

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO, DENSIDADE DE RAIZ
E PRODUTIVIDADE DA CANA-DE-AÇÚCAR EM FUNÇÃO
DA APLICAÇÃO DE GESSO AGRÍCOLA**

**Sérgio Bispo Ramos
Engenheiro Agrônomo**

JABOTICABAL – SÃO PAULO - BRASIL
2011

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO, DENSIDADE DE RAIZ
E PRODUTIVIDADE DA CANA-DE-AÇÚCAR EM FUNÇÃO
DA APLICAÇÃO DE GESSO**

Sérgio Bispo Ramos

**Orientador: Prof. Dr. Edson Luiz Mendes Coutinho
Co-orientador: Prof. Dr. Paulo Alexandre Monteiro de Figueiredo**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Ciência do Solo).

**JABOTICABAL – SÃO PAULO - BRASIL
Julho de 2011**

Ramos, Sérgio Bispo
R175a Atributos químicos do solo, densidade de raiz e produtividade da
cana-de-açúcar em função da aplicação de gesso agrícola / Sérgio
Bispo Ramos. - - Jaboticabal, 2011
xiii, 67 f. : il. ; 28 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2011
Orientador: Edson Luiz Mendes Coutinho
Banca examinadora: Reges Heinrichs, Carolina Fernandes
Bibliografia

1. *Saccharum spp.* 2. Acidez em subsuperfície. 3. Cálcio. 4.
Enxofre. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e
Veterinárias.

CDU 631.432.3 : 633.61

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação –
Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

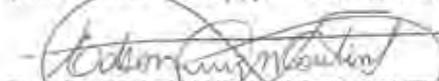
TÍTULO: ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO, DENSIDADE DE RAIZ E PRODUTIVIDADE DA CANA-DE-AÇÚCAR EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE GESSO AGRÍCOLA

AUTOR: SÉRGIO BISPO RAMOS

ORIENTADOR: Prof. Dr. EDSON LUIZ MENDES COUTINHO

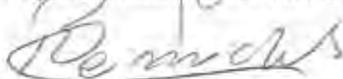
Co-Orientador: Prof. Dr. PAULO ALEXANDRE MONTEIRO DE FIGUEIREDO

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE EM AGRONOMIA (CIÊNCIA DO SOLO), pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. EDSON LUIZ MENDES COUTINHO

Departamento de Solos e Adubos / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal



Prof. Dr. REGES HEINRICHS

Unesp Dracena



Profa. Dra. CAROLINA FERNANDES

Departamento de Solos e Adubos / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

Data da realização: 20 de julho de 2011:

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

SÉRGIO BISPO RAMOS – nascido aos 07 dias do mês de outubro de 1964, na cidade de Sales Oliveira – SP, concluiu o ensino básico na EEPSG Capitão Getúlio Lima em 1979, o ensino médio no mesmo Colégio em 1982, na cidade de Sales Oliveira – SP. Em 1984 ingressou no curso de Agronomia da Escola Superior de Agricultura de Lavras – ESAL/Lavras – MG, onde em 1989 obteve o título de Engenheiro Agrônomo. Em 2006 ingressou no curso de Pós-graduação “Lato Sensu” pela UFLA, onde, em 2008, obteve o título de Especialista em Solos e Meio Ambiente. Em 2009 ingressou no Mestrado em Agronomia, área de concentração em Ciência do Solo, da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP/Jaboticabal.

A vida é curta.

O “não” eu já tenho.

Vamos à luta.

OFEREÇO

À minha família e aos amigos
que sempre me incentivaram.

DEDICO

Aos meus queridos pais Omar
e Margarida (*in memoriam*) e
minha amada esposa Katia.

AGRADECIMENTOS

À Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – FCAV, da Universidade Estadual Paulista – UNESP/Jaboticabal e ao Departamento de Solos e Adubos, que possibilitaram a realização deste trabalho, assim como os professores que, de uma forma direta ou indireta, contribuíram no acesso ao conhecimento;

Ao Professor Dr. Edson Luiz Mendes Coutinho, pela oportunidade de aprendizado, pela orientação, compreensão e, principalmente, amizade;

Ao Professor Dr. Paulo Alexandre Monteiro de Figueiredo, pela velha amizade e pela co-orientação neste trabalho;

À banca de qualificação, composta pelos Profs. Drs. Arthur Bernardes Cecílio Filho e Jose Carlos Barbosa e à banca de dissertação, composta pelos Profs. Drs. Reges Heinrichs e Carolina Fernandes;

À empresa Nutrion Agronutrientes Ltda e seu diretor comercial, o amigo Eng. Agrônomo Marcelo Modesto Nonino por possibilitarem esta conquista;

Aos colegas de trabalho, representados pelo amigo Eng. Agrônomo Antonio Rogerio Cucolicchio, pelos incentivos;

À Usina Dracena, nas pessoas do Engs. Agrônomos Antonio do Carmo Froef e Danilo Fatarelli Segati, pela disponibilidade e apoio na condução do experimento;

À Faculdade de Zootecnia do Campus de Dracena, da Universidade Estadual Paulista – UNESP/Dracena, pelo uso de sua estrutura física e acadêmica;

Aos alunos e funcionários da Faculdade de Zootecnia do Campus de Dracena, da Universidade Estadual Paulista – UNESP/Dracena, pela inestimável colaboração na condução do experimento;

Aos meus pais Omar e Margarida (*in memoriam*) que, dentro de suas simplicidades, sempre incentivaram a busca do conhecimento;

Aos meus irmãos Pedro e Ricardo, pela segurança transmitida;

À minha esposa Kátia, pela compreensão da ausência e por ser meu porto seguro;

Aos meus filhos Emanuel e Samuel, por serem minha inspiração;

A Deus. Sem Ele todos os outros não existiriam;

MUITO OBRIGADO

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABELAS	xi
RESUMO.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	2
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	2
3.1. Tipos de gesso agrícola	3
3.2. Gesso como fonte de cálcio e enxofre	5
3.3. Gesso e acidez do solo	7
3.4. Dinâmica do gesso e lixiviação de bases	8
3.5. Gesso e micronutrientes.....	10
3.6. Gesso e crescimento radicular	11
3.7. Produtividade e qualidade tecnológica	12
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	13
4.1. Localização	13
4.2. Delineamento experimental e tratamentos	14
4.3. Caracterização do solo.....	14
4.4. Caracterização do gesso agrícola	15
4.5. Histórico do local	16
4.6. Avaliações.....	16
4.6.1. Análises químicas e físicas do solo	16
4.6.2. Diagnose Foliar.....	17
4.6.3. Densidade de matéria seca de raiz.....	17
4.6.4. Produtividade de colmos.....	18
4.6.5. Análises tecnológicas	18
4.6.6. Análises estatísticas	19
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
5.1. Enxofre	20
5.2. Bases trocáveis, saturação por bases e capacidade de troca catiônica	23
5.3. Fósforo	30
5.4. pH, alumínio trocável e saturação por alumínio	31
5.5. Micronutrientes.....	34
5.6. Estado nutricional da cultura	36
5.7. Densidade de matéria seca de raiz	43
5.8. Produtividade e qualidade tecnológica	46
6. CONCLUSÕES.....	49
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	49

LISTA DE FIGURAS

Página

Figura 1: Histórico de precipitação mensal média dos últimos 10 anos que antecederam a aplicação dos tratamentos e do período de 3 anos de condução do experimento.....	14
Figura 2: Identificação dos pontos de coleta de solo com raízes.....	18
Figura 3: Teores de $S-SO_4^{2-}$ nas camadas do solo em função das doses de gesso agrícola	21
Figura 4: Teores de $S-SO_4^{2-}$ nas camadas do solo em função das doses de gesso agrícola, da profundidade e da época de amostragem	22
Figura 5: Desdobramento dos teores de $S-SO_4^{2-}$ no solo em função das doses de gesso agrícola e da época de amostragem até 1 m de profundidade	23
Figura 6: Teores de cálcio nas camadas do solo em função das doses de gesso agrícola, da profundidade e da época de amostragem	24
Figura 7: Teores de magnésio nas camadas do solo em função das doses de gesso agrícola, da profundidade e da época de amostragem	26
Figura 8: Relação Ca/Mg do solo em função das doses de gesso agrícola, da profundidade e da época de amostragem.....	27
Figura 9: Teores de potássio no solo em função das doses de gesso agrícola, da profundidade e da época de amostragem e desdobramento dos teores de potássio em função das doses de gesso até 1 m de profundidade ..	27
Figura 10: Valores da saturação por bases em função das doses de gesso agrícola, da profundidade e da época de amostragem e desdobramento dos valores da saturação por bases em função das doses de gesso até 1 m de profundidade.....	28
Figura 11: Valores da CTC no solo em função das doses de gesso agrícola, da profundidade e da época de amostragem e desdobramento dos valores da CTC em função das doses de gesso até 1 m de profundidade	29
Figura 12: Desdobramento dos teores de fósforo no solo em função das doses de gesso agrícola e da época de amostragem até 1 m de profundidade ...	30
Figura 13: Valores de pH no solo em função das doses de gesso agrícola, da profundidade e da época de amostragem e desdobramento dos valores de pH em função das doses de gesso até 1 m de profundidade.....	31
Figura 14: Teores de alumínio trocável e valores de saturação por alumínio no solo em função de doses de gesso agrícola e da profundidade	32
Figura 15: Teor de alumínio trocável no solo em função das doses de gesso agrícola, da profundidade e da época de amostragem	33
Figura 16: Valores de saturação por alumínio no solo em função das doses de gesso agrícola, da profundidade e da época de amostragem	34
Figura 17: Teores de boro, cobre, ferro, manganês e zinco no solo em função das doses de gesso agrícola e da profundidade	35

Figura 18: Desdobramento dos teores de boro, cobre, ferro, manganês e zinco no solo em função das doses de gesso agrícola e da época de amostragem até 1 m de profundidade	36
Figura 19: Desdobramento dos teores foliares de enxofre, cálcio, magnésio e potássio em função das doses de gesso agrícola e da época de amostragem	39
Figura 20: Teores foliares de boro, cobre, ferro, manganês e zinco em função das doses de gesso agrícola e da época de amostragem	43
Figura 21: Desdobramento dos valores de densidade de matéria seca de raiz da cana em função de doses de gesso agrícola e da distância da linha de plantio.....	44
Figura 22: Densidade de matéria seca de raiz (DMSR) em função das doses de gesso agrícola, da profundidade e da distância da linha de plantio	45
Figura 23: Produtividade da cana acumulada por dois anos agrícolas em função de doses de gesso agrícola	48
Figura 24: Desdobramento dos Valores de AR, POL e Pureza da cana-de-açúcar em função das doses de gesso agrícola e da época de amostragem ..	48

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1: Atributos químicos do solo antes da aplicação dos tratamentos	15
Tabela 2: Atributos físicos do solo antes da aplicação dos tratamentos	15
Tabela 3: Teores de cálcio nas camadas do solo em função da profundidade e da época de amostragem	25
Tabela 4: Teores de boro, cobre, ferro, manganês e zinco no solo em função das doses de gesso agrícola e da época de amostragem	37
Tabela 5: Teores foliares de nitrogênio e fósforo em função das doses de gesso agrícola e da época de amostragem	38
Tabela 6: Teores foliares e de solo de enxofre em função das doses de gesso agrícola e da época de amostragem	40
Tabela 7: Teores foliares e de solo de cálcio em função das doses de gesso agrícola e da época de amostragem	41
Tabela 8: Teores foliares e de solo de magnésio em função das doses de gesso agrícola e da época de amostragem	42
Tabela 9: Teores foliares e de solo de potássio em função das doses de gesso agrícola e da época de amostragem	42
Tabela 10: Valores de TCH, ATR, Fibra e Brix da cana-de-açúcar em função das doses de gesso agrícola e da época de amostragem.....	47

ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO, DENSIDADE DE RAIZ E PRODUTIVIDADE DA CANA-DE-AÇÚCAR EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE GESSO AGRÍCOLA

Resumo

Embora o gesso agrícola seja um insumo utilizado na cultura da cana-de-açúcar, em praticamente todas as regiões produtoras do País, persistem ainda algumas dúvidas sobre os benefícios proporcionados por sua aplicação. O trabalho objetivou avaliar doses de gesso agrícola nos atributos químicos do solo, na densidade de matéria seca de raiz, na produtividade e qualidade tecnológica da cultura por duas safras consecutivas. O experimento foi instalado em Dracena, SP, com delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições, em parcelas sub-subdivididas para atributos químicos do solo e subdivididas para densidade de matéria seca de raiz, qualidade tecnológica e produtividade, tendo como tratamentos, doses de gesso (0, 1, 2, 4 e 8 t ha⁻¹) aplicadas após o terceiro corte da cana, períodos de avaliação (Anos agrícolas 2007/08 e 2008/09) e profundidade de amostragem (0-0,2; 0,2-0,4; 0,4-0,6; 0,6-0,8 e 0,8-1,0 m), em um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, de textura média. Foram coletadas amostras de solo nas mesmas camadas, antes da instalação do experimento e depois de cada colheita. No segundo ano agrícola foi avaliada a densidade de matéria seca de raiz. As análises químicas de solo identificaram aumentos de Ca, S e saturação por bases e redução da saturação por alumínio. A aplicação do gesso agrícola promoveu a movimentação do Mg no primeiro ano agrícola, porém não foi observada a lixiviação do K. O gesso agrícola aumentou significativamente a densidade de matéria seca de raiz. Os tratamentos com doses de gesso não alteraram significativamente a ATR e produtividade da cana-de-açúcar.

Palavras-chave: *Saccharum spp*, acidez em subsuperfície, cálcio, enxofre, sistema radicular.

SOIL CHEMICAL ATTRIBUTES, SUGAR CANE ROOT DENSITY AND YIELD IN TERMS OF AGRICULTURAL GYPSUM APPLICATION

Abstract

Although agricultural gypsum is an input used in the sugar cane crop in practically all producing regions in the country, there are still some questions regarding the benefits provided through its application. The purpose of this study was to evaluate the effect of rates of agricultural gypsum on soil chemical attributes, on root dry matter density, and on the yield and technological quality of the crop throughout two consecutive crop seasons. The experiment was carried out in Dracena, SP with a randomized block design with four replications in split-split plots for soil chemical attributes and split plots for root dry matter density, technological quality and yield, with treatments being rates of gypsum (0, 1, 2, 4 and 8 t ha⁻¹) applied after the third cutting of the sugar cane, periods of assessment (2007/08 and 2008/09 crop seasons) and depth of sampling (0-0.2; 0.2-0.4; 0.4-0.6; 0.6-0.8 and 0.8-1.0 m), in a Haplustox soil. Soil samples were collected at the same layers before carrying out the experiment and after each harvest. In the second crop season, the root dry matter density was assessed. Soil chemical analyses identified increases of Ca, S and base saturation, and reduction of aluminum saturation. Agricultural gypsum application led to leaching of Mg in the first crop year, however, leaching of K was not observed. Agricultural gypsum significantly increased root dry matter density. Treatments with rates of gypsum did not significantly modify the Total Recoverable Sugar (TRS) and sugar cane yield.

Key words: *Saccharum* spp, subsurface acidity, calcium, sulfur, root system.

1. INTRODUÇÃO

Desde a década de 1970, quando o governo brasileiro criou o Pró-Álcool, o setor sucroenergético assumiu uma posição de destaque na produção de açúcar oriundo da cana e na busca de alternativas ao combustível fóssil, estando hoje na vanguarda da tecnologia.

Este crescimento foi possível graças à melhoria tecnológica empregada ao longo dos anos, notadamente com o desenvolvimento de novas cultivares, otimização de máquinas e equipamentos, uso de defensivos adequados para cada situação e no manejo da fertilidade do solo e nutrição da cultura. Levantamentos mostram que a média da produtividade da cana-de-açúcar em 1975 era de 47 t ha^{-1} , contra $82,1 \text{ t ha}^{-1}$ avaliada na última safra (CONAB, 2010).

O aumento da oferta de cana-de-açúcar é de fundamental importância para o incremento do setor sucroenergético, porém, a demanda por estes produtos renováveis, muitas vezes, promove a utilização de áreas até então marginais à agricultura, como as da região de Dracena, SP, que apresenta solos de baixa fertilidade natural e alto conteúdo de areia.

Nestas condições, existe uma carência de informações sobre os reais benefícios que o gesso agrícola pode trazer ao cultivo da cana-de-açúcar, seja no aumento da produtividade, longevidade e qualidade tecnológica, seja na melhoria química do ambiente radicular das plantas e da relação custo / benefício.

Dentro do manejo da fertilidade do solo e nutrição das plantas, a aplicação do gesso agrícola tem apresentado eficiência na redução da saturação por alumínio (BAKKER et al., 1999), no aumento da saturação por bases (MORELLI, et al., 1987) e do sistema radicular das plantas (SILVA et al., 1998), no fornecimento nutricional de cálcio e enxofre (CAIRES et al., 2002), na recuperação de solos sódicos (BARROS et al., 2004) e na distribuição de bases no perfil do solo (DEMATTÊ, 2004) podendo contudo, ocasionar a lixiviação de íons catiônicos (QUAGGIO et al., 1982).

Plantas com sistema radicular mais desenvolvido podem absorver água e nutrientes em um volume de solo maior, sobretudo em condições de deficiência hídrica, podendo resultar em aumento de produtividade.

A movimentação de cálcio no perfil do solo pode contribuir para melhorar o ambiente radicular das plantas, proporcionando incrementos em seu desenvolvimento. Neste contexto, o gesso agrícola apresenta um papel importante na descida de bases, pois o sulfato, presente em sua composição química, pode formar par iônico com este nutriente, assim como com o magnésio e potássio, promovendo sua distribuição ao longo do perfil do solo. No entanto, quando esta lixiviação arrasta nutrientes para além do alcance das raízes, a aplicação do gesso passa a ser prejudicial, pois pode acarretar perdas de nutrientes do solo e aumento no custo da adubação.

Para o cálculo da necessidade de gesso em cana-de-açúcar, os métodos utilizados, desde que o solo se apresente responsivo na camada 0,2-0,4 m, se baseiam no teor de argila (SOUSA et al., 2004) e na saturação por bases (VITTI et al., 2008). Porém existem incertezas quanto à movimentação de bases no solo, sobretudo em condições de terrenos com alto teor de areia, por serem mais vulneráveis à lixiviação.

2. OBJETIVOS

O presente trabalho teve como objetivos avaliar doses de gesso agrícola na produtividade e qualidade tecnológica de soqueira de cana-de-açúcar cultivada em solo com alto teor de areia e verificar possíveis modificações nos atributos químicos no perfil do solo e na densidade de matéria seca de raiz.

3. REVISÃO DE LITERATURA

Devido à sua dimensão continental e sua forma de colonização, visando o abastecimento do mercado europeu ao longo dos anos, o Brasil se caracteriza hoje por sua vocação agrícola e tem se destacado no cenário mundial neste segmento. A maioria de suas terras agricultáveis, no entanto, está situada na região tropical, onde é

comum a presença de solos intemperizados, com baixos teores de nutrientes, alta capacidade de adsorção (fixação) de fosfatos e altos índices de acidez.

Nessas condições é necessário que se faça um manejo químico adequado do solo, objetivando-se obter retorno econômico na atividade agrícola (VITTI et al., 2008).

3.1. Tipos de gesso agrícola

O gesso pode ser encontrado na forma mineral ou de resíduo, onde ambos possuem atribuições similares e podem ser usados na agricultura, respeitando as especificações de cada um (GARRIDO et al., 2003; AMEZKETA & GAZO, 2005).

O gesso mineral, denominado internacionalmente de “mined gypsum” ou minério de gipsita (ROCHA, 2007), usualmente ocorre na sua forma dihidratada ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), podendo também ser encontrado em formas menos hidratadas como a bassanita ou gesso de argamassa ($\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$) (VILELA et al., 1995) e ainda na forma anidra (CaSO_4) (PORTA, 1998). Se origina em bacias sedimentares, através da evaporação dos mares, constituindo depósitos em forma de camadas, cujas idades geológicas podem variar do Paleozóico ao Cenozóico (ROCHA, 2007; VITTI et al., 2008). Desde a antiguidade os gregos o denominam de gypsos, devido à presença do mineral calcinado.

Embora o sulfato de cálcio de origem mineral possa ser encontrado em três formas de hidratação, normalmente o gesso utilizado na agricultura é a gipsita (ACCIOLY & SCHULZE, 2003).

O gesso-resíduo é originário de indústrias de transformação e muitas vezes, seu depósito a céu aberto, causa problemas ambientais de difícil solução (ROCHA, 2007).

Essas indústrias podem gerar o fluorgesso, fluoranidra ou “flúor-gypsum” como resíduo obtido através da produção do ácido fluorídrico; borogesso, borohemidrato ou “boron-gypsum”, da produção de ácido bórico; organogesso (citrogesso, formogesso e tartarogesso), da produção de ácido orgânico (cítrico, fórmico e tartárico); salgesso, da produção do cloreto de sódio; titanogesso ou “red-gypsum”, da produção do dióxido de titânio; sodagesso, da produção da soda; sulfetogesso ou “coal-gypsum”, da

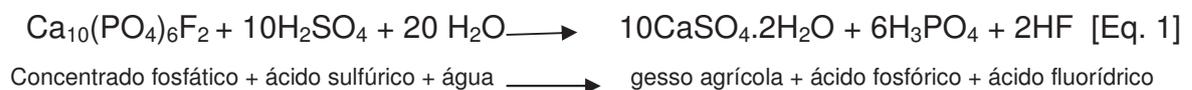
dessulfurização de gases combustíveis e “lacto-gypsum”, da obtenção de ácido láctico e lactatos (AMEZKETA & GAZO, 2005; ROCHA, 2007; VITTI et al, 2008)

No Brasil o gesso mais utilizado na agricultura é de origem residual, que internacionalmente é conhecido como “phosphogypsum”.

