**EFEITOS DO CALCÁRIO E DO GESSO APLICADOS NO
PLANTIO E EM SOQUEIRAS DE CANA-DE-AÇÚCAR
(*Saccharum spp*) NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DE SOLOS
E NA PRODUTIVIDADE DA CULTURA**

JAIRO ANTONIO MAZZA
Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof.Dr. JOSÉ LUIZ IORIATTI DEMATTÊ

**Tese apresentada à Escola
Superior de Agricultura "Luiz
de Queiroz", da Universidade
de São Paulo, para obtenção
do título de Doutor em
Agronomia. Área de concen-
tração: Solos e Nutrição de
Plantas.**

PIRACICABA
Estado de São Paulo - Brasil
Novembro - 1993

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Livros da
Divisão de Biblioteca e Documentação - PCLQ/USP

Mazza, Jairo Antonio
M477e Efeitos do calcário e do gesso aplicados no plantio
e em soqueiras de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp), nos
atributos químicos do solo e na produtividade da cultura.
Piracicaba, 1993.
141p. ilus.

Tese - ESALQ
Bibliografia.

1. Calagem 2. Cana-de-açúcar - Produtividade 3. Gesso-calcário em cana-de-açúcar 4. Solo - Acidez 5. Solo-Balanco de nutriente I. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba

CDD 633.61
631.42
631.821

**EFEITOS DO CALCÁRIO E DO GESSO APLICADOS NO
PLANTIO E EM SOQUEIRAS DE CANA-DE-AÇÚCAR
(*Saccharum spp*) NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DE SOLOS
E NA PRODUTIVIDADE DA CULTURA**

JAIRO ANTONIO MAZZA

Aprovada em 09.12.93

Comissão julgadora:

Prof.Dr. José Luiz Ioriatti Demattê	USP/EŞALQ
Prof.Dr. Godofredo Cesar Vitti	USP/ESALQ
Prof.Dr. Antonio Roque Dechen	USP/ESALQ
Prof.Dr. José Geraldo Baumgartner	UNESP/FCAVJ
Prof.Dr. Leonardo Theodoro Bull	UNESP/FCA

Prof.Dr. José Luiz Ioriatti Demattê
- Orientador -

*A Maria Sueli, minha esposa,
aos nossos filhos Mateus e
Marcos, e a Zenayde, minha
mãe.*

Dedico

AGRADECIMENTOS

As seguintes pessoas e instituições, que colaboraram na realização desta pesquisa, para as quais o autor registra seus sinceros agradecimentos:

Ao Prof. Dr. José Luiz Ioriatti Demattê, pela orientação;

Ao Prof. Dr. Godofredo Cesar Vitti, pela co-orientação;

Ao Prof. Dr. Rafael Roberto Aloisi, pela amizade e incentivo;

Ao Prof. Gerd Sparovek, pelo auxílio prestado e amizade;

Aos funcionários Jair Ferrer da Silva, pelo grande auxílio nos trabalhos de campo, e Marta Sueli de Campos Ferraz, pela digitação do trabalho;

A Maria Sueli Minatel Mazza, pelo auxílio na correção do texto;

Ao Engº Agrônomo Hamilton Seron Pereira, pela colaboração na execução das análises estatísticas;

As Usinas Barra Grande, Bonfim e Cruz Alta, respectivamente através dos Engºs Agroºs Jorge Luis Morelli, Marcelo Siste e Francisco Evandro Albino pelo intenso auxílio na conclusão dos trabalhos de campo;

A ESALQ, através do Departamento de Ciência do Solo, pela infraestrutura oferecida;

E a todos aqueles que direta ou indiretamente colaboraram para a realização deste trabalho.

Í N D I C E

Página

LISTA DE FIGURAS	vi
LISTA DE TABELAS	xi
RESUMO	xii
SUMMARY	xiv
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1. Calcário e gesso: considerações sobre o enfoque ao tema	4
2.2. Alterações do gesso agrícola nos atributos quí- micos de perfis de solos e consequências no de- senvolvimento vegetal.....	6
2.3. Influência do gesso e combinações de calcário e gesso nos atributos químicos de solos e na pro- dutividade da cana-de-açúcar.....	17
2.4. Recomendações do gesso agrícola para redução do bloqueamento químico ao desenvolvimento de raí- zes em subsuperfície de solos oxídicos.....	21
3. MATERIAL E MÉTODOS	25
3.1. Localização e histórico das áreas experimentais	25
3.2. Instalação dos experimentos	28
3.2.1. Cana-planta	28
3.2.2. Cana-soca	29
3.3. Características edafoclimáticas das áreas estu- dadas.....	30
3.4. Delineamento experimental, tratamentos e tama- nho das parcelas	35
3.4.1. Cana-planta	35
3.4.2. Cana-soca	37
3.5. Avaliação e condução dos experimentos	38
3.5.1. Amostragens de solo nos experimentos de cana-planta	41

3.5.2. Amostragens de solo nos experimentos de cana-soca	41
3.5.3. Avaliação da produção de colmos da cana-de-açúcar	42
3.6. Análises estatísticas	42
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
4.1. Influência do calcário e gesso aplicados em pré-plantio da cana-de-açúcar, nos atributos químicos do Latossolo Vermelho Escuro Argiloso Distrófico - Experimento 01	43
4.1.1. Influência dos tratamentos nos teores de cálcio, magnésio e sulfato	43
4.1.2. Influência dos tratamentos na Soma e Saturação por Bases	51
4.1.3. Efeitos dos tratamentos no pH em CaCl_2 , Saturação por Alumínio (m%) e na Capacidade de Troca de Cátions	54
4.2. Influência do calcário e gesso aplicados em pré-plantio da cana-de-açúcar nos atributos químicos de um Podzólico Vermelho Amarelo textura média/argilosa, distrófico- Experimento 02	60
4.2.1. Influência dos tratamentos nos teores de cálcio, magnésio, sulfato e nos parâmetros de soma e saturação por bases.....	60
4.2.2. Influência dos tratamentos no pH em CaCl_2 , capacidade de troca de cátions e saturação por alumínio	70
4.3. Influência do calcário e gesso aplicados em soqueiras de cana-de-açúcar, nos atributos químicos de um Latossolo Vermelho Amarelo Podzólico álico- Experimento 03	75
4.3.1. Influência dos tratamentos nos cátions básicos e parâmetros correlacionados....	75

4.3.2. Influência dos tratamentos no pH em CaCl_2 e saturação por alumínio.....	86
4.4. Influência do calcário e gesso aplicados em soqueiras de cana-de-açúcar, nos atributos químicos do Latossolo Roxo álico - Experimento 04...	89
4.5. Efeitos do calcário e gesso aplicados no LED, em pré-plantio da cana-de-açúcar, na produtividade agrícola de três cortes da cultura - Experimento 01	103
4.6. Efeitos do calcário e gesso aplicados no PVM/arg, em pré-plantio da cana-de-açúcar, na produtividade agrícola de dois cortes da cultura - Experimento 02.....	115
4.7. Efeitos do calcário e gesso aplicados em soqueiras de cana-de-açúcar, na produtividade agrícola dos cortes subsequentes - Experimento 03 e 04	123
4.8. Efeitos da interação fósforo x calcário x gesso, aplicados em soqueiras de cana-de-açúcar, na produtividade da cultura.....	127
5. CONCLUSÕES	132
6. LITERATURA CITADA	134

LISTA DE FIGURAS

FIGURA Nº		Página
01	Variação do Cálcio no perfil do LEd em função do tempo após aplicação dos tratamentos.	44
02	Variação do Magnésio no perfil do LEd em função do tempo após aplicação dos tratamentos	45
03	Variação do Sulfato no perfil do LEd em função do tempo após aplicação dos tratamentos.	46
04	Variação da Soma de Bases no perfil do LEd em função do tempo após aplicação dos tratamentos	52
05	Variação da Saturação por Bases no perfil do LEd em função do tempo após aplicação dos tratamentos	53
06	Variação do pH em CaCl_2 no perfil do LEd em função do tempo após aplicação dos tratamentos	55
07	Variação da Saturação por Alumínio no perfil do LEd em função do tempo após aplicação dos tratamentos	56
08	Variação da CTC no perfil de LEd em função do tempo após aplicação dos tratamentos	57
09	Variação do Cálcio no perfil do PV em função do tempo após aplicação dos tratamentos.	61
10	Variação do Magnésio no perfil do PV em função do tempo após aplicação dos tratamentos	62
11	Variação do SO_4 no perfil do PV em função do tempo após aplicação dos tratamentos	66

12	Variação da Soma de Bases no perfil do PV em função do tempo após aplicação dos tratamentos	67
13	Variação da Saturação por Bases no perfil do PV em função do tempo após aplicação dos tratamentos	68
14	Variação do pH em CaCl_2 no perfil do PV em função do tempo após aplicação dos tratamentos	72
15	Variação da CTC no perfil do PV em função do tempo após aplicação dos tratamentos	73
16	Variação da Saturação por Alumínio no perfil do PV em função do tempo após aplicação dos tratamentos	74
17	Variação dos teores de cálcio no perfil do LV em função do tempo após aplicação dos tratamentos	76
18	Variação dos teores de S-SO_4^{2-} no perfil do LV em função do tempo após aplicação dos tratamentos	80
19	Variação do pH em CaCl_2 no perfil do LV em função do tempo após aplicação dos tratamentos	81
20	Variação dos teores de magnésio no perfil do LV em função do tempo após aplicação dos tratamentos	83
21	Variação da soma de bases no perfil do LV em função do tempo após aplicação dos tratamentos	84
22	Variação da Saturação por bases no perfil do LV em função do tempo após aplicação dos tratamentos	85

23	Variação da saturação por alumínio no perfil do LV em função do tempo após aplicação dos tratamentos	87
24	Variação dos teores de cálcio no perfil do LRa em função do tempo após aplicação dos tratamentos	90
25	Variação dos teores de $S-SO_4^{2-}$ no perfil do LRa em função do tempo após aplicação dos tratamentos	94
26	Variação dos teores de magnésio no perfil do LRa em função do tempo após aplicação dos tratamentos	95
27	Variação da soma de bases no perfil do LRa em função do tempo após aplicação dos tratamentos	98
28	Variação da saturação por bases no perfil do LRa em função do tempo após aplicação dos tratamentos	99
29	Variação do pH em $CaCl_2$ no perfil do LRa em função do tempo após aplicação dos tratamentos	100
30	Variação da saturação por alumínio no perfil do LRa em função do tempo após aplicação dos tratamentos	102
31	Efeitos do gesso na produtividade agrícola da cana-planta, cultivada em LEd	106
32	Efeitos complementares do gesso e calcário na produtividade agrícola da cana planta, cultivada em LEd	107
33	Efeitos do gesso na produtividade agrícola do segundo corte da cana-de-açúcar, cultivada no LEd	109

34	Efeitos do calcário na produtividade agrícola do segundo corte da cana-de-açúcar, cultivada no LEd	110
35	Efeitos das combinações gesso-calcário na produtividade agrícola do segundo corte da cana-de-açúcar, cultivada no LEd	111
36	Efeitos das combinações calcário-gesso na produtividade agrícola do segundo corte da cana-de-açúcar, cultivada em LEd	112
37	Efeito residual do calcário aplicado em pré-plantio da cana-de-açúcar, cultivada no LEd, na produtividade agrícola do terceiro corte da cultura	114
38	Efeito do calcário na produtividade agrícola da cana-planta, cultivada no PVm/arg.....	118
39	Efeitos da interação entre calcário e gesso na produtividade agrícola da cana-planta cultivada no PVm/arg.....	119
40	Efeitos do calcário na produtividade agrícola do segundo corte da cana-de-açúcar, cultivada no PVm/arg.....	120
41	Efeitos da interação gesso-calcário na produtividade agrícola do segundo corte da cana-de-açúcar, cultivada no PVm/arg.....	122
42	Efeitos do gesso aplicado em soqueiras da cana-de-açúcar, cultivada no LRa, na produtividade do corte subsequente da cultura....	126
43	Efeito residual do gesso aplicado em soqueira de cana-de-açúcar, cultivada no LRa, na produtividade agrícola da cultura	128

x.

Página

44	Efeito residual do calcário e gesso, 36 meses após suas aplicações em soqueiras da cana-de-açúcar, na produtividade agrícola da cultura.....	129
45	Efeitos das interações fósforo x calcário e fósforo x calcário x gesso, aplicados em soqueiras de cana-de-açúcar, cultivada no LRa, na produtividade do corte subsequente.	131

LISTA DE TABELAS

TABELA Nº		Página
01	Atributos físicos dos solos utilizados nos experimentos	31
02	Atributos químicos dos solos utilizados nos experimentos	32
03	Dados pluviométricos dos locais dos experimentos	34
04	Doses e combinações dos insumos utilizados nos Experimentos 01 e 02 (Cana-planta)	36
05	Tratamentos adotados nos experimentos 03 e 04	39
06	Características físicas e químicas dos insumos utilizados	40
07	Produtividade média de cana-de-açúcar obtida em 3 cortes no LEd	103
08	Análise de variância dos resultados de produtividade de colmos de cana-de-açúcar dos 3 cortes do experimento 01, conduzido em LEd.....	104
09	Produtividade média da cana-de-açúcar obtida em 2 cortes, cultivada no PVm/arg....	115
10	Análise de variância dos resultados de produtividade de colmos de cana-de-açúcar do 1º e 2º cortes do experimento 02, conduzido em PVm/arg.....	116
11	Análise de variância dos resultados de produtividade de colmos de soqueiras de cana-de-açúcar, 1º e 3º cortes do experimento 04, conduzido em LRA.....	124

EFEITOS DO CALCÁRIO E DO GESSO APLICADOS NO PLANTIO E EM SOQUEIRAS DE CANA-DE-AÇÚCAR (*Saccharum spp*) NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DE SOLOS E NA PRODUTIVIDADE DA CULTURA

Autor: JAIRO ANTONIO MAZZA

Orientador: Prof.Dr. JOSÉ LUIZ IORIATTI DEMATTÊ

RESUMO

Objetivando-se avaliar os efeitos do calcário e do gesso e suas interações nas propriedades químicas de alguns solos e na produtividade agrícola da cana-de-açúcar, foram instalados quatro experimentos em unidades sucro-alcooleiras do Estado de São Paulo, sendo dois com aplicação destes insumos em pré-plantio e dois em soqueiras da cultura.

Um dos experimentos em condição de pré-plantio foi instalado em março/abril de 1988 no município de Guariba, Usina Bonfim, Fazenda Santo Antonio da Estiva em um Latossolo Vermelho Escuro distrófico textura argilosa (LEd). O outro foi instalado em maio de 1989 no município de Olímpia, Usina Cruz Alta, Fazenda Momplazier em um Podzólico Vermelho Amarelo distrófico textura média/argilosa (PVm/arg).

Os dois experimentos de soqueiras foram instalados em 1989, no município de Lençóis Paulista, Usina Barra Grande, sendo um em Latossolo Vermelho Amarelo Podzólico álico (LVp) e outro em Latossolo Roxo álico (LRa).

Foram adotadas doses e combinações de calcário e gesso, em pré-plantio e soqueiras, cujos níveis variaram desde quantidades abaixo das recomendadas usualmente, para a cana-de-açúcar, até quantidades consideradas muito elevadas.

Os resultados obtidos indicaram, para os solos estudados, efeito altamente benéfico, tanto do calcário como

xiii.

do gesso, nos atributos químicos e parâmetros de fertilidade analisados. O gesso mostrou-se bastante eficiente em promover, num menor período de tempo, melhor distribuição de cálcio e magnésio nos perfis de solos, enquanto que os maiores efeitos do calcário restringiram-se às camadas da superfície. A combinação de ambos proporcionou os melhores resultados de distribuição dos nutrientes nos perfis.

A maior rapidez na modificação dos atributos químicos dos solos, verificada para o gesso, proporcionou, a curto e médio prazos (12-30 meses), incrementos na produtividade agrícola da cana-de-açúcar, tanto para aplicação em pré-plantio como para aplicação em soqueiras, respectivamente para o LEd e para o LRa. Paralelamente, o calcário, quando aplicado em pré-plantio ou em soqueiras, apresentou efeitos altamente benéficos na produtividade agrícola a médio e longo prazos (24-36 meses), para os dois latossolos argilosos citados, complementando, desta forma, os efeitos do gesso.

Apesar das modificações benéficas proporcionadas pelo gesso nos atributos químicos do PVm/arg, o mesmo apresentou efeitos depreciativos na produtividade agrícola da cana-de-açúcar cultivada no solo em questão. Verificou-se, neste caso, apenas influência benéfica do calcário.

A utilização de gesso em doses bastante elevadas não provocou modificações drásticas nos atributos químicos dos solos, nem refletiu em decréscimos da produtividade agrícola da cana-de-açúcar, indicando que existe limite de solubilidade imposto pelo próprio gesso e influenciado pela forma de aplicação e incorporação, além de condições edafoclimáticas.

EFFECT OF LIME AND PHOSPHOGYPSUM, APPLIED BEFORE SUGAR CANE PLANTING OR ON RATOON, ON SOIL CHEMICAL ATTRIBUTES AND ON CROP PRODUCTIVITY

Author: JAIRO ANTONIO MAZZA

Adviser: Prof.Dr. JOSÉ LUIZ IORIATTI DEMATTÊ

SUMMARY

Four experiments were conducted in sugar cane mills in São Paulo State (Brazil) with the purpose of evaluating the effect of lime and phosphogypsum and its interaction on chemical properties of some soils on crop productivity of sugar cane. Two experiments were with pre-planting application and two with ratoon application.

One of the pre-planting experiments began in March/April 1988 in Guariba, São Paulo State, at the Bonfim sugar cane mill, on a clayey Latossolo Vermelho Escuro Distrófico, LEd, (Typic Haplorthox), and the other one in May 1989 in Olímpia, São Paulo State, at the Cruz Alta sugar cane mill, on a medium/clayey textured Podzólico Vermelho Amarelo Distrófico, PVm/arg, (Typic Paleudult).

