 0,1203125 C + 0,24687499 C^2$	1,000	*
E3	(C) $y = 0,321094 + 0,3734375 C$	0,945	**
E4	(C) $y = 0,169271 + 0,4250000 C$	0,999	**
E3	(G) $y = 0,407500 + 0,229286 G$	0,958	*
E4	(G) $y = 0,385814 - 0,0241629 G + 0,00309848 G^2$	0,999	*
E1	(P) $y = 0,736198 - 0,0139583 P + 0,00009635 P^2$	0,974	*
E2	(P) $y = 0,710000 - 0,0141042 P + 0,00009375 P^2$	0,997	**
E3	(P) $y = 0,748229 - 0,0060104 P$	0,962	**
E4	(P) $y = 0,617188 - 0,0058854 P$	0,960	
	(C0) N.S.		
E1	(C1) $y = 0,644375 - 0,0068125 P$	0,812	**
	(C2) $y = 0,968438 - 0,0097187 P$	0,916	**
	(C0) N.S.		
E2	(C1) $y = 0,540313 - 0,0059688 P$	0,935	**
	(C2) $y = 1,391250 - 0,0358750 P + 0,00028125 P^2$	0,994	**
	(C0) N.S.		
E3	(C1) $y = 0,826875 - 0,0066875 P$	0,930	**
	(C2) $y = 1,302188 - 0,0265000 P + 0,00020312 P^2$	0,954	**
	(C0) N.S.		
E4	(C1) $y = 0,592813 - 0,0050938 P$	0,927	**
	(C2) $y = 1,259687 - 0,0257500 P + 0,00017187 P^2$	0,988	**
	(G0) $y = 0,945729 - 0,0241250 P + 0,00019271 P^2$	0,994	**
E4	(G1) $y = 0,572500 - 0,0056667 P$	0,982	**
	(G2) $y = 0,461667 - 0,005500 P + 0,00003125 P^2$	0,858	*
	(G3) $y = 0,700833 - 0,0061667 P$	0,899	**

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade

N.S. Não Significativo

QUADRO 6A - Equações de regressão para potássio (K) no solo e respectivos coeficientes de determinação (R²) em função das doses de calcário (C) e de gesso (G) a diversas profundidades (P), obtidas nas 4 épocas (E) de amostragens.

Variável	Equação de Regressão	R ²	
E1	(C) $y = 32,898438 - 16,0781250 C$	0,984	**
E2	(C) $y = 42,236979 - 26,0156250 C$	0,991	**
E3	(C) $y = 33,158854 - 18,9218750 C$	0,979	**
E4	(C) $y = 39,890625 - 26,6562500 C$	0,996	*
E1	(G) $y = 28,330871 - 1,4520076 G + 0,8780303 G^2$	0,904	**
E2	(G) $y = 33,995833 - 1,0895238 G$	0,855	**
E3	(G) $y = 27,279167 - 0,8185714 G$	0,855	**
E4	(G) $y = 30,176515 + 0,0080303 G - 0,11121212 G^2$	0,838	*
	(C0) N.S.		**
E1	(C1) $y = 27,975000 - 0,9800000 G$	0,460	*
	(C2) N.S.		*
	(C0) $y = 46,417614 + 0,8664773 G - 0,22159091 G^2$	0,946	**
E2	(C1) $y = 35,337500 - 1,7164286 G$	0,700	**
	(C2) N.S.		*
	(C0) $34,539773 + 2,8795455 G - 0,40181818 G^2$	0,873	**
E3	(C1) $28,073295 - 3,0796591 G + 0,22886364 G^2$	0,997	*
	(C2) N.S.		**
	(C0) $y = 41,264205 + 2,6346591 G - 0,37886364 G^2$	0,994	**
E4	(C1) $y = 34,150000 - 1,9485714 G$	0,810	**
	(C2) $y = N.S.$		

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade

S.N. Não significativo

QUADRO 7A - Equação de regressão para saturação por alumínio (m%) no solo e respectivos coeficientes de determinação (R^2) em função das doses de calcário (C) e de Gesso (G) a diversas profundidades (P), obtidas nas 4 épocas (E) de amostragens.