O phosphogypsum ou fosfogesso é oriundo da obtenção do ácido fosfórico, utilizado na fabricação de fertilizantes fosfatados como o superfostato triplo, MAP (fosfato monoamônico) e DAP (fosfato diamônico) (MALAVOLTA, 1979). Em média, contem 180 e 150 g kg⁻¹ de cálcio e enxofre respectivamente, além de impurezas benéficas à agricultura, como 7,5 g kg⁻¹ de P₂O₅ e 6,3 g kg⁻¹ de fluoretos (VITTI & MALAVOLTA, 1984; VITTI et al., 2008), além de traços de zinco, cobre e boro (RAIJ, 1988; MALAVOLTA, 1992).

A obtenção do fosfogesso se baseia no ataque do ácido sulfúrico à rocha fosfática previamente moída e tratada, para produção do ácido fosfórico, gerando de 4000 a 5000 kg de fosfogesso para 1000 kg de P₂O₅ na forma de ácido fosfórico (VITTI, 2000). Robinson (1980) comenta que para obtenção de 1000 kg de ácido fosfórico são produzidas 11000 kg de fosfogesso. Alcorido & Recheigl (1993) descrevem que o fosfogesso pode ser produzido por três processos distintos, que determinam o grau de hidratação do sulfato de cálcio, sendo eles o di-hidratado (Equação 1) e hemi-di-hidratado, que produzem 11200 kg do subproduto para cada tonelada de fósforo, e o hemi-hidratado que produz 9800 kg do insumo.

O mineral de fósforo mais comum nos minérios e rochas fosfáticas é a apatita, sendo a fluorapatita (Ca₁₀(PO₄)₆F₂) a mais utilizada para produção de ácido fosfórico (RAIJ, 2008).



Outro aspecto a ser considerado é a solubilidade do gesso agrícola quando comparada com a do calcário. O carbonato de cálcio apresenta solubilidade de 0,0014 g 100⁻¹ ml de água, enquanto que o sulfato de cálcio possui solubilidade de 0,2410 g 100⁻¹ ml de água, portanto, 172 vezes maior (WEAST, 1971). Pratt (1966) cita que a solubilidade do gesso em água sem a presença de qualquer sal é de 2,58 g litro⁻¹ de

H₂O, sendo que no solo, a solubilidade tende a aumentar devido à presença de sais no sistema. Raij (1988) destaca que o fosfogesso apresenta solubilidade aproximada de 2,5 g litro⁻¹ de água, com rápida dissociação no solo.

Sousa & Lobato (2004) comentam que os efeitos do gesso agrícola em subsuperfície podem ser observados no mesmo ano de sua aplicação, pois a velocidade com que o gesso se dissolve é função da presença de água e do tamanho da partícula, sendo por consequência, de sua superfície específica (SUMNER, 1985).

3.2. Gesso como fonte de cálcio e enxofre

O cálcio compreende um nutriente extremamente importante para o crescimento radicular das plantas (RITCHEY et al., 1980; 1984).

Os sintomas de deficiência aparecem primeiramente nas regiões meristemáticas, devido sua função na composição da parede celular, sendo essencial na elongação e divisão das células (EPSTEIN & BLOOM, 2004). Também compõe as membranas celulares, evitando o vazamento do conteúdo citoplasmático e age como regulador enzimático e mensageiro secundário (MALAVOLTA, 2006). Dentro da planta, a predominância da ação do cálcio está diretamente voltada à parte estrutural da parede celular, sendo que, aproximadamente 60% desse nutriente (na forma de pectato de cálcio) atuam na formação da pectina, fundamental para a elongação celular (TOBIAS et al., 1993).

Devido sua imobilidade no floema (SOUZA, 1985; EPSTEIN & BLOOM, 2004; MALAVOLTA, 2006), que impede a movimentação interna do nutriente até os pontos de crescimento das raízes, e a necessidade de sua presença para que haja elongação e divisão celular nesta região, o fornecimento de cálcio em solos deficientes via calagem, adubação ou gessagem, se torna vital para um bom desenvolvimento do sistema radicular. Quaggio (2000) comenta que para saturações por cálcio inferiores a 20% no complexo de troca, ocorrem fortes restrições ao desenvolvimento radicular, para a maioria das espécies cultivadas. Segundo o autor a absorção de cálcio ocorre nas partes mais novas da raiz, razão esta, o nutriente deve ser distribuído adequadamente no solo, para que a absorção seja contínua.

A aplicação de calcário é bastante eficiente para elevar os teores de cálcio, saturação por bases e pH em solos, reduzindo também os teores de alumínio trocável, porém seu efeito restringe-se à camada de solo incorporada com o insumo, deixando a correção da acidez do subsolo dependente da percolação de sais (CAIRES et al., 2004; RAIJ, 2008).

O gesso agrícola fornece o nutriente para as camadas mais profundas sem precisar de incorporação, devido sua maior mobilidade no solo, aumentando o teor de cálcio e saturação por bases, mas não atua como corretivo de pH (CAIRES et al., 1998; DEMATTÊ, 2004).

Ernani et al. (2002), estudando as alterações químicas das fases sólida e líquida de um cambissolo húmico, concluem que o gesso, mesmo possuindo teor de cálcio inferior ao calcário, promove aumento de concentração do nutriente na fase solúvel, sendo portanto, uma eficiente alternativa para seu fornecimento no perfil do solo, sobretudo na presença do sulfato, que é um carreador de bases.

Outra atribuição do gesso agrícola é o fornecimento de enxofre (RAIJ, 1988; SOUSA et al., 2001), nutriente limitante para produção de aminoácidos essenciais, como a cisteína e metionina, importantíssimas para formação de proteínas. Atua como ativador enzimático e participa de todos os processos metabólicos da planta, principalmente a fotossíntese, respiração, síntese de gorduras e proteínas e fixação de N_2 (EPSTEIN & BLOOM, 2004; MALAVOLTA, 2006).

Fernandes (2007), trabalhando com doses de enxofre, com a aplicação de gesso, encontrou aumentos significativos na produtividade da cana-de-açúcar.

Utilizando o gesso agrícola como fonte de Ca e S para a cana-de-açúcar, Fernandes (1985) conclui que em pequenas quantidades no sulco de plantio (50 kg ha^{-1}), o gesso promoveu crescimento das plantas e que com doses maiores (500 kg ha^{-1}) o aumento na produtividade foi significativo.

Godinho (2007), trabalhando com parâmetros biométricos e tecnológicos para cana-de-açúcar, verificou que o enxofre assume fundamental importância, especificamente em condições edafoclimáticas do Oeste Paulista.

3.3. Gesso e acidez do solo

O alumínio é um elemento problema, por ser tóxico às plantas, prejudicando o desenvolvimento das raízes (PAVAN & BINGHAM, 1982), porém com a elevação da saturação por bases a 50% da CTC, nas condições de solo do Estado de São Paulo, sua toxicidade é reduzida (RAIJ, 1988).

Os sintomas de toxidez por alumínio aparecem primeiramente nas raízes reduzindo o crescimento do eixo principal, resultando raízes mais curtas e grossas (MALAVOLTA, 2006), dificultando o acesso a reservas de água e nutrientes em camadas mais profundas do solo (TANG et al., 2003; ROCHA, 2007).

Com a acidificação do solo a penetração das raízes é inibida, particularmente no subsolo, resultando em sistemas radiculares mais rasos, com correspondente menos utilização de água e nutrientes (MARSCHNER, 1993).

Para correção da camada superficial do solo, até 0,2 m de profundidade, a calagem é a forma tradicional e eficaz para solução do problema, sendo que, os principais critérios de recomendação adotados no Brasil são: incubação (SOUSA et al., 2007), método tampão SMP (SHOEMAKER et al., 1961), método para elevação da saturação por bases (RAIJ, 1981), método baseado nos teores de alumínio, cálcio e magnésio trocáveis (CFSEMG, 1999).

No entanto, o desafio consiste em corrigir as camadas mais profundas do solo, onde uma alternativa seria a aplicação e incorporação de calcário utilizando-se grades superpesadas (GONZALES-ERICO et al., 1979; PRADO, 2003), contudo o alto custo operacional de incorporação pode inviabilizar o uso da prática (SOUSA et al., 1993).

O gesso agrícola reduz a toxicidade do alumínio por meio da formação do par iônico $AlSO_4^+$ não tóxico, pois o alumínio não é absorvido pelas raízes quando associado ao sulfato (PAVAN & BINGHAM, 1986). Esta associação de íons não deve ser interpretada como neutralizante de alumínio ou acidez, ocorrendo apenas o cancelamento mútuo de cargas, e não uma transferência de prótons (RAIJ, 2008).

Malavolta (2006) afirma que a aplicação de cálcio reduz o efeito tóxico do alumínio sob três formas: através da diluição do elemento; do aumento na concentração externa do Ca, fazendo aumentar a força iônica, modificando as espécies iônicas do

alumínio (PAVAN & BINGHAM, 1982); e pela formação de complexos entre alumínio e ânions acompanhantes do cálcio.

A aplicação do gesso agrícola, ao contrário do calcário, não provoca alterações significativas do pH, visto que o íon sulfato não é um forte receptor de prótons (VELOSO et al., 1992; ALVAREZ & DIAS, 1994).

A dissociação do sulfato de cálcio, em íons cálcio e sulfato, confere ao gesso agrícola a condição de sal neutro, pois os cátions Ca^{2+} e os ânions SO_4^{2-} não perdem sua identidade na solução, diferentemente do carbonato de cálcio, que reagindo com a acidez, tem o ânion carbonato convertido em água e gás carbônico, razão esta do ânion carbonato ser considerado um “receptor de prótons”, enquanto que o ânion sulfato não promove essa reação (RAIJ, 2008). Vitti et al. (2008) demonstram que para modificação do pH, utilizando-se o gesso agrícola, seria necessária a ligação entre H^+ do solo com o SO_4^{2-} proveniente do gesso, formando um ácido forte, que seria o sulfúrico; tal reação, no entanto, não acontece no solo, permanecendo, os íons, na forma dissociada.

Existem trabalhos porém, que demonstram alterações no pH em resposta à aplicação do gesso agrícola. Reeve & Sumner (1972) apontam este aumento no pH, ou “autocalagem”, em decorrência da troca de ligantes, onde o sulfato seria adsorvido nos cristais ou superfícies dos óxidos hidratados de ferro e/ou alumínio, liberando OH^- para a solução, que por sua vez se ligaria ao alumínio, produzindo formas hidroxiladas (RAIJ & PEECH, 1972; PAVAN et al., 1985; CARVALHO & RAIJ, 1997; CAIRES et al., 1999; CAIRES et al., 2004; FOLTRAN, 2008; VERONESE et al., 2009).

3.4. Dinâmica do gesso e lixiviação de bases

O gesso, ao ser aplicado no solo e sofrido hidratação, se solubiliza rapidamente, porém 40% permanecem na forma não-dissociada, solúvel e neutra, sendo potencialmente móvel no perfil do solo (PAVAN & BINGHAM, 1982). À medida que a forma CaSO_4^0 se move no solo, alcançando camadas mais profundas, pode ocorrer a dissociação para as formas Ca^{2+} e SO_4^{2-} (VITTI & MALAVOLTA, 1984)

No entanto, a movimentação do sulfato dissociado nas camadas superiores do solo acaba por arrastar não somente o cálcio presente no gesso, podendo fazê-lo também com o magnésio e o potássio (RIRIE et al., 1952; QUAGGIO et al. 1982, FARINA & CHANNON, 1988; CAMARGO & RAIJ, 1989; SYED-OMAR & SUMNER, 1991;).

A maior ou menor movimentação desses cátions vai depender da quantidade de gesso aplicada ao solo, da capacidade de troca catiônica, condutividade elétrica da solução, da capacidade do solo em adsorver sulfato, textura do solo e do volume de água incidente (ALVAREZ & DIAS, 1994; RAIJ, 2008).

Os íons cálcio, uma vez na solução do solo podem reagir no complexo de troca, deslocando cátions como alumínio, potássio e magnésio para a solução do solo, onde reagindo com o sulfato, formam $AlSO_4^+$ (menos tóxico às plantas) e os pares iônicos neutros: $K_2SO_4^0$ e $MgSO_4^0$, além do $CaSO_4^0$ (ROCHA, 2007, VITTI et al., 2008). Por serem neutros, os pares iônicos apresentam grande mobilidade ao longo do perfil, ocasionando descida de cátions para as camadas mais profundas do solo (SOPRANO & ALVAREZ, 1989).

Camargo & Raij (1987), estudando possíveis perdas nutricionais por lixiviação, provocadas pelo uso do gesso agrícola em solos ácrico e álico, verificaram que o movimento de Ca^{2+} e SO_4^{2-} é afetado pela carga elétrica líquida do solo e que o uso do insumo provoca perdas significativas de K^+ , Mg^{2+} e Al^{3+} .

Quaggio et al. (1987), trabalhando com doses de calcário e gesso na cultura da soja, em duas safras consecutivas, observaram que o calcário promoveu a movimentação de cálcio e magnésio até a camada 0,4-0,6 m do solo, com pouca interferência no pH, enquanto o gesso promoveu uma movimentação acelerada de Ca^{2+} , Mg^{2+} e $S-SO_4^{2-}$, onde ficou constatado, depois de 18 meses, que quase todo o sulfato havia sido lixiviado para camadas inferiores a 0,6 m de profundidade, resultando nas camadas superiores do perfil, apenas a substituição parcial de Mg^{2+} por Ca^{2+} e pequeno acréscimo de bases trocáveis.

Demattê (2004), observando a lixiviação de magnésio provocada pela aplicação de gesso em cana-de-açúcar, constatou que os melhores resultados na cultura vieram da aplicação de calcário com teores de óxido de magnésio maiores de 12% junto com o

gesso agrícola, para reposição do nutriente e prolongamento do efeito corretivo proporcionado por ambos em relação aos outros tratamentos.

Morelli et al. (1987, 1992), Oliveira & Pavan (1996) e Raji (2008) também recomendam a aplicação de calcário junto com gesso agrícola, com o objetivo maior de reposição de magnésio.

Dal Bó et al. (1986) verificaram a movimentação de magnésio maior que a de cálcio em colunas de solo, quando da aplicação isolada de gesso agrícola, devido a associação do sulfato com o magnésio ser mais solúvel do que a com cálcio.

Rocha (2007) constatou que o gesso mineral foi eficaz em fornecer cálcio em subsuperfície, não sendo registradas perdas de potássio e magnésio por lixiviação. Caíres et al. (2004) observaram a movimentação apenas do magnésio para as camadas mais profundas do solo quando da aplicação isolada do gesso.

Sun et al. (2000) observaram que o efeito da combinação entre calcário e gesso agrícola é igual a somatória dos efeitos isolados de cada um, enquanto Pavan et al. (1984) indicam que a interação entre os insumos pode não ser tão importante como divulgado.

3.5. Gesso e micronutrientes

São raros os trabalhos na literatura, envolvendo gesso agrícola e micronutrientes.

Custódio et al. (2005) verificaram aumentos significativos nos teores residuais de Mn, Fe e Zn e absorção de Mn, quando da aplicação de doses crescentes de gesso agrícola em Capim-Tanzânia.

Marques et al. (1999) observaram aumento significativo no teor foliar de manganês na cultura do café, quando da aplicação de gesso agrícola, não sendo constatadas, no entanto, variações nos teores foliares dos outros micronutrientes

Raji (2008) comenta que o gesso agrícola apresenta, em sua composição química, os nutrientes cobre, zinco e boro, porém em quantidades muito pequenas, podendo ser considerados elementos traços.

3.6. Gesso e crescimento radicular

Aina & Fapohunda (1986) observaram o crescimento radicular como o principal fator para o aumento da absorção nutricional e produtividade na cultura do milho. Por sua vez, Pavan & Bingham (1982) relataram redução do crescimento radicular na cultura do café quando da presença de alumínio. Vitti et al. (2008) verificaram que em solos tropicais, principalmente sob vegetação de cerrado, frequentemente ocorre toxidez de alumínio, associada ou não à deficiência de cálcio, não só na camada arável, mas também na inferior, na qual a correção com calcário não é eficiente.

Efeitos positivos do gesso são observados nas mais variadas condições de solo e clima, caracterizando-se como uma alternativa para melhorar do subsolo e o ambiente radicular de todas as culturas (SUMNER, 1985).

O desenvolvimento radicular das culturas tem influência direta sobre algumas características da planta, tais como: resistência à seca, eficiência na absorção dos nutrientes do solo, tolerância ao ataque de pragas do solo, capacidade de germinação e/ou brotação, porte (ereto ou decumbente), tolerância à movimentação de máquinas, etc, sendo determinante na produtividade final (VASCONCELOS & GARCIA, 2005).

O conhecimento da distribuição do sistema radicular da cana-de-açúcar resulta numa melhor adequação das técnicas agronômicas, tais como, definição de espaçamento, local para aplicação dos fertilizantes e operações de cultivo, controle de erosão, drenagem e sistemas de irrigação, uso de culturas intercalares, entre outras (CASAGRANDE, 1991; ZONTA et al., 2006).

O sistema radicular da cana-planta explora mais intensamente as camadas superficiais do solo, do que as canas provenientes de soqueiras, que apresentam incremento radicular em subsuperfície (KORNDÖRFER et al, 1989; LANDELL et al., 2003), portanto, enquanto as práticas de calagem e de adubação da cana-planta exercem maiores efeitos sobre a produtividade até o segundo corte, os atributos químicos de subsuperfície tem maior importância a partir do terceiro corte (LANDELL et al., 2003).

Koffler et al. (1986) destacam que a maioria dos sistemas radiculares da cultura da cana-de-açúcar no Brasil vai até a uma profundidade de 0,6 m, enquanto que nos Estados Unidos, a profundidade atingida pelas raízes chega a 2,0 m.

A quantificação do crescimento, da renovação e da senescência do sistema radicular passa por dificuldades de mensuração, em virtude da arquitetura geométrica complexa do sistema radicular da cana-de-açúcar, dos vários tipos e diâmetros de raízes de plantas perenes, das diferentes atividades fisiológicas das raízes em função de suas idades, do rápido crescimento e decomposição de raízes finas, dos processos microbiológicos que ocorrem na interface solo/raiz, das relações simbióticas da rizosfera e da variabilidade do ambiente edáfico (LUXMOORE & STOLZY, 1987), além da desuniformidade do “stand”, visto que a cultura da cana-de-açúcar, sobretudo da soqueira, se desenvolve, predominantemente, em touceiras (GASCHO & SHIH, 1983).

3.7. Produtividade e qualidade tecnológica

Resende Sobrinho (2000) observou incremento da ATR (açúcares totais recuperáveis) por meio do manejo varietal de cana-de-açúcar. Tasso Júnior et al. (2007) verificaram ganhos na produtividade e quantidade de açúcares quando utilizaram resíduos industriais em soqueira de cana-de-açúcar, complementados com adubo mineral.

Anderson et al. (1991) observaram efeito residual favorável da escória de siderurgia, no incremento de 50% na produção de açúcar, contradito por Prado (2000), que observou não alterações nos teores de sacarose, sólidos solúveis, pureza, fibra e ATR em função da aplicação de escória silicatada de siderurgia e de calcário calcítico.

Maeda (2009) observou aumento da pureza e da AR (açúcar recuperável) da cana e do caldo quando da aplicação de potássio e Fravet (2007) observou aumento no Brix (porcentagem de sólidos solúveis do caldo) e Pol (porcentagem de sacarose do caldo) quando da aplicação de torta de filtro em cana-de-açúcar.

Saldanha (2005), trabalhando com granulometrias diferentes e doses de gesso agrícola de origem mineral em cana-de-açúcar, verificou efeitos significativos na produtividade, quando da utilização do insumo.

Fernandes et al. (2007) encontraram diferenças na produtividade em função da aplicação de gesso, corroborando com Corrêa et al. (1999) e Morelli et al. (1987,1992), contrapondo-se a resultados de Azeredo et al. (1996), que não encontraram efeitos significativos do gesso na produtividade da cana.

Foltran (2008), trabalhando com gesso, silicatos e calcário, verificou que o gesso agrícola proporcionou respostas positivas quando aplicado junto com os outros insumos.

Rocha (2007) constatou aumentos no PC (Pol da cana – porcentagem de sacarose da cana), ATR e POL quando da aplicação de gesso mineral em cana-de-açúcar, porém o mesmo não aconteceu em TCH (tonelada de cana por hectare), que não sofreu variações significativas, corroborando com resultados obtidos por Lima et al. (2010), que verificaram efeitos positivos significativos na ATR e POL e constataram maior produtividade (TCH) na testemunha.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Localização

O experimento foi instalado na unidade de produção da Usina Dracena, em Dracena/SP, com coordenadas geográficas 21°32'31"S e 51°41'47"O e altitude 322 m, em 25 de outubro de 2007, em cana de soqueira de quarto ciclo.