The two ratoon application experiments began in 1989 in Lençóis Paulista at the Usina Barra Grande, one on a Latossolo Vermelho Amarelo Podzólico Álico (Quartzipsammentic Haplorthox) and the other on a Latossolo Roxo Álico (Typic Haplorthox).

The rates of lime and phosphogypsum application and its combinations in pre-planting and ratoon application varied from very low, beneath usually recommended quantities, to very high rates.

XV.

The results indicated a very beneficial effect of lime and phosphogypsum on soil chemical attributes and on the fertility parameters analyzed. Phosphogypsum showed to be very efficient in promoting in a short time a better distribution of Ca and Mg in soil profile, and on the other hand, lime effects were restricted to the surface layer. The combination of both yielded the best results in nutrient distribution in the soil profile.

The more rapid effects of phosphogypsum on soil chemical attributes, provided a fast increase in sugar cane crop productivity on pre-planting and ratoon application, i.e. 12 months for the LEd and 30 months for the LRd. On the other hand, lime, when applied in pre-planting or on ratoon, showed benefits on crop productivity on the longer term, i.e. 24 and 36 months for the two previous soils, completing, in this way the effect of phosphogypsum.

Despite the beneficial effect of phosphogypsum on soil chemical properties of the PVm/arg there was no effect on crop productivity. In this case only lime increased productivity.

The use of phosphogypsum in very high rates did not provoke drastic changes on soil chemical attributes, neither decreased crop productivity, indicating that there is a solubility limit from the own product, influenced by the way of application and incorporation and by soil and climate conditions.

1. INTRODUÇÃO

A cultura da cana-de-açúcar, com o advento do Proálcool, passou a estender suas fronteiras, principalmente a partir da década passada, para solos de baixa fertilidade, tanto no Estado de São Paulo como em outras regiões pioneiras.

Nas primeiras investidas para estes solos de baixa fertilidade são experimentados vários fracassos por diversas destilarias autônomas, em função das baixas produtividades agrícolas obtidas para a cultura canavieira.

Um dos fatores que tem agido contra o aumento da produtividade da cana-de-açúcar e de outras culturas refere-se ao pouco volume de solo explorado pelo sistema radicular. É interessante notar que no Brasil, de um modo geral, constata-se que o sistema radicular da cana-de-açúcar explora efetivamente cerca de 60 cm de solo. Entretanto, a literatura internacional consultada aponta para valores significativamente superiores, entre 120 e 200 cm (KOFFLER, 1986). É sabido que as raízes das plantas, de maneira geral, não se desenvolvem adequadamente em solos muito ácidos contendo elevados teores de alumínio ou manganês ou baixos teores de bases, principalmente o cálcio.

Os resultados constatados por RITCHEY et alii (1980), obtendo informações pioneiras sobre os efeitos do

gesso na incorporação de nutrientes a maiores profundidades promovendo incrementos no desenvolvimento do sistema radicular da cultura do milho, com reflexos positivos na sua produtividade agrícola, marcaram o início e novas perspectivas na exploração destes solos de baixa fertilidade.

Essas informações, aliadas à dificuldade de se incorporar mecanicamente o calcário a maiores profundidades, objetivando-se a eliminação dos efeitos tóxicos do alumínio e/ou promover o suprimento de cálcio e magnésio para as culturas, desencadearam a realização de diversos trabalhos envolvendo a ação do gesso, comparada à do calcário, nos solos e na produtividade de diversas culturas.

Com relação às informações disponíveis na literatura, especificamente para a cultura da cana-de-açúcar, os trabalhos de MORELLI et alii (1987) e MORELLI et alii (1992) são os que avaliaram por maior período de tempo a influência do gesso e combinações com o calcário nos atributos químicos do solo e na produtividade da cultura, porém restringem-se a solos arenosos.

Os objetivos do presente trabalho constituem-se na obtenção de resultados da influência do gesso e calcário e/ou combinações destes, com ênfase para o gesso, nos atributos químicos de solos com características físicas e químicas variadas, além dos períodos de ação dos mesmos e seus reflexos na produtividade da cultura da cana-de-açúcar.

Pretende-se avaliar, também, o período de influência do calcário e gesso nos atributos químicos dos solos, aplicados antes do plantio da cultura e durante o ciclo de desenvolvimento desta, ou seja, em condições de soqueiras.

Foram adotadas propositadamente, além de dosagens normalmente utilizadas, comercialmente, por unidades sucroalcooleiras, quantidades altas do gesso, objetivando-se provocar desequilíbrios no balanço de nutrientes do solo,

3.

averiguando-se de forma complementar os efeitos destas doses altas na produtividade da cultura.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Calcário e gesso: considerações sobre o enfoque ao tema

Em solos ácidos com elevada saturação por alumínio o uso trivial da calagem acarreta neutralização deste nas camadas superficiais do solo, possibilitando a proliferação intensa de raízes, com reflexos positivos no crescimento de plantas. Todavia, em solos com a subsuperfície ácida, elevada em alumínio e/ou com baixos teores em cálcio, a movimentação do calcário é lenta e, por conseguinte, o crescimento de raízes é reduzido e a planta torna-se muito pouco eficiente no aproveitamento de água e nutrientes contidos nessas camadas.

Especificamente para a cana-de-açúcar, embora seja considerada por alguns pesquisadores como uma cultura com relativa tolerância à acidez (SCHMEHLE & HUMBERT, 1964; CORDEIRO, 1978), têm sido constatados efeitos benéficos da calagem no aumento da produtividade da cultura.

Esta influência positiva do calcário na produtividade canavieira está associada ao fornecimento de cálcio e magnésio como nutrientes, à neutralização do alumínio tóxico, através da elevação do pH do solo ou ainda pela influência deste na disponibilidade de outros nutrientes na profundidade aplicada, a exemplo dos resultados obtidos por

MARINHO & ALBUQUERQUE (1983). A partir de 1980, através da constatação DE RITCHEY e colaboradores do significativo efeito do gesso, contido no superfosfato simples, na redução da acidez e elevação dos teores de cálcio do subsolo, proporcionando o aprofundamento do sistema radicular do milho com consequente aumento de sua resistência a déficits hídricos e aumentos na produtividade, o recondicionamento ("correção") da fertilidade dos solos deixa de ser atribuição exclusiva do calcário e os trabalhos científicos e técnicos passam a considerar também o novo aliado, ou seja, o gesso agrícola.

Portanto, a presente revisão reportar-se-á aos efeitos interativos do calcário e gesso e/ou gesso no perfil do solo como melhorador de subsuperfície e/ou no fornecimento de cálcio (REEVE & SUMNER, 1972; RITCHEY et alii, 1980) e seus reflexos na produtividade das culturas, com ênfase para a cana-de-açúcar, uma vez que as reações do calcário no solo e seus efeitos na produtividade da cultura já são bastante conhecidos.

Ressalte-se ainda que, quando do emprego do gesso, além de seu efeito benéfico como melhorador da subsuperfície, tema em estudo, o mesmo poderá reverter em resultados positivos devido a outros efeitos, a saber:

- poder fertilizante como fonte de enxofre e/ou fonte de cálcio, TISDALE & NELSON (1975), especificamente para a cana-de-açúcar, VITTI et alii (1984) e VITTI (1989);
- Efeito corretivo na redução do teor de sódio de solos salinos, PEREIRA et alii (1986);
- Melhorador de propriedades físicas através da redução de encrostamento superficial e ainda redução do endurecimento de camadas subsuperficiais, elevando a condutividade hidráulica, SUMNER (1992).

2.2. Alterações do gesso agrícola nos atributos químicos de perfis de solos e consequências no desenvolvimento vegetal

Estudos desenvolvidos por RITCHEY et alii (1981) indicaram que em solos com alta saturação por alumínio ou com baixo teor de cálcio o sistema radicular confinava-se praticamente à camada superficial.

Estes autores constataram uma correlação positiva entre o teor de cálcio no solo e o crescimento radicular. Observaram que para um Latossolo Vermelho Amarelo, cuja saturação por alumínio era praticamente nula, a 50-60 cm de profundidade, a ausência de cálcio determinou o reduzido desenvolvimento do sistema radicular, caracterizando que o crescimento de raízes do subsolo pode estar associado a toxidez por alumínio ou a deficiência de cálcio.

Segundo alguns pesquisadores, a exemplo de PAVAN (1981), BERTON (1989), CAMARGO & FURLANI (1989) e FURLANI & BERTON (1992), o aparecimento de sintomas de fitotoxidez de alumínio nem sempre é correlacionado com uma concentração crítica deste no meio de crescimento. Enquanto o suprimento de alumínio é claramente importante na expressão de resposta ao estresse do elemento, outros fatores do meio, tais como pH, formação de precipitados insolúveis, efeitos protetores de outros íons, força iônica da solução, presença de quelatos ligantes e genótipos da planta ou espécie vegetal, podem também atuar na modificação da resposta da planta ao Al^{3+} .

Neste sentido, PAVAN (1981) utilizou a atividade de Al^{3+} para estabelecer o nível crítico tóxico desse elemento em solos, e também evidenciou a importância da força iônica na solução do solo em influenciar a fitotoxidez de Al solúvel, estabelecendo os níveis críticos tóxicos da atividade do mesmo para o crescimento do cafeeiro.

FURLANI & BERTON (1992) constataram que os aumentos da força iônica da solução de crescimento, ou seja, aumentos na concentração de outros elementos (a exemplo da adição de CaSO_4), diminuíram sensivelmente a atividade de Al^{3+} . Estes autores demonstraram que os efeitos positivos dos aumentos da força iônica no crescimento de raízes foi muito mais marcante para cultivares considerados tolerantes a Al^{3+} . No caso de cultivares sensíveis, as diminuições da atividade de Al^{3+} , induzidas pelos aumentos da força iônica da solução, não foram suficientes para reverter a ação fitotóxica do Al para o trigo. Porém, apresentaram significativa influência no desenvolvimento do sistema radicular de plantas de arroz, consideradas sensíveis, mostrando reação diferenciada aos parâmetros em questão entre espécies e entre cultivares da mesma espécie.

Considerando-se ainda os resultados obtidos por CAMARGO (1984) e CAMARGO (1987), verifica-se que existem dificuldades em se afirmar que o cálcio apresenta um efeito direto na melhoria do crescimento de raízes, uma vez que a atividade de Al^{3+} também diminui, acompanhando os aumentos na atividade de cálcio.

Ainda neste sentido, PAVAN et alii (1987) mostraram que o maior desenvolvimento de raízes de macieira está mais associado à menor atividade do alumínio do que à maior atividade do cálcio em Cambissolo. Contudo, para Latossolos quando a atividade do alumínio era menor o desenvolvimento do sistema radicular foi proporcional ao aumento da atividade do cálcio.

YAMADA (1988), em estudos desenvolvidos sobre adsorção máxima de sulfato utilizou-se do método biológico (RITCHEY et alii, 1983) para avaliar o efeito do alumínio no desenvolvimento do sistema radicular da cultura do trigo. Foram encontrados significativos incrementos no desenvolvimento do sistema radicular devido à adição de doses de gesso para

Latossolos Roxos, Latossolos Vermelho-Escuros e Latossolos Vermelhos Amarelos, os quais apresentavam teores de alumínio de 0,20 a 1,50 meq/100 cm³ de terra, porém, nos Podzólicos Vermelho Amarelos que continham teores de alumínio variando de 3,0 a 5,6 meq/100 cm³ de solo, a aplicação de gesso apresentou-se ineficiente no estímulo do desenvolvimento das raízes de trigo. O autor sugere que uma possível explicação para a falta de resposta dos Podzólicos estaria nos elevados teores de alumínio apresentados por estes solos.

ZOTARELLI (1992) estudando os efeitos da calagem e gessagem em uma Areia Quartzosa cultivada com cana-de-açúcar verificaram efeitos bastante significativos da gessagem no desenvolvimento do sistema radicular da cultura até a profundidade de 50m.

SOUZA & RITCHEY (1986) apresentam como uma das alternativas para promover o desenvolvimento do sistema radicular mais profundamente a incorporação de calcário além dos 10-20 cm de profundidade. Estes autores mostraram que a incorporação de calcário até 30 cm reduziu a saturação por alumínio até esta profundidade e promoveu uma distribuição de raízes mais uniforme se comparada à incorporação feita a 15 cm.

SOUZA & RITCHEY (1986) citam ainda que a melhoria do perfil do solo somente com a aplicação de calcário também é possível, requerendo, no entanto, um tempo mais prolongado e doses superiores às recomendadas pelos laboratórios. Estas observações encontram subsídios nos resultados obtidos por RITCHEY et alii (1983), os quais constataram que foi possível corrigir o solo até a profundidade de 60 cm com calcário, mas sendo necessários para tanto oito anos e com doses superiores a 7,5 t/ha, enquanto que a dose recomendada para o solo em questão seria de 4,0 t/ha.

RAIJ (1988) questiona a necessidade do tempo citado por SOUZA & RITCHEY, apresentando os resultados obtidos por QUAGGIO et alii¹, os quais verificaram que após 24 meses

12 t de calcário/ha haviam elevado os teores de cálcio mais magnésio em cerca de 1,5 meq/100 ml de terra a uma profundidade de 50 cm.

Em outro ensaio QUAGGIO et alii (1982) constataram que, num Latossolo Roxo Distrófico de cerrado, uma aplicação de 6 t/ha de calcário elevou os teores de cálcio mais magnésio em 0,5 meq/100ml e o pH em água em 0,4 unidades a 60 cm de profundidade, após 30 meses da aplicação.

Apesar destes resultados, RAIJ (1988) sugere que somente aplicações de calcário não parecem suficientes para promover a movimentação de bases no perfil de solo, citando os resultados obtidos por MESSICK et alii² os quais não constataram efeito de até 13,4 t/ha de calcário, em corrigir a acidez do subsolo de 7 ultissolos da Virgínia, EUA, em um período de 4 anos.

Objetivando avaliar o acompanhamento da incorporação química do cálcio no perfil do solo, RITCHEY et alii (1980) utilizaram outras fontes de cálcio, tais como o CaCl_2 e CaSO_4 , comparando-as com o CaCO_3 . O citado autor constatou que, em relação ao CO_3^{2-} , o ânion SO_4^{2-} foi bastante eficiente na movimentação do cálcio até a profundidade de 60 cm sem, no entanto, promover uma movimentação excessiva, como observado para o ânion Cl^- . Portanto, com a utilização do gesso agrícola ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) aplicado na camada superficial, é possível

1. QUAGGIO, J.A.; RAMOS, V.J.; BATAGLIA, O.C.; RAIJ, B. van; SAKAI, M. Calagem para sucessão batata-triticaile-milho usando calcário com diferentes teores de magnésio. Bragantia, 44:391-406, 1985.

2. MESSICK, O.L.; ALLEY, M.M.; ZELARZNY, L.W. Movement of calcium and magnesium in ultisols from dolomitic limestone. Soil Sci.Soc.Am.J. 48:1096-1101, 1984.

obter uma maior eficiência em relação ao carbonato no deslocamento de cálcio e magnésio no perfil do solo.

Resultados semelhantes aos obtidos por RITCHEY et alii (1980) também foram obtidos por QUAGGIO et alii (1982), em condições de campo, quando estudaram a influência da interação do calcário e gesso na produção de amendoim, em Latossolo Roxo, no Estado de São Paulo.

Somando-se às alterações encontradas por RITCHEY (1980) na movimentação do cálcio e magnésio, devido à utilização do gesso agrícola, RITCHEY et alii (1981), e ROSOLEM & MACHADO (1984) e ZOTARELLI (1992) também verificaram efeitos semelhantes na movimentação do potássio.

No que se refere à influência do gesso agrícola na movimentação do potássio em perfis de solos, os resultados obtidos por ERNANI (1993) não corroboram as constatações de RITCHEY et alii (1981), ROSOLEM & MACHADO (1984) e ZOTARELLI (1992), já que aquele autor mostrou que a adição de CaSO_4 em amostras de solo aumentou a solubilização do cálcio e do magnésio e praticamente não alterou a de potássio.

PAVAN et alii (1984) demonstraram que após a aplicação de gesso em solos ácidos, LR e LE, ocorreram várias reações no solo causando elevações no pH, reduções nos teores e saturação por alumínio, além de elevações na capacidade de troca catiônica, cujos resultados foram corroborados por SOUZA & RITCHEY (1986).

PAVAN & VOLKWEISS (1986) comentam que a ação do gesso em solos ácidos provoca variações no pH, capacidade de troca catiônica, redução nos teores e saturação por alumínio, além de variação de espécies iônicas de alumínio e cálcio. Estes autores propuseram a formação de associações iônicas dos metais com o sulfato. Citam que, na solução do solo, o íon sulfato pode permanecer como ânion livre ou formar complexos solúveis (associações ou pares iônicos) com Al^{3+} , Ca^{2+} e Mg^{2+} através de ligações iônicas, sendo que a distribuição das

espécies de sulfato vai depender principalmente do pH e da força iônica da solução.

Segundo PAVAN & VOLKWEISS (1986), as associações químicas do sulfato com os metais na solução conduzem às seguintes implicações:

- diminuem as valências ou as formas livres dos metais solúveis, formando um sistema altamente dinâmico;
- o cálcio liberado pela dissolução do gesso participa das reações de troca com os cátions trocáveis do solo, aumentando a concentração destes na solução;
- associações químicas do sulfato com os metais, em uma porcentagem substancial dos cátions ácidos e básicos, estão presentes em formas neutras ou com menor valência, o que aumenta sua mobilidade no perfil de solos com excessos de cargas elétricas;
- ocorre diminuição da atividade do íon Al^{3+} na solução do solo devido à formação de AlSO_4^+ , sendo este fato muito importante, já que o Al^{3+} é uma espécie mais tóxica e o AlSO_4^+ é menos absorvido pelas raízes.

Os autores observam, ainda, que em sistemas contendo Cl^- e NO_3^- as ligações iônicas com alumínio ocorrem em muito menor proporção do que no sistema contendo SO_4^{2-} , resultando no aumento da forma trivalente na solução que, dependendo do pH, pode sofrer hidrólise.