Variável	Equação de Regressão	R^2
E1	(C) $y = 21,304688 - 13,4843750 C$	1,000 **
E2	(C) $y = 24,018229 - 14,8281250 C$	0,991 **
E4	(C) $y = 20,958333 - 11,7812500 C$	0,995 **
E1	(G) $y = 20,089583 - 2,3695833 G + 0,14750000 G^2$	0,995 **
E2	(G) $y = 22,605871 - 2,1178409 G + 0,09946970 G^2$	0,975 **
E3	(G) $y = 15,989773 - 2,3887879 G + 0,13484848 G^2$	0,988 **
E4	(G) $y = 19,391667 - 0,9883333 G$	0,974 **
E1	(C0) $y = 29,829545 - 3,7159091 G + 0,23636364 G^2$	0,984 **
	(C1) $y = 18,087500 - 0,8164286 G$	0,995 **
	(C2) $y = 12,365909 - 2,5881818 G + 0,20727273 G^2$	0,994 **
	(C0) $y = 34,914205 - 4,5478409 G + 0,28613636 G^2$	0,958 **
E2	(C1) $y = 20,512500 - 1,0707143 G$	0,988 **
	(C2) $y = 12,237500 - 0,6078571 G$	0,949 **
E1	(P) $y = 3,938021 + 0,5185417 P - 0,00481771 P^2$	0,956 **
E1	(P) $y = 4,865104 + 0,5081250 P - 0,00408854 P^2$	0,991 **
	(C0) $y = 19,731250 + 0,1168750 P$	0,852 **
E2	(C1) $y = 1,889844 + 0,8059375 P - 0,00691406 P^2$	0,997 **
	(C2) $y = 2,640625 + 0,1734375 P$	0,805 **

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade

N.S.; Não Significativo.

QUADRO 8A - Equações de regressão para alumínio (Al) no solo e respectivos coeficientes de terminação (R^2) em função das doses de calcário (C) e de Gesso (G) em diversas profundidades (P), obtidas nas 4 épocas (E) de amostragens.

Variável	Equação de Regressão	R^2	
E1	(C) $y = 0,321354 - 0,1750000 C$	0,998	**
E2	(C) $y = 0,326042 - 0,1750000 C$	0,989	**
E4	(C) $y = 0,295052 - 0,1265625 C$	0,993	**
E1	(G) $y = 0,281250 - 0,0195833 G + 0,00116667 G^2$	0,886	**
E2	(G) $y = 0,270833 - 0,0073810 G$	0,848	**
E3	(C) $y = 0,198333 - 0,0071190 G$	0,754	**
E4	(G) $y = 0,260000 - 0,0064524 G$	0,935	**
E1	(C0) $y = 0,401989 - 0,0378977 G + 0,002659096 G^2$	0,784	**
E1	(C1) $y = 0,272500 - 0,0097857 C$	0,855	
	(C2) $y = N.S.$		
E2	(C0) $y = N.S.$		
E2	(C1) $y = 0,256250 - 0,0064286 G$	0,948	*
	(C2) $y = N.S.$		
E1	(P) $y = 0,242682 + 0,0027188 P - 0,00005599 P^2$	0,992	**
E2	(P) $y = 0,189115 + 0,0060208 P - 0,00009115 P^2$	0,949	**
E3	(P) $y = 0,100651 + 0,0069271 P - 0,00010026 P^2$	0,970	**
E4	(P) $y = 0,361354 - 0,0032396 P$	0,986	**
	(C0) $y = 0,492188 - 0,0042188 P$	0,944	**
E1	(C1) $y = 0,177109 + 0,0060312 P - 0,00008984 P^2$	0,970	**
	(C2) $y = N.S.$		
	(C0) $y = 0,385313 + 0,0027500 P - 0,00007812 P^2$	0,982	**
E2	(C1) $y = N.S.$		
	(C2) $y = N.S.$		
	(C0) $y = 0,358438 - 0,0032188 P$	0,897	**
E3	(C1) $y = N.S.$		
	(C2) $y = N.S.$		
	(C0) $y = 0,518438 - 0,0056563 P$	0,974	**
E4	(C1) $y = 0,347500 - 0,0027500 P$	0,972	**
	(C2) $y = 0,218125 - 0,0013125 P$	0,969	*
	(G0) $y = 0,258542 + 0,0053333 P - 0,00009375 P^2$	0,991	**
E1	(G1) $y = 0,310104 + 0,0022083 P - 0,00006771 P^2$	0,938	*
	(G2) $y = 0,243333 - 0,0010833 P$	0,676	
	(G3) $y = N.S.$		

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade

N.S. Não Significativo

QUADRO 9A - Equações de regressão para diâmetro de copa e número de internódios e respectivos coeficientes de determinação (R^2) em função das doses de gesso (G).