O clima do município se caracteriza como Cwa segundo Köppen (mesotérmico, com verões chuvosos e temperatura média do ar, no mês mais quente, maior que 22°C). A temperatura média da região é de 24°C, apresentando máxima de 31°C e mínima de 19°C.

O histórico da precipitação dos últimos dez anos que antecederam a instalação do experimento, assim como dos três anos de condução, foram fornecidos pela Casa da Agricultura de Dracena (Figura 1).

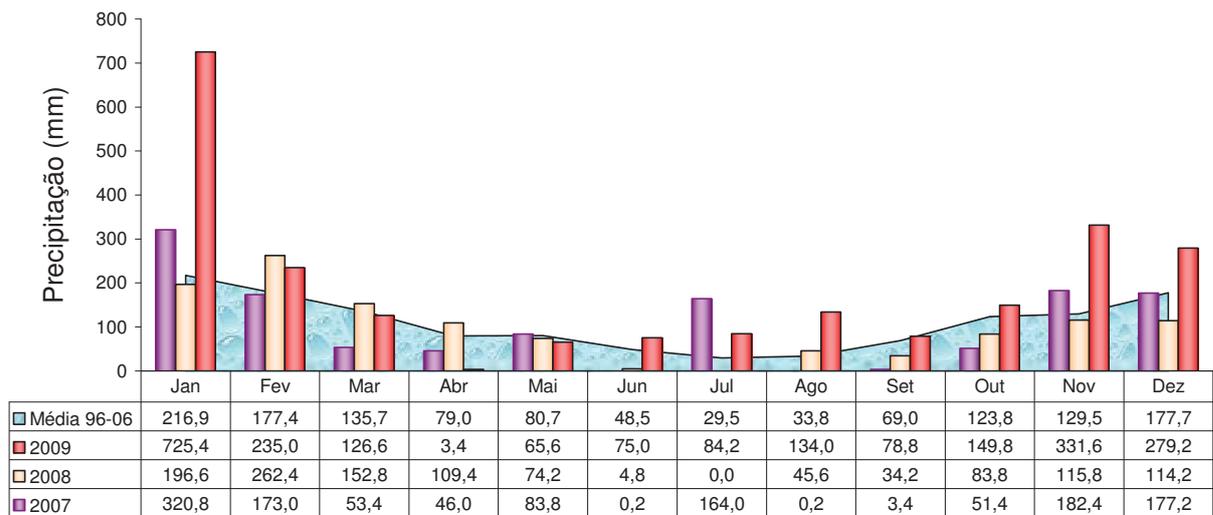


Figura 1: Histórico de precipitação mensal média dos últimos 10 anos que antecederam a aplicação dos tratamentos e do período de 3 anos de condução do experimento.

4.2. Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental foi de blocos casualizados, com quatro repetições e os tratamentos utilizados foram doses de gesso agrícola (0, 1, 2, 4 e 8 t ha⁻¹), aplicadas apenas no primeiro ano experimental, em área total de cada parcela, a profundidade da amostra (0-0,2; 0,2-0,4; 0,4-0,6; 0,6-0,8 e 0,8-1,0 m) e a época de amostragem (ano agrícola 2007/08 e 2008/09).

A unidade experimental constituiu-se de oito linhas de cana-de-açúcar espaçadas de 1,40 m por doze metros de comprimento, totalizando 134,4 m². Para obtenção da área útil foi descartada uma linha de cada lado da parcela e um metro de cada extremidade, ficando 84 m² para avaliações.

4.3. Caracterização do solo

O experimento foi instalado em um solo classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (LVAd), de textura média e relevo suave ondulado (EMBRAPA, 2006).

Os principais atributos químicos do solo, pH, M.O., P, S, K, Ca, Mg, Al, H+Al, B, Cu, Fe, Mn e Zn, determinados antes da aplicação dos tratamentos, nas diferentes camadas até 1,0 m de profundidade, são apresentados nas Tabela 1, enquanto que os atributos físicos, como areia, silte e argila, nas mesmas camadas citadas e densidades do solo, referentes às profundidades 0,1; 0,3; 0,5; 0,7 e 0,9 m, são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 1: Atributos químicos do solo antes da aplicação dos tratamentos.

Camada	pH	M.O.	P	S	K	Ca	Mg	Al	H+Al	T	V	m	B	Cu	Fe	Mn	Zn
m		g dm ⁻³	mg dm ⁻³mmol _c dm ⁻³%.....mg dm ⁻³						
0-0,2	4,5	17	3	9	0,7	7	4	4	18	29,7	39	25	0,6	0,5	19	4,5	0,3
0,2-0,4	4,0	13	2	8	0,2	3	1	6	22	26,2	16	59	0,5	0,6	14	3,0	0,1
0,4-0,6	4,1	12	2	8	0,2	1	1	6	22	24,2	9	73	0,49	0,8	14	2,6	0,2
0,6-0,8	4,0	10	1	10	0,1	1	1	6	20	22,1	10	74	0,41	0,5	9	1,8	0,1
0,8-1,0	4,2	10	1	8	0,1	1	1	6	22	22,1	10	74	0,44	0,3	7	2,0	0,1

Tabela 2: Atributos físicos do solo antes da aplicação dos tratamentos.

Camadas	Argila	Silte	Areia	Profund.	Densidade do solo	
					0,2 m da linha	0,7 m da linha
mg kg ⁻¹			mkg m ⁻³	
0-0,2	152	23	825	0,1	1.676,1	1.675,6
0,2-0,4	142	37	821	0,3	1.648,7	1.590,1
0,4-0,6	156	36	808	0,5	1.606,1	1.542,2
0,6-0,8	156	36	808	0,7	1.537,4	1.559,5
0,8-1,0	159	34	807	0,9	1.557,3	1.547,6

4.4. Caracterização do gesso agrícola

O gesso usado no experimento foi proveniente de resíduo da fabricação de ácido fosfórico pela empresa Copebrás de Cubatão, SP; possuía granulometria tipo farelado e coloração amarelada, apresentando concentração de 204,5 g kg⁻¹ de cálcio e 162,3 g kg⁻¹ de enxofre. Para determinação do cálcio foi utilizado o método Quelatométrico e para o enxofre, o método de Turbidimetria do Sulfato de Bário (LANARV, 1988).

4.5. Histórico do local

Antes do plantio da cana-de-açúcar o local do experimento era ocupado por pastagem degradada de Brachiaria decumbens até o ano de 2004.

Para a implantação da cultura, o solo foi preparado de forma convencional, com aração profunda e gradagens para nivelamento.

Nesta ocasião, a calagem foi realizada com o objetivo de elevar a saturação por bases do solo a 75%, na profundidade até 0,2 m.

A cultivar plantada de cana-de-açúcar foi a RB 86 7515, devido sua rusticidade a ambientes de média e baixa fertilidade, boa adaptabilidade a solos de textura arenosa e média, boas brotações de socas e ser o material mais plantado na região (HOFFMANN et al., 2008).

O plantio da área ocorreu em maio de 2004, com uma adubação de 500 kg ha^{-1} do fertilizante de formulação 04-30-20 ($20-150-100 \text{ kg ha}^{-1}$ de $\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}$). No ano seguinte a adubação feita no talhão foi de 90 kg ha^{-1} de P_2O_5 (superfosfato simples) e 550 kg ha^{-1} da fórmula 21-00-27 ($115,5-148,5-2,2-4,4 \text{ kg ha}^{-1}$ de $\text{N-K}_2\text{O-Zn-B}$). Em 2006 a adubação na soqueira foi feita com 550 kg ha^{-1} do fertilizante de formulação 21-00-27 ($115,5-148,5-2,2-4,4 \text{ kg ha}^{-1}$ de $\text{N-K}_2\text{O-Zn-B}$). As produtividades da cana-de-açúcar, referentes aos três primeiros ciclos da cultura, cana planta, primeira soca e segunda soca, foram respectivamente 125, 105,3 e 59 t ha^{-1} .

Em 2007, a escolha da área responsiva à aplicação do gesso agrícola, também levou em conta a uniformidade da soqueira, o tamanho da área homogênea do talhão, distância adequada do terraço, ausência de formigueiros, estradas antigas, declive para escoamento de águas e fácil acesso.

4.6. Avaliações

4.6.1. Análises químicas e físicas do solo

Após a colheita de cada ciclo da cana-de-açúcar, durante a condução do experimento, foram coletadas amostras de solo, nas entrelinhas da cultura, nas

camadas 0-0,2; 0,2-0,4; 0,4-0,6; 0,6-0,8 e 0,8-1,0 m para determinação dos teores de P, S, K, Ca, Mg, Al, H+Al, B, Cu, Fe, Mn e Zn e valores de pH e M.O. (RAIJ et al., 2001).

Para determinação dos teores de argila, silte e areia foi usada metodologia da EMBRAPA (1997) e para densidade do solo, o método utilizado foi o do anel volumétrico (BLAKE & HARTGE, 1986)

4.6.2. Diagnose Foliar

Aos 120 dias após o corte da cana, nos dois ciclos produtivos, foram coletadas amostras de folha para avaliação do estado nutricional da cultura. Foram coletadas 30 folhas diagnose (folha +1) de cada parcela, retiradas as nervuras centrais e aproveitados os 0,2 m centrais do limbo foliar (RAIJ & CANTARELLA, 1996), para determinação dos teores de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn.

A folha diagnose, ou folha +1, compreende a folha mais alta com a lígula visível –“TVD”.

4.6.3. Densidade de matéria seca de raiz

No segundo ano agrícola do experimento, imediatamente antes do corte da cana, foram coletadas amostras de solo com raízes, em pontos distanciados de 0,2 e 0,7 m da linha de plantio (Figura 2). Pelo fato do desenvolvimento da cana-de-açúcar ocorrer através de brotações em touceiras e estas se apresentarem desuniformes ao longo da linha de plantio, a localização dos pontos de coleta foi padronizada comprovando-se a presença de cinco colmos por touceira.

As camadas amostradas foram as mesmas descritas anteriormente, empregando-se o método do trado modificado, conforme descrito por Caires et al. (2008), utilizando-se trado tipo caneco com 0,07 m de diâmetro e 0,1 m de comprimento, sendo necessárias duas tradagens para totalização da coleta do solo mais raízes. As amostras de raízes foram lavadas em água corrente, sobre peneira de 2 mm, secas em estufa com temperatura de 65°C e pesadas em balança com precisão de 10^{-6} kg.

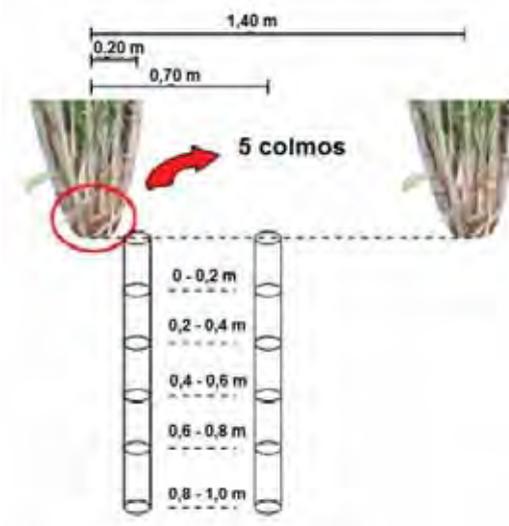


Figura 2: Identificação dos pontos de coleta de solo com raízes.

4.6.4. Produtividade de colmos

O experimento foi colhido em 10 de novembro de 2008 e 03 de dezembro de 2009, sem queima (cana crua) e a pesagem foi feita com dinamômetro modelo WT3000, para cálculo de produtividade. Os valores foram transformados em toneladas por hectare.

4.6.5. Análises tecnológicas

Foram separados dez colmos de cada parcela do experimento, sem palha e ponteiro, para análises tecnológicas da cana-de-açúcar (COPERSUCAR, 2002) em laboratório da Usina Dracena, onde foi determinado o brix, POL e fibra e calculados os valores de pureza, açúcares redutores da cana (ARC) e açúcares totais recuperáveis (ATR), conforme as equações abaixo:

$$\text{ATR} = 9,5263 \times \text{PC} + 9,05 \times \text{ARC} \quad [\text{Eq. 2}]$$

onde: PC: Pol da cana

ARC: Açúcares redutores da cana

$$ARC = AR \times (1 - 0,01 \times F) \times C \quad [\text{Eq. 3}]$$

onde: AR: Açúcar recuperável do caldo
 F: Fibra
 C: Coeficiente para transformar Pol em PC

$$C = 1,0313 - 0,00575 \times F \quad [\text{Eq. 4}]$$

$$PC = POL \times (1 - 0,01 \times F) \times C \quad [\text{Eq. 5}]$$

onde: POL: Pol do caldo

$$F = [(100 \times \text{PBS}) - (\text{PBU} \times B)] + [5 \times (100 - B)] \quad [\text{Eq. 6}]$$

onde: PBS: Peso do bagaço seco
 PBU: Peso do bagaço úmido
 B: Brix

$$AR = 3,641 - 0,0343 \times P \quad [\text{Eq. 7}]$$

onde: P: Pureza

$$P = 100 \times POL / B \quad [\text{Eq. 8}]$$

$$POL = \text{LPb} \times (0,2605 - 0,0009882 \times B) \quad [\text{Eq. 9}]$$

onde: LPb: Leitura sacarimétrica equivalente a de subacetato de chumbo

4.6.6. Análises estatísticas

Para avaliação dos tratamentos, as variáveis foram submetidas à análise de variância pelo teste F ($p < 0,05$). Nos casos em que houve diferença significativa entre os tratamentos, foram realizadas análises de regressão.

Os valores dos atributos químicos do solo foram submetidos à análise de variância seguindo delineamento em blocos casualizados com quatro repetições e esquema em parcelas subdivididas. Os tratamentos foram as cinco doses de gesso agrícola (0, 1, 2, 4 e 8 t ha⁻¹), as subparcelas foram as profundidades de amostragem

(0-0,2; 0,2-0,4; 0,4-0,6; 0,6-0,8 e 0,8-1,0 m) e as subsubparcelas foram as épocas de amostragem (ano agrícola 2007/08 e 2008/09).

Para densidade de matéria seca de raiz, os valores foram submetidos à análise de variância seguindo delineamento em blocos casualizados com quatro repetições e esquema em parcelas subdivididas. Os tratamentos foram as cinco doses de gesso agrícola (0, 1, 2, 4 e 8 t ha⁻¹), as subparcelas foram as profundidades de amostragem (0-0,2; 0,2-0,4; 0,4-0,6; 0,6-0,8 e 0,8-1,0 m).

Para produtividade, qualidade tecnológica e diagnose foliar, os valores foram submetidos à análise de variância seguindo delineamento em blocos casualizados com quatro repetições e esquema em parcelas subdivididas. Os tratamentos foram as cinco doses de gesso agrícola (0, 1, 2, 4 e 8 t ha⁻¹), as subparcelas foram as épocas de amostragem (ano agrícola 2007/08 e 2008/09).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Enxofre

A aplicação do gesso agrícola proporcionou, nos anos agrícolas 2007/08 e 2008/09, incrementos significativos nas concentrações de S-SO₄²⁻ em todas as camadas de solo estudadas (Figura 3), devido o insumo apresentar 162,3 g kg⁻¹ de enxofre na sua composição.

Desdobrando os resultados, foi possível verificar que, no ano agrícola 2007/08, houve crescimento significativo das concentrações de S-SO₄²⁻ em todas as camadas do solo, com ênfase na 0,2 – 0,4 m (Figura 4). Na segunda avaliação, verificou-se que, em função dos tratamentos aplicados, o aumento dos teores do nutriente nas camadas do solo foi menor que no primeiro período (Figura 5), e que, as maiores concentrações foram observadas nas camadas mais profundas (Figura 4), indicando uma possível lixiviação do sulfato dentro do perfil do solo e do período estudado.

Resultados semelhantes sobre a movimentação de sulfato foram encontrados por Rhenheimer et al. (2005), quando da aplicação de gesso em solo de textura arenosa sob plantio direto.

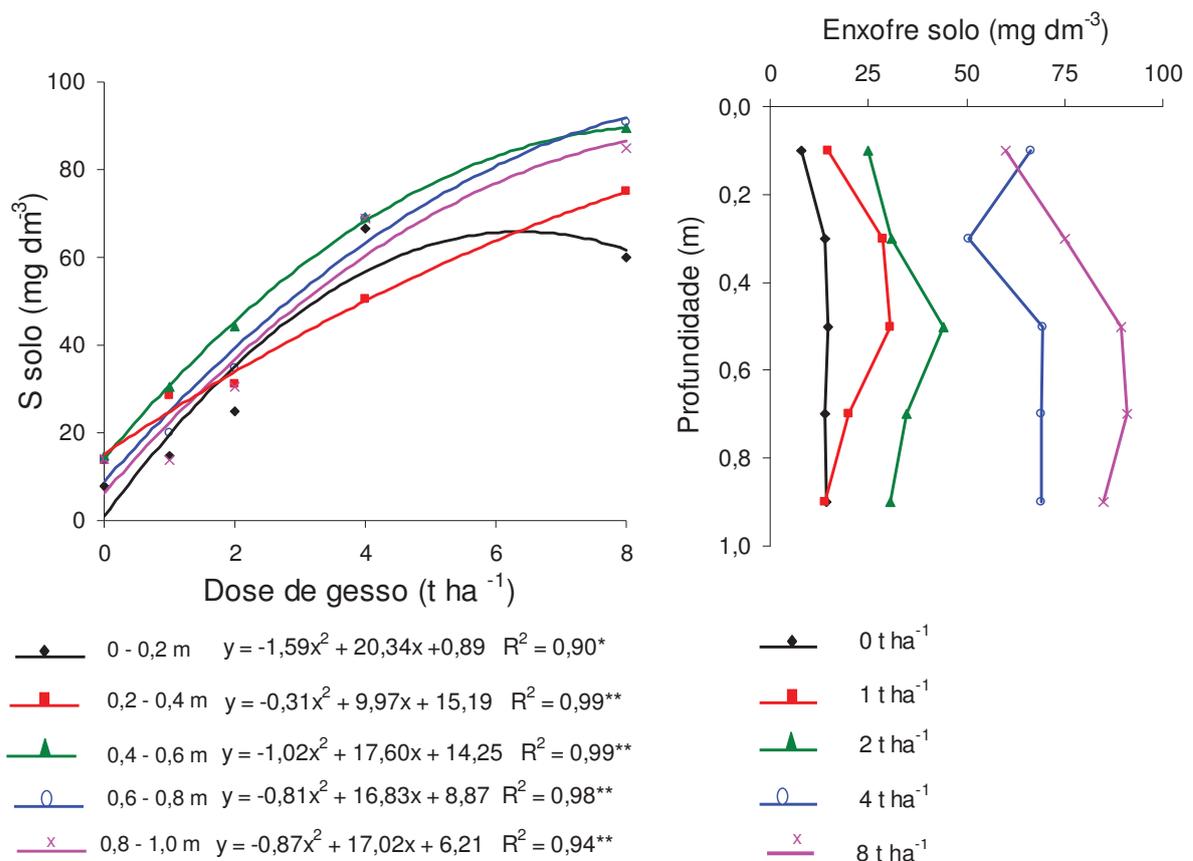


Figura 3: Teores de S-SO₄²⁻ nas camadas do solo em função das doses de gesso agrícola.

Caires et al. (1998) verificaram que após a aplicação de 12 t ha⁻¹ de gesso agrícola em superfície, mais da metade do S-SO₄²⁻ havia sido lixiviado para a camada de 0,8 m de profundidade aos 24 meses, corroborando com Quaggio et al., (1993), que constataram lixiviação de enxofre para camadas de solo inferiores a 0,6 m.

Nogueira & Melo (2003), estudando o residual de enxofre num perfil de solo de 0,4 m, quando da utilização de gesso agrícola por duas safras consecutivas, verificaram que o nutriente lixiviou para além desta profundidade já no primeiro ano de aplicação, enquanto Blum (2008), trabalhando com gesso em videira, verificou aumentos nos teores do nutriente até uma profundidade de 0,8 m do solo e também lixiviação de sulfato para as camadas mais profundas.