PAVAN & VOLKWEISS (1986) mostraram ainda que o pH de equilíbrio, utilizando-se de CaCl_2 e $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, foi menor do que o pH inicial, em Latossolo Roxo e praticamente iguais ao pH inicial em Latossolo Vermelho Escuro. Estes resultados indicaram que o LR apresentava cargas predominantemente negativas e o LE carga líquida zero ou muito próxima de zero. Salientam que nos dois solos o pH de equilíbrio no tratamento

com CaSO_4 foi maior do que nos demais tratamentos, sendo os resultados explicados por:

- diminuição da reação de hidrólise de Al^{3+} devido à formação de AlSO_4^+ ;
- deslocamento de íons OH^- adsorvido eletrostaticamente em cargas positivas, o qual é maior com o íon SO_4^{2-} ;
- liberação de OH^- devido à reação de adsorção química (ou específica) de SO_4^{2-} nas superfícies de óxidos de alumínio e superfícies "quebradas" de argilas.

Como resultado da adsorção específica do SO_4^{2-} a uma superfície sesquioxídica, a densidade de carga superficial negativa aumenta, o que levaria a uma preferência de adsorção do Al^{3+} diminuindo assim a atividade do mesmo na solução. A este fenômeno, paralelo à adsorção específica, SUMNER et alii (1986) denominaram Co-adsorção de SO_4^{2-} e Al^{3+} .

Saliente-se, ainda, que aos fenômenos envolvendo a liberação de OH^- , com consequente precipitação do Al^{3+} , REEVE & SUMNER (1972) denominaram de auto-calagem.

PAVAN & VOLKWEISS (1986) ressaltam ainda que a importância de cada uma destas reações na elevação do pH final de sistemas contendo SO_4^{2-} depende da quantidade do sal aplicada ao solo; deve, em princípio, ser variável entre solos, pois a magnitude de cada reação também depende das características do solo. Neste sentido, a diminuição da reação de hidrólise de Al^{3+} por SO_4^{2-} deve ter sido mais importante no LR devido à maior quantidade de Al_T na solução, ao passo que no LE a liberação de OH^- , possivelmente tenha sido também importante para o maior pH de equilíbrio no sistema contendo SO_4^{2-} .

Como foi apresentado pelos autores, o sulfato pode servir como um meio eficaz para promover o movimento de

íons no solo devido às reações de associações com metais, principalmente Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Al^{3+} , formando complexos solúveis com menores valências (CaSO_4^0 , MgSO_4^0 , K_2SO_4^0 , AlSO_4^+). Contudo, se por um lado a formação de complexos solúveis com sulfato facilita a lixiviação do cálcio e outros cátions, por outro, a adsorção do sulfato aos óxidos e argilas retarda esta lixiviação, pois, em seu movimento, os cátions têm que ser acompanhados por ânions, tanto na forma de complexos como de íons livres. Como os ânions Cl^- e NO_3^- praticamente não reagem com os sólidos da maioria dos solos, a aplicação de CaCl_2 e $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ no solo proporciona lixiviação mais rápida de cálcio do que a aplicação de gesso (RITCHEY et alii, 1980). O cálcio do calcário é muito lentamente lixiviado, pois o ânion CO_3^{2-} reage com os ácidos dos solos com pH baixo e é transformado em CO_2 que se perde na atmosfera. Neste sentido, BORKET & PAVAN (1987) levantam dois aspectos práticos da interação gesso x calcário:

- aplicação de calcário e gesso ao mesmo tempo: a aplicação do calcário e gesso juntos ao solo diminui marcadamente o efeito do calcário como corretivo da acidez, porque o gesso satura a solução do solo com cálcio, diminuindo a velocidade de reação de hidrólise do carbonato de cálcio;

- aplicação do calcário antes do gesso: neste caso, o cálcio do carbonato irá ocupar a maior parte das cargas negativas dos colóides do solo e o pH do solo aumentará com correção da acidez pelo íon carbonato. Assim, após essas reações, na aplicação do gesso, tanto o íon cálcio como o íon sulfato ficarão em maior quantidade na solução do solo. Como o pH foi aumentado pela correção da acidez, haverá menor adsorção de sulfato, que irá descer no perfil com as águas de percolação, carregando junto principalmente cálcio e magnésio que se encontram dissolvidos na solução do solo na forma iônica. Lembram os autores que, eventualmente, poderá percolar

algum potássio também. Grande parte do potássio, que se encontrava na solução do solo na forma iônica (K^+), com a eliminação da acidez e a consequente liberação das cargas pH - dependentes (cargas da matéria orgânica e de óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio) passa a ocupar estas posições dos íons H^+ e não percola em grande quantidade como o magnésio e cálcio.

- aplicação do gesso antes do calcário: o gesso irá dissociar-se, com o cálcio ocupando alguns sítios de troca das cargas dos colóides minerais e ficando também em grande parte na solução do solo, como íon cálcio, enquanto que o íon sulfato, como não houve correção da acidez e elevação do pH, ficará em grande parte adsorvido. Portanto, com a aplicação do gesso antes do calcário, a percolação do sulfato carregando junto, principalmente, cálcio e magnésio, é bem menor do que com a aplicação do calcário antes do gesso.

Ainda com relação à interação do SO_4^{2-} no solo, SOUZA & RITCHEY (1986) observam que a velocidade de movimentação do citado ânion, além da dependência das propriedades químicas do solo, dependem da quantidade de água percolada, citando que para dissolver uma quantidade de gesso que forneça 2000 kg de Ca/ha são necessários 226 mm de precipitação.

Neste particular, RAIJ (1988), em sua revisão sobre os efeitos do gesso na melhoria do ambiente radicular do subsolo, acrescenta que existe um limite imposto pela solubilidade do produto ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$), ou seja, a concentração máxima do gesso em solução é da ordem de 0,014M. Este autor cita que para uma camada de solo de 20 cm de profundidade e 30% de retenção máxima de água isso representaria cerca de 0,8 meq de gesso/100 cm^3 de terra, ou 1,6 t/ha. Complementa ainda o autor em questão que, dessa forma, o gesso desce aos poucos através do solo e os teores máximos em profundidade, em geral,

não atingem valores muito altos. Lembra que situações particulares irão depender da capacidade de retenção de água dos solos, ou seja, por causa das limitações impostas pelo produto de solubilidade, em muitos solos parece ser difícil colocar muito mais do que 1 meq/100g de terra, de CaSO_4 , nas camadas profundas, em solos argilosos, e menos do que isso em solos arenosos.

No que se refere à dependência da redução nos teores de S-SO_4^{2-} na camada de 0-15 cm do solo, SOUZA & RITCHEY (1986) mostraram que esta redução foi tanto mais acentuada quanto maior foi a quantidade de água percolada. Os autores posicionaram que a área onde foram obtidos estes resultados vinha sendo cultivada com as devidas correções, tendo seu pH elevado para 5,5. Comentam que neste valor a retenção de S-SO_4^{2-} é mínima ou quase nula.

A movimentação média do pulso de S-SO_4^{2-} , após a precipitação de 1.154 mm de água, foi de 0,4 mm/mm de água, reduzindo-se para 0,3 mm/mm de água quando o total de água acumulada foi de 2.276 mm. A partir daí, o pulso de S-SO_4^{2-} movimentou-se muito pouco, reduzindo a sua intensidade. Como o pH do solo abaixo dos primeiros 20 cm é ácido, S-SO_4^{2-} , provavelmente, passa a ser retido pelo solo, o que reduz a velocidade de movimentação do pulso pois, conforme discutido por PAVAN & VOLKWEISS (1986), BORKET & PAVAN (1987) e também corroborado por resultados obtidos por COUTO et alii (1979) e COSTA (1980), quanto maior o pH menor a capacidade de retenção de S-SO_4^{2-} pelo solo. COSTA (1980) mostrou que as quantidades retidas variaram de 0,2 a 0,9 meq S-SO_4^{2-} /100g de solo, no horizonte Ap, e de 0,6 a 1,3 meq S-SO_4^{2-} /100g de solo no horizonte B. Resultados bastante semelhantes também foram obtidos por CAMARGO & RAIJ (1987), os quais se utilizaram de amostras superficiais e subsuperficiais de Latossolo Vermelho Amarelo e Latossolo Roxo.

SOUZA & RITCHEY (1986) também obtiveram resultados evidenciando a geração de carga líquida negativa, em um Latossolo Vermelho Escuro, com aplicação de 6 t/ha de gesso, observando que houve acréscimo de 0,10 até 0,39 meq/100g de terra nas profundidades de 15 a 120 cm em perfis de solo.

Segundo MORAIS et alii (1976), aumentos obtidos nas cargas negativas do solo com a aplicação de sulfato seriam responsáveis pela maior retenção de potássio, o que também é corroborado pelos resultados obtidos por COUTO et alii (1979).

SOUZA & RITCHEY (1986) salientam que um dos aspectos que deve ser observado atentamente, quando da utilização do gesso, é a movimentação de cátions como magnésio e potássio, os quais são importantes na nutrição das plantas e encontram-se em quantidades muito baixas em grandes extensões de solos brasileiros. Entretanto, a utilização do calcário, combinada com a aplicação do gesso, além de favorecer a menor retenção de $S-SO_4^{2-}$ na camada arável, devido ao aumento do pH do solo pela calagem, aumenta a retenção de potássio. Apresentando também o calcário um teor adequado de magnésio, suprirá a cultura deste nutriente.

RAIJ (1988) comenta que apesar do SO_4^{2-} promover uma movimentação lenta através do solo, ânions como NO_3^- e Cl^- , contidos nos fertilizantes, podem acelerar as perdas de bases dos solos, citando que estas perdas nos solos da região tropical são bastante acentuadas. Para ilustrar o problema cita que RAIJ et alii¹, em um ensaio de calagem com milho, algodão e soja, conduzido em Podzólico Vermelho Amarelo durante cinco anos, constatarem perdas anuais de Ca + Mg de 0,2, 0,5, 0,9 e 1,2 meq/100 cm³ de terra, para os tratamentos de 0, 3, 6 e 9 t/ha de calcário aplicado no início do experimento. O ensaio

¹. RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; CAMARGO, A.P. DE; SOARES, E. Perdas de cálcio e magnésio durante cinco anos em ensaio de calagem. R.Bras.Ci.Solo 6:33-37, 1982.

recebeu aplicações anuais de sulfato de amônio (90 kg de N/ha), superfosfato simples (90 kg de P_2O_5 /ha) e quantidades variáveis de KCl, o que significa bastante sulfato, nitrato (originário do sulfato de amônio) e cloreto aplicados. A acidez da camada de 20-40 cm de profundidade foi consideravelmente reduzida no 3º ano, por efeito do calcário, com aumentos do pH de 4,5 para 4,9 e redução da saturação por alumínio de 69 para 29%. Contudo, dois anos após, ou seja, no 5º ano, a saturação por alumínio do tratamento com calcário havia aumentado novamente para 51%, na profundidade de 20 a 40 cm.

RAIJ (1988) cita ainda que em um ensaio com calagem e gessagem em cafeeiro, conduzido por GUIMARÃES¹, em Latossolo Roxo distrófico, no Sul de Minas, constatou-se que o efeito do gesso em camadas de 20-40 cm de profundidade, no sentido de diminuir a saturação por alumínio, observado no 4º ano após a aplicação, havia praticamente desaparecido no 6º ano, o que também foi atribuído à acidificação promovida pelas adubações realizadas.

2.3. Influência do gesso e combinações de calcário e gesso nos atributos químicos de solos e na produtividade de cana-de-açúcar

DEMATTE (1992), enfocando as modificações das características químicas do solo com consequente alteração de sua classe de aptidão agrícola, apresenta resultados obtidos de produtividade agrícola da cultura da cana-de-açúcar em áreas comerciais (Macatuba/SP), relacionando-as com as características químicas de diversos solos. Comenta o citado

¹. GUIMARÃES, P.T.C. Gesso agrícola na neutralização do alumínio nas camadas subsuperficiais do solo: Aplicações às culturas anuais e perenes. In: SEMINÁRIO SOBRE O USO DO GESSO NA AGRICULTURA, 1, Brasília, D.F., 1985. Anais. Brasília, EMBRAPA-DDT, 1986. p. 145-168.

autor que, num solo com saturação por bases de 25% na camada superficial e valores abaixo de 10% nas camadas inferiores, a produtividade da variedade SP70-1143, no 2º corte, foi bastante reduzida, ao redor de 70 t/ha, enquanto que para solos com saturação por bases mais elevadas a produtividade da variedade citada, no mesmo ciclo, situa-se ao redor de 85 t/ha.

Em outro exemplo, enquanto no 10º corte a variedade NA56-79 apresentou produtividade de 62 t/ha, num solo de elevada saturação por bases, acima de 60% em todo o perfil analisado, no 5º corte, a mesma variedade apresentou produtividades na faixa de 54 t/ha, para um solo de baixa saturação por bases.

Neste sentido justifica-se, portanto, o grande contraste citado por KOFFLER (1986) entre os 60 cm de profundidade média explorados pelo sistema radicular da cultura canavieira no Brasil e os 120 a 200 cm de profundidade do sistema radicular citados para os solos explorados com a cultura em outros países, cujos solos apresentam-se com melhor distribuição e quantidade de nutrientes em todo o perfil.

Num experimento de longa duração com cana-de-açúcar, MORELI et alii (1987) trabalharam com calcário e gesso estudando seus efeitos nas propriedades químicas, assim como na produtividade da cana-de-açúcar. Os resultados obtidos conduziram às seguintes conclusões:

- a ação do calcário restringiu-se à camada superficial, tendo elevado a saturação por bases, nesta, de 24 para 43%, provocando uma pequena modificação de 12 para 18% na 2ª camada, sem alterações nas demais. Salienta ainda os autores que a dose utilizada de 2 t de calcário/ha seria suficiente para elevar V% a 60, o que efetivamente não ocorreu;

- o emprego do gesso propiciou sensíveis modificações em profundidade, resultando em elevação da saturação por bases e redução da saturação por alumínio;

- comparando-se a aplicação de calcário e a aplicação de gesso verifica-se que tanto aos 27 meses como aos 38 meses o gesso, foi mais efetivo na incorporação de cálcio em profundidade, porém, o calcário apresentou maior efetividade em manter a correção na camada superficial. Atenção deve ser dada ao fato de que em ambos os casos a saturação por bases, aos 38 meses, já se encontrava abaixo dos valores considerados como suficientes para o bom desenvolvimento do sistema radicular.

Os efeitos desta melhor distribuição dos nutrientes em profundidade na produtividade da cana-de-açúcar, em quatro cortes da cultura, proporcionou um ganho adicional de 10%, ou seja, enquanto a adoção do calcário propiciou 330 t/ha nos quatro cortes, com a utilização conjunta do calcário e gesso obteve-se 363 t/ha.

Os autores constataram também, através de uma avaliação feita aos 27 meses, uma relação positiva entre a produtividade de colmos de cana-de-açúcar e a quantidade de raízes desenvolvidas, mostrando que o gesso agrícola, em função da maior incorporação química de nutrientes em profundidade, incrementou o sistema radicular da cultura, o que também é corroborado por ZOTARELLI (1992).

DEMATTE (1992) cita ainda que, em função da significativa perda de magnésio, os autores instalaram novos experimentos objetivando avaliar os efeitos de um maior número de combinações entre calcário e gesso nas propriedades do solo e produtividade canavieira. Nestes novos estudos, MORELLI et alii (1992) concluíram que para os latossolos de textura média analisados, CTC = 3,0 meq/100ml de terra, a melhor combinação de calcário e gesso foi de 4,0 + 2,0 t/ha, respectivamente. Com esta combinação obteve-se a melhor produção de cana ao longo de 4 cortes e houve uma boa distribuição de cálcio e magnésio no

perfil do solo, sem no entanto, provocar desequilíbrios nas relações Ca/Mg do solo.

DEMATTE (1992) ressalta que os solos recomendados para utilização de gesso, até o momento, referem-se aos solos ácidos de baixa capacidade de troca catiônica. Comenta que, em solos álicos ou mesmo distróficos, porém de argila de alta atividade, as respostas ao uso do gesso como redutor do bloqueamento químico não foram consistentes, citando como exemplo experimentos instalados na Região de Piracicaba e Santa Bárbara D'Oeste, com cana-de-açúcar, em Podzólico Vermelho Amarelo distrófico de argila de atividade alta.

VITTI et alii (1992) citam resultados de recuperação química através do gesso em solos arenosos distróficos da Região de Ribeirão Preto e sua influência na produtividade de soqueiras de cana-de-açúcar. Foi constatado que a aplicação de 1,0t de gesso/ha em soqueiras aumentou a produtividade da cultura em 10t de cana/ha ano, durante 3 cortes consecutivos, como resultado do aumento da saturação por bases nas camadas de 20 a 40 e 40 a 60 cm de profundidade.

FERREIRA et alii (1987) também obtiveram resultados de recuperação química de subsolos ácidos em Latossolos Vermelho-Amarelos textura média, (Pirassununga/SP). Os autores observaram que o emprego da mistura de calcário calcinado com gesso na proporção de 66%/33% foi eficiente para aumentar o teor de cálcio, magnésio e $S-SO_4^{2-}$ na superfície do solo e em profundidade, o mesmo acontecendo com a saturação por bases, com reflexos na diminuição do Al^{3+} e na sua participação na CTC efetiva. Somam-se a estas modificações o enriquecimento com potássio e magnésio em camadas mais profundas, permanecendo os elementos na zona usualmente ocupada pelas raízes de cana.

Ainda no mesmo sentido, LORENZETTI et alii (1992) obtiveram resultados semelhantes na recuperação química de subsolos ácidos de Areias Quartzosas e Latossolos Vermelho-Escuros textura média, ou seja, utilizando-se de doses e

combinações de calcário e gesso obtiveram elevações dos teores de cálcio e magnésio no perfil do solo com reflexos positivos na saturação por bases. A produtividade da cana-de-açúcar nas parcelas que receberam gesso foi superior quando comparada com as parcelas que receberam somente calcário. Os autores comentam que o incremento na produção de cana na faixa de 10-15%, obtidos principalmente com gesso, mostra ser razoável, pois além do rápido aumento da produtividade permite maior longevidade da soqueira.