		R^2
Número de internódios	$Y = 9.250000 + 0.2333333G$	0,926**
Diâmetro de Copa	$Y = 91.683333 + 1.86285716G$	0,848**

** significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

QUADRO 10A - Resumo de análise de variância para relação entre nutrientes Ca/Mg, Ca/K, Mg/K, P/S na folha versus o efeito de 4 doses de gesso e 3 de calcário em 4 repetições.

F.V.	G.L.	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K	P/S
		QM			
Bloco	3	7,1885282	0,0539922	0,0020748	0,0420746.
Calc.	2	90,8644099**	0,0584018*	0,0663943**	0,0417795*
Resíduo(A)	6	3,891206	0,0094069	0,0014562	0,0072885
Parcelas	11				
Gesso	3	3,6737209	0,0504122**	0,0007293	0,0635749*
Cal x gesso	6	2,7251707	0,0057788	0,0018458	0,0180813
Resíduo	27	2,1700004	0,0090930	0,0023046	0,0169705
Total	47				
C.V. (A)		22,29	11,53	15,10	6,81
C.V. (B)		33,65	22,69	38,00	20,78

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F. ** Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

QUADRO 11A - Teores de nutrientes na folha do cafeeiro médias de 4 repetições de 4 dosagens de **gesso** e 3 de calcário, Época-2.

	%						ppm	
	N	P	X	Ca	Mg	S	Fe	Mn
COG0	3,32	0,10	2,42	0,88	0,12	0,10	289,2	260,0
COG1	3,22	0,08	2,37	0,80	0,14	0,14	211,6	263,0
COG2	3,17	0,08	2,10	0,89	0,14	0,14	186,2	315,0
COG3	3,16	0,08	2,35	0,93	0,15	0,14	197,9	285,0
C1G0	3,14	0,10	2,48	0,83	0,30	0,10	203,8	118,5
C1G1	3,22	0,09	2,60	0,87	0,29	0,13	179,4	122,0
C1G2	3,13	0,08	2,22	0,83	0,26	0,14	156,0	150,0
C1G3	3,05	0,08	2,33	0,99	0,32	0,14	146,0	195,0
C2G0	3,43	0,08	2,20	0,87	0,30	0,12	228,0	113,0
C2G1	3,17	0,08	2,20	0,93	0,33	0,14	265,5	136,0
C2G2	3,22	0,08	2,14	0,94	0,30	0,13	202,4	156,0
C2G3	3,28	0,08	2,33	0,97	0,29	0,13	187,3	192,0

QUADRO 12A - Teores de Ca, Mg e Al trocável (meq/100 cm³) no solo em função de doses de calcário, 0, 1/2 e dose, (C0 = 0 t/ha; C1 = 3,65 t/ha; C2 = 7,3 t/ha) e gesso (G0 = 0 t/ha; G1 = 2,5 t/ha; G2 = 5,0 t/ha; G3 = 10 t/ha) na época E₄ na profundidade de 40-60 cm (Média de 4 repetições).

	meq/100cm ³ de Solo								
	Ca			Mg			Al		
	C0	c1	c2	C0	c1	c2	C0	C1	c2
G0	0,4	0,5	0,5	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
G1	0,4	0,4	0,8	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2
G2	0,6	0,7	1,0	0,2	0,2	0,4	0,2	0,2	0,1
G3	1,0	1,3	1,7	0,1	0,6	0,6	0,2	0,1	0,1

QUADRO 13A - Teores de Ca e Mg (%) na folha do cafeeiro na época E₂, diâmetro de copa em (cm) e número de internódios em função de doses de calcário, 0, 1/2 e dose integral, (C0 = 0 t/ha; C1 = 3,65 t/ha; C2 = 7,3 t/ha), e gesso (G0 = 0 t/ha; G1 = 2,5 t/ha; G2 = 5,0 t/ha; G3 = 10 t/ha), (Média de 4 repetições).

	Ca %			Mg %			Diâmetro de Copa			NO de Internódios		
	C0	c1	c2	C0	c1	c2	C0	c1	c2	C0	C1	c2
	G0	0,97	0,92	0,93	0,14	0,34	0,41	1,93	1,70	1,70	9,5	8,8
G1	0,86	0,94	0,97	0,17	0,34	0,35	1,94	1,94	1,66	11,0	10,0	8,0
c2	1,10	0,92	1,04	0,14	0,31	0,41	2,02	1,96	1,96	11,0	11,0	11,3
L3	1,17	1,09	1,22	0,16	0,36	0,34	2,14	2,05	2,01	11,8	11,5	11,0