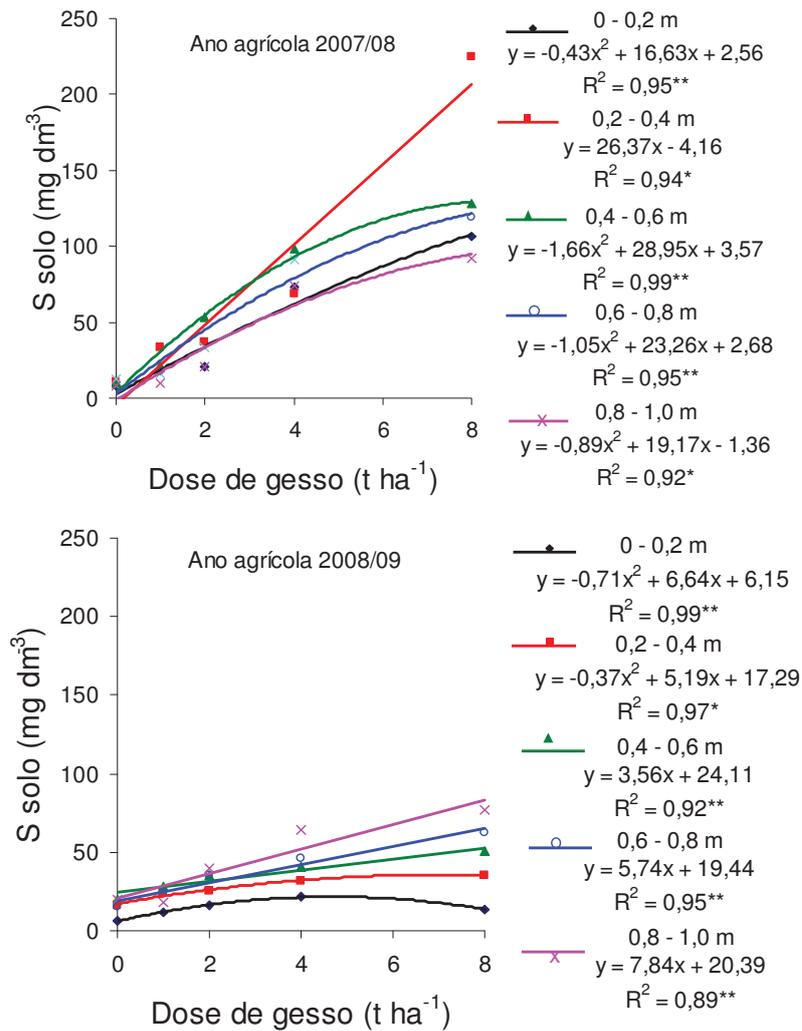


Figura 4: Teores de S-SO₄²⁻ nas camadas do solo em função das doses de gesso agrícola, da profundidade e da época de amostragem.

A textura afeta a lixiviação de nutrientes no solo, decrescendo da mais arenosa para a mais argilosa. O solo utilizado no experimento possui, ao longo do perfil analisado, quantidade de areia superior a 800 g kg⁻¹ (Tabela 2), sendo susceptível a lixiviações.

A quantidade de água também pode ter contribuído para a lixiviação do S-SO₄²⁻ no perfil do solo, durante os períodos avaliados. Alvarez & Dias (1994) afirmam que a quantidade de água incidente no solo pode interferir numa maior ou menor lixiviação.

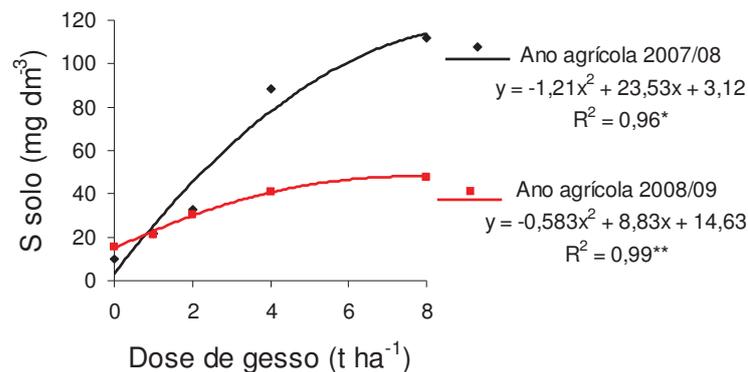


Figura 5: Desdobramento dos teores de $S-SO_4^{2-}$ no solo em função das doses de gesso agrícola e da época de amostragem até 1 m de profundidade.

Enquanto no primeiro ano de condução do experimento a precipitação pluvial anotada foi de 1323 mm de chuva (período de novembro/2007 a outubro/2008), no segundo ano, a incidência de chuva foi de 2239 mm (período de novembro/2008 a novembro/2009) (Figura 1), e talvez seja esta, uma justificativa para explicar a movimentação do sulfato ocorrida neste experimento, pois, segundo Prevedello (1996), qualquer elemento químico, que não esteja ligado às estruturas minerais ou orgânicas do solo, está na solução do mesmo, podendo ser transportado pela água para as camadas mais profundas.

5.2. Bases trocáveis, saturação por bases e capacidade de troca catiônica

Verificou-se que houve aumentos significativos dos teores de cálcio no perfil do solo em função da aplicação de gesso agrícola, sendo, a ocorrência, observada nos dois anos avaliados e em todas as camadas estudadas (Figura 6).

Como o gesso agrícola apresenta cálcio e enxofre na forma de sulfato, e este ânion acompanhante possui a característica de mobilidade no solo, foi possível observar o aumento significativo dos teores de cálcio em todas as camadas estudadas.

Embora as concentrações de Ca no solo sejam maiores na camada superior, observou-se também que, em função das duas épocas avaliadas, houve uma redução significativa no teor de cálcio na camada superior do solo e aumentos significativos nas

camadas 0,4-0,6; 0,6-0,8 e 0,8-1 m (Tabela 3), sugerindo que houve lixiviação do nutriente.

Essa movimentação tem sido observada em vários estudos acerca do gesso agrícola (QUAGGIO et al., 1982; SILVA et al., 1998; SOUSA et al., 2001; CAIRES et al., 2004; ROCHA, 2007; BLUM, 2008), devido à maior estabilidade do par iônico CaSO_4^0 , frente aos formados com magnésio e potássio (BOHN et al., 1979, DIAS, 1992), diferentemente de Dal Bó et al. (1986), que constataram associação preferencial do sulfato com o magnésio, forma mais solúvel do que a associação do sulfato com o cálcio. Sun et al. (2000), estudando os efeitos do calcário e do gesso agrícola no solo, observaram que 30% do cálcio em profundidade são encontrados na forma de CaSO_4^0

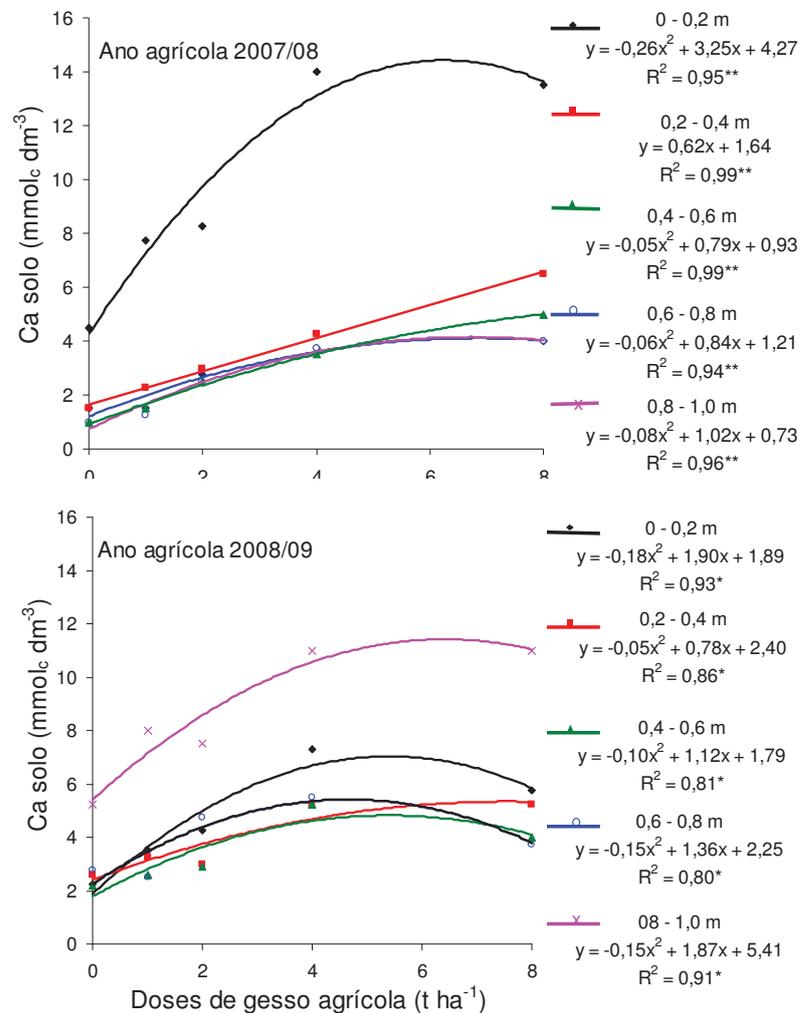


Figura 6: Teores de cálcio nas camadas do solo em função das doses de gesso agrícola, da profundidade e da época de amostragem.

A incorporação de sais de cálcio que incluem ânions como nitrato, sulfato e cloreto, geralmente pouco retidos no solo, permite expressiva movimentação do cátion às camadas subsuperficiais (FIGUEIREDO, 2006).

Para que o equilíbrio estequiométrico do solo seja mantido, a movimentação de nutrientes no perfil do solo se dá com a formação de um par iônico, com cancelamento mútuo de cargas, através da associação de um ânion com um cátion.

Tabela 3: Teores de cálcio nas camadas do solo em função da profundidade época de amostragem.

Profundidade	Ano agrícola						F
	2007/08		2008/09				
.... mmmol _c dm ⁻³						
0 - 0,2	9,60	a	A	8,65	a	B	8,19**
0,2 - 0,4	3,50	b		3,85	b		1,11 ^{NS}
0,4 - 0,6	2,70	bc	B	3,40	c	A	4,45*
0,6 - 0,8	2,70	c	B	4,00	c	A	20,42**
0,8 - 1	2,50	bc	B	5,15	c	A	54,49**
F	184,74**		90,91**				

Letras maiúsculas iguais na linha não diferem entre si a 5% de probabilidade

Letras minúsculas iguais na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade

** Significativo a 1% de probabilidade; * Significativo a 5% de probabilidade; ^{NS} Não significativo

A aplicação dos tratamentos possibilitou aumentos significativos de $S-SO_4^{2-}$ (Figura 4) e Ca^{2+} (Figura 6) no solo, favorecendo a formação de $CaSO_4^0$, com posterior lixiviação do par iônico no perfil do solo.

Foram observadas perdas significativas de magnésio da camada superficial e ganhos no teor do nutriente na camada de 0,8-1,0 m no primeiro ano agrícola, indicando possível lixiviação neste período (Figura 7).

Resultados semelhantes foram encontrados por Pearson et al. (1962), Oates & Caldwell (1985), Carvalho et al. (1986), Mclay et al. (1994), Oliveira & Pavan (1996), Caíres et al. (1999), Figueiredo (2006), Foltran (2008), Blum (2008) e Veronese et al. (2009) que verificaram lixiviação de magnésio quando da utilização de gesso.

A formação do par iônico entre o sulfato e o magnésio, com posterior lixiviação, é favorecida pelo aumento da concentração do nutriente na solução, provocada pelo seu deslocamento da fase sólida, ocasionada pelo aumento da saturação do meio com cálcio, visto que a energia de ligação do magnésio com a fase sólida é relativamente menor que a do cálcio (Ernani et al., 2002).

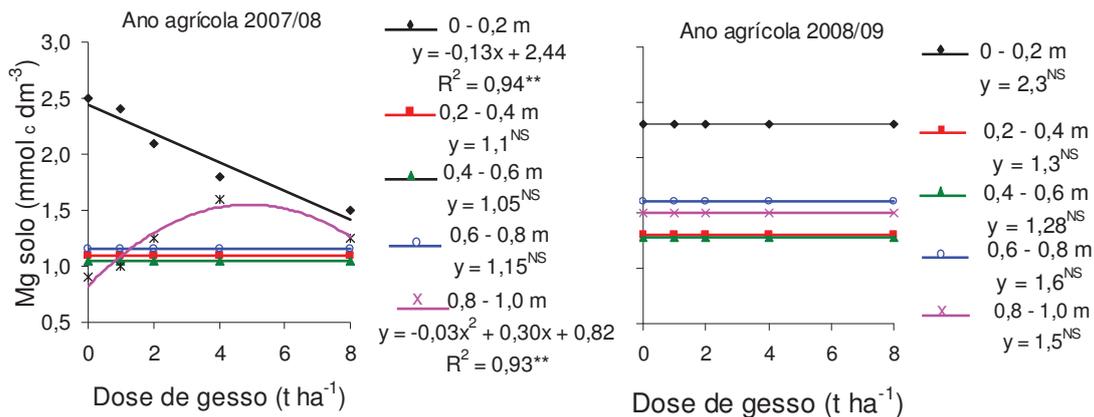


Figura 7: Teores de magnésio nas camadas do solo em função das doses de gesso agrícola, da profundidade e da época de amostragem.

Diversos trabalhos têm apontado perdas deste nutriente quando da incorporação de teores elevados de cálcio no solo, através da aplicação de gesso agrícola (Ritchey et al., 1980; Maria et al., 1993).

No segundo ano agrícola não foram observadas diferenças significativas nos teores de magnésio em todas as camadas de solo estudadas quando da aplicação de gesso (Figura 7). Rocha et al. (2008) também não verificaram perdas significativas de Mg^{2+} com a utilização do insumo, embora tenham constatado aumento da relação Ca/Mg.

Os aumentos significativos das relações Ca/Mg do solo, em todas as profundidades amostradas e nos dois períodos avaliados (Figura 8), foram conseguidos devido à aplicação de quantidades crescentes de cálcio, em função das doses de gesso agrícola utilizadas nos tratamentos, provocando aumentos significativos de seus teores no perfil do solo (Figura 6).

A aplicação dos tratamentos com gesso agrícola não alterou as concentrações de K no solo, nas camadas do solo estudadas e nos dois períodos avaliados (Figura 9).

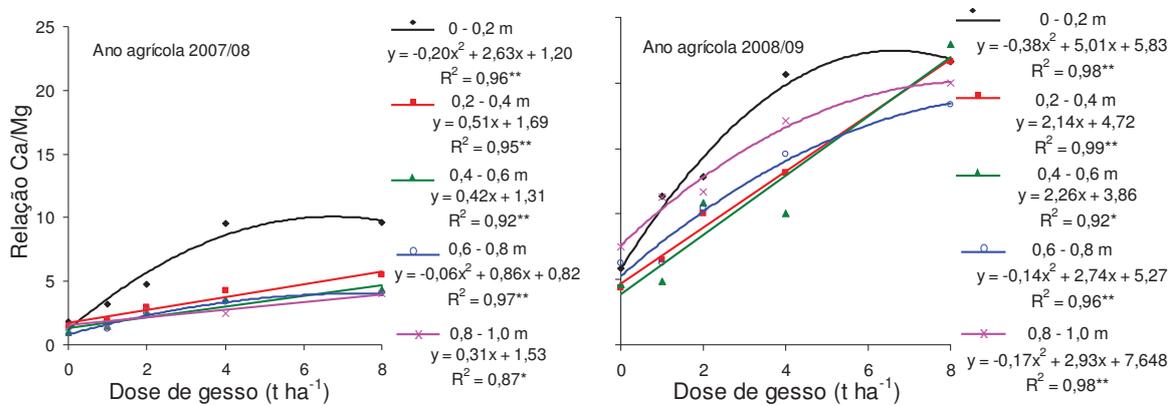


Figura 8: Relação Ca/Mg do solo em função das doses de gesso agrícola, da profundidade e da época de amostragem.

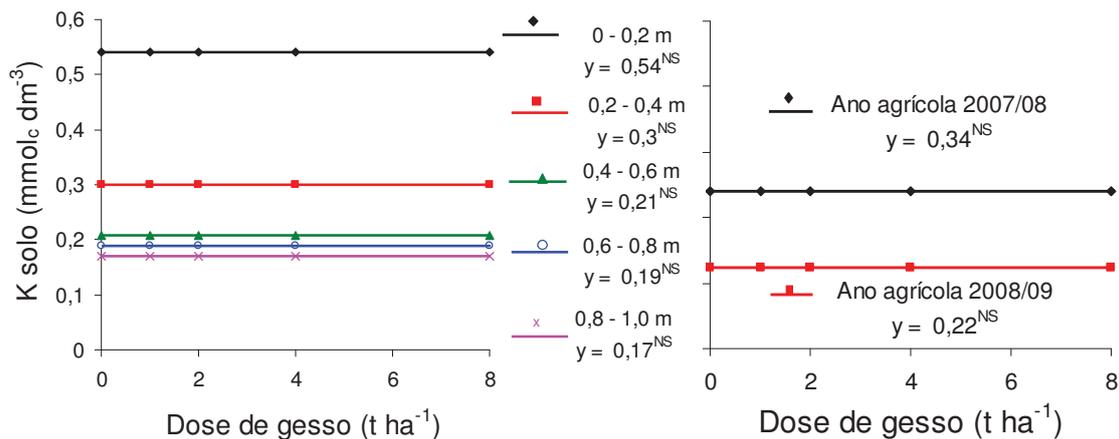


Figura 9: Teores de potássio no solo em função das doses de gesso agrícola, da profundidade e da época de amostragem e desdobramento dos teores de potássio em função das doses de gesso até 1 m de profundidade.

Resultados semelhantes são encontrados na literatura, que demonstram a não mobilidade do nutriente quando da aplicação de gesso (COSTA et al., 2007). Deve-se mencionar, entretanto, que em outros estudos têm-se encontrado com frequência, a lixiviação do potássio como efeito da aplicação do gesso agrícola (PEARSON et al., 1962; RITCHEY et al., 1980; QUAGGIO et al., 1982; FARINA & CHANNON, 1988;

CAIRES et al., 1998; BLUM, 1998; WADT & WADT, 1999; FIGUEIREDO, 2006; ROCHA, 2007; FOLTRAN, 2008; VERONESE et al., 2009).

Martins et al. (2002) sugeriram que a mobilidade não significativa do K no perfil do solo, pode estar relacionada à baixa dose de gesso (1 ou 3 t ha^{-1}) utilizada no seu experimento.

É importante destacar, entretanto, que mesmo utilizando doses superiores as recomendadas pela pesquisa (8 t ha^{-1} , num solo com 142 g kg^{-1} de argila), os resultados foram semelhantes aos de Martins et al. (2002).

Foram observados aumentos significativos da saturação por bases em todas as camadas de solo e nos dois anos agrícolas avaliados, em função das doses de gesso aplicadas (Figura 10).

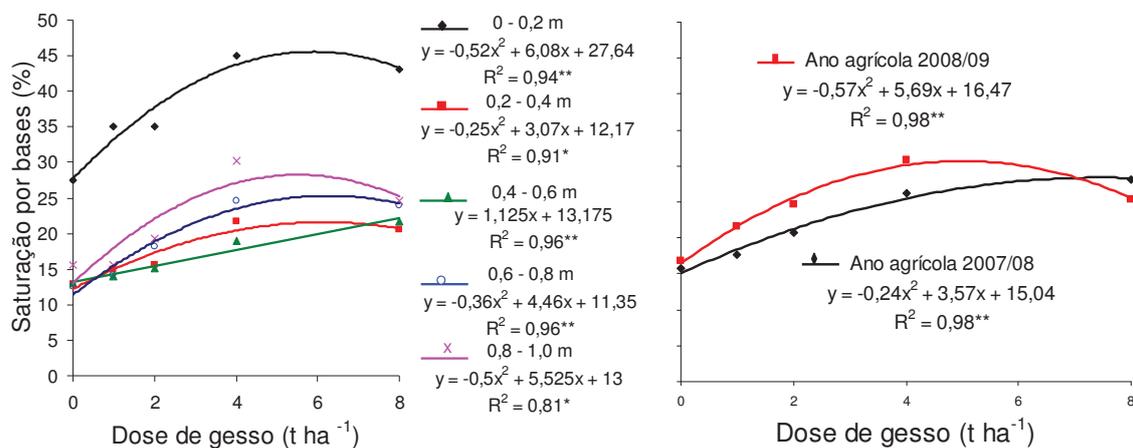


Figura 10: Valores da saturação por bases em função das doses de gesso agrícola, da profundidade e da época de amostragem e desdobramento dos valores da saturação por bases em função das doses de gesso até 1 m de profundidade.

Esses aumentos na saturação por bases no solo devem-se à introdução de cálcio, oriundo da aplicação dos tratamentos com gesso agrícola, associada à sua movimentação no perfil do solo, devido à presença do ânion acompanhante S-SO_4^{2-} . Vale lembrar, que os resultados da saturação por bases são calculados e, nesta pesquisa, dependentes das variações dos teores de cálcio.

Resultados semelhantes foram obtidos por Foltran (2008) e Martins et al. (2002), quando da aplicação do insumo.

Saldanha et al. (2007), estudando os efeitos da granulometria do gesso agrícola em um Latossolo cultivado com cana-de-açúcar, também verificaram o aumento da saturação por bases até 0,8 m de profundidade, quando da aplicação de doses a partir de 4,6 t ha⁻¹.

Foram encontrados aumentos significativos nos valores da CTC, no primeiro ano agrícola, nas camadas 0-0,2 e 0,4-0,6 m de profundidade, porém não foram verificadas alterações significativas no segundo ano agrícola (Figura 11).