ZOTARELLI (1992), de forma semelhante também verificou efeitos lineares de doses de gesso na produtividade de cana-de-açúcar, variedade SP701143, cultivada em Areias Quartzosas do Município de São Manoel/SP.

GAVIOLI et alii (1989), utilizando-se de calcário dolomítico calcinado e dolomítico calcinado mais gesso, em diversas proporções e gesso isoladamente, não verificaram efeitos dos tratamentos na produtividade da cana-de-açúcar, variedade IAC 52-150, assim como a aplicação de 3,5 t de gesso/ha não promoveu a lixiviação do potássio e magnésio.

2.4. Recomendações do gesso agrícola para redução do bloqueamento químico ao desenvolvimento de raízes em subsuperfície de solos oxídicos

LOPES (1986) recomenda a adoção de gesso quando na camada subsuperficial, de 20 a 40cm, o alumínio trocável for superior a 0,5 meq/100 ml de terra ou sua saturação (m%) for superior a 40% e/ou quando os teores de cálcio forem inferiores a 0,3 meq/100 ml de terra. Nestas situações substituir 25% do CaO do calcário por CaO do gesso agrícola quando o cálculo da calagem for feito pelo método da saturação por bases. Quando o cálculo da calagem for efetuado pelo método do Al, Ca e Mg trocáveis, adicionar na forma de gesso agrícola 25% a mais de CaO, em relação ao CaO recomendado pela calagem.

DEMATTE¹ recomenda para a cultura de cana-de-açúcar que sejam observados os resultados de CTC e V% da camada subsuperficial, adotando-se as seguintes doses de gesso (t/ha):

- para CTC menor que 2 meq/100 ml de terra utilizar 2,0, 1,5 e 1,0 t de gesso/ha, respectivamente com saturação por bases menor que 10, entre 10 e 20 e entre 20 e 40.

- com CTC entre 2 e 5 utilizar 3,0, 2,0 e 1,5 t de gesso/ha, respectivamente para V% menor que 10, entre 10 e 20 e entre 20 e 40.

SOUZA (1988) considera que o gesso agrícola deve ser adotado quando a saturação por alumínio exceder 30% ou os teores de cálcio na camada subsuperficial forem inferiores a 0,2 meq/100 ml de solo nas camadas de 20-40 ou 40-60 cm. Recomenda que as dosagens de gesso agrícola devem seguir os teores de argila de solo, ou seja, utilizar 500, 1000, 1500 ou 2000 kg de gesso agrícola/ha para as texturas arenosa, média, argilosa e muito argilosa, respectivamente.

MALAVOLTA (1991) recomenda a utilização de gesso quando a saturação por alumínio for superior a 20 e/ou quando a participação do cálcio na CTC efetiva for inferior a 40%. Observa que para elevar o teor de cálcio trocável no solo em 1 meq/100ml de terra são necessárias 2,5 t de gesso/ha, ou seja, acréscimos de 0,4 meq/100ml de terra para uma tonelada de gesso/ha. Podem ser adotadas as seguintes equações:

$$NG(t/ha) = (0,4 \times CTC_e - \text{meq Ca}/100\text{ml}) \times 2,5$$

ou

$$NG(t/ha) = (\text{meq Al}/100\text{ml} - 0,2.CTC_e) \times 2,5$$

¹. DEMATTE, J.L.I. (ESALQ-Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"), comunicação pessoal, 1993.

YAMADA (1988), estudando a adsorção máxima de sulfato como parâmetro adicional para recomendação de gesso, concluiu que as doses de gesso recomendadas para elevação de cálcio a 2,0 meq/100 ml de terra ou redução do alumínio a 0,5 meq/100ml de terra excederam a capacidade de adsorção máxima de sulfato das amostras avaliadas, camadas subsuperficiais de AQ, PV, LE, LV e LR, implicando em consequente lixiviação do excedente utilizado. O autor sugere que a capacidade de adsorção máxima de sulfato poderia ser utilizada para indicar o limite superior da dose de gesso a ser recomendada, já que o citado parâmetro apresenta correlação significativa com a diferença entre os valores de pH da suspensão solo-solução, em K_2SO_4 1N e KCl 1N, análises estas facilmente adotáveis na rotina laboratorial.

SOUZA (1992), em função das diferenças entre espécies e até mesmo variedades ou cultivares quanto à habilidade de desenvolverem raízes frente às adversidades químicas do solo, sugere que seja feito o teste biológico (RITCHEY et alii, 1983) na propriedade, considerando-se a espécie e/ou variedade a ser adotada. Uma vez constatada uma restrição média ou alta no crescimento de raízes, correspondendo respectivamente à saturação por alumínio de 20 a 40% ou superior a 40% e saturação por cálcio de 60 a 45% ou menor que 45%, a amostra de solo deve ser enviada ao laboratório para determinação da dose de gesso a ser utilizada. Os autores propõem várias equações a serem utilizadas para recomendação do gesso, as quais relacionam:

- teor de S retido no solo/teor de S na solução e teor de argila;
- teor de S retido no solo/teor de S na solução;
- teor de cálcio retido no solo/teor de cálcio na solução e teor de argila, uma vez que correlaciona-se significativamente com teor de S retido no solo/ teor de S na

24.

solução e teor de argila e as determinações seriam mais facilmente realizadas pelos laboratórios;

- apenas o teor de argila ou seja: $NG(\text{kg S/ha})$
 $= 17,0 + 6,508 (\% \text{ argila})$.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização e histórico das áreas experimentais

O presente trabalho constou da instalação de 4 (quatro) experimentos, sendo 2 (dois) em cana-planta e 2 (dois) em cana-soca; todos no Estado de São Paulo.

Os experimentos em cana-planta foram os seguintes:

Experimento 01: instalado nas terras da Usina Bonfim, no município de Guariba, Fazenda Santo Antonio da Estiva, setor 06, talhão 68.

Experimento 02: instalado nas terras da Usina Cruz Alta, município de Olímpia, Fazenda Monplazier, bloco 2121, talhão 123.

Os experimentos em cana-soca foram os seguintes:

Experimento 03 e 04: instalados nas terras da Usina Barra Grande, no município de Lençóis Paulista. O experimento 03 se encontra na Fazenda Mamedina, lote 05,

quadra 01, e o experimento 04 na Fazenda São Domingos, lote 97, quadras 01 e 02.

Em relação ao histórico das áreas as especificações são poucas para o experimento 01, no entanto sabe-se que consta de uma área de reforma, ou seja, a cultura explorada anteriormente foi a cana-de-açúcar. No caso da área 02 a cultura anterior tratava-se de pastagem constituída por grama batatais (*Paspalum notatum* L.), sendo, portanto, o primeiro plantio com a cultura de cana-de-açúcar no local. Quanto ao experimento 03, em soqueira, a sequência de eventos foi a seguinte:

- cultura anterior: cana-de-açúcar, com último corte em 1986;

- após o último corte, em dezembro de 1986, a área foi preparada para o plantio direto, recebendo 1,2 t/ha de calcário. Em janeiro de 1987 foi aplicado o herbicida Glifosato, para eliminação da soqueira, na dose de 6,2 l/ha.

- o plantio da cana foi efetuado em março de 1987, adubando-se com 1000 l/ha da fórmula 2-4-12, complementando-se com 400 kg/ha de Termofosfato e 40 t/ha de torta de filtro dentro do sulco. Após a distribuição e picação da muda, a mesma foi recoberta com terra com aplicação prévia de 1,6 l/ha de Heptacloro no fundo e paredes do sulco, para controle de pragas do solo. A seguir foi aplicado herbicida para controle das ervas daninhas à base de 0,85 l/ha de tebutiuron, 2,6 kg/ha de diuron e 1,5 l/ha de ametrina. Em julho do mesmo ano realizou-se uma complementação de adubação à base de 500 l/ha da fórmula 10-00-12.

Após o corte da cana-planta, em agosto de 1988, com produtividade de 76 t/ha, baixa para a região, aplicou-se

1000 l/ha da fórmula 10-00-12, e para o controle das ervas daninhas 1,8 kg/ha de mistura contendo Hexazinona e Diuron. Em agosto de 1989 procedeu-se o 2º corte da cultura, obtendo-se uma produtividade de 80 t/ha, a partir do qual foi instalado o experimento.

Em relação ao experimento 04, o histórico da área foi o seguinte:

Em dezembro de 1985 a soqueira de cana-de-açúcar foi erradicada e o solo preparado convencionalmente. Após as gradeações pesadas a área recebeu 1 t/ha de calcário dolomítico, sendo posteriormente subsolada. O plantio foi feito em fevereiro de 1986, utilizando-se de adubação de fundação de sulco de 1000 l/ha da fórmula 2-12-12, complementada com 100 kg/ha de uréia. O heptacloro foi colocado no sulco à base de 1,5 l/ha. Em novembro de 1986 a área recebeu 70 kg/ha em cobertura de KCl, sendo o controle de ervas daninhas feito através da mistura de 2,7 l/ha de Ametrina, 0,6 l/ha de terbacil e 2,2 l/ha de 2,4D. A produtividade agrícola no primeiro corte, em julho de 1987, foi baixa (78 t/ha).

→ Após o primeiro corte a soqueira foi adubada com 1000 l/ha de 10-00-12, associada a 100 m³/ha de vinhaça, por intermédio de caminhão. O controle de ervas daninhas foi feito com 1,6 kg/ha da mistura de Hexazinona + Diuron. No segundo corte, julho de 1988, a produtividade foi de 101 t/ha. Após este corte a área foi cultivada recebendo 600 l/ha da fórmula 16-00-00, complementando-se com 100 m³/ha de vinhaça. A mistura de herbicida utilizada foi 1,5 l/ha de Tebutiuron e 2,0 l/ha de 2,4D. Em 1989, agosto, o terceiro corte produziu 88 t/ha, a partir do qual foi instalado o experimento.

3.2. Instalação dos experimentos

3.2.1. Cana-planta

Para os experimentos 01 e 02 o preparo do solo consistiu de gradeações para preparo preliminar, seguido de uma aração profunda com arado de discos e de 02 gradagens de nivelamento. Após estas operações as áreas foram consideradas preparadas para o início dos trabalhos de demarcação e instalação dos experimentos. Para a demarcação dos mesmos utilizou-se de estaqueamento das parcelas e aplicação manual dos insumos nas doses designadas pelos tratamentos adotados.

Os corretivos foram aplicados no experimento 01 em meados de março de 1988 e para o experimento 02 em maio de 1989.

No experimento 01 o plantio foi feito em abril de 1988. O espaçamento utilizado foi de 1,4m entre sulcos com adubação de 50 kg de SO_4 /ha e 1000 kg/ha da fórmula 2,5-10-10 e posterior aplicação de 3,0 kg/ha de zinco na forma de F.T.E BR-12. A variedade adotada foi a SP 71-6163.

Para o experimento 02 a variedade usada foi a SP 71-1406, plantada em maio de 1989 utilizando-se como espaçamento 1,0m entre sulcos e adubação de 1000 kg/ha da fórmula 08-16-12.

Em ambos os casos foi feita a aplicação de cupinícida, sendo que no experimento 01 adotou-se tiodan CE (4,0 l/ha) e no experimento 02, heptacloro 40CE (2,0 l/ha), sendo aplicado no fundo e paredes dos sulcos após distribuição e picação da muda. Concomitantemente à aplicação do inseticida foi realizada a operação de fechamento dos sulcos.

Adotou-se no experimento 01, para controle das ervas daninhas, a mistura de ametrina 500 (3,2 l/ha) + diuron (3,2 l/ha). Para o experimento 02 utilizou-se o tebutiuron, à base de 2,5 l/ha.

Três meses após o plantio procedeu-se uma cobertura com 30 kg de N/ha, na forma de uréia, para ambos os experimentos.

3.2.2. Cana-soca

Conforme já salientado, o experimento 03 constituiu-se de uma soqueira da variedade SP 70-1143, espaçada de 1,1 m e tendo recebido 2 cortes comerciais. Após o 2º corte aguardou-se aproximadamente 30 dias, com o intuito de melhor avaliar a brotação da soqueira no que se refere ao vigor, perfilhamento e porcentagem de falhas. Aparentemente a área encontrava-se em boas condições de ser estudada.

Em relação ao experimento 04, a variedade adotada foi a SP 71-6163, no espaçamento de 1,4 m entre linhas. O experimento foi instalado do 3º para o 4º corte da cultura. Considerando-se a textura argilosa do solo deste experimento, assim como o período seco, aguardou-se um tempo um pouco maior, em relação ao experimento 3, para avaliação da brotação e perfilhamento da soqueira, aproximadamente 60 dias. A brotação e perfilhamento ocorridos foram considerados bons.

Após as escolhas das áreas delimitou-se as parcelas dos experimentos, as quais foram devidamente estaqueadas, com eliminação das soqueiras dos caminhamentos (carreadores do interior da área experimental) através da aplicação de glifosato. Os insumos que faziam parte dos tratamentos foram aplicados manualmente. Após a aplicação dos

insumos foi feito o cultivo tradicional, utilizando-se como adubação 1000 l/ha da fórmula 10-00-12.

Adotou-se a aplicação em todas as parcelas de 200 kg/ha de sulfato de amônio, fornecendo, desta forma, 50 kg/ha de enxôfre objetivando-se a eliminação dos efeitos deste elemento nos tratamentos que não receberam gesso. Para o controle das ervas daninhas utilizou-se no experimento 03 a mistura de Tebutiuron (1,45 l/ha) e DMA-6 (1,80 l/ha), e no experimento 04 a mistura de Estranon (0,15 l/ha) e DMA-6 (2,0 l/ha).

3.3. Características edafoclimáticas das áreas estudadas

A unidade de mapeamento da área 1 é representada por um Latossolo Vermelho Escuro textura argilosa, distrófico. O teor de argila está na faixa de 37% na superfície e 48% a 100 cm de profundidade (Tabela 1). A saturação por bases encontrava-se em torno de 40% na superfície, reduzindo-se para 10% em profundidade (tabela 2). O teor de alumínio trocável não era elevado, ficando entre 0,20 e 0,30 meq/100 ml de solo. Por sua vez, o solo do experimento 02 é constituído por um Podzólico Vermelho Amarelo, textura média/argilosa, distrófico. O teor de argila na superfície é de 19% e no horizonte Bt de 36%, enquanto que a saturação por bases estava na faixa de 30 a 35%, valor este considerado intermediário para a cultura da cana-de-açúcar.

Os solos dos experimentos de soqueiras, experimentos 03 e 04, são bastante distintos no que se refere à textura. O experimento 03 apresenta-se em um solo cujo teor de argila varia entre 6 e 15%, caracterizando quase uma Areia Quartzosa, mas cuja unidade de mapeamento encontra-se como um

Tabela 1. Atributos físicos dos solos utilizados nos experimentos.

31.

PROFUN- DIDADE (cm)	GRANULOMETRIA (%)						GRAU DE FLOC. (%)	RETENCAO DE UMIDADE (%)							Da g/cm3
	AREIA			SILTE	ARGILA			0,01	0,03	0,05	0,33	1,00	5,00	15,0	
	GROSSA	FINA	TOTAL		TOTAL	AGUA		(atm)							
EXPERIMENTO 01 - LE argiloso distrófico															
00-25	14	44	58	05	37	29	22	20	19	15	13	12	12	-	1,6
25-50	13	46	59	04	37	05	86	29	23	15	12	11	11	-	1,4
100-125	06	40	46	06	48	08	83	39	32	18	14	13	08	-	1,2
EXPERIMENTO 02 - PV média/argiloso distrófico															
00-25	-	73	73	08	19	10	47	30	-	20	11	8	-	-	1,5
25-50	-	55	55	09	36	01	97	34	-	24	14	12	-	-	1,5
100-125	-	56	56	12	32	01	97	39	-	28	13	10	-	-	1,4
EXPERIMENTO 03 - LVp média álico															
00-25	02	87	89	5	6	-	-	-	-	-	6,3	-	-	4,6	1,6
25-50	02	83	85	2	13	-	-	-	-	-	7,0	-	-	5,0	1,5
100-125	02	81	83	2	15	-	-	-	-	-	8,0	-	-	5,7	1,5
EXPERIMENTO 04 - LR álico															
00-25	1	48	49	11	40	-	-	-	-	-	20,7	-	-	16,1	
25-50	1	37	38	10	52	-	-	-	-	-	21,7	-	-	17,8	
100-125	1	38	39	16	45	-	-	-	-	-	21,3	-	-	17,8	

Tabela 2. Atributos químicos dos solos utilizados nos experimentos.

Profun- didade (cm)	pH CaCl2	P	SO4	K	Ca	Mg	Al	H+Al	S	T	M.O.	V	m
		(ug/cm3)		meq/100cm3							%		
EXPERIMENTO 01 - LE argiloso distrófico													
00-20	4,7	0,6	14	0,08	0,60	0,30	0,20	1,5	1,00	2,5	2,2	39	20
20-40	4,3	1,5	18	0,06	0,30	0,10	0,30	2,0	0,50	2,5	2,2	20	35
40-60	4,2	0,8	09	0,08	0,20	0,10	0,20	3,6	0,40	4,0	1,4	10	36
EXPERIMENTO 02 - PV média/argiloso distrófico													
00-20	4,6	0,5	08	0,18	0,90	0,80	0,20	3,4	1,90	5,2	2,2	35	12
20-40	4,4	0,4	08	0,09	0,70	0,40	0,40	3,4	1,10	4,5	1,4	25	25
40-60	4,4	0,3	03	0,11	0,80	0,40	0,40	3,3	1,30	4,7	1,2	29	25
EXPERIMENTO 03 - LE média álico													
00-20	4,2	2,0	-	0,13	0,50	0,36	0,64	2,8	0,99	3,7	1,1	27	39
20-40	4,0	6,0	-	0,10	0,38	0,19	1,00	2,7	0,67	3,4	0,9	19	60
40-60	3,9	1,0	-	0,08	0,30	0,17	1,00	2,5	0,55	3,1	1,0	18	68
EXPERIMENTO 04 - LR álico													
00-20	3,9	8,0	-	0,22	0,60	0,35	1,45	6,6	1,17	7,6	2,0	15	55
20-40	3,9	3,0	-	0,11	0,58	0,31	1,50	6,4	1,00	7,3	1,6	13	60
40-60	3,9	2,0	-	0,06	0,65	0,25	1,42	6,4	0,96	7,3	1,5	13	57

Latossolo Vermelho Amarelo textura média, álico. A saturação por bases era baixa, 27% na superfície e 18% a 75 cm de profundidade. O solo do experimento 04 é caracterizado por um Latossolo Roxo álico. O teor de argila é superior a 40% e a saturação por bases encontrava-se em torno de 15%.

Segundo CAMARGO et alii (1974), o município de Olímpia é enquadrado no tipo climático Aw, ou seja, clima tropical úmido com estação chuvosa no verão e estação seca no inverno. Por sua vez, os municípios de Guariba e Lençóis Paulista enquadram-se no tipo climático Cwa, ou seja, mesotérmico de inverno seco em que a temperatura média do mês mais frio é inferior a 18°C e a do mês mais quente ultrapassa 22°C. Também pode ser denominado de "tropical de altitude", conservando as características tropicais que caracterizam o Aw, afora o abrandamento da temperatura.

Os regimes de umidade e térmico das regiões estudadas, segundo OLIVEIRA et alii (1975), são, respectivamente, ústico e isohipertérmico para Olímpia e údico e isohipertérmico para Guariba e Lençóis Paulista.

Tais características definem para a região de Olímpia uma situação climática mais quente, com déficit hídrico mais acentuado do que nas demais áreas estudadas (Tabela 3).

Tabela 3. Dados pluviométricos dos locais dos experimentos.

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL
LOCAL 01 - FAZENDA SANTO ANTONIO DA ESTIVA - USINA BONFIM - GUARIBA													
1987													
1988	138	145	134	272	63	11	0	0	8	173	97	185	1226
1989	219	280	153	47	110	79	76	15	99	32	149	249	1508
1990	270	208	201	94	75	5	41	47	38	47	105	206	1337
1991	273	126	311	186	36	5	28	0	83				
LOCAL 02 - FAZENDA WOMPLAZIER - USINA CRUZ ALTA - OLIMPIA													
1987	273	170	123	50	94	7	9	3	79	92	224	266	1389
1988	102	263	160	96	55	4	0	0	1	128	71	181	1060
1989	279	362	98	16	24	90	40	14	52	70	120	272	1436
1990	280	96	233	107	61	5	28	105	36	78	92	183	1304
1991	370	253	276	142	27	10	5	0	59				
LOCAL 03 - FAZENDA WAMEDINA - USINA BARRA GRANDE - LENCOIS PAULISTA													
1987	265	250	67	82	206	107	26	16	101	99	303	185	1707
1988	231	108	198	97	145	17	0	0	19	206	111	229	1361
1989	476	217	149	48	64	84	104	43	81	82	164	360	1872
1990	343	118	207	19	54	22	69	82	73	142	111	150	1390
1991	238	206	276	187	59	57	34	0					
LOCAL 04 - FAZENDA SAO DOMINGOS - USINA BARRA GRANDE - LENCOIS PAULISTA													
1987	281	211	102	46	226	111	23	22	72	77	203	118	1492
1988	200	192	162	122	125	25	-	-	22	190	165	219	1422
1989	425	201	132	49	78	59	82	51	65	66	102	266	1576
1990	447	169	230	31	54	8	71	57	70	142	135	183	1587
1991	245	226	328	136	54	70	32	3					

3.4. Delineamento experimental, tratamentos e tamanho das parcelas

3.4.1. Cana-planta

Os ensaios de cana-planta, no experimento 01, foram instalados em blocos casualizados num esquema fatorial 4x4 com cinco repetições, totalizando, portanto, 16 tratamentos e 80 parcelas, e no experimento 02 com quatro repetições, totalizando 16 tratamentos com 64 parcelas.

Os tratamentos constaram da adição de quatro níveis de calcário e quatro de gesso. Quanto aos tratamentos com calcário, utilizou-se da recomendação do IAC para cálculos de calagem objetivando-se a obtenção dos seguintes níveis de saturação por bases:

Zero - saturação por bases original do solo
Um - elevação da saturação por bases a 40
Dois - elevação da saturação por bases a 60
Três - elevação da saturação por bases a 80

Quanto ao gesso, os tratamentos foram nas seguintes doses: 0,0, 1,5, 3,0 e 6,0 t/ha.

A Tabela 4 contém os tratamentos com as doses e combinações adotadas de calcário e gesso nos dois experimentos de cana-planta.

Com relação ao tamanho das parcelas, adotou-se para o experimento 01 sete linhas de 10 m de comprimento, espaçadas de 1,4 m, totalizando 98 m²/parcela. Foram consideradas úteis as 5 linhas centrais. Para o experimento 02 foram adotados 5 linhas de 10m de comprimento, espaçadas de 1,0m totalizando 50 m²/parcela. Foram consideradas úteis as 3 linhas centrais.

Tabela 4. Doses e combinações dos insumos utilizados nos Experimentos 01 e 02 (Cana-planta).

Trata- mento	Calcário (t/ha)		Gesso t/ha	Calcário/ gesso
	Olimpia	Guariba		
1	0,0	0,0	0,0	C0 G0 ^(*)
2	0,0	0,0	1,5	C0 G1
3	0,0	0,0	3,0	C0 G2
4	0,0	0,0	6,0	C0 G3
5	0,4	1,4	0,0	C1 G0
6	0,4	1,4	1,5	C1 G1
7	0,4	1,4	3,0	C1 G2
8	0,4	1,4	6,0	C1 G3
9	1,4	2,6	0,0	C2 G0
10	1,4	2,6	1,5	C2 G1
11	1,4	2,6	3,0	C2 G2
12	1,4	2,6	6,0	C2 G3
13	2,4	3,8	0,0	C3 G0
14	2,4	3,8	1,5	C3 G1
15	2,4	3,8	3,0	C3 G2
16	2,4	3,8	6,0	C3 G3

(*) C0, C1, C2 e C3 = doses de calcário para V% = original do solo, 40, 60 e 80% respectivamente.

G0, G1, G2 e G3 = doses de 0,0 - 1,5 - 3,0 e 6,0 t/ha de gesso.

3.4.2. Cana-soca

O delineamento experimental adotado para ambos os experimentos de soqueiras permitiu o estudo de sobreposição de dosagens em dois anos consecutivos. Cada experimento pode ser considerado como 02 fatoriais, ou seja, cana-soca 01 (1º ano), no caso, fatorial $2 \times 2 \times 4$, e cana-soca 02 (2º ano), no caso, fatorial $2 \times 2 \times 4$, instalados em blocos casualidades com 4 repetições.

Para o experimento 03 foram adotadas dosagens menores de calcário e gesso, devido à menor CTC do solo, conforme discriminado a seguir:

P_0 = sem fósforo
 P_1 = 53 kg de P_2O_5 /ha
 C_0 = sem calcário
 C_1 = 2 t/ha
 G_0 = sem gesso
 G_1 = 2 t/ha
 G_2 = 4 t/ha
 G_3 = 6 t/ha

As parcelas do experimento 03 constaram de 8 linhas de 10 m de comprimento, espaçadas de 1,1 m, totalizando 88 m², sendo consideradas úteis as 6 linhas centrais.

Para o experimento 04, em função da maior CTC do solo, foram adotadas as seguintes dosagens:

P_0 = sem fósforo
 P_1 = 53 kg de P_2O_5 /ha
 C_0 = sem calcário
 C_1 = 3 t/ha

G_0 = sem gesso

G_1 = 3 t/ha

G_2 = 6 t/ha

G_3 = 9 t/ha

Com relação ao tamanho das parcelas, para o experimento 04 a área escolhida apresentava-se com espaçamento de 1,4 m entre linhas, sendo adotadas 8 linhas de 10 m de comprimento para cada parcela, totalizando área de 112 m². Também foram consideradas úteis as 6 linhas centrais de cada parcela.

A relação dos tratamentos adotados no 1º e 2º ano, para os dois experimentos de cana-soca, encontra-se na Tabela 5.

Principais insumos utilizados

Para os estudos em cana-planta, os insumos utilizados com dosagens variáveis foram o calcário e o gesso. Nos experimentos de soqueira, além do calcário e gesso utilizou-se o fósforo na forma líquida (ácido fosfórico).

Os resultados analíticos destes insumos estão apresentados na Tabela 6.

3.5. Avaliação e condução dos experimentos

As avaliações dos efeitos dos tratamentos foram feitas através de análises de solo e produção de colmos.

Tabela 5. Tratamentos adotados nos experimentos 03 e 04.

Nº	Primeiro ano				Segundo ano	
	P ₂ O ₅	Calcário	Gesso	Cal.+Gesso	Gesso	Cal.+Gesso
	(kg/ha)	----- t/ha -----				
01	P0	-	-	-	-	-
02	P1	-	-	-	-	-
03	P0	C1	-	-	-	-
04	P1	C1	-	-	-	-
05	P0	-	G1	-	G0	-
06	P1	-	G1	-	G1	-
07	P1	-	G1	-	G2	-
08	P1	-	G1	-	G3	-
09	P1	-	G1	-	-	-
10	P1	-	G1	-	-	G1G0
11	P1	-	G1	-	-	C1G1
12	P1	-	G1	-	-	C1G2
13	P1	-	G1	-	-	C1G3
14	P0	-	G2	-	-	-
15	P1	-	G2	-	-	-
16	P0	-	G3	-	-	-
17	P1	-	G3	-	G0	-
18	P1	-	G3	-	G1	-
19	P1	-	G3	-	G2	-
20	P1	-	G3	-	G3	-
21	P1	-	G3	-	-	C1G0
22	P1	-	G3	-	-	C1G1
23	P1	-	G3	-	-	C1G2
24	P1	-	G3	-	-	C1G3
25	P0	-	-	C1G1	-	-
26	P1	-	-	C1G1	-	-
27	P0	-	-	C1G2	-	-
28	P1	-	-	C1G2	-	-
29	P0	-	-	C1G3	-	-
30	P1	-	-	C1G3	-	-

Tabela 6. Características físicas e químicas dos insumos utilizados.

Insumo	CaO	MgO	S	PN	RE	PRNT	PENEIRAS (%)			
	%						10	20	30	Fundo

EXPERIMENTO 01

Calcário	42,9	11,1	-	104,3	78,4	82	0	15	25	60
Gesso	26,9	-	15,9	-	-	-	-	-	-	-

EXPERIMENTO 02

Calcário	30,8	20,9	-	103,4	96,6	100	0	0	9	91
Gesso	26,9	-	15,9	-	-	-	-	-	-	-

EXPERIMENTO 03

Calcário	39,8	10,1	-	95,8	-	84	0	1	30	69
Gesso	24,1	-	12,6	-	-	-	-	-	-	-

EXPERIMENTO 04

Calcário	39,8	10,1	-	95,8	-	84	0	1	30	69
Gesso	24,1	-	12,6	-	-	-	-	-	-	-

Obs.: Nos experimentos 03 e 04, os quais apresentam tratamentos com e sem fósforo, adotou-se para as parcelas com fósforo 500 l/ha de ácido fosfórico diluído (10,64% de P_2O_5), totalizando 53 kg de P_2O_5 /ha para as citadas parcelas.

3.5.1. Amostragens de solo nos experimentos de cana-planta

Somando-se à amostragem prévia dos locais dos experimentos, foram realizadas amostragens compostas (constituídas de 8 subamostras) de solos, de todas as parcelas, 6 meses após a instalação do ensaio, e ano a ano após o corte da cultura, nas profundidades de 00-20, 20-40 e 40-60 cm. Para retirada das amostras utilizou-se de trado holandês, posicionando-o na entre-linha da cultura. No experimento 01 foram realizadas 4 amostragens de solo e no experimento 02 três amostragens.

As análises químicas de rotina das amostras de solo foram realizadas segundo os métodos descritos por RAIJ e QUAGGIO (1983), bem como a determinação de $S-SO_4^{2-}$, extraído pelo NH_4OAc 0,5N em $HOAc$ 0,25N e quantificação por turbidimetria descritos por VITTI (1989).

3.5.2. Amostragens de solo nos experimentos de cana-soca

Tanto para o experimento 03 como para o 04 os solos das áreas foram amostrados previamente às instalações dos experimentos (5 amostragens compostas por bloco) e posteriormente à aplicação dos tratamentos foram realizadas mais duas amostragens. A primeira, feita um ano após a aplicação da 1ª etapa dos tratamentos, consistiu de uma amostragem composta por parcela em todos os blocos e na segunda, um ano após a aplicação da 2ª etapa dos tratamentos (2 anos após o início dos estudos), amostrou-se apenas um bloco por experimento.

As profundidades adotadas foram as mesmas adotadas para os experimentos de cana-planta, acrescentando-se a profundidade de 75-100 cm.

3.5.3. Avaliação da produção de colmos da cana-de-açúcar

A produção de colmos da cana-de-açúcar foi avaliada através de pesagens, considerando-se as áreas úteis das parcelas. No experimento 01 obteve-se os resultados de 04 cortes e no experimento 02 de 03 cortes.

Com relação aos experimentos 03 e 04 foram realizadas avaliações de 03 cortes e 02 cortes, respectivamente, já que a produção do 2º corte do experimento 04 não pôde ser avaliada devido a incêndio ocorrido na área em que o experimento se incluía.

3.6. Análises estatísticas

Os resultados obtidos foram processados e submetidos a análises estatísticas pelo Teste F, sendo que alguns dos resultados de maior interesse e maior significância probabilística também foram submetidos a estudos de correlações e regressões, utilizando-se do programa SANEST de microcomputadores.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Influência do calcário e gesso aplicados em pré-plantio da cana-de-açúcar, nos atributos químicos do Latossolo Vermelho Escuro Argiloso Distrófico-Experimento 01

4.1.1. Influência dos tratamentos nos teores de cálcio, magnésio e sulfato

As figuras 01, 02 e 03 contêm respectivamente os resultados dos teores de cálcio, magnésio e sulfato no perfil do solo, em função das doses e combinações de calcário e gesso utilizadas e do tempo após a aplicação dos insumos.

Analizando-se a figura 01, verifica-se que o gesso foi bastante efetivo no fornecimento de cálcio para as três camadas de solo analisadas, logo aos 6 meses após sua aplicação, principalmente quando combinadas com calcário. Na camada superficial a maior dosagem de calcário, 3,8 t/ha, calculada para atingir 80% de saturação por bases, na ausência de gesso, proporcionou ao solo 2,0 meq/100 ml de terra. Esta mesma dosagem de calcário, quando combinada com 6 toneladas de gesso/ha, atribuiu 4,0 meq/100 ml de terra de acréscimo aos valores originais. Na ausência do calcário, esta mesma dosagem de gesso contribuiu com apenas 0,5 a 0,6

FIGURA 01-- Variação do Cálcio no perfil do LEd em função do tempo após aplicação dos tratamentos

FIGURA 02 -Variação do Magnésio no perfil do LEd em função do tempo após aplicação dos tratamentos

FIGURA 03. Variação do Sulfato no perfil do LEd em função do tempo após aplicação dos tratamentos

meq de cálcio/100 ml de terra, mostrando, portanto, uma interação bastante positiva entre os dois insumos, com relação ao fornecimento de cálcio.

Para as demais profundidades, 20-40 e 40-60 cm, os efeitos do calcário, isoladamente, no fornecimento de cálcio ao solo, sofrem significativas reduções de eficiência, enquanto o gesso, principalmente quando combinado com o calcário, praticamente triplicou os teores de cálcio de 20-40 cm, passando de valores ao redor de 0,3 meq/100 ml de terra para valores em torno de 0,8 meq/100 ml de terra. Na camada de 40-60 cm, para a mesma época, os valores passaram de 0,25 meq/100 ml para 0,50 meq/100 ml de terra.

Com relação ao magnésio, ainda para a 1ª época de amostragem, a figura 02 ilustra a ação das maiores dosagens do gesso em reduzir os teores deste elemento na superfície do solo, elevando-os na subsuperfície, conforme também constatado por QUAGGIO et alii (1982) e por MORELLI et alii (1987). Na dosagem de 3,8 t de calcário/ha, combinada à dosagem de 1,5 t de gesso/ha ou na sua ausência, a camada superficial atingiu, aos seis meses após a aplicação dos insumos, valores em torno de 1,2 meq de magnésio/100 ml de terra, enquanto que, quando se adotou dosagens de 3 ou 6 t de gesso/ha, os valores encontrados situavam-se ao redor de 0,8 meq/100 ml de terra.

Este efeito das maiores dosagens de gesso em acelerar a lixiviação de magnésio através do perfil do solo pode ser confirmado observando-se os significativos incrementos nos teores do elemento na camada de 20 a 40 cm de profundidade, a qual passou de valores em torno de 0,15 meq/100 ml de terra para teores ao redor de 0,3 meq/100 ml, nas maiores dosagens combinadas de calcário e gesso, estendendo-se até a camada de 40 a 60 cm, onde seus teores foram triplicados na combinação 3,8 t de calcário + 6,0 t de gesso/ha.

Considerando-se a segunda época de amostragem, 18 meses após a aplicação dos insumos e, portanto, após o primeiro corte da cultura, embora os teores de cálcio trocáveis da camada superficial praticamente não tenham sofrido reduções (excessão feita à combinação de 3,8 t de calcário/ha + 6,0 t de gesso/ha), a redistribuição do mesmo no perfil continuou. Basta observar que na camada de 20-40 cm houve elevações dos teores de cálcio da primeira para a segunda época de amostragem, passando de valores entre 0,6 e 0,8 meq/100 ml de terra para valores entre 0,7 e 1,2 meq/100 ml de terra.

Na camada de 40 a 60 cm os teores passaram de 0,45 meq/100 ml de terra para 1,0 meq/100 ml de terra.

No que se refere ao magnésio, figura 02, observa-se que na camada superficial, considerando-se o período de 6 a 18 meses após a aplicação dos insumos, ocorre uma tendência de redução dos teores do elemento a partir das combinações de calcário com a dose de 6 t de gesso/ha, com consequente incremento nas camadas subsuperficiais, principalmente na camada de 40 a 60 cm.