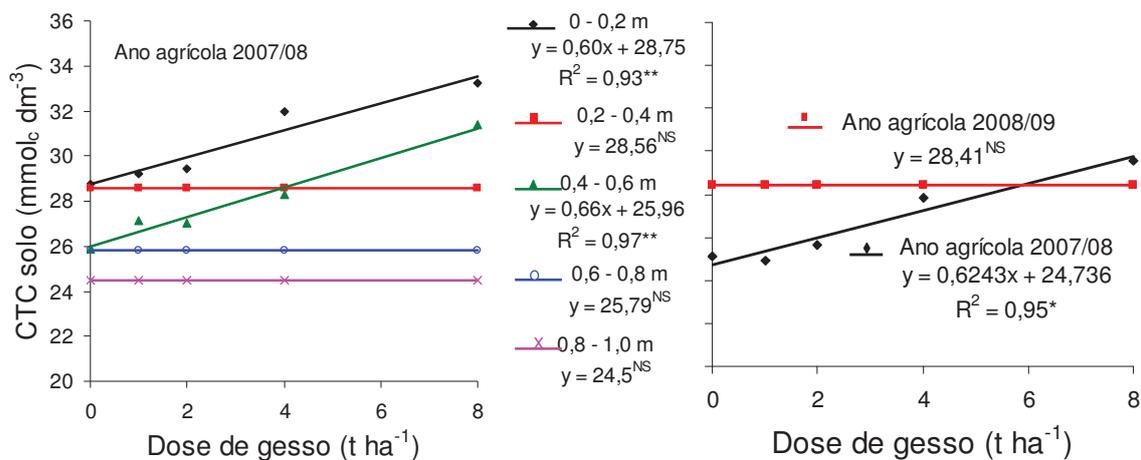


Figura 11: Valores da CTC no solo em função das doses de gesso agrícola, da profundidade e da época de amostragem e desdobramento dos valores da CTC em função das doses de gesso até 1 m de profundidade.

Wadt (2000) sugeriu que o aumento da CTC quando da aplicação de gesso, pode ser devido à adsorção específica do íon sulfato, que ao transferir sua carga à superfície adsorvente, gera novos sítios para adsorção de cátions.

Jesus et al. (2007) verificaram aumentos significativos na CTC do solo, quando da aplicação de gesso agrícola, enquanto Santos et al. (2010) constataram que o gesso, embora tenha aumentado o teor de cálcio trocável, não alterou significativamente a CTC. Ravazzi (2009) atribuiu o aumento significativo da CTC proporcionado pela aplicação de gesso agrícola ao fato da capacidade de troca catiônica ser calculada e não determinada.

Como os fatores que afetam a Capacidade de Troca Catiônica do solo são o teor de matéria orgânica, a quantidade de argila e o tipo de argila presente no solo

(Malavolta, 2006), e estes atributos não foram afetados pela aplicação dos tratamentos, acredita-se que os resultados encontrados de aumentos da CTC, sejam devidos à metodologia adotada em sua obtenção (soma dos cátions trocáveis Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^{+} mais os teores de H^{+} e Al^{+} extraídos em um determinado valor de pH), em virtude do aumento dos teores de cálcio no solo, provocados pela adição de gesso agrícola, e não pelo incremento de cargas negativas, supostamente ampliadas pela adsorção específica do sulfato na superfície da argila.

É importante lembrar que durante o primeiro ano de condução do experimento, ocorreu menor incidência de chuvas que o histórico regional e que no segundo ano agrícola, a precipitação foi quase o dobro do primeiro (Figura 1). Nota-se então que os valores da CTC no segundo período avaliado não foram alterados significativamente (Figura 11), sugerindo que os cátions livres das camadas superiores tenham sido lixiviados do perfil do solo.

5.3. Fósforo

Embora haja $1,5 \text{ g kg}^{-1}$ de P no gesso utilizado neste experimento, ou seja, 12 kg ha^{-1} no tratamento de maior dose (8 t ha^{-1}), não foi constatada variação significativa em seu teor no solo (Figura 12).

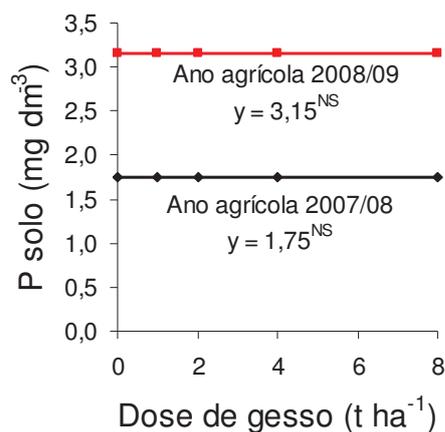


Figura 12: Desdobramento dos teores de fósforo no solo em função das doses de gesso agrícola e da época de amostragem até 1 m de profundidade.

Segundo Oliveira et al. (1985), mesmo o gesso agrícola não sendo considerado um corretivo, ele pode contribuir no aumento da disponibilidade do fósforo presente no solo, devido à formação de ácido sulfúrico, proveniente das reações do sulfato do gesso, com posterior aumento de solubilidade do nutriente. Entretanto, os autores ponderam que a presença excessiva do cálcio proveniente de altas doses do insumo, pode diminuir a disponibilidade do fósforo, decorrente da formação de compostos poucos solúveis com cálcio.

5.4. pH, alumínio trocável e saturação por alumínio

Não houve alteração nos valores de pH em CaCl_2 , em função da aplicação de gesso, em nenhuma das camadas do solo e nos dois períodos (Figura 13).

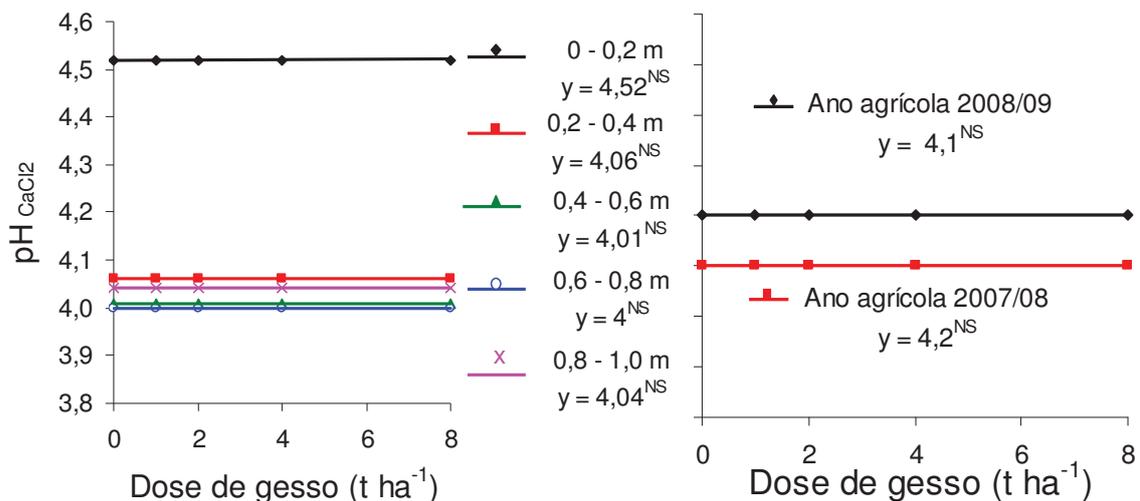


Figura 13: Valores de pH no solo em função das doses de gesso agrícola, da profundidade e da época de amostragem e desdobramento dos valores de pH em função das doses de gesso até 1 m de profundidade.

Resultados semelhantes têm sido encontrados em trabalhos envolvendo o gesso agrícola (ERNANI, 1986; MARIA et al., 1993), porém outros estudos têm apontado para o aumento do pH, em função da aplicação de gesso (CAIRES et al., 2004; VERONESE et al., 2009).

Figueiredo (2006) observou diminuição do pH no primeiro instante da aplicação do gesso agrícola, devido ao deslocamento do H^+ e Al^{3+} do complexo sortivo para a solução do solo. Segundo o autor, a acidificação foi acentuada pela hidrólise do alumínio, porém, segundo o autor, posteriormente foi verificado o aumento de pH devido à lixiviação do par iônico $AlSO_4^+$.

Parece inconsistente o fato de ter-se um aumento na saturação por bases sem o concomitante incremento da acidez ativa do solo. Chama-se a atenção, entretanto, que o aumento da saturação por bases, ocasionado pela introdução de cálcio oriundo do gesso agrícola, fato este também constatado por diversos autores (RAIJ & SACCHETTO, 1968; WADT & WADT, 1999; SALDANHA et al., 2007; FOLTRAN, 2008), não interfere significativamente nos valores de pH, sugerindo que a utilização da correlação entre estes dois atributos do solo, não seja adequada, pois é dependente do insumo utilizado. Enquanto a aplicação de um corretivo de solo, como o calcário, aumenta a saturação por bases e pH, o gesso agrícola aumenta somente a saturação por bases.

A aplicação de gesso promoveu variações significativas nos teores de alumínio trocável (Al^{3+}) nas profundidades 0,6-0,8 e 0,8-1,0 m, corroborando com resultados obtidos por Zambrosi et al. (2007), enquanto, para saturação por alumínio, as variações aconteceram em todas as camadas do solo (Figura 14).

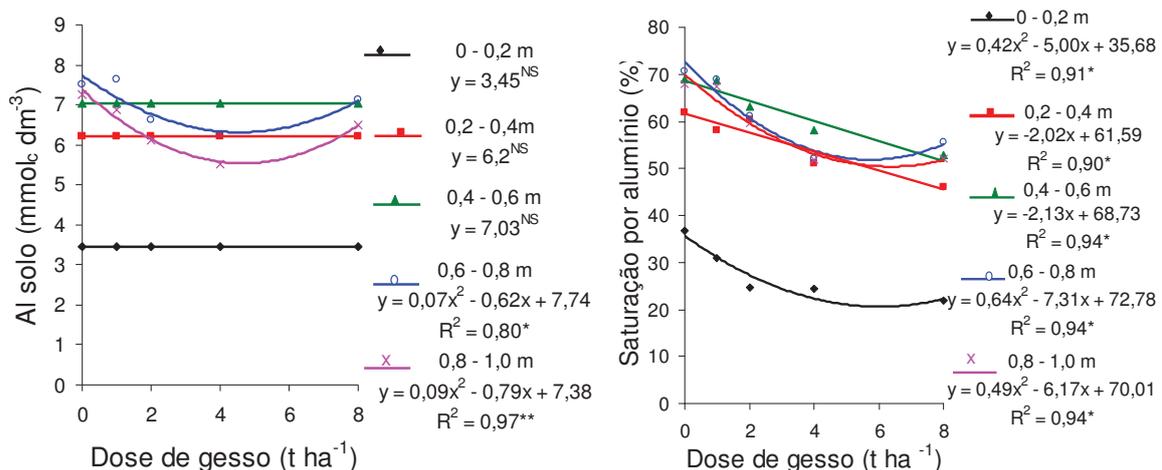


Figura 14: Teores de alumínio trocável e valores de saturação por alumínio no solo em função de doses de gesso agrícola e da profundidade.

Fazendo o desdobramento dos resultados, foi possível verificar que o teor de alumínio trocável no solo foi reduzido significativamente no primeiro ano, apenas na camada 0,6-0,8 m de profundidade, enquanto que, no segundo período avaliado, a redução ocorreu apenas na camada mais profunda do solo (Figura 15).

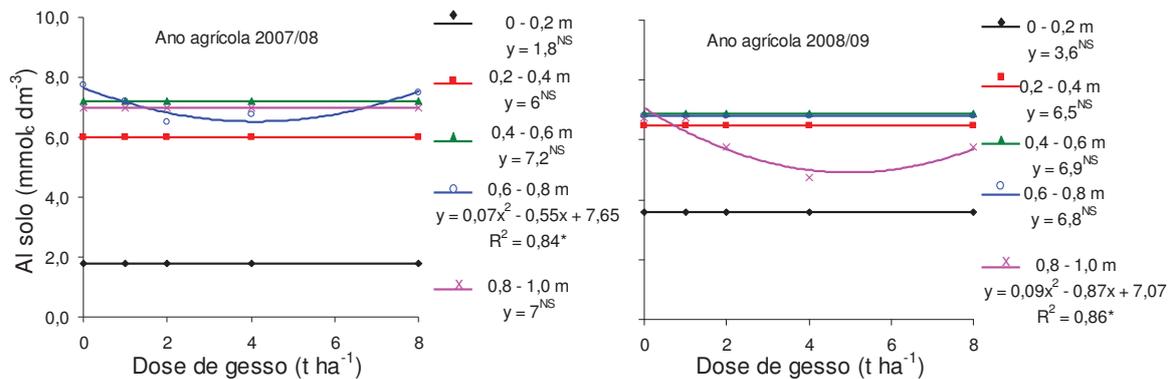


Figura 15: Teor de alumínio trocável no solo em função das doses de gesso agrícola, da profundidade e da época de amostragem.

Pavan & Bingham (1982; 1986), Caíres et al. (1998) e Martins et al. (2002) observaram diminuição dos teores de alumínio trocável quando da aplicação de gesso agrícola, enquanto Foltran (2008) verificou que o gesso reduziu o teor de alumínio tóxico a partir da camada superficial, devido à lixiviação do alumínio, provocada pela formação de pares iônicos ou complexos $AlSO_4^+$ (PAVAN et al., 1984).

Têm sido sugeridas algumas hipóteses para explicar a diminuição significativa do alumínio trocável no solo quando da aplicação do gesso agrícola. Uma delas seria a reação de troca de ligantes na superfície das partículas de solo, envolvendo óxidos hidratados de ferro e alumínio com o SO_4^{2-} , deslocando OH^- , promovendo a neutralização parcial da acidez (REEVE & SUMNER, 1972). Outra hipótese seria a precipitação do alumínio com a formação de minerais (ADAMS & RAWAYFISH, 1977). Por fim, outra possibilidade seria a lixiviação de alumínio acompanhando o gesso agrícola, através da formação de pares iônicos ou complexos $AlSO_4^+$ (PAVAN et al., 1984).

Os valores de saturação por alumínio diminuíram significativamente em todas as camadas do solo, no primeiro ano de avaliação, em função dos tratamentos aplicados,

e, no segundo ano agrícola, as reduções foram verificadas nas camadas 0-0,2; 0,4-0,6 e 0,8-1 m de profundidade (Figura 16).

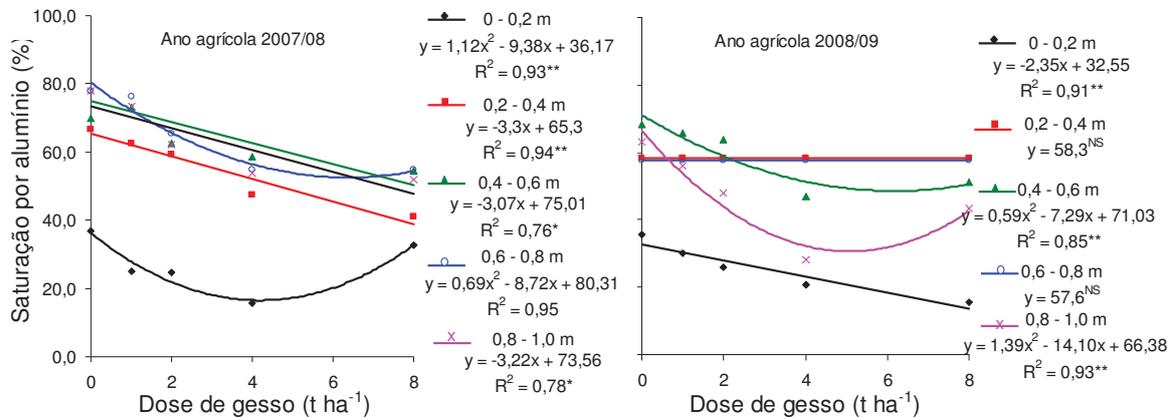


Figura 16: Valores de saturação por alumínio no solo em função das doses de gesso agrícola, da profundidade e da época de amostragem.

A redução da saturação por alumínio pode ser explicada tanto pela diminuição do teor de Al^{3+} , como pela diluição do elemento provocada pela concentração crescente de cálcio no solo, em virtude da aplicação do nutriente via gesso agrícola.

Silva et al. (1997) constataram aumento da saturação por bases, redução da saturação por alumínio e não interferência do gesso agrícola no teor de alumínio trocável.

5.5. Micronutrientes

Os resultados deste trabalho demonstram a não interferência das doses de gesso agrícola na concentração de micronutrientes no solo, até um metro de profundidade, sendo o manganês, a única exceção observada (Figura 17).

No primeiro ano agrícola foram observadas variações significativas do teor de manganês nas camadas do solo, exceto para a mais profunda (0,8-1,0 m), enquanto que, no segundo ano, 25 meses após a aplicação do gesso, não foram constatadas alterações significativas deste nutriente nas camadas do solo (Figura 18).

Custódio et al. (2005) verificaram aumentos nos teores residuais de Mn, Fe e Zn quando da aplicação de doses de gesso agrícola em Capim-Tanzânia. Os autores

apontam que os resultados são decorrentes da variação da acidez do solo provocada pela aplicação do insumo, atuando na solubilidade e disponibilidade dos micronutrientes.

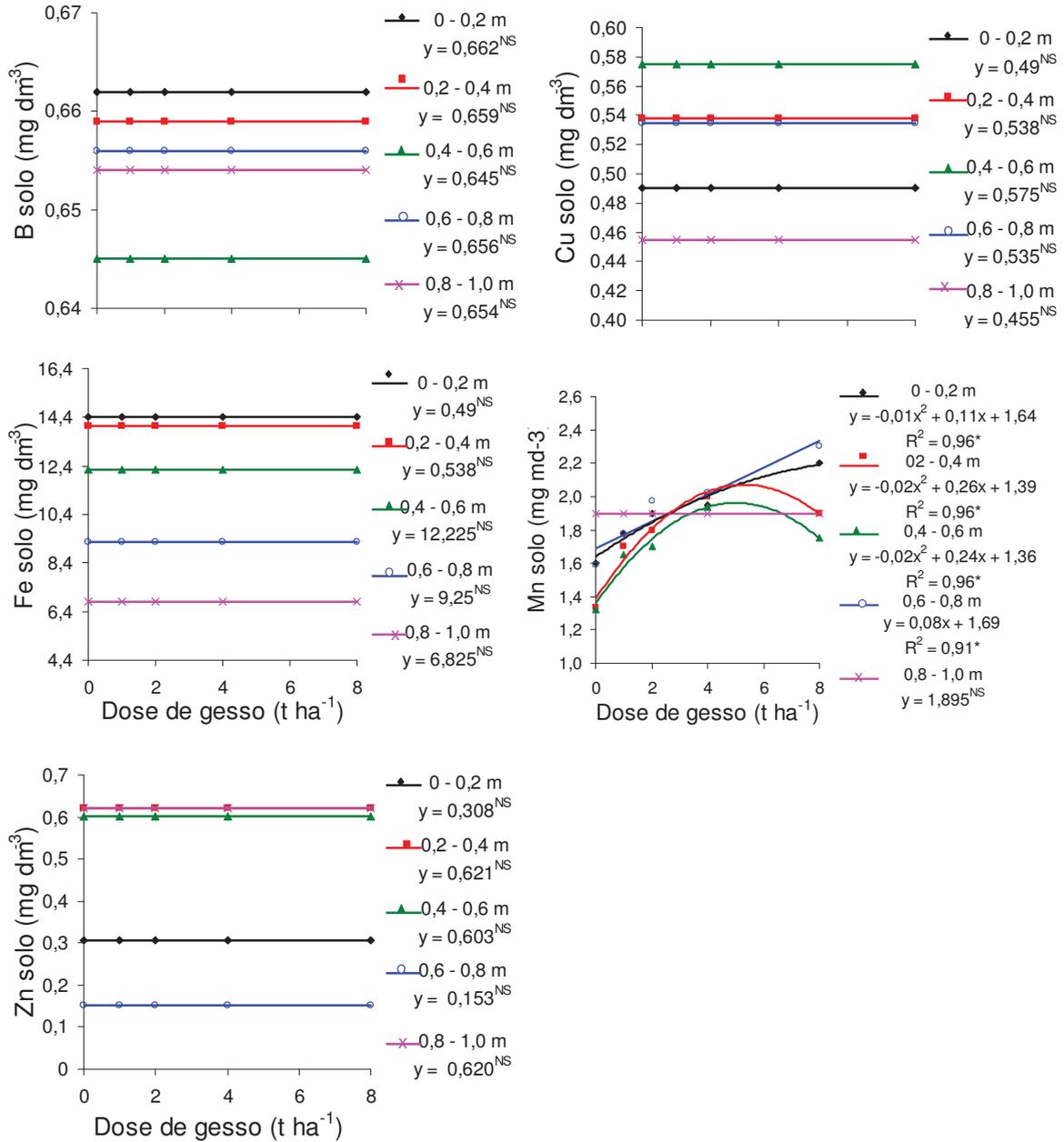


Figura 17: Teores de boro, cobre, ferro, manganês e zinco no solo em função das doses de gesso agrícola e da profundidade.