Nas amostragens seguintes, 30 e 42 meses após a aplicação dos insumos, as reduções nos teores de magnésio da camada superficial do solo passam a ser evidentes nas combinações das doses de calcário com a dose de 1,5 t de gesso/ha. A partir dos 30 meses após a aplicação dos tratamentos existe uma tendência bastante clara de homogenização dos teores de magnésio no perfil do solo; basta observar que, nesta época, os teores do elemento para as doses de 2,6 e 3,8 t/ha de calcário, combinadas com 1,5 t de gesso/ha, situam-se em torno de 0,4 meq/100 ml de terra para a camada de 0 a 20 cm e para a superfície do solo. Verifica-se ainda que na última amostragem, aos 42 meses de aplicação dos insumos, as camadas de 20 a 40 e 40 a 60 cm apresentam teores idênticos, variando entre 0,1 e 0,2 meq/100 ml de terra, sendo que a camada superficial contém teores apenas

ligeiramente maiores, ou seja, 0,2 a 0,3 meq de magnésio/100 ml de terra.

As tendências observadas do efeito do gesso na redistribuição do cálcio no perfil do solo são bastante semelhantes às comentadas para o magnésio, estando também de acordo com os resultados obtidos por diversos autores, dentre eles REEVE e SUMNER (1980), RITCHEY et alii (1980), RITCHEY et alii (1981). QUAGGIO et alii (1982) e PAVAN e BINGHAM (1982). Aos 30 meses da aplicação dos insumos os teores de cálcio na camada superficial, para as doses de 1,4 e 2,6 t de calcário/ha, combinadas com gesso, situavam-se entre 0,5 e 1,5 meq/100 ml de terra, enquanto para as camadas de 20 a 40 e 40 a 60 cm variando igualmente, entre 0,2 e 1,2 meq/100 ml de terra.

Na última amostragem, os valores encontrados na superfície mostravam apenas variações para as doses de calcário, enquanto para as camadas de 20 a 40 e 40 a 60 cm os teores de cálcio variavam respectivamente entre 0,2 e 0,4 meq/100 ml de terra para a testemunha do gesso e 0,4 a 0,8 meq/100 ml para as doses de 3 ou 6 t de gesso/ha.

Torna-se interessante observar que após três períodos chuvosos, relativos aos anos agrícolas de 88/89, 89/90 e 90/91, os insumos aplicados na superfície do solo e incorporados com arado a uma profundidade aproximadamente de 25cm, mesmo considerando-se as maiores dosagens (3,8 t de calcário/ha + 6,0 t de gesso/ha), foram totalmente solubilizados, não devendo apresentar, a partir do 3º corte da cana-de-açúcar, 4º, 5º e 6º cortes, possibilidade de fornecimento de cálcio, magnésio e/ou correções de pH e parâmetros correlacionados.

A figura 03 contém os resultados obtidos para o sulfato no perfil do solo em função das épocas de amostragens consideradas. Verifica-se que existe uma signifi-

cativa proporcionalidade entre os teores de sulfato e as doses de gesso adotadas, e ainda que os incrementos, tanto de cálcio como de magnésio, ao longo do perfil do solo, são acompanhados por elevações dos teores deste ânion indicando a formação dos pares iônicos entre o sulfato e o cálcio e o sulfato e o magnésio, com caminhamento destes ao longo do perfil, conforme propõem PAVAN e BINGHAM (1982) e PAVAN et alii (1984). Saliente-se ainda que, na terceira época de amostragem, quando o sulfato atinge valores bastante elevados na subsuperfície, se comparado à superfície do solo, ocorrem também os maiores valores de cálcio e magnésio obtidos para a subsuperfície. Nesta época ocorre, portanto, a maior homogeneização ou melhor distribuição destes nutrientes no perfil do solo.

Ainda com relação aos teores de sulfato na 3ª amostragem, constata-se que, na ausência do calcário, existe uma manutenção de maiores quantidades de $S-SO_4^{2-}$ na superfície do solo, justificada pela menor elevação do pH (Figura 06), conforme também constatado por COUTO et alii (1979) e COSTA (1980), ou seja, a menor neutralização das cargas positivas resultam na maior adsorção de sulfato. Paralelamente, nas camadas subsuperficiais são encontrados os maiores teores de sulfato, quando se adota a associação do calcário e gesso, já que existe um caminhamento mais acelerado do $S-SO_4^{2-}$ ao longo do perfil do solo.

4.1.2. Influência dos tratamentos na Soma e Saturação por Bases

Os resultados dos valores de soma e saturação por bases, em função dos tratamentos adotados e do tempo de reação no solo, constam das figuras 04 e 05, respectivamente. As tendências observadas para os valores de cálcio e magnésio determinam, diretamente, através de efeito somatório, as oscilações da soma e saturação por bases, calculados a partir daqueles.

Verifica-se através destes parâmetros que o efeito do calcário foi bastante efetivo na elevação da fertilidade da camada superficial, onde o gesso, independentemente da dosagem utilizada, praticamente não atuou, exceptuando-se a primeira amostragem, a qual foi realizada logo aos seis meses após a aplicação dos insumos.

As doses utilizadas do calcário, calculadas para atingir 40, 60 e 80% de saturação por bases, foram bastante efetivas na elevação do parâmetro considerado, apenas para o primeiro ano após aplicação, ou seja, no primeiro corte da cultura, 18 meses após a aplicação dos insumos, as saturações por bases já se encontravam abaixo dos valores pretendidos. Após o 3º corte, 42 meses após a aplicação, metade do ciclo pretendido para a cultura da cana-de-açúcar, mesmo as maiores dosagens utilizadas já se encontravam com valores próximos aos originais do solo.

Com relação às camadas subsuperficiais, o calcário se mostrou pouco eficiente em promover a redistribuição dos nutrientes, enquanto que o gesso, principalmente quando associado ao calcário, promoveu efeitos bastante significativos, resultando na elevação dos valores de S e V%.

FIGURA 04 - Variação da Soma de Bases no perfil do LEd em função do tempo após aplicação dos tratamentos

FIGURA 05 — Variação da Saturação por Bases no perfil do LEd em função do tempo após aplicação dos tratamentos

Na combinação de 3,8 t/ha de calcário + 6,0 t/ha de gesso, logo aos seis meses após aplicação, os valores de S e V% até 60 cm de profundidade praticamente dobraram, triplicando aos 18 meses e prolongando-se parcialmente até os 42 meses. Resultados bastante semelhantes também foram obtidos por MORELLI et al. (1987) e MORELLI et alii (1993).

4.1.3. Efeitos dos tratamentos no pH em CaCl_2 , Saturação por Alumínio (m%) e na Capacidade de Troca de Cátions

As figuras 06, 07 e 08 contêm, respectivamente, as alterações no pH em CaCl_2 , m% e CTC, em função dos tratamentos adotados.

Com relação ao pH, as variações encontradas na superfície do solo são proporcionais às dosagens de calcário utilizadas. Nas camadas subsuperficiais a influência do calcário é menor, provocando alterações nos valores de pH, da ordem de 0,2 a 0,5 unidade.

Com relação ao gesso observa-se uma pequena tendência ascendente dos valores de pH em função dos aumentos das doses para as 4 épocas consideradas. Estas mesmas tendências também foram constatadas por PAVAN e BINGHAM (1982), PAVAN et alii (1984), dentre outros, e, segundo PAVAN e VOLKWEISS (1986), as elevações do pH do solo, devido à adição do gesso agrícola, estariam relacionadas à diminuição da reação de hidrólise do Al^{3+} devido à formação de AlSO_4^+ e a diversas reações envolvendo a liberação de OH^- (colóides com cargas pH dependentes) e a adsorção de S-SO_4^{2-} , resultando na precipitação de Al^{3+} , fenômenos estes originalmente denominados como "auto-calagem" por REEVE e SUMNER (1972).

D O S E S D E G E S S O (t/ha)

FIGURA 06 - Variação de pH em CaCl_2 no perfil do LEd em função do tempo após aplicação dos tratamentos

—●— 0,0 t de calcário/ha
 —▲— 1,4 t de calcário/ha
 —■— 2,6 t de calcário/ha
 —◆— 3,8 t de calcário/ha

FIGURA 07 - Variação da Saturação por Alumínio no perfil do LEd em função do tempo após aplicação dos tratamentos

FIGURA 08 - Variação da CTC no perfil de LEd em função do tempo após aplicação dos tratamentos.

Com relação à CTC (Figura 8), verifica-se que na camada superficial e subsuperficial, para a primeira época de amostragem, ocorre um sensível incremento com o aumento das doses de calcário, provavelmente um efeito do acúmulo de cálcio e/ou magnésio solubilizado, sem, no entanto, estar associado às cargas negativas do solo, já que se trata da capacidade de troca de cátions calculada.

De forma geral, para as várias profundidades analisadas, especialmente para a terceira época de amostragem, verifica-se um incremento da CTC, proporcionalmente às dosagens de gesso utilizadas. Estes incrementos na CTC coincidem com incrementos do sulfato (Figura 03) podendo-se explicar tais efeitos através da adsorção específica, conforme proposto por PAVAN e BINGHAM (1982) e PAVAN et alii (1984).

No que se refere à saturação por alumínio, o gesso apresentou alta eficiência na sua redução. Analisando-se a figura 07 verifica-se que aos 6 meses após a aplicação dos tratamentos, nas maiores dosagens de gesso, e principalmente quando associadas com o calcário, a saturação por alumínio na camada superficial foi totalmente anulada e nas camadas subsuperficiais de 20-40 e 40-60 cm as reduções foram respectivamente de 35% para 10% e de 40% para 10 a 20%.

Para a segunda época de amostragem, ou seja, 18 meses após a aplicação dos insumos, ainda se verifica um efeito progressivo na redução da saturação por alumínio para as doses de 2,6 e 3,8 t/ha de calcário associadas a 1,5 e 3,0 t/ha de gesso nas profundidades de 20-40 e 40-60 cm. Na ausência de gesso, as doses de 2,6 e 3,8 t/ha de calcário também foram efetivas na redução de m% até a profundidade de 20 a 40 cm; porém, de 40 a 60 cm estes efeitos do calcário, isoladamente, são bastante reduzidos. Estes resultados podem ser compreendidos quando se considera a maior solubilidade do $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ em relação ao CaCO_3 e MgCO_3 do calcário, conferindo maior velocidade de movimentação dos cátions básicos ao longo

do perfil do solo e, conseqüentemente, reduzindo a saturação por alumínio a maiores profundidades num menor período de tempo.

Decorridos 30 meses do início dos estudos, apenas as maiores doses de calcário e gesso combinadas mantiveram baixos os níveis de saturação por alumínio nas camadas subsuperficiais. Aos 42 meses, os níveis de saturação por alumínio já assumiram valores limitantes ao desenvolvimento normal do sistema radicular da cana-de-açúcar.

Para a superfície do solo, tanto aos 30 meses como aos 42 meses após a aplicação dos insumos, as dosagens de 2,6 e 3,8 t de calcário/ha, calculadas para atingir 60 e 80% de saturação por bases, se mostraram efetivas em manter baixos níveis de saturação por alumínio, independentemente das associações com doses de gesso, embora neste período já se verificasse uma tendência de elevação da saturação por alumínio passando de valores entre 5 e 10% para valores entre 15 e 30%.

4.2. Influência do calcário e gesso aplicados em pré-plantio da cana-de-açúcar nos atributos químicos de um Podzólico Vermelho Amarelo textura média/argilosa, distrófico-Experimento 02

4.2.1. Influência dos tratamentos nos teores de cálcio, magnésio, sulfato e nos parâmetros de soma e saturação por bases.

As figuras 09, 10, 11, 12 e 13 contêm, respectivamente, os resultados das modificações provocadas nos teores de cálcio, magnésio e sulfato e nos parâmetros de soma e saturação por bases, ao longo do perfil do solo, e em função do tempo após aplicação dos insumos.

Conforme pode ser constatado na figura 09, seis meses após a aplicação dos tratamentos verifica-se uma significativa alteração nos teores de cálcio, principalmente nas camadas de 00-20 e 20-40 cm. Na camada superficial os teores de cálcio, na ausência de calcário e gesso, passaram de 1,0 meq/100 ml de terra a 2,5 meq/100 ml de terra na dose 2,8 t de calcário/ha.

Verifica-se também que em função do aumento das doses de gesso, combinadas com as três primeiras doses de calcário, ocorreu um significativo incremento dos teores de cálcio trocável no solo. Basta verificar que na dosagem de 1,4 t de calcário/ha os valores de cálcio passaram de 1,6 meq/100 ml de terra, na ausência de gesso, para 3,0 meq/100 ml de terra na dosagem de 6,0 t de gesso/ha.

Para esta mesma época de amostragem, também foram significativas as modificações provocadas pelos tratamentos nas camadas subsuperficiais, principalmente na maior

D O S E S D E G E S S O (t/ha)

FIGURA 09 - Variação do Cálcio no perfil do PV em função do tempo após aplicação dos tratamentos

FIGURA 10 - Variação do Magnésio no perfil do PV em função do tempo após aplicação dos tratamentos

dosagem de calcário, mesmo na ausência de gesso e nas menores doses de calcário combinadas com doses de gesso.

Comparando-se os resultados obtidos no LEd com as modificações obtidas no solo em questão, PVm/arg, verifica-se que neste último o calcário proporcionou maiores alterações em profundidade, provavelmente em função de suas características físicas e químicas, menor teor de argila e maior CTC.

Após o primeiro corte da cultura, ou seja, 18 meses decorridos da aplicação dos tratamentos, os teores de cálcio na superfície sofrem sensíveis reduções, se comparado com a primeira amostragem. No entanto, nas camadas subsuperficiais ocorreram incrementos para o cálcio, principalmente para as menores dosagens de calcário, independente das doses de gesso. Na ausência do calcário as doses de 3,0 e 6,0 t de gesso/ha também foram efetivas na elevação dos teores do cálcio até a profundidade de 60 cm.

Na terceira amostragem, 30 meses após a aplicação dos insumos, são verificadas na camada superficial reduções nos teores de cálcio do solo, em relação aos períodos anteriores, nas duas primeiras dosagens de calcário combinadas ou não com gesso. Na ausência de calcário mesmo as maiores dosagens de gesso já não apresentam diferenças em relação à testemunha, confirmando a maior velocidade de reação destes insumos no PVm/arg, se comparado ao LEd.

Para as camadas de 20 a 40 e 40 a 60 cm, verifica-se uma sensível redução do cálcio no solo, basta verificar que os teores nestas camadas passaram de valores ao redor de 1,0 a 1,7 meq/100 ml de terra aos 18 meses para valores menores que 1,0 meq/100 ml de terra, independente das doses e combinações dos insumos.

Com relação ao magnésio, figura 10, analisando-se a camada de 00 a 20 cm de profundidade, verifica-se que, aos seis meses após a aplicação dos tratamentos, ocorre uma elevação nos teores do elemento proporcionalmente às

dosagens de calcário utilizadas devendo-se considerar também o elevado teor do elemento no calcário utilizado e pouca influência do gesso.

No entanto, ao considerar-se os resultados obtidos para a segunda época de amostragem, verifica-se uma nítida influência do gesso em reduzir os teores de magnésio nas camadas de 00-20 e 20-40cm, incrementando-os na camada de 40-60cm. Verifica-se que os teores de magnésio na testemunha absoluta aos 18 meses encontravam-se ao redor de 0,9 meq/100 ml de terra e quando adotou-se 6 t de gesso/ha passaram para valores ao redor de 0,4 meq/100 ml de terra. Também são constatadas reduções para a amostragem seguinte, 30 meses após a aplicação dos tratamentos, já que a testemunha encontrava-se com 0,7 meq/100 ml de terra e o tratamento com a maior dose de gesso com 0,3 meq/100 ml de terra.

Nas camadas subsuperficiais, aos seis meses após a aplicação dos insumos, as alterações nos teores de magnésio do solo também são elevadas e proporcionais às dosagens de calcário (com elevada percentagem de MgO) utilizadas, ou seja, as maiores alterações são verificadas para a dose de 2,8 t/ha, independente da dose de gesso. Observa-se, no entanto, uma tendência de elevação do teor de magnésio na camada de 20 a 40 cm em função do aumento das doses de gesso, apenas para as combinações com as menores dosagens de calcário.

Para a segunda época de amostragem, 18 meses após a aplicação dos insumos, constatou-se nas camadas de 20 a 40 e 40 a 60 cm uma elevação nos teores de magnésio para as doses intermediárias de calcário, também independentemente das combinações com gesso, verificando-se, ainda, tendências do efeito das doses de gesso em elevar os teores de magnésio em profundidade concomitantemente às reduções observadas para as camadas superficiais, conforme também constatado por RITCHEY et alii (1980) e QUAGGIO et alii (1982).

Aos 30 meses, constata-se também uma redução nos teores do elemento para as camadas de 20-40 e 40-60 cm, já que os valores que se encontravam ao redor de 0,6 a 0,8 meq/100 ml de terra aos 18 meses passaram para 0,4 a 0,6 meq/100 ml de terra no período considerado, independente das doses e combinações de calcário e gesso utilizadas. Verifica-se, portanto, também para o PVm/arg a falta de efetividade, tanto do calcário como do gesso, em estender seus efeitos residuais durante o ciclo completo da cultura de cana-de-açúcar.

Com referência ao sulfato, os resultados obtidos (Figura 11) evidenciam uma rápida ação do gesso no solo, já que aos seis meses após a aplicação do insumo os teores de sulfato, tanto na camada superficial como nas camadas de 20-40 e 40-60 cm, sofreram sensíveis incrementos, proporcionalmente às dosagens utilizadas. Na superfície, verifica-se que os teores passaram de 10 ppm para 100-140 ppm e na subsuperfície de 10 ppm para 40 a 50 ppm. Aos 18 e aos 30 meses a camada superficial passa a experimentar decréscimos nos teores de sulfato, acompanhadas de novos e proporcionais incrementos nas camadas subsuperficiais.

Os resultados obtidos para soma e saturação por bases, parâmetros estes calculados em função das alterações do cálcio e magnésio, encontram-se apresentados nas figuras 12 e 13.