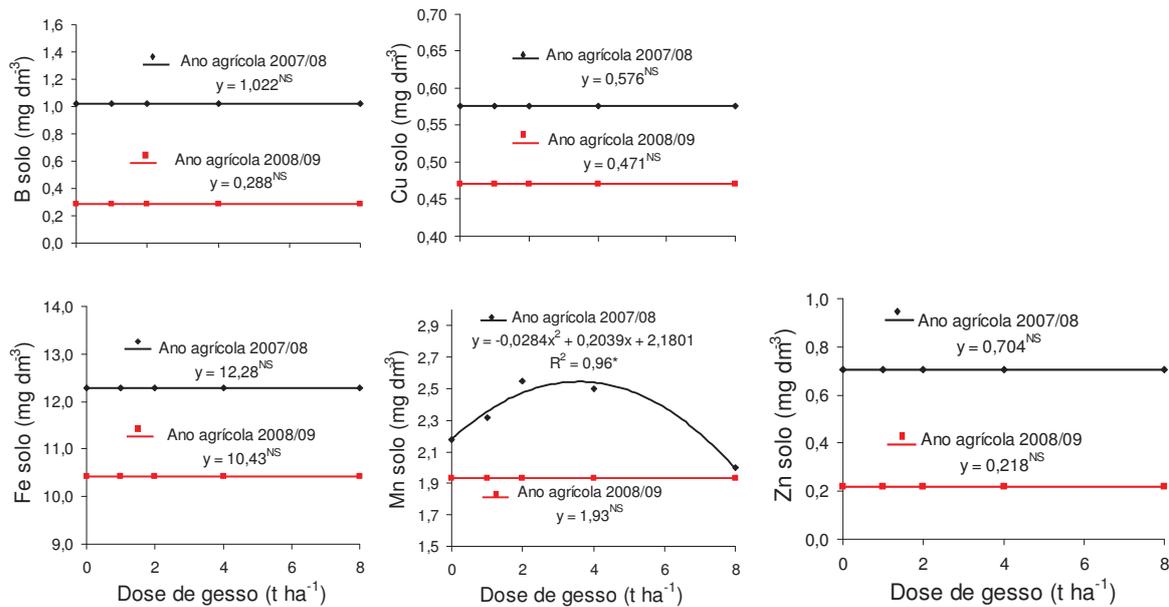


Figura 18: Desdobramento dos teores de boro, cobre, ferro, manganês e zinco no solo em função das doses de gesso agrícola e da época de amostragem até 1 m de profundidade.

Os micronutrientes, com exceção do ferro, sofreram redução significativa de seus teores no solo em função dos períodos avaliados dentro das doses de gesso agrícola (Tabela 4).

Não foi encontrada uma explicação plausível para o comportamento do manganês no solo. Malavolta (1992a) afirmam que o gesso agrícola pode conter até 15 ppm de manganês como impureza, portanto a quantidade aplicada deste micronutriente na maior dose dos tratamentos, pode chegar até a 0,12 kg ha⁻¹, ou seja, muito pouco para provocar diferenças significativas. Sugere-se uma linha de pesquisa específica para elucidar tal ocorrência.

5.6. Estado nutricional da cultura

Não foram observadas variações significativas nos teores foliares de nitrogênio e fósforo em função da aplicação dos tratamentos com gesso nos anos agrícolas 2007/08 e 2008/09, porém houve redução significativa da concentração foliar do nitrogênio e

aumento na de fósforo, quando comparados os dois períodos dentro de cada dose de gesso agrícola (Tabela 5).

Tabela 4: Teores de boro, cobre, ferro, manganês e zinco no solo em função das doses de gesso agrícola e da época de amostragem.

Ano agrícola	Dose de gesso agrícola (t ha ⁻¹)					F
	0	1	2	4	8	
Boro (mg dm ⁻³)						
2007/08	1,02 a	1,03 a	1,01 a	1,02 a	1,03 a	0,35 ^{NS}
2008/09	0,27 b	0,30 b	0,30 b	0,29 b	0,29 b	0,98 ^{NS}
F	2529,79**	2395,97**	2272,78**	2351,49**	2458,19**	
Cobre (mg dm ⁻³)						
2007/08	0,55 a	0,59 a	0,56 a	0,62 a	0,57 a	2,20 ^{NS}
2008/09	0,45 b	0,49 b	0,49 b	0,45 b	0,49 b	1,30 ^{NS}
F	24,10**	21,75**	11,81**	73,80**	17,41**	
Ferro (mg dm ⁻³)						
2007/08	11,90 a	12,75 a	11,55	12,60 a	12,60 a	1,64 ^{NS}
2008/09	10,30 b	10,25 b	10,60	10,30 b	10,70 b	0,25 ^{NS}
F	11,19**	27,31**	3,94 ^{NS}	23,12**	15,78**	
Manganês (mg dm ⁻³)						
2007/08	2,18 a B	2,32 a B	2,79 a A	2,46 a A	2,52 a AB	5,56**
2008/09	0,95 b	1,17 b	1,34 b	1,29 b	1,22 b	2,43 ^{NS}
F	154,15**	137,03**	214,49**	140,62**	173,60**	
Zinco (mg dm ⁻³)						
2007/08	0,69 a	0,70 a	0,71 a	0,72 a	0,70 a	0,87 ^{NS}
2008/09	0,23 b	0,22 b	0,23 b	0,21 b	0,21 b	0,78 ^{NS}
F	680,25**	730,81**	740,42**	867,69**	792,13**	

** significativo a 1% de probabilidade; ^{NS} não significativo

letras maiúsculas iguais na linha não diferem entre si a 5% de probabilidade

letras minúsculas iguais na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade

Embora haja $1,5 \text{ g kg}^{-1}$ de P no gesso utilizado neste experimento, ou seja, incremento de 12 kg ha^{-1} no tratamento de maior dose (8 t ha^{-1}), não foi verificada variação significativa no teor foliar do nutriente (Tabela 5) e nem do seu teor no solo (Figura 12).

Tabela 5: Teores foliares de nitrogênio e fósforo em função das doses de gesso agrícola e da época de amostragem.

Ano agrícola	Dose de gesso agrícola (t ha^{-1})					F
	0	1	2	4	8	
Nitrogênio foliar (g kg^{-1})						
2007/08	16,21 a	17,36 a	17,40 a	18,34 a	17,47 a	2,69 ^{NS}
2008/09	13,83 b	13,83 b	12,38 b	14,35 b	14,00 b	2,68 ^{NS}
F	9,65**	21,29**	42,93**	27,12**	20,45**	
Fósforo foliar (g kg^{-1})						
2007/08	1,51 b	1,50 b	1,47 b	1,45 b	1,46 b	0,41 ^{NS}
2008/09	1,70 a	1,69 a	1,62 a	1,61 a	1,66 a	1,02 ^{NS}
F	9,21**	9,71**	5,51*	6,71*	10,75**	

** significativo a 1% de probabilidade; * significativo a 5% de probabilidade, ^{NS} não significativo
 letras maiúsculas iguais na linha não diferem entre si a 5% de probabilidade
 letras minúsculas iguais na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade

No ano agrícola 2007/08 foi observado aumento significativo no teor foliar apenas de enxofre, enquanto no 2008/09, os teores foliares dos nutrientes enxofre, cálcio, magnésio e potássio, sofreram modificações significativas em função da aplicação dos tratamentos com gesso agrícola em cana-de-açúcar (Figura 19).

Saldanha (2005) observou aumentos significativos nos teores foliares de Ca e S e não alteração no Mg e K, quando da aplicação de gesso mineral.

Sousa et al. (2008), em trabalho realizado com gessagem na cultura do algodoeiro, observaram aumentos significativos nos teores foliares de Ca e S, no entanto, quando foram avaliados os nutrientes contidos no caroço do algodão, os autores constataram aumentos significativos em todos os nutrientes estudados, como N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn.

Os aumentos dos teores foliares de enxofre nos dois períodos avaliados acompanharam as tendências de variação das concentrações do nutriente no solo dentro de cada ano agrícola, em função das doses de gesso agrícola (Tabela 6).

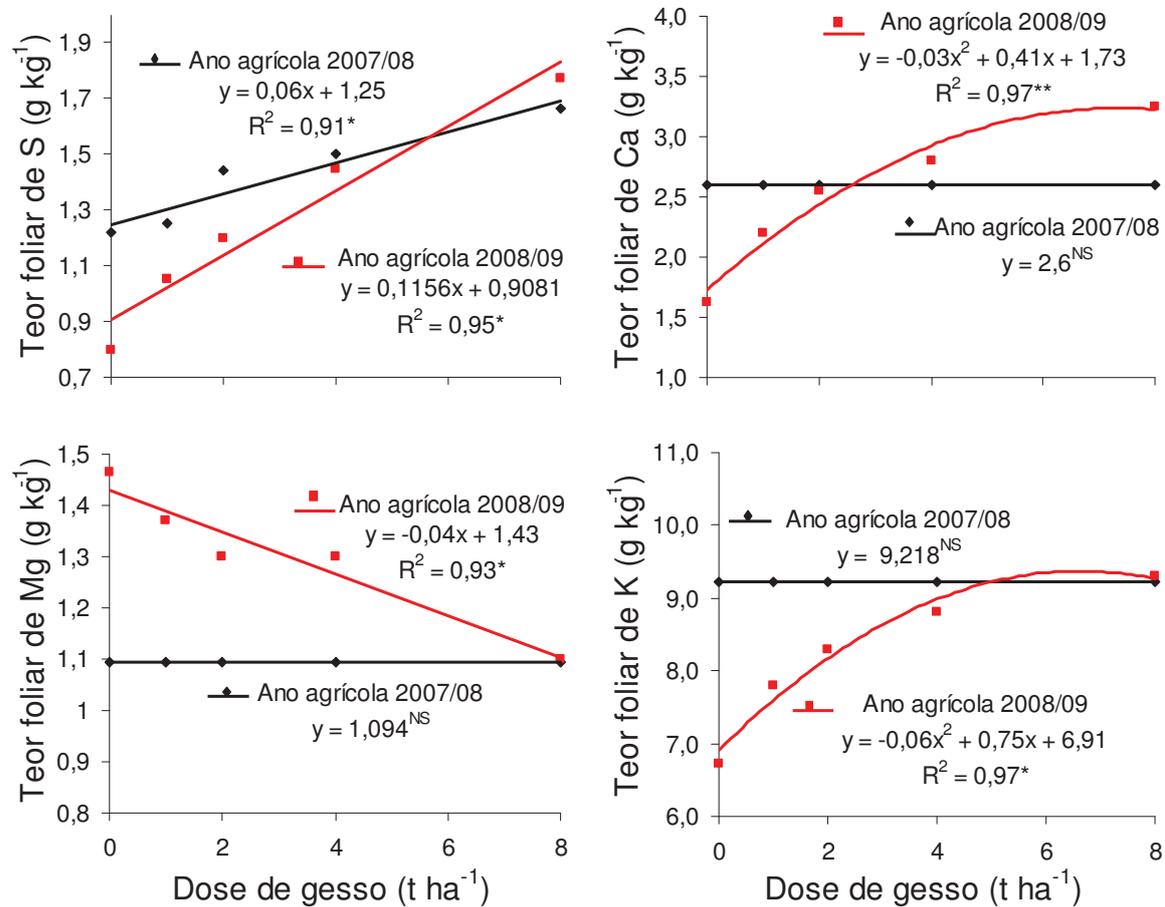


Figura 19: Desdobramento dos teores foliares de enxofre, cálcio, magnésio e potássio em função das doses de gesso agrícola e da época de amostragem.

O enxofre compõe 162,3 g kg⁻¹ do gesso aplicado no experimento e por isso mesmo proporcionou respostas significativas foliares deste nutriente (Tabela 6), porém seus teores, para os tratamentos com doses menores de gesso, não ficaram dentro da faixa de suficiência segundo Malavolta (1992), Gallo & Hiroce (1968) e Raji & Cantarella (1996). Os tratamentos com doses maiores de gesso resultaram em colocar os teores foliares do nutriente dentro da faixa de suficiência, porém próximos ao limite mínimo (1,5 g kg⁻¹) segundo Raji & Cantarella (1996). Esperava-se encontrar maiores

respostas, nos teores foliares de enxofre, em função da aplicação de gesso, visto que a quantidade de S aplicada na maior dose do insumo foi de 1298 kg ha⁻¹.

Tabela 6: Teores foliares e de solo de enxofre em função das doses de gesso agrícola e da época de amostragem.

Ano agrícola	Dose de gesso agrícola (t ha ⁻¹)					F
	0	1	2	4	8	
Enxofre foliar (g kg ⁻¹)						
2007/08	1,0 a C	1,2 BC	1,4 AB	1,6 A	1,7 A	9,24**
2008/09	0,8 b D	1,1 CD	1,4 BC	1,5 AB	1,8 A	19,43**
F	7,39**	4,48 ^{NS}	1,12 ^{NS}	2,75 ^{NS}	1,66 ^{NS}	
Enxofre no solo (mg dm ⁻³)						
2007/08	10,1 b E	21,9 D	33,1 C	88,7 a B	112,2 a A	361,12**
2008/09	15,6 a C	21,2 BC	30,5 B	41,0 b A	47,9 b A	32,49**
F	4,59*	0,09 ^{NS}	0,98 ^{NS}	348,17**	632,33**	

** significativo a 1% de probabilidade; * significativo 5% de probabilidade; ^{NS} não significativo
 letras maiúsculas iguais na linha não diferem entre si a 5% de probabilidade
 letras minúsculas iguais na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade

Foi verificado que, embora os teores de cálcio no solo tenham aumentado significativamente, nos dois períodos avaliados, em função da aplicação do gesso agrícola, houve aumento significativo do teor foliar do nutriente apenas no ano agrícola 2008/09 (Tabela 7).

A presença de 204,5 g kg⁻¹ de cálcio no gesso agrícola propiciou aumento significativo deste nutriente foliar no segundo período (Tabela 7), no entanto, seus teores, ficaram abaixo da faixa de suficiência, segundo Malavolta (1992) e Gallo & Hiroce (1968) e dentro da faixa de suficiência segundo Rajj & Cantarella (1996). Devido à introdução de quantidades elevadas de cálcio, notadamente nos tratamentos com doses maiores de gesso, era de se esperar aumentos nos teores foliares que pudessem alcançar a faixa de suficiência para os primeiros autores ou valores próximos ao limite superior da faixa de suficiência (8 g kg⁻¹) segundo Rajj & Cantarella (1996).

Foi verificada redução significativa dos teores foliares de magnésio no segundo ano agrícola em função da aplicação dos tratamentos, embora os teores do nutriente no solo não tenham sido alterados significativamente nos dois períodos avaliados (Tabela 10).

Tabela 7: Teores foliares e de solo de cálcio em função das doses de gesso agrícola e da época de amostragem.

Ano agrícola	Dose de gesso agrícola (t ha ⁻¹)					F
	0	1	2	4	8	
Cálcio foliar (g kg ⁻¹)						
2007/08	2,24 a	2,59	2,84	2,60	2,71 b	1,64 ^{NS}
2008/09	1,63 b B	2,78 A	2,55 A	2,80 A	3,25 a A	11,86**
F	7,30*	0,68 ^{NS}	1,61 ^{NS}	0,78 ^{NS}	5,62*	
Cálcio no solo (mmol _c dm ⁻³)						
2007/08	1,90 b C	2,85 b BC	3,80 b B	5,9 b A	6,60 A	63,51**
2208/09	3,10 a C	3,80 a BC	4,56 a B	7,3 a A	6,25 A	47,55**
F	13,07**	8,19**	6,56*	17,79**	1,11 ^{NS}	

** significativo a 1% de probabilidade; * significativo a 5% de probabilidade; ^{NS} não significativo
letras maiúsculas iguais na linha não diferem entre si a 5% de probabilidade
letras minúsculas iguais na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade

Observa-se, no entanto, que todos os teores foliares do nutriente ficaram dentro da faixa de suficiência segundo Raij & Cantarella (1996) (Tabela 8), ou seja, a redução dos teores foliares de Mg, observado no segundo ano agrícola, não foi suficiente para tirá-los da faixa de suficiência segundo os autores.

Houve aumento significativo do teor foliar de potássio, no ano agrícola 2008/09, em função das doses de gesso agrícola aplicadas na cana-de-açúcar, embora as concentrações do nutriente no solo não tenham sido aumentados significativamente nos períodos avaliados (Tabela 9).

Silva et al. (1997), no entanto, afirmam que a aplicação de gesso agrícola na cultura do algodoeiro concorre para a diminuição do teor foliar de Mg e K.

Tabela 8: Teores foliares e de solo de magnésio em função das doses de gesso agrícola e da época de amostragem.

Ano agrícola	Dose de gesso agrícola (t ha ⁻¹)					F
	0	1	2	4	8	
Magnésio foliar (g kg ⁻¹)						
2007/08	1,10 b	1,33	1,50	1,00 b	1,00	1,94 ^{NS}
2008/09	1,47 a A	1,37 AB	1,27 AB	1,37 a AB	1,10 B	3,59*
F	9,57**	0,15 ^{NS}	1,03 ^{NS}	9,57**	0,18 ^{NS}	
Magnésio no solo (mmol _c dm ⁻³)						
2007/08	1,30	1,35	1,20 b	1,35 b	1,30	0,31 ^{NS}
2008/09	1,53	1,58	1,65 a	1,68 a	1,55	0,35 ^{NS}
F	3,11 ^{NS}	3,11 ^{NS}	12,43**	6,48**	3,84 ^{NS}	

** significativo a 1% de probabilidade; * significativo a 5% de probabilidade; ^{NS} não significativo
 letras maiúsculas iguais na linha não diferem entre si a 5% de probabilidade
 letras minúsculas iguais na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade

Tabela 9: Teores foliares e de solo de potássio em função das doses de gesso agrícola e da época de amostragem.

Ano agrícola	Dose de gesso agrícola (t ha ⁻¹)					F
	0	1	2	4	8	
Potássio foliar (g kg ⁻¹)						
2007/08	8,76 a A	8,93	9,21	9,12	10,08	1,06 ^{NS}
2008/09	6,73 b B	8,28 AB	8,30 AB	7,60 AB	9,30 A	3,72*
F	7,33*	0,76 ^{NS}	1,45 ^{NS}	4,08 ^{NS}	1,06 ^{NS}	
Potássio no solo (mmol _c dm ⁻³)						
2007/08	0,35 a	0,34 a	0,34 a	0,4 a	0,31 a	0,39 ^{NS}
2008/09	0,24 b	0,22 b	0,21 b	0,2 b	0,21 b	0,68 ^{NS}
F	22,36**	22,56**	28,36**	24,35**	16,91**	

** significativo a 1% de probabilidade; * significativo a 5% de probabilidade; ^{NS} não significativo
 letras maiúsculas iguais na linha não diferem entre si a 5% de probabilidade
 letras minúsculas iguais na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade

Os teores foliares de micronutrientes não sofreram alterações significativas em função dos tratamentos aplicados no experimento (Figura 20), discordando de resultados de Galon et al. (1996), que verificaram diminuição na absorção de zinco quando da aplicação de gesso agrícola, devido à inibição competitiva provocada pela saturação de Ca (MALAVOLTA et al., 1989).

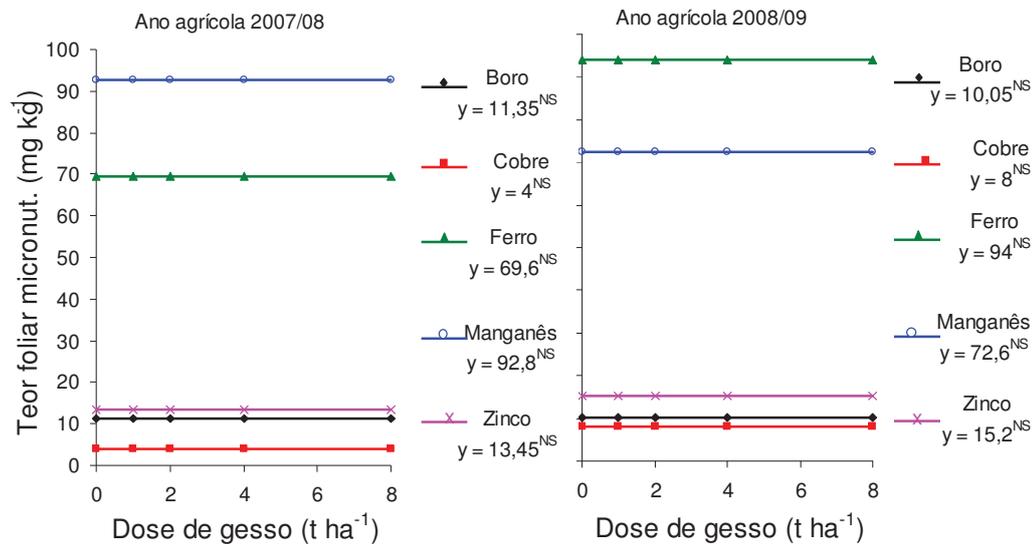


Figura 20: Teores foliares de boro, cobre, ferro, manganês e zinco em função das doses de gesso agrícola e da época de amostragem.

Custódio et al. (2005) verificaram aumentos significativos no teor foliar de manganês em trabalho realizado com Capim-Tanzânia, em função da aplicação de doses de gesso.

Embora, no primeiro ano agrícola, se tenha observado aumentos significativos dos teores de Mn no solo quando da aplicação do gesso agrícola (Figura 18), esta tendência não foi observada nos teores foliares do nutriente (Figura 20), ficando, todos os micronutrientes, sem sofrer alterações em função dos tratamentos.

5.7. Densidade de matéria seca de raiz

Estudos do sistema radicular das plantas, realizados a campo, nem sempre são suficientes para se verificar os reais efeitos dos tratamentos utilizados. A quantificação

do crescimento, da renovação e da senescência do sistema radicular passa por dificuldades de mensuração, em virtude da arquitetura geométrica complexa do sistema radicular da cana-de-açúcar, dos vários tipos e diâmetros de raízes da planta perene, das diferentes atividades fisiológicas das raízes em função de suas idades, do rápido crescimento e decomposição de raízes finas, dos processos microbiológicos que ocorrem na interface solo/raiz e da variabilidade do ambiente edáfico (Luxmoore and Stolzy, 1987), além da desuniformidade do “stand”, visto que a cultura da cana-de-açúcar se desenvolve, predominantemente, em touceiras (Gascho & Shih, 1983).