FIGURA 11 - Variação do SO₄ no perfil do PV em função do tempo após aplicação dos tratamentos

FIGURA 12 - Variação da Soma de Bases no perfil do PV em função do tempo após aplicação dos tratamentos

FIGURA 13- Variação da Saturação por Bases no perfil do PV em função do tempo após aplicação dos tratamentos

Os valores de soma de bases encontrados são proporcionais ao efeito somatório das alterações nos teores de cálcio e magnésio, já que poucas modificações foram observadas nos valores de potássio do solo, em função dos insumos utilizados. Desta forma, o valor S na camada superficial do solo sofreu incrementos na avaliação efetuada aos seis meses após a aplicação das doses de calcário e gesso, como resultado da elevação dos teores de cálcio proporcionado pelo calcário e gesso e da elevação do magnésio, basicamente em função do calcário.

Na camada de 20 a 40 cm, os incrementos no valor S proporcionados pelo calcário e pelo gesso, os quais podem ser observados na figura 12, ocorreram em função da elevação do cálcio, liberado pelas doses crescentes de calcário e gesso e pelos incrementos observados nos teores de magnésio em função das doses de calcário.

Aos 18 e 30 meses após a aplicação dos insumos, na camada superficial, observa-se apenas uma variação do valor S em função das doses crescentes de calcário, já que o gesso aumentou os teores de cálcio, porém reduziu os teores de magnésio, anulando portanto seus efeitos na somatória dos cátions básicos. Para as camadas subsuperficiais, praticamente são observadas as mesmas tendências, ou seja, a variação do valor S ocorre em função das doses de calcário, já que embora o gesso tenha elevado os teores de cálcio provocou reduções nos teores de magnésio, apresentando portanto um efeito praticamente nulo no parâmetro em consideração.

Com relação à saturação por bases, figura 12, da mesma forma que os insumos adotados influenciaram positivamente nos teores de cálcio e magnésio e conseqüentemente na soma de bases, também alteraram o citado parâmetro, já que para a obtenção do mesmo considera-se a relação entre os cátions básicos e os cátions totais.

Saliente-se que as duas maiores doses de calcário utilizadas, ou seja, 1,4 e 2,8 t/ha, foram efetivas para manter a saturação por bases na camada superficial acima de 50, desde os seis meses após a aplicação dos insumos até trinta meses, independente das combinações com gesso.

Com relação aos efeitos do gesso na saturação por bases do PVM/arg em questão, embora tenha apresentado incrementos aos seis meses após a aplicação, tanto na camada superficial como na camada de 20 a 40 cm, nas demais épocas não influenciou o parâmetro em questão, em qualquer profundidade a ser considerada.

4.2.2. Influência dos tratamentos no pH em CaCl_2 , capacidade de troca de cátions e saturação por alumínio.

As alterações provocadas pelos tratamentos adotados no pH em CaCl_2 , m% e CTC ao longo do perfil do Podzólico Vermelho Amarelo e em função do tempo de aplicação encontram-se respectivamente, nas figuras 14, 15 e 16.

Observando-se os valores de pH nas diversas profundidades avaliadas do perfil, constata-se que, já aos seis meses após a aplicação do calcário, ocorrem modificações bastante significativas, proporcionais às dosagens utilizadas, principalmente na camada superficial do solo. Além destas modificações, as quais já seriam esperadas, também ocorreram alterações a níveis de 0,4 a 0,5 unidade de pH, para o tratamento com 2,8 t de calcário/ha, em relação à testemunha, para as camadas de 20 a 40 e 40 a 60 cm.

As doses de 1,5, 3,0 e 6,0 t de gesso/ha praticamente em nada afetaram o pH em todo o perfil do Podzólico Vermelho Amarelo em consideração.

Para a segunda época de amostragem, as tendências do efeito do calcário permanecem as mesmas, tanto em superfície como em profundidade, estendendo estes efeitos apenas para a camada superficial, até 30 meses após a aplicação dos tratamentos. Conforme pode ser observado na figura 13, as pequenas correções de pH obtidas em profundidade até os 18 meses do início dos estudos praticamente inexistem aos 30 meses.

Com relação à capacidade de troca de cátions, figura 15, verifica-se um efeito semelhante ao constatado para o LEd, ou seja, aumentos da CTC em função das doses crescentes de calcário, provavelmente por se tratar de CTC calculada, e não determinada a pH 7,0, conforme já discutido anteriormente.

Conforme pode ser observado na figura 16, a saturação por alumínio, aos seis meses após o início dos estudos, foi bastante reduzida, principalmente pela ação do calcário, tanto na superfície como nas profundidades de 20 a 40 e 40 a 60 cm, conforme também constatado por QUAGGIO et alii (1985). Embora a aplicação do gesso em combinação com o calcário tenha apresentado baixa eficiência na redução da saturação por alumínio, para o Podzólico Vermelho Amarelo em questão, na ausência do calcário estes efeitos são mais distintos para todo o perfil, principalmente na primeira época analisada, indicando que a redução da saturação por alumínio devido ao uso do gesso, provavelmente, neste caso, esteja associada à elevação dos teores de cálcio do solo e não à precipitação do alumínio ou alterações de formas iônicas, já que não ocorreram elevações mensuráveis de pH.

Após 18 e 30 meses da aplicação dos insumos, verifica-se que, para a camada superficial do PV, mesmo a menor dose de calcário utilizada, 0,4 t/ha, ainda apresenta efeito na manutenção de baixos níveis de saturação por alumínio, enquanto que as maiores doses de gesso utilizadas, aos 30 meses, apresentam as maiores saturações

FIGURA 14 - Variação do pH em CaCl_2 no perfil do PV em função do tempo após aplicação dos tratamentos

FIGURA 15 - Variação da CTC no perfil do PV em função do tempo após aplicação dos tratamentos

FIGURA 16 - Variação da Saturação por Alumínio no perfil do PV em função do tempo após aplicação dos tratamentos

com o citado cátion ácido. Este efeito provavelmente deve estar associado à maior solubilidade do gesso, em relação ao calcário, e portanto ao maior arraste de cátions básicos da superfície para as maiores profundidades do perfil.

Desta forma, pode-se verificar que, embora a curto prazo, no caso, 6 meses após aplicação e incorporação à camada arável do solo, o gesso apresenta-se eficiente na redução da saturação por alumínio, porém a médio e longo prazo, demais épocas analisadas, o calcário apresenta maior efeito na manutenção de baixos níveis de saturação por alumínio no solo.

4.3. Influência do calcário e gesso aplicados em soqueiras de cana-de-açúcar, nos atributos químicos de um Latossolo Vermelho Amarelo Podzólico álico - Experimento 03

4.3.1. Influência dos tratamentos nos cátions básicos e parâmetros correlacionados

A figura 17 contém os resultados da influência dos tratamentos nos teores de cálcio do perfil do LVp. Verifica-se que 12 meses após a aplicação das doses de gesso ocorreram incrementos nos teores de cálcio, passando os valores superficiais de 0,8 meq/100 ml de terra para valores em torno de 1,2 meq/100 ml, principalmente quando as doses de gesso foram combinadas com 2,0 t de calcário/ha. A mesma tendência também é verificada em subsuperfície, quando os teores de cálcio passam de valores ao redor de 0,25 meq/100 ml de terra para valores em torno de 0,45 meq/100 ml, de solo até a profundidade de 100 cm.

FIGURA 17 - Variação dos teores de cálcio no perfil do LV em função do tempo após aplicação dos tratamentos

Aos 24 meses após a aplicação dos tratamentos, a dose de 2 t de gesso/ha já se apresentava pouco efetiva no fornecimento de cálcio ao solo, principalmente nas camadas superficiais. Com relação às dosagens maiores, principalmente 6 t/ha, ainda apresenta efeito residual pronunciado, mantendo os teores de cálcio próximos ou maiores do que os valores obtidos aos 12 meses da aplicação destacadamente, quando se considera a combinação com calcário.

Os resultados obtidos com relação à alteração dos teores de cálcio no perfil do LVp, nas parcelas que receberam 2 t de gesso/ha em pré-tratamento com sobreposição das doses, constantes da figura 17, revelam as mesmas tendências já discutidas para as situações anteriores, ou seja, as elevações nos teores de cálcio observadas ao longo de todo perfil do solo são proporcionais às dosagens utilizadas. Verifica-se, portanto, que os teores de cálcio atingem na superfície teores ao redor de 1,5 meq/100 ml de terra, com acréscimos de 1,0 meq/100 ml para a camada de 00-25 cm.

Na segunda e terceira camadas, 25-50 e 50-75 cm, são obtidos acréscimos de 0,4 meq/100 ml de terra e na quarta camada, 75-100 cm de profundidade, obteve-se incrementos de 0,2 meq/100 ml de terra. Considerando-se a aplicação de 2,0 t de gesso/ha no primeiro ano e a sobreposição de 6,0 t de gesso/ha no segundo ano, portanto, 8,0 t de gesso/ha para o período, poder-se-ia fornecer para uma camada de 20cm de solo 3,2 meq de cálcio ou sulfato/100 ml de terra. Desta forma, considerando-se 100 cm de solo, o perfil poderia ser alterado em 0,64 meq/100 ml de terra se todo o gesso fosse solubilizado, valores até então não atingidos, indicando uma solubilização parcial ou perdas de parte do CaSO_4 solubilizado após os 100cm de profundidade.

Quando se considera a sobreposição de dosagens na aplicação prévia de 6,0 t de gesso/ha, obtendo-se a

aplicação máxima de 6,0 + 6,0 t de gesso/ha, constata-se, também, que os incrementos não foram proporcionais às dosagens utilizadas, ou seja, a utilização prévia de 6 t de gesso/ha já atribuiu ao perfil valores semelhantes aos máximos obtidos com a utilização prévia de 2 t de gesso/ha + 6,0 t/ha, em sobreposição.

Estes resultados parecem estar de acordo com um limite de solubilização imposto pelo "limite máximo de solubilidade do $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ", discutido por RAIJ (1988), ou seja, apesar da solubilização do gesso agrícola depender da quantidade de água aplicada (SOUZA e RITCHEY, 1986) e das características químicas do solo (PAVAN e VOLKWEISS, 1986) existe um limite de solubilização que segundo RAIJ (1988) tornaria bastante difícil a incorporação em subsuperfície de 1,0 meq/100 ml de terra, de Ca^{+2} ou S-SO_4^{2-} , para solos argilosos (20 cm de espessura e retenção máxima de água em torno de 30%), e menos do que isto para solos arenosos (menor retenção de água).

Levando-se em conta as doses e formas de aplicação e incorporação, adotadas nos experimentos de cana-planta e cana-soca, verifica-se no confronto dos resultados obtidos que, apesar das doses mais elevadas adotadas em cana-soca, foram provocadas menores alterações nas propriedades químicas dos solos sob soqueiras. Provavelmente, a incorporação superficial com leve incorporação aos solos nas soqueiras (tríplice operação), comparada à melhor e mais profunda incorporação em pré-plantio da cana-de-açúcar através do arado, explique as menores alterações nas propriedades químicas dos solos sob soqueiras.

No que se refere às alterações provocadas nos teores de sulfato no perfil do solo, os resultados encontram-se na figura 18. As tendências observadas para o elemento são praticamente idênticas às observadas para o cálcio, indicando

portanto o caminhamento do par iônico CaSO_4^0 , conforme proposto por PAVAN (1984).

Outro aspecto a ser considerado é que praticamente em todas as situações, 12 meses após a aplicação dos insumos, 24 meses (resíduo) e nas sobreposições de dosagens os teores de S-SO_4^{2-} são mais elevados nas camadas subsuperficiais do que na superfície, principalmente quando houve a adição conjunta de calcário. Desta forma, com a elevação do pH (Figura 19) obtida na superfície do solo diminui-se a adsorção de S-SO_4^{2-} nesta camada, o qual ficaria sujeito a maior caminhamento por lixiviação ao longo do perfil do solo, ganhando maiores profundidades, corroborando os resultados obtidos por COUTO et alii (1979) e COSTA (1980). Ao encontrar condições de maior acidez o sulfato seria adsorvido à superfície de colóides com cargas positivas, conforme constatado e discutido por PAVAN e VOLKWEISS (1986), BORKET e PAVAN (1987) e CAMARGO e RAIJ (1988). O acúmulo do SO_4 nestas camadas poderia, inclusive, gerar cargas negativas em função da adsorção específica do sulfato (SOUZA e RITCHEY, 1986).

Convém salientar, ainda, que o solo em questão, LVp, apresenta significativos incrementos nos teores de argila, com sistema oxídico de troca, ao longo do perfil do solo, o que também poderia auxiliar nesta maior adsorção.

Com relação ao magnésio, os resultados contidos na figura 20 revelam para este solo pouca influência da gessagem nos teores do elemento no perfil, provavelmente em função dos baixos teores iniciais do solo. O que se

FIGURA 18- Variação dos teores de $S-SO_4^{2-}$ no perfil do LV em função do tempo após aplicação dos tratamentos

FIGURA 19- Variação do pH em CaCl_2 no perfil do LV em função do tempo após aplicação dos tratamentos

verifica mais nitidamente é o efeito benéfico da calagem, associada à gessagem, na elevação dos teores de magnésio na superfície do solo aos 12 meses após aplicação dos insumos e uma pequena redução para a mesma, ao redor de 0,15 meq/100 ml de solo aos 24 meses da aplicação.

SOUZA e RITCHEY (1986) comentam que a adoção de dosagens adequadas de calcário dolomítico associado à gessagem, em função da elevação do pH e disponibilização de cargas negativas, pode auxiliar na maior retenção de magnésio em superfície, conforme observado nos resultados obtidos do trabalho em questão.

Quando foi utilizada 6,0 t de gesso/ha, em pré-tratamento, a sobreposição de doses de gesso associada ao calcário foi pouco efetiva na elevação dos teores de magnésio na superfície do solo, provavelmente porque o gesso, em doses mais elevadas, satura a solução com cálcio, diminuindo a velocidade de reações de hidrólise dos carbonatos de cálcio e magnésio, conforme proposto por BORKET e PAVAN (1987).

Os resultados obtidos de soma e saturação por bases, figuras 21 e 22, são proporcionais às modificações verificadas para os teores de cálcio no perfil do solo. Torna-se interessante observar que, de forma geral, apesar das dosagens elevadas de gesso, para o caso da sobreposição no maior pré-tratamento, ou seja, 6,0 t de gesso/ha + 2,0 t de calcário/ha + 6,0 t de gesso/ha, não foram atingidos valores maiores que 35% de saturação por bases em superfície, e 20-25% em subsuperfície, para quaisquer das camadas subsuperficiais examinadas, revelando uma distribuição bastante uniforme dos teores de cálcio no perfil. Provavelmente a explicação esteja na influência bastante significativa do limite de solubilidade imposto pelo gesso agrícola, RAIJ (1988).

FIGURA 20- Variação dos teores de magnésio no perfil do LV em função do tempo após aplicação dos tratamentos

SOMA DE BASES (meq / 100 ml de Solo)

D O S E S D E G E S S O (t / h a)

* Utilização prévia de 2,0 t de gesso/ha , 12 meses antes da aplicação dos tratamentos
 ** Utilização prévia de 6,0 t de gesso/ha , 12 meses antes da aplicação dos tratamentos

— Sem calcário ● 2,0 t calcário/ha

FIGURA 21 - Variação da soma de bases no perfil do LV em função do tempo após aplicação dos tratamentos

* Utilização prévia de 2,0 t de gesso/ha , 12 meses antes da aplicação dos tratamentos

** Utilização prévia de 6,0 t de gesso/ha , 12 meses antes da aplicação dos tratamentos

— Sem calcário ▲ 2,0 t calcário/ha

FIGURA 22 - Variação da saturação por bases no perfil do LV em função do tempo após aplicação dos tratamentos

Considerando-se o citado limite de solubilização, poder-se-ia admitir que a utilização máciça de gesso (12,0 t/ha num período de 12-24 meses) não provocaria alterações drásticas nos teores de nutrientes do solo, conforme evidenciam os resultados das análises. Outro aspecto a ser observado é que, em se considerando uma solubilização limitada pelo produto de solubilidade, haveria ainda, após os 24 meses, ocasião em que foi feita a última amostragem de solo, um residual do produto, que passaria a ser solubilizado pausadamente, à medida que ocorresse deslocamento da fração solubilizada para o interior do perfil, mantendo assim uma elevação moderada e uniformemente distribuída por todo o perfil do solo.

Elevações na saturação por bases até 60 cm de profundidade, em solos arenosos da Região de Ribeirão Preto, também foram obtidos por DEMATTÊ (1986) por ocasião da aplicação de gesso em soqueiras de cana-de-açúcar.

4.3.2. Influência dos tratamentos no pH em CaCl_2 e saturação por alumínio

Analisando-se as figuras 19 e 23, as quais contêm respectivamente os resultados de pH em CaCl_2 e saturação por alumínio, constata-se uma estreita relação entre os dois parâmetros, principalmente na camada superficial do solo. Os resultados da influência dos insumos na redução da saturação por alumínio evidenciam, logo aos 12 meses, uma significativa vantagem para a associação das doses de gesso com calcário, em diferentes níveis, para as profundidades consideradas.

FIGURA 23 - Variação da saturação por alumínio no perfil do LV em função do tempo após aplicação dos tratamentos

Na camada superficial a adição de 2,0 t de calcário/ha, na ausência de gesso, possibilita saturações por alumínio em torno de 50, enquanto que quando o calcário é associado a 6,0 t de gesso/ha estes valores encontram-se em torno de 35%. Paralelamente verifica-se para esta camada, no período de amostragem em questão, uma influência do calcário e do gesso na elevação do pH em CaCl_2 , conforme pode ser observado na figura 19.

Considerando-se as camadas de 50 a 75 e 75 a 100 cm de profundidade, a associação calcário + gesso também foi mais efetiva na redução da saturação por alumínio, se comparada ao calcário ou ao gesso isoladamente, já que, nessa última camada, este parâmetro também sofreu redução de 50 para 35%, porém não acompanhada por redução do pH em CaCl_2 . Neste caso a redução da saturação por alumínio estaria associada à elevação da soma de bases, figura 21, ou seja, através da elevação do valor S obtém-se redução na saturação por alumínio, sem modificações do pH do solo.

Aos 24 meses após aplicação dos insumos mantiveram-se os efeitos residuais da associação calcário e gesso, na superfície do solo, no que se refere à redução da saturação por alumínio, porém, em subsuperfície, estes efeitos residuais não são verificados.

Analisando-se os resultados obtidos com a sobreposição de dosagens maciças de gesso, principalmente 6,0 t/ha em pré-tratamento, mais 2,0 ou 4,0 t/ha em sobreposição, observa-se que o pH na camada superficial foi alterado significativamente tanto na presença como na ausência do calcário, em torno de 0,4 unidade, e as saturações por alumínio mantêm-se ao redor de 40-45%.

Em subsuperfície também são observadas reduções na saturação por alumínio até a camada de 50-75 cm de profundidade e elevação de pH até 25-50 cm de profundidade. Resultados semelhantes também foram obtidos por PAVAN e

BINGHAM (1982), PAVAN et alii (1984) dentre outros, e se devem segundo PAVAN e VOLKWEISS (1986) à diminuição da reação de hidrólise do Al^{3+} , devido à formação de AlSO_4^+ e a diversas reações envolvendo a liberação de OH^- , dos colóides com cargas pH dependentes, com a adsorção de S-SO_4^{2-} , resultando na precipitação de Al^{3+} .

4.4. Influência do calcário e gesso aplicados em soqueiras de cana-de-açúcar, nos atributos químicos do Latossolo Roxo álico-Experimento 04

Os efeitos dos tratamentos adotados nos teores de cálcio do Latossolo Roxo álico encontram-se na figura 24. Analisando-se os dados da citada figura observa-se que, aos 12 meses após a aplicação dos tratamentos, na ausência de calcário, houve incrementos de 0,5 meq de Ca^{2+} /100ml de terra na superfície, comparando-se à testemunha absoluta, com a maior dosagem de gesso, ou seja, 9,0 t/ha. Para as doses intermediárias foram obtidos incrementos menores, proporcionais às dosagens utilizadas. Considerando-se as camadas subsuperficiais as mesmas tendências são observadas, porém em dimensões um pouco menores, ou seja, os teores de cálcio foram acrescidos em 0,4 meq/100 ml de terra na camada de 25-50 cm e em torno de 0,2 a 0,3 meq de Ca/100ml para as demais camadas analisadas.

Analisando-se a participação isolada do calcário, aos 12 meses da aplicação, os resultados indicam que as 3,0 t/ha utilizadas foram efetivas no fornecimento de 0,6 a 0,7 meq de ca/100 ml de terra na camada de 00-25 cm. A associação com as maiores doses de gesso, 6,0 e 9,0 t/ha,

FIGURA 24- Variação dos teores de cálcio no perfil do LR a em função do tempo após aplicação dos tratamentos

acrescentaram valores ao redor de 0,3 meq/100 ml de terra, valores estes, menores do que os acrescentados pelo gesso isoladamente, evidenciando os efeitos inibitórios no fornecimento de cálcio ao solo, com a adição conjunta de calcário e gesso, conforme proposto por BORKET e PAVAN (1987). Verifica-se também que o calcário, aos 12 meses da aplicação, forneceu quantidades de cálcio, para a camada de 25-50 cm de profundidade, bastante semelhantes às fornecidas para a superfície e valores ao redor de 0,3 meq/100 ml para as camadas de 50-75 cm e 75 a 100 cm de profundidade.

Convém salientar que, à semelhança dos resultados obtidos com a adição de doses relativamente elevadas de gesso agrícola no LVp, no solo em questão, LRal, a adição de 9,0 t de gesso/ha, também não provocou alterações elevadas nos teores de cálcio trocável do perfil. Na somatória geral, considerando-se as modificações discutidas, e não computando possíveis perdas além dos 100 cm analisados, para estas ligeiras modificações, foi solubilizado ao redor de 1,3 meq de Ca^{2+} (0,5 + 0,5 + 0,2 + 0,2 meq/100 ml de solo respectivamente para as camadas de 00-25, 25-50, 50-75 e 75-100cm de profundidade), dos 3,6 meq contidos nas 9,0 t de gesso, ou seja, aproximadamente 30% do total adicionado.

Analisando-se os resultados obtidos aos 24 meses após a aplicação dos tratamentos, ou seja, seus efeitos residuais, os dados indicam uma redução nos teores de cálcio, em todo o perfil, para a dosagem de 3,0 t de gesso/ha associada ou não à calagem de 3,0 t/ha, e que, nas maiores dosagens, 6,0 e 9,0 t de gesso/ha, houve efetividade na manutenção dos teores de cálcio, em todo o perfil, próximos aos teores obtidos com 12 meses após aplicação dos insumos. Estes resultados sugerem novamente, conforme discutido para o LVp, que o próprio limite de solubilização do gesso agrícola, RAIJ (1988), garantiria um fornecimento de cálcio pausado e, portanto, por um maior período de tempo.

Quando se analisa os resultados obtidos com a sobreposição de doses, na prévia utilização de 3,0 t de gesso/ha, verifica-se uma tendência de uma melhor eficiência na incorporação de cálcio em profundidade, com o parcelamento de doses do insumo, e não com a utilização maciça através de uma única aplicação, ou seja, quando se utilizou a aplicação prévia de 3 t de gesso/ha e 12 meses após nova dosagem com a mesma quantidade, a somatória das modificações no elemento ao longo do perfil indicam uma solubilização praticamente total das 6,0 t/ha. Neste caso, foram incorporados nos 100 cm de solo ao redor de 2,0 meq de Ca^{2+} dos 2,4 meq disponíveis nas 6,0 t de gesso, ou seja, praticamente 85%. Valores semelhantes de incorporação de cálcio trocável no perfil do solo são encontrados para a adição de 3,0 t de gesso/ha + 9,0 t de gesso/ha, neste caso, com solubilização de 2,2 meq de Ca^{2+} , dos 4,8 meq contidos nas 12 t de gesso, ou seja, 45% de disponibilização.

Para o caso da utilização prévia de 9 t de gesso/ha, 12 meses antes da sobreposição de tratamentos, as tendências já discutidas são confirmadas, ou seja, as maiores incorporações de Ca^{2+} , em todas as camadas do perfil, foram obtidas sem a sobreposição de gesso e com a utilização, também prévia, de 3,0 t de calcário, neste caso, incorporando 1,2 meq de Ca^{2+} /100 ml de terra para as três primeiras camadas, e em torno de 0,3 a 0,4 meq/100 ml para a camada de 75-100 cm de profundidade. Somando-se os valores incorporados obtém-se a somatória de 4,0 meq de cálcio, praticamente 80 a 85% do valor utilizado (9,0 t de gesso + 3,0 t de calcário).

Analizando-se os resultados obtidos com o pré-tratamento de 9,0t de gesso/ha e considerando-se a testemunha da sobreposição, ou seja, os efeitos das 9,0 t de gesso/ha, 24 meses após sua aplicação, verifica-se que a incorporação de cálcio, e paralelamente a de sulfato (figura 25), alcança a profundidade de 25-50 cm, para a qual fornece em torno de 0,8 meq de Ca/100 ml de terra, comparando-se com a testemunha

absoluta, não tendo alcançado, nesta ocasião, a profundidade de 50-75 cm. Comparando-se estes resultados com os obtidos na adoção conjunta de 3,0 t de calcário/ha verifica-se que o deslocamento de cálcio já se encontrava a 75-100 cm de profundidade, provocando modificações adicionais nos teores do elemento de 1,2 meq/100 ml de terra na camada de 50-75 cm e de 0,2 meq/100 ml de terra na camada de 75-100 cm, de conformidade com as observações de BORKET e PAVAN (1987).

Com relação aos efeitos dos tratamentos adotados nos teores de magnésio do Latossolo Roxo, aos 12 meses após a aplicação dos insumos, praticamente não se observam alterações, conforme dados contidos na figura 26. No entanto, considerando-se o período de 24 meses, decorridos da aplicação do calcário e gesso, podem ser verificadas algumas tendências. Na aplicação isolada de calcário, ou seja, sem adição de gesso são verificados os maiores teores de magnésio, ao redor de 0,3 a 0,4 meq/100 ml de terra, até 75 cm de profundidade e ao redor de 0,2 meq/100 ml na camada de 75 a 100 cm. Quando o calcário é associado ao gesso, verifica-se uma tendência de redução do magnésio no perfil, variando ao redor de 0,1 a 0,3 meq/100ml de terra, dependendo da camada considerada.

Quando se considera a aplicação de doses crescentes de gesso, na ausência de calcário, 24 meses após a aplicação dos tratamentos, verifica-se incrementos nos teores do elemento até a dosagem de 9,0 t de gesso/ha. Aparentemente os resultados parecem incoerentes, todavia,

FIGURA 25- Variação dos teores de $S-SO_4^{2-}$ no perfil do LR a em função do tempo após aplicação dos tratamentos

FIGURA 26 - Variação dos teores de magnésio no perfil do LR a em função do tempo após aplicação dos tratamentos

considerando-se as modificações provocadas pela adição do calcário na camada superficial do solo, ou seja, elevação do pH com disponibilização de cargas negativas e neutralização das cargas positivas proporcionando condições de deslocamento mais rápido para o sulfato no perfil do solo (BORKET e PAVAN, 1987; CAMARGO e RAIJ, 1987), os resultados obtidos e evidenciados na figura 25 podem ser melhor compreendidos. O caminhamento mais rápido do $S-SO_4^{2-}$, figura 24, através da formação de pares iônicos com o magnésio, $MgSO_4^0$, possibilitado pelas modificações na superfície do solo, com o uso do calcário, levaria a uma redução antecipada dos teores de magnésio no perfil do solo, enquanto que o caminhamento do sulfato, com o par iônico $MgSO_4^0$, sem o favorecimento proporcionado pelo calcário na camada superficial, seria mais lento, apresentando portanto um efeito retardado na redução do magnésio do perfil do solo.

Comparando-se os resultados obtidos nas alterações das propriedades químicas entre o LVp e o solo em questão, LRa, verifica-se que neste último as alterações foram bem maiores, provavelmente em função da maior solubilização do gesso e/ou calcário, em função das significativas diferenças entre CTC, teor de argila e quantidade de água armazenada, fatores estes decisivos para a determinação do limite de solubilidade dos produtos (RAIJ, 1983).

O efeito somatório da influência dos tratamentos estudados nos teores de cálcio e magnésio do perfil do solo estão expressos nas figuras 27 e 28, respectivamente através da soma e saturação por bases. Cabe salientar que as variações obtidas nos parâmetros em questão acompanham basicamente as alterações verificadas para o cálcio, já que em valores absolutos a representatividade do elemento é significativamente superior ao magnésio.

Outro aspecto a ser observado é que em função da CTC do solo, em torno de 7,0 a 7,3 meq/100 ml de terra, e

portanto relativamente elevada, as pequenas alterações na saturação por bases foram obtidas através de substanciais modificações nas quantidades de cátions básicos, podendo assim ser consideradas como significativas.

Com relação à influência dos tratamentos adotados no pH em CaCl_2 e nos teores de sulfato do Latossolo Roxo Álico, os resultados obtidos revelam, à semelhança do LVp, uma estreita relação entre ambos, ou seja, com a adição conjunta do calcário e gesso obtendo-se maiores elevações no pH (Figura 29), se comparada com a adição do gesso na ausência do calcário, os teores de sulfato são reduzidos na camada superficial apresentando-se em valores absolutos, com menores teores nesta, do que nas camadas subsuperficiais, estando estes resultados de acordo com as constatações de COUTO et alii (1979), COSTA (1980) e CAMARGO e RAIJ (1987).

A figura 25 contém os resultados obtidos para as quatro situações consideradas, sendo que em todas elas a associação calcário e gesso apresenta teores de sulfato menores em superfície e teores significativamente mais elevados nas camadas subsuperficiais. Para o período de 24 meses após a aplicação dos tratamentos, os teores de S-SO_4^{2-} , nas camadas de 25-50 cm e 50-75 cm de profundidade, encontram-se ao redor de 100-120 ppm, enquanto que na camada superficial os teores do elemento não ultrapassam 70-80 ppm. Considerando-se as situações onde são adotados pré-tratamentos com gessagem e calagem, e posterior sobreposição de gesso, são verificadas as mesmas tendências já discutidas.

FIGURA 27 - Variação da soma de bases no perfil do L R a em função do tempo após aplicação dos tratamentos

FIGURA 28- Variação da saturação por bases no perfil do LR a em função do tempo após aplicação dos tratamentos

FIGURA 29- Variação do pH em CaCl_2 no perfil do LR a em função do tempo após aplicação dos tratamentos

Também para o solo em questão, LRal, foram verificadas variações no pH com a utilização do calcário e também do gesso, principalmente com as maiores dosagens aplicadas. Tanto na camada superficial, como na subsuperficial, quando se utilizou a sobreposição de doses crescentes de gesso à dosagem de 3,0 t de gesso aplicada em pré-tratamento, constatou-se variações de até 0,4 unidades de pH.

No que se refere à saturação por alumínio (Figura 30), aos 12 meses de aplicação dos insumos, verifica-se uma redução neste parâmetro em todo o perfil do solo. Nas camadas de 00-25cm e 25-50cm os valores passam de 60-65% para valores ao redor de 40-45%. Para as demais camadas, também são verificados efeitos benéficos do calcário e do gesso, isoladamente, ou em conjunto, porém em menores proporções.

Aos 24 meses da aplicação dos insumos as saturações por alumínio tendem a voltar aos níveis originais, exceptuando-se a última profundidade, 75-100 cm, na qual as maiores dosagens de gesso, principalmente quando associadas ao calcário, reduzem m% a valores em torno de 30.

Com relação às saturações por alumínio onde foram adotados pré-tratamentos com sobreposição de dosagens, constata-se que a melhor circunstância dentro do período amostrado foi a aplicação de 6,0 t de gesso/ha em pré-tratamento com a aplicação de 3,0 t de calcário/ha no ano seguinte, obtendo-se como resultado valores de m% de 15, 30 e 45, respectivamente para as camadas de 00-25, 25-50 e 50-75 cm de profundidade. Através das figuras 29 e 27 pode-se constatar que estas reduções são ocasionadas por elevações de pH e incrementos na soma de bases, respectivamente. Portanto, à semelhança de PAVAN e BINGHAM (1982), PAVAN et alii (1984), também foram obtidos, com uso do gesso, resultados positivos no que se refere a elevações de pH e reduções da saturação por alumínio.

FIGURA 30- Variação da saturação por alumínio no perfil do LR a em função do tempo após aplicação dos tratamentos

4.5. Efeitos do calcário e gesso aplicados no LEd, em pré-plantio da cana-de-açúcar, na produtividade agrícola de três cortes da cultura-Experimento 01

Os efeitos da aplicação de doses e combinações do calcário e gesso na produtividade agrícola da cana-de-açúcar, para o experimento em questão, foram avaliados durante 3 cortes da cultura: cana-planta, primeira e segunda socas, sendo que as médias e somatórias dos resultados obtidos são apresentadas na tabela 07, assim como o quadro de análise de variância destes cortes consta da tabela 08.

Tabela 07. Produtividade média de cana-de-açúcar obtida em 3 cortes no LEd.

Doses calcário (t/ha)	Gesso (t/ha)				Soma
	0	1,5	3,0	6,0	
1º Corte					
0	125	136	137	147	545
1,4	135	140	139	143	557
2,6	131	133	142	149	555
3,8	137	133	143	143	556
Soma	528	542	561	582	
2º Corte					
0	103	102	109	111	425
1,4	102	108	117	116	443
2,6	107	110	114	114	445
3,8	107	112	110	114	443
Soma	419	432	450	455	
3º Corte					
0	69	66	70	73	278
1,4	74	71	78	72	295
2,6	71	74	75	76	296
3,8	71	73	74	76	294
Soma	285	284	297	297	

Tabela 08. Análise de variância dos resultados de produtividade de colmos de cana-de-açúcar dos 3 cortes do Experimento 01, conduzido no LEd.

QUADRO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA - 1º CORTE

CAUSAS DA VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.> F
BLOCO	4	1030.3357720			
CALCÁRIO	3	130.1744620	43.3914873	0.6562	0.58579
GESSO	3	2016.6170304	672.205677	10.1658	0.00007 **
CAL x GES	9	707.8854931	78.6539437	1.1895	0.31793
RESÍDUO	60	3967.4642846	66.1244047		
TOTAL	79	7852.4770421			

MÉDIA GERAL = 138.726600

COEFICIENTE DE VARIAÇÃO = 5.862 %

QUADRO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA - 2º CORTE

CAUSAS DA VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.> F
BLOCO	4	705.2816204			
CALCÁRIO	3	350.8962458	116.9654153	3.0086	0.03638 *
GESSO	3	1063.1645699	354.3881900	9.1155	0.00014 **
CAL x GES	9	321.2727175	35.6969686	0.9182	0.51637
RESÍDUO	60	2332.6568152	38.8776136		
TOTAL	79	4773.2719690			

MÉDIA GERAL = 110.331100

COEFICIENTE DE VARIAÇÃO = 5.651 %

QUADRO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA - 3º CORTE

CAUSAS DA VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.> F
BLOCO	4	48.2640056			
CALCÁRIO	3	211.1689601	70.3896534	2.7088	0.05204 *
GESSO	3	112.6770709	37.5590236	1.4454	0.23745
CAL x GES	9	245.5356671	27.2817408	1.0499	0.41271
RESÍDUO	60	1559.1103759	25.9851729		
TOTAL	79	2176.7560795			

MÉDIA GERAL = 72.819880

COEFICIENTE DE VARIAÇÃO = 7.000 %

* Estatisticamente significativo a 5% de probabilidade.

** Estatisticamente significativo a 1% de probabilidade.

As análises estatísticas dos resultados de produtividade obtidos foram efetuadas por corte da cultura. Aplicando-se o Teste F, de significância estatística, aos dados de cana-planta, a análise de variância indicou efeitos altamente significativos (a nível de 1% de probabilidade, Tabela 08) apenas para o gesso, não apresentando o calcário ou as combinações