Os resultados deste trabalho demonstram diferenças significativas nas densidades de matéria seca de raízes no perfil do solo, até um metro de profundidade, nas distâncias de 0,20 e 0,70 m do eixo da linha de plantio, no ano agrícola 2008/09, em função da aplicação de gesso agrícola (Figura 21).

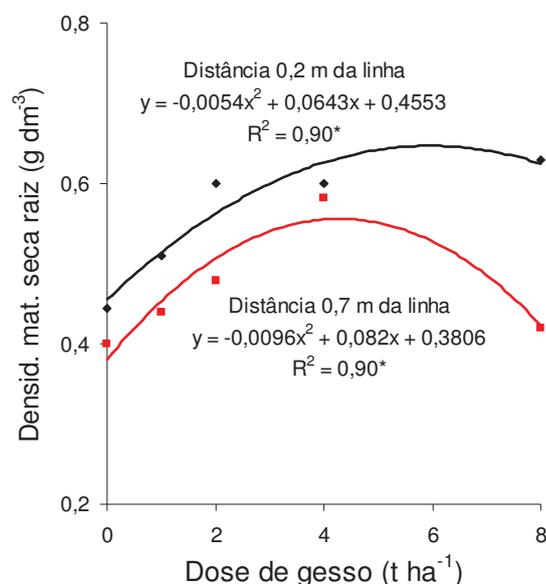


Figura 21: Desdobramento dos valores de densidade de matéria seca de raiz da cana em função de doses de gesso agrícola e da distância da linha de plantio.

Desdobrando os resultados foi possível observar que a aplicação de gesso agrícola interferiu significativamente nas densidades de matéria seca de raízes (DMSR) da cana-de-açúcar em todas as camadas do solo (Figura 22).

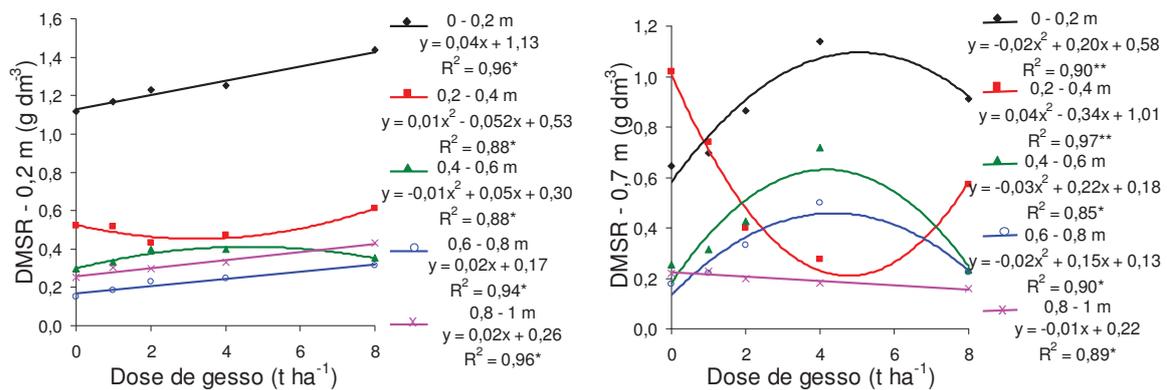


Figura 22: Densidade de matéria seca de raiz (DMSR) em função das doses de gesso agrícola, da profundidade e da distância da linha de plantio.

Na distância de 0,2 m da linha de plantio, foi observado que todas as linhas de tendências apontam para interpretações mais seguras acerca de respostas positivas em função dos tratamentos com gesso agrícola, enquanto que, na distância de 0,7 m da linha de plantio, embora tenham sido verificadas variações significativas em todas as camadas do solo (Figura 22) e no perfil como um todo (Figura 21), houve inversões das linhas de tendências nas camadas 0-0,2 e 0,8-1,0 m (Figura 22).

Ball-Coelho et al. (1992) constataram densidade radicular em cana planta de 0,75 g dm⁻³ e 0,9 a 1,1 g dm⁻³ em soqueira, trabalhando até 2,0 m de profundidade.

Otto (2007), em trabalho realizado com cana-de-açúcar de primeiro corte, encontrou densidade de matéria seca de raiz variando de 0,32 a 0,38 g dm⁻³, pelo método da sonda, até 0,6 m de profundidade, em todo espaçamento das linhas de plantio.

Faroni (2004), trabalhando com o método do monólito, em profundidade de solo até 0,8 m, encontrou densidade de 0,52 g dm⁻³ em cana de terceiro corte.

Os valores de densidade de matéria seca de raiz, observados neste estudo, diferentes dos encontrados pelos autores, podem ser explicados pelos diferentes tipos de solo e variedades da cana-de-açúcar, utilizados nos experimentos.

Staut (2006), avaliando a distribuição de raízes da cana-de-açúcar, 27 meses após a aplicação de gesso agrícola, constatou que 45% delas estavam na profundidade de 0,26 a 0,75 m e 19% na camada 1,00 a 1,50 m.

É possível que a melhoria química do perfil do solo, proporcionada pelo aumento do teor de cálcio, da saturação por bases e redução da saturação por alumínio, atributos estes importantes ao crescimento radicular, tenha criado condições para a variação do crescimento das raízes da cana-de-açúcar. Dal Bó et al. (1986), estudando fontes de cálcio em cana-de-açúcar, constataram que a presença de alumínio no solo não interferiu no crescimento radicular da cultura e que o gesso agrícola foi o pior dos tratamentos utilizados.

5.8. Produtividade e qualidade tecnológica

Os tratamentos não alteraram significativamente a produtividade da cana-de-açúcar (TCH) nos anos agrícolas 2007/08 e 2008/09 (Tabela 10) e nem na somatória das produtividades dos dois períodos (Figura 23), embora o solo apresentasse indicativos técnicos à aplicação do gesso agrícola no momento da instalação do experimento, com teor de cálcio menor que cinco $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$, teor de alumínio trocável maior que cinco $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$, saturação por alumínio maior que 30% e saturação por bases menor que 35% nas camadas de solo 0,2-0,4 e 0,4-0,6 m (VITTI et al, 2008) (Tabela 1) e tenham sido verificados aumentos significativos da densidade de matéria seca de raízes da cultura (Figuras 21 e 22).

Morelli et al. (1992) constataram respostas positivas do calcário, do gesso e do gesso mais calcário, na produtividade da cana-de-açúcar.

Rocha (2007) e Saldanha (2005), trabalhando com gesso mineral em cana-de-açúcar, verificaram ganhos na produtividade quando da aplicação do insumo, enquanto Foltran (2008), avaliando os efeitos do calcário, silicatos e gesso agrícola na cana, verificou aumentos de produtividades quando da aplicação de qualquer um dos insumos, comparados com a testemunha.

O brix e a ATR não foram alterados significativamente em função das doses de gesso agrícola dentro de cada ano agrícola, porém seus valores foram reduzidos comparando-se as épocas de amostragem. O percentual de fibra foi aumentado significativamente em função da época de amostragem, enquanto a aplicação dos tratamentos não alterou seus valores dentro de cada ano agrícola (Tabela 10).

O AR e a pureza não foram afetados significativamente em função da época de amostragem e nem pelos tratamentos aplicados e o POL foi alterado significativamente em função das doses de gesso agrícola somente no primeiro ano agrícola (Figura 24).

Tabela 10: Valores de TCH, ATR, Fibra e Brix da cana-de-açúcar em função das doses de gesso agrícola e da época de amostragem.

Ano agrícola	Dose de gesso agrícola (t ha ⁻¹)					F
	0	1	2	4	8	
TCH						
.....t ha ⁻¹						
2007/08	91,8	94,9	93,9	93,3	95,8	0,37 ^{NS}
2008/09	92,0	94,5	97,5	95,7	93,7	0,70 ^{NS}
F	0,01 ^{NS}	0,01 ^{NS}	1,13 ^{NS}	0,49 ^{NS}	0,37 ^{NS}	
ATR						
.....kg t ⁻¹						
2007/08	158,5 a	159,7 a	160,9 a	165,1 a	159,1 a	1,03 ^{NS}
2008/09	140,1 b	134,5 b	134,0 b	141,0 b	136,5 b	1,52 ^{NS}
F	30,64 ^{**}	57,49 ^{**}	65,91 ^{**}	21,58 ^{**}	46,27 ^{**}	
FIBRA						
.....%.....						
2007/08	12,3 b	12,4	12,4 b	12,2 b	12,3 b	0,27 ^{NS}
2008/09	13,1 a	12,8	13,2 a	13,4 a	13,2 a	1,12 ^{NS}
F	10,61 ^{**}	2,03 ^{NS}	8,87 ^{**}	21,58 ^{**}	14,42 ^{**}	
BRIX						
.....%.....						
2007/08	21,6 a	22,1 a	22,0 a	22,4 a	22,0 a	1,36 ^{NS}
2008/09	17,9 b B	18,3 b B	18,5 b AB	19,4 b A	18,6 b AB	3,27 [*]
F	91,38 ^{**}	120,69 ^{**}	107,47 ^{**}	79,63 ^{**}	98,95 ^{**}	

** significativo a 1% de probabilidade; * significativo a 5% de probabilidade; ^{NS} não significativo

Letras maiúsculas iguais na linha não diferem entre si a 5% de probabilidade

Letras minúsculas iguais na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade

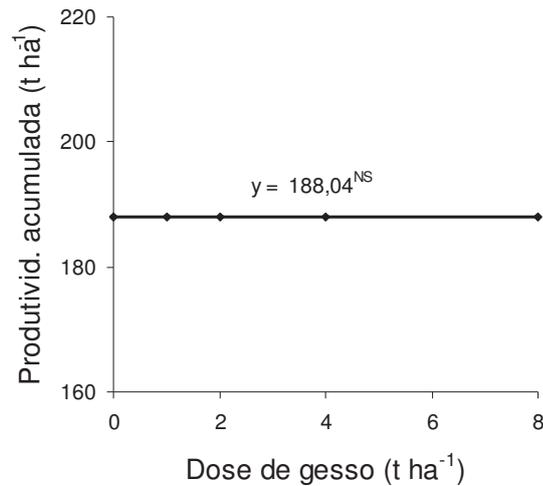


Figura 23: Produtividade da cana acumulada por dois anos agrícolas em função de doses de gesso agrícola.

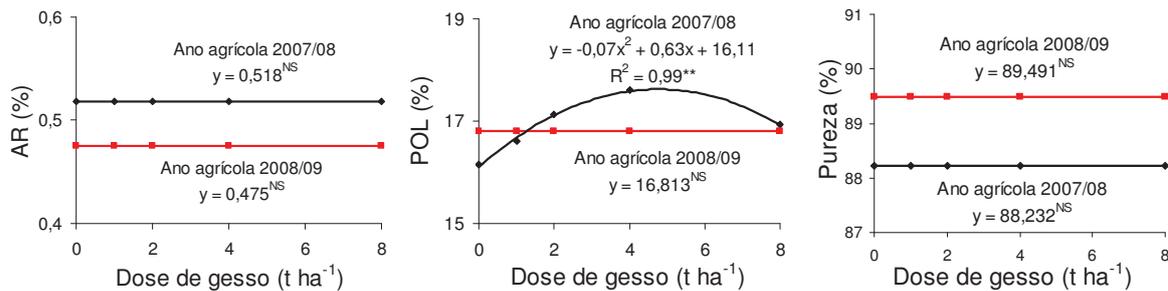


Figura 24: Desdobramento dos Valores de AR, POL e Pureza da cana-de-açúcar em função das doses de gesso agrícola e da época de amostragem.

Rocha (2007) verificou que a dose de gesso agrícola para máxima eficiência agrônômica em cana-de-açúcar foi $3,71 \text{ t ha}^{-1}$, com ganhos de 9,2 kg de açúcares por tonelada de cana (ATR). O autor acrescenta ainda que doses maiores que esta pode ocasionar redução na ATR devido a possíveis desequilíbrios de bases, provocadas pela lixiviação do cálcio.

Apenas o POL referente ao ano agrícola 2007/08 (Figura 24) e o brix referente ao ano agrícola 2008/09 (Tabela 10) tiveram variações significativas em função da aplicação dos tratamentos com gesso agrícola, entretanto, não foram suficientes para se determinar variações significativas da ATR (Tabela 10) dentro de cada período.

Os valores de brix (percentual de sólidos solúveis no caldo) foram reduzidos significativamente do primeiro para o segundo ano agrícola, o que pode ser explicado pela maior quantidade de chuva incidente no segundo período, influenciando, junto com os valores da fibra, na redução significativa dos valores da ATR, em função da época de amostragem (Tabela 10).

6. CONCLUSÕES

A aplicação do gesso agrícola provocou a lixiviação de cálcio e enxofre nos dois anos agrícolas e de magnésio no primeiro ano.

Não houve lixiviação do potássio com a aplicação do gesso agrícola.

A densidade de matéria seca de raiz foi alterada significativamente pela aplicação do gesso agrícola.

A produtividade e a ATR não foram modificadas significativamente com a aplicação do gesso agrícola..

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACCIOLY, A.C.A.; SCHULZE, S.M.B.B. **Noções de geologia e evolução da Bacia do Araripe**. CURSO DE GESTÃO AMBIENTAL E OTIMIZAÇÃO DA EXPLORAÇÃO DO GESSO DA REGIÃO DO ARARIPE, 2003, Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 2003, 9p.

ADAMS, F.; RAWAYFIH, Z. Basalumite and alumite: A possible cause of sulfate retention by acid soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, 41:686-692, 1977.

AINA, P.O.; FAPOHUNDA, H.O. **Root distribution and water uptake patterns of maize cultivars**: Field grow under differential irrigation. *Plant and Soil*, The Hague, v.94, p.257-268, 1986.

ALCORDO, I.S.; RECHEIGL, J.E. **Phosphogypsum in agriculture: a review**. Advances Agronomy, San Diego: Academic Press, 1993, p.55-118.

ALVAREZ, V.H.; DIAS, L.E. **Enxofre**. Viçosa: ABEAS, Universidade Federal de Viçosa, 1994, 106p.

AMEZKETA, E.R.A.; GAZO, R. Efficiency of sulfuric acid, mined gypsum and two gypsum by-products in soil crusting prevention and sodic soil reclamation. **Agronomy Journal**, Madison, v.97, n.2, p.983-987, 2005.

ANDERSON, D.L.; SNYDER, G.H. & MARTIN, F.G. Mult-year response of sugarcane to calcium silicate slag on Everglades Histosols. **Agronomy Journal**, Madison, v.83, p.870-874, 1991.

AZEREDO, D.F.; BOLSANELLO, J.; MANHÃES, M.S.; WEBER, H. **Doses de calcário, gesso, mistura de calcário/gesso, interação calcário x fósforo e calcário x potássio em cana-de-açúcar**. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 6., 1996, Maceió. Anais. Piracicaba: Stab, 1996, p.477-483.

BAKKER, M.R.; NYS, C.; PICARD, J.F. The effects of liming and gypsum applications on a sessile oak (*Quercus petraea* (M.) Liebl) stand at La Croix-Scaille (French Ardennes). Site characteristics, soil chemistry and aerial biomass. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.206, p.9-108, 1999.

BALL-COELHO, B.; SAMPAIO, E.V.S.B.; TIESSEN, H.; STEWART, J.W.B. Root dynamic in plant and ratoon crops of sugar cane. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.142, p.297-305, 1992.

BARROS, M.F.C.; FONTES, M.P.F.; ALVAREZ V, V.H.; RUIZ, H.A. Recuperação de solos afetados por sais e a aplicação de gesso de jazida e calcário no Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, Bodocongo, v.8, n.1, p.59-64, 2004.

BLAKE, G.R.; HARTGE, K.H. Bulk density. In: KLUTE, A. (Ed.) **Methods of soil analysis**. Madison: Soil Science Society of America, 1986, p.363-375.

BLUM, J. **Alterações químicas do solo e resposta da videira 'Niagara Rosada' à aplicação de gesso agrícola**, 2008. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2008.

BOHN, H.L.; McNEAL, B.L.; O'CONNOR, G.A. **Soil chemistry**. New York: John Wiley, 1979, 329p.

CAIRES, E.F.; CHUERI, W.A.; MADRUGA, E.F. & FIGUEREDO, A. Alterações de características químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na superfície em sistema de cultivo sem preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.22, p.27-34, 1998.

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

CAIRES, E.F.; FELDHAUS, I.C.; BARTH, G.; GARBUIO, F.J. Lime and Gypsum application in the wheat crop. **Scientia Agrícola**, Campinas, v.59, n.2, p.357-364, 2002.

CAIRES, E.F.; KUSMAN, M.T.; BARTH, G.; GARBUIO, F.J.; PADILHA, J.M. Alterações químicas do solo e resposta do milho à calagem e aplicação de gesso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.28, p.125-136, 2004.

CAIRES, E.F.; GARBUIO, F.J.; CHURKA, S.; BARTH, G.; CORRÊA, J.C.L. Effects of soil acidity by surface liming on no-till, soybean and wheat root growth and yield. **European Journal of Agronomy** 28:27-64, 2008.

CAMARGO, O.A. & RAIJ, B. van. **Movimento do gesso em amostras de Latossolos com diferentes propriedades eletroquímicas.** In: COGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 21. 1987, Campinas. Anais... Campinas: SBCS, 1987, p.111.

CAMARGO, O.A.; RAIJ, B. van. Movimento do gesso em amostras de Latossolo com diferentes propriedades eletroquímicas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, Mg, v.13, p.275-280, 1989.

CARVALHO L.J.C.B.; GOMIDE, R.L.; RODRIGUES, G.C.; SOUSA, D.M.G.; FREITAS-JUNIOR, E. **Resposta do milho à aplicação de gesso e déficit hídrico em solos de cerrado.** In: SEMINÁRIO SOBRE O USO DE FOSFOGESSO NA AGRICULTURA, 1986, Brasília. Anais... Brasília: EMBRAPA-DDT, 1986, p.61-63.

CARVALHO, M.C.S. & RAIJ, B. van. Calcium sulphate, phosphogypsum and calcium carbonate in the amelioration of acid subsoils for root growth. **Plant Soil**, Dordrecht, v.192, p.37-48, 1997.

CASAGRANDE, A.A. **Tópicos de morfologia e fisiologia da cana-de-açúcar.** Jaboticabal: FUNEP, 1991, 157p..

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

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Avaliação da Safra Agrícola de Cana-de-Açúcar. 1º Levantamento de cana-de-açúcar** 2010. <http://www.conab.gov.br/>. Acesso em 18 ago 2010.

COPERSUCAR. Cooperativa Central dos Produtores de Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo. **Amostragem e análise de cana-de-açúcar**. Centro de Tecnologia Copersucar. Divisão Agronômica, 2002.

CORRÊA, J.B.D.; ANDRADE, L.A.B.; ROSA, J.H.; NETO, A.E.F. **Efeitos da aplicação de gesso mineral em três variedades de cana-de-açúcar cultivadas em Podzólico Vermelho-Amarelo**. Stab: Açúcar e Álcool, Piracicaba, v.17, p.38-42,1999.

COSTA, M.J.; ROSA JUNIOR, E.J.; ROSA, Y.B.C.J.; SOUZA, L.C.F.; ROSA, C.B.J. Atributos químicos e físicos de um Latossolo sendo influenciados pelo manejo do solo e efeito da gessagem. **Acta Science Agronomy**, Maringá, v.29, p.701-708, 2007.

CUSTÓDIO, D.P.; OLIVEIRA, I.P.; COSTA, K.A.P.; SANTOS, R.S.M.; FARIA C.D. Avaliação do gesso no desenvolvimento e produção do Capim-Tanzânia. **Ciência Animal Brasileira**, v.6, n.1, p.27-34, 2005.

DAL BÓ, M.A.; RIBEIRO, A.C.; COSTA, L.M.; THIÉBAUT, J.T.L.; NOVAIS, R.F. Efeito da adição 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**, Viçosa, MG, v.10, p.195-198, 1986.

DEMATTÊ, J.L.I. Recuperação e manutenção da fertilidade dos solos. **Revista Visão Agrícola**, Ribeirão Preto, n.1, p.49-52, 2004.

DIAS, L.E. **Uso de gesso como insumo agrícola**. Seropédica: EMBRAPA-CNPBS, 1992, 6p. (Comunicado Técnico, 7).

EMBRAPA Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 2ed. **Manual de métodos de análise de solo**, Rio de Janeiro: 1997, 212p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa Agropecuária de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: 2006, 412p.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. **Nutrição mineral de plantas: Princípios e perspectivas**. Londrina. Editora Planta, 2004, 403p.

ERNANI, P.R. Alterações em algumas características químicas na camada do solo pela aplicação de gesso agrícola sobre a superfície de campos nativos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.10, p.241-245, 1986.

ERNANI, P.R.; AMARANTE, C.V.T.; OLIVEIRA, H.J. Alteração na composição química das fases sólida e líquida de um solo ácido pela aplicação de calcário e gesso agrícola. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v.1, n.2, p.93-101, 2002.

FARINA, M.P.W.; CHANNON, P. Acid-subsoil amelioration: Gypsum effects on growth and subsoil chemical properties. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.52, p.175-180, 1988.

FARONI, C.E. **Sistema radicular da cana-de-açúcar e identificação de raízes metabolicamente ativas**. Dissertação (mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

FERNANDES, F.A. **Efeito do gesso como fonte de cálcio e de enxofre na cultura da cana-de-açúcar (Saccharum officinarum L.)**. Dissertação (mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1985.

FERNANDES, M.B.; FREIRE, F.J.; COSTA, F.G.B. Gesso mineral como fonte de enxofre para cana-de-açúcar. **Revista Caatinga**, Mossoró, v.20, n.4, p.101-109, 2007.

FIGUEIREDO, G.C. **Movimentação de cálcio de diferentes fontes adicionadas em colunas de dois latossolos**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2006.

FOLTRAN, R. **Aplicação de calcário, silicato e gesso em soqueira de cana-de-açúcar sem despalha a fogo**. Dissertação (mestrado) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu, 2008.

FRAVET, P.R.F. **Doses e formas de aplicação de torta de filtro na produção de cana soca**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, 2007.

GALLO, J.R.; HIROCE, R. Levantamento do estado nutricional de canaviais de São Paulo, pela análise foliar. **Bragantia**, Campinas, v.27, n.30, p.365-382, 1968.

GALON, J.A.; BELLINGIERI, P.A.; ALCARDE, J.C. **Efeitos de modos e épocas de aplicação de gesso e calcário sobre a cultura do feijoeiro (Phaseolus vulgaris L.) cv. Carioca-80**. Scientia Agrícola, Piracicaba, v.53, n.1, 1996.

GARRIDO, F.; ILLERA, V.; VIZCAYNO, C.; GARCIA-GONZALES, M.T. Evolution of industrial by-products as soil acidity emendments: chemical and mineralogical implications. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v.4, p.411-422, 2003.

GASCHO, G.J.; SHIH, S.F. Sugarcane. In: REARE, I.D.; PEET, M.M. (Ed.) **Crop-water relations**. New York: Wiley-Interscience, 1983, p.445-479.

GODINHO, A.M.M. **Parâmetros biométricos, tecnológicos e nutrientes foliares em cana-de-açúcar**. Dissertação (mestrado) - Universidade do Oeste Paulista, Presidente Prudente, 2007.

GONZALES-ERICO, E.; KAMPRATH, E.J.; NADERMAN, G.C.; SOARES, W.V. Effect of depth of lime incorporation on the growth of corn on an Oxisol of Central Brazil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.43, p.1155-1158, 1979.

HOFFMANN, H.P.; SANTOS, E.G.D.; BASSINELLO, A.I.V.; VIEIRA, M.A.S. **Variedades RB de cana-de-açúcar**. CCA/UFSCar, Araras, 2008, 30p.

JESUS, M.; DUETE, W.L.C.; DUETE, R.R.C.; SACRAMENTO, R.V.O.; COSTA, J.C.A.; SOUZA, L.A.S. **Efeitos do calcário e gesso em algumas características químicas de um Latossolo Amarelo**. XXXI CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., 2007, Gramado-RS. Anais...

KOFFLER, N.F.; LIMA, J.F.W.F.; LACERDA, M.F.; SANTANA, J.F.; SILVA, M.A. **Caracterização edafo-climática das regiões canavieiras do Brasil**. Piracicaba: IAA-PLANALSUCAR, 1986, 78p..

KORNDÖRFER, G.H.; PRIMAVESI, O.; DEUBER, R. **Crescimento e distribuição do sistema radicular de cana-de-açúcar em solo LVA**. Piracicaba: Coopersucar, 1989 (Boletim Técnico, 47).

LANARV – LABORATÓRIO NACIONAL DE REFERÊNCIA VEGETAL. **Análise de corretivos, fertilizantes e inoculantes. métodos oficiais**. Brasília: Ministério da Agricultura, 1988, 104p.

LANDELL, M.G.A.; PRADO, H.; VASCONCELOS, A.C.M.; PERECIN, D.; ROSSETTO, R.; BIDÓIA, M.A.P.; SILVA, M.A.; XAVIER M.A. Oxisol subsurface chemical attributes related to sugarcane productivity. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.60, p.741-745, 2003.

LIMA, F.H.S.; PEREIRA JUNIOR, C.C.; MACIEL JUNIOR, V.A.; PEREIRA, S.V. Produtividade de cana-de-açúcar com a utilização de doses e fontes de gesso em um

Latossolo no Estado de Pernambuco. **DOAJ – Directory of Open Access Journals. Nucleus**, v.7, n.1, p.209-216, 2010.

LUXMOORE, R.L.; STOLZY, L.H. Modeling belowground processes of roots, the rizosphere and the soil communities. In: WISIOL, K.; HESKETH, J.D. **Plant growth modeling for resource management: quantifying plant processes**. Boca Raton: CRC Press, 1987, v.2, p.129-153.

MAEDA, A.S. **Adubação nitrogenada e potássica em socas de cana-de-açúcar com e sem queima em solos de cerrado**. Tese (doutorado) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2009.

MALAVOLTA, E. **Tecnologia de Fertilizantes para o Brasil**. Palestra apresentada no In: SIMPÓSIO SOBRE TECNOLOGIA DA ACADEMIA DE CIÊNCIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO, 1979, Anais... 24p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A., **Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Potafos, 1989, 201p.

MALAVOLTA, E. **ABC da análise de solos e folhas: amostragem, interpretação e sugestões de adubação**. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres, 1992.

MALAVOLTA, E. **O gesso agrícola no ambiente e na nutrição da planta: perguntas & respostas**. In: SEMINÁRIO SOBRE USO DO GESSO NA AGRICULTURA, 1992. Uberaba. Anais... São Paulo: IBRAFOS p.41-66.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo. Ed. Agronômica Ceres, 2006, 638p.

MARIA, I.C.; ROSSETTO, R.; AMBROSANO, E.J.; CASTRO, O.M. & NEPTUNE, A.M.L. Efeito da adição de diferentes fontes de cálcio no movimento de cátions em colunas de solo. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.50, p.87-98, 1993.

MARQUE, E.S.; FAQUIN, V.; GUIMARÃES, P.T.G. Teores foliares de nutrientes no cafeeiro (*Coffea arabica* L.) em resposta a calcário e gesso. **Ciência e Agrotecnia**, Lavras, v.23, n.1, p.140-151, 1999.

MARSCHINER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2 ed. London: Academic Press, 1993.

MARTINS, O.C.; NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V, V.H.; RIBEIRO, A.C.; BARROS, N.F. Respostas à aplicação de diferentes misturas de calcário e gesso em solos. I. Alterações químicas no perfil do solo. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v.49, n.282, p.123-135, 2002.

MCLAY, C.D.A.; RITCHIE, G.S.P.; PORTER, W.M. Amelioration of subsurface acidity in sandy soils in low rainfall regions .2. Changes to soil solution composition following the surface application of gypsum and lime. **Australian Journal of Soil Research**, Collingwood, v.32, p.847-865, 1994.

MORELLI, J.L.; NELLI, E.J.; DEMATTÊ, J.L.I.; DALBEN, A.E. **Efeito do gesso e do calcário nas propriedades químicas de solos arenosos álicos e na produção de cana-de-açúcar**. CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 21., 1987, Campinas. Anais... Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, p.96, 1987.

MORELLI, J.L.; DALBEN, A.E.; ALMEIDA, J.O.C.; DEMATTÊ, J.L.I. Calcário e gesso na produtividade da cana-de-açúcar e nas características químicas de um Latossolo de textura média Álico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.16, p.187-194, 1992.

NOGUEIRA, M.A. & MELO, W.J. Enxofre disponível para a soja e atividade de arilsulfatase em um solo tratado com gesso agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.27, n.4, 2003.

OATES, K.M. & CALDWELL, A.G. Use of product gypsum to alleviate soil acidity. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.49, n.4, p.915-918, 1985.

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

OLIVEIRA, I.P.; KLUTHCOUSKI, J.; REYNIER, F.N. Efeito do fosfogesso na produção de feijão e arroz e no comportamento de alguns nutrientes. In: RIVALDO, O.F. **Anais do I Seminário sobre o uso do fosfogesso na agricultura**. Brasília, DF, p.45-59, 1985.

OTTO, R. **Desenvolvimento de raízes e produtividade de cana-de-açúcar relacionados à adubação nitrogenada**. Dissertação (mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queirós”, Universidade de São Paulo, 2007.

PAVAN, M.A.; BINGHAM, F.T. Toxicity of aluminium to coffee seedlings grown in nutrient solution. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.46, p.993-997, 1982.

PAVAN, M.A.; BINGHAM, F.T.; PRATT, P.F. Redistribution of exchangeable calcium, magnesium and aluminium following lime and gypsum application on a brazilian oxisol. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.48, n.1, p.33-38, 1984.

PAVAN, M.A.; BINGHAM, F.T.; PRATT, P.F. **Chemical acid mineralogical characteristics of selected acid soils of the state of Parana, Brazil**. Turrialba, Coronado, v.9, p.131-139, 1985.

PAVAN, M.A. & BINGHAM, F.T. **Effects of phosphogypsum and lime on yield, root density, and fruit and foliar composition of apple in Brazilian Oxisols.** In: The Second International Symposium of Phosphogypsum, Condensed Papers, p.51-58, 1986.

PEARSON, R.W.; ABRUDA, F.; VICENTE-CHANDLER, J. Effects os lime and nitrogen applications on the downward movement of Ca and Mg in two humid tropical soils in Puerto Rico. **Soil Science**, Baltimore, v.98, n.1, p.77-82, 1962.

PRADO, R.M. **Resposta da cana-de-açúcar à aplicação de escória silicatada como corretivo da acidez do solo.** Dissertação (mestrado) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista. Ilha Solteira, 2000.

PRADO, R.M. Efeito residual do calcário sob diferentes modos de incorporação antes da instalação do sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.7, n.3, p.478-482, 2003.

PRATT, P.F. - **Química do solo.** Convênio MA/DPFS – USAID/ BRASIL. Resource Survey Pro-Ag 512-15- 120-249, n.1, 1966, p.75-81.

PORTA, J. Methodologies for the analysis e characterization of gypsum in soils. **Geoderma**, Amsterdam, v.87, p.31-46, 1998.

PREVEDELLO, C.L. **Física do solo com problemas resolvidos.** Curitiba: SAEAFS, 1996, 446p.

QUAGGIO, J.A.; DECHEN, A.R.; RAIJ, B. van. Efeitos da aplicação de calcário e gesso na produção de amendoim e na lixiviação de bases no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.6, p.189-194, 1982.

QUAGGIO, J.A.; RAIJ, B. van; GALLO, P.B.; MASCARENHAS, H.A.A. **Resposta da soja à aplicação de doses de calcário e de gesso e lixiviação de bases no solo.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 21. Campinas. Anais... Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, p.97, 1987.

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

QUAGGIO, J.A. **Acidez e calagem em solos tropicais.** Campinas: Instituto Agronômico, 2000, 111p.

RAIJ, B. van; SACCHETTO, M.T.D. Correlação entre o pH e o grau de saturação em bases nos solos com horizonte B textural e horizonte B latossólico. **Bragantia**, Campinas, v.27, n.17, p.193-200, 1968.

RAIJ, B. van; PEECH, M. Electrochemical properties of some of Oxisols and Alfisols of the tropics. **Soil Science Society of American Proceedings**, Baltimore, v.36, p.587-593, 1972.

RAIJ, B. van. **Avaliação da fertilidade do solo.** Piracicaba: POTAFOS, 1981, 142p.

RAIJ, B. van. **Gesso agrícola na melhoria do ambiente radicular no subsolo.** São Paulo, Associação Nacional para Difusão de Adubos e Corretivos Agrícolas, 1988.

RAIJ, B. van & CANTARELLA, H. Outras culturas industriais. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO J.A. & FURLANI, A.M.C. (coord..) **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo.** 2.ed. Campinas: Instituto Agronômico & Fundação IAC, 1996. p.233-236.

RAIJ, B. van. **Gesso na agricultura.** Campinas: Instituto Agronômico, 2008, 233p.

RAVAZZI, P.A. **Teste biológico para detectar barreira química em amostras de subsolo ácidos.** Dissertação (mestrado) - Instituto Agronômico de Campinas, Campinas, 2009.

REEVE, N.G.; SUMNER, M.E. Amelioration of subsoil acidity in Natal oxisols by leaching of surface-applied amendments. **Agrochimophysics**, v.4, p.1-6, 1972.

REZENDE SOBRINHO, E.A.R. **Comportamento de variedades de cana-de-açúcar, em Latossolo Roxo, na Região de Ribeirão Preto, SP.** Dissertação (mestrado) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2000.

RHEINHEIMER, D.S.; ALVAREZ, J.W.R.; OSORIO FILHO, B.D.; SILVA, L.S.; BORTOLUZZI, E.C. Resposta de culturas à aplicação de enxofre e a teores de sulfato num solo de textura arenosa sob plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, n.3, p.562-569, 2005.

RIRIE, D.; TOTH, S.J. & BEAR, F.E. Movement and effect of lime and gypsum in soil. **Soil Science**, Baltimore, v.73, p.23-35, 1952.

RITCHEY, K.D.; SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E.; CORREA, O. Calcium leaching to increase rooting depth in a Brazilian savannah oxisol. **Agronomy Journal**, v.72, n.1, p.40-44, 1980.

RITCHEY, K.D.; SOUSA, D.M.G.de; LOBATO, E. & SOUSA, O.C. **Calcium and root penetration in highly weathered soils.** INTSORMIL-CIAT-ICRISAT Workshop. Cali, CIAT. 1984.

ROBINSON, N. Phosphoric acid technology. The role of phosphorus in agriculture. **Wisconsin: American Society of Agronomy**, p.151-193, 1980.

ROCHA, A.T. **Gesso mineral na melhoria do ambiente radicular da cana-de-açúcar e implicações na produtividade agrícola e industrial.** Tese (doutorado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2007.

ROCHA, A.T.; OLIVEIRA, A.C.; RODRIGUES, A.N.; LIRA JUNIOR, M.A.; FREIRE, F.J. Emprego do gesso de Araripe na melhoria do ambiente radicular da cana-de-açúcar. Agrária: **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v.3, n.4, p.307-312, 2008.

SALDANHA, E.C.M. **Gesso mineral em cana-de-açúcar: Efeitos no solo e na planta.** Dissertação (mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2005.

SALDANHA, E.C.M.; ROCHA, A.T.; OLIVEIRA, E.C.A.; NASCIMENTO, C.W.A.; FREIRE, F.J. Uso do gesso mineral em Latossolo cultivado com cana-de-açúcar. **Revista Caatinga**, Mossoró, v.20, n.1, p.36-39, 2007.

SANTOS, A.C.; VILELA, L.C.; BARRETO, P.M.; CASTRO, J.G.D.; SILVA, J.E.C. Alterações de atributos químicos pela calagem e gessagem superficial com o tempo de incubação. **Revista Caatinga**, Mossoró, v.23, n.1, p.77-83, 2010.

SHOEMAKER, H.E.; McLEAN, E.O.; PRATT, P.F. Buffer methods for determining lime requirements of soils with appreciable amounts of extractable aluminum. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.25, p.274-277, 1961.

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

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

SOPRANO, E.; ALVAREZ V., V.H. Nutrientes lixiviados de colunas de solo tratados com diferentes sais de cálcio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.13, p.25-29, 1989.

SOUSA, D.M.G; LOBATO, E.; MIRANDA, L.N. **Correção do solo e adubação da cultura da soja**, In: Cultura da soja nos cerrados. Piracicaba: Potafos, 1993, p.137-158.

SOUSA, D.M.G; VILELA, L.; LOBATO, E.; SOARES, W.V. **Uso de gesso, calcário e adubos para pastagens no cerrado**. Planaltina-DF: Embrapa Cerrados, 2001, 22p. (Circular Técnica, 12).

SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E.; REIN, T.A. **Uso de gesso agrícola nos solos do cerrado**. Planaltina-DF: Embrapa Cerrados, 2004, p.20 (Circular Técnica, 32).

SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. **Cerrado; correção do solo e adubação**. 2 ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004, p.81-96.

SOUSA, D.M.G; NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. **Fertilidade do solo: acidez do solo e sua correção**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007, p.234-242.

SOUSA, M.G.; REIN, T.A.; ALBRECH, J.C. **Resposta a gesso pela cultura do algodão cultivado em sistema plantio direto em um Latossolo de Cerrado**. IX SIMPÓSIO NACIONAL CERRADO: Desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais, Brasília, 2008.

SOUZA, C.A.S. **Gesso: Princípios teóricos, usos e possibilidades de uso na agricultura**. Curso de Mestrado em Fitotecnia na Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, 1985.

STAUT, L.A. **Condições dos solos para o cultivo de cana-de-açúcar, 2006**. Artigo em http://www.infobibos.com/Artigos/2006_2/Canasolo/index.htm. Disponível em: Acesso em: 5 out 2010.

SYED-OMAR, S.R.; SUMNER, M.E. Effect of gypsum on soil potassium and magnesium status and growth of alfafa. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, Phyladelphia, v.22, p.2017-2028, 1991.

SUMNER, M.E. Amelioration of subsoil with minimum disturbance. In: JAYAWARDANE, N.S. & STEWART, B.A. (eds.) **Subsoil management techniques**. Athens, Lewis Publishers, 1985, p.147-185.

SUN, B.; POSS, R.; MOREAU, R.; AVENTURIER, A.; FALLAVIER, P. Effect of slaked lime and gypsum on acidity alleviation and nutrient leaching in an acid soil from Southern China. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v.57, p.215-223, 2000.

TANG, C.; ZENGEL, Z.; DIATLOFF, F. GAZEY, C. Responses of wheat and barley to liming on a sandy soil with subsoil acidity. **Field crops research**, Amsterdam, v.80, p.235-244, 2003.

TASSO JÚNIOR, L.C.; MARQUES, M.O.; FRANCO, A.; NOGUEIRA, G.A.; NOBILE, F.O.; CAMILOTTI, F.; SILVA, A.R. Produtividade e qualidade de cana-de-açúcar cultivada em solo tratado com lodo de esgoto, vinhaça e adubos minerais. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.27, n.1, p.276-283, 2007.

TOBIAS, R.B.; CONWAY, W.S.; SAMS, C.E.; GROSS, K.C.; WHITAKEER, B.D. Cell wall composition of calcium-treated apples inoculated with *Botrytis cinerea*. **Phytochemistry**, New York, v.32, p.35-39, 1993.

VASCONCELOS, A.C.M.; GARCIA, J.C. **Desenvolvimento radicular da cana-de-açúcar**. Piracicaba: Potafos, 2005 (Informações Agronômicas, 110).

VELOSO, C.A.C.; BORGES, A.L.; MUNIZ, A.S.; VEIGAS, I.A. de J.M. Efeito de diferentes materiais no pH do solo. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.49, p.123-128, 1992.

VERONESE, M.; ECHER, F.R.; PAIVA, C.R.; ROSOLEM, C.A. Alterações químicas do solo e produtividade do algodoeiro pela aplicação de gesso agrícola. VII Congresso Brasileiro do Algodão, Foz do Iguaçu, 2009. **Sustentabilidade da cotonicultura Brasileira e Expansão dos Mercados**, 2009. Anais... Campina Grande: Embrapa Algodão, 2009, p.2122-2128.

VILELA, L.; RITCHEY, K.D.; SILVA, J.E. Respostas da soja e do milho ao enxofre num Latossolo Vermelho-Escuro sob vegetação de cerrado no Distrito Federal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.19, p.281-285, 1995.

VITTI, G.C. & MALAVOLTA, E. **Fosfogesso – Uso Agrícola**. SEMINÁRIO SOBRE CORRETIVOS AGRÍCOLAS, 1984, Campinas. Fundação Cargill, p.161-201.

VITTI, G.C. **Uso eficiente do gesso agrícola na agropecuária**. Piracicaba: ESALQ/GAPE, 2000.

VITTI, G.C., LUZ, P.H.C.; MALAVOLTA, E.; DIAS, A.S.; SERRANO, C.G.E. **Uso do gesso em sistemas de produção agrícola**. Piracicaba: GAPE, 2008, 104p.

WADT, P.G.S. Alterações eletroquímicas de um latossolo vermelho-amarelo tratado com carbonato e sulfato de cálcio. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.57, n.3, p.519-524, 2000.

WADT, P.G.S.; WADT, L.H.O. Movimentação de cátions em amostras de um Latossolo Vermelho-Amarelo incubadas com duas fontes de cálcio. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.56, n.4, 1999.

WEAST, R.C. ed CRC **Handbook of chemistry and physics**. Cleveland, EUA, Chemical Rubber, 1971, 2042p.

ZAMBROSI, F.C.B.; ALLEONI, L.F., CAIRES, E.F. Teores de alumínio trocável e não trocável após calagem e gessagem em Latossolo sob plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v.66, n.3, p.487-495, 2007.

ZONTA, E.; BRASIL, F.C.; GOI, S.R.; ROSA, M.M.T. O sistema radicular e suas interações com o ambiente edáfico. In: FERNANDES, M.S. (Ed) **Nutrição mineral das plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006, p.7-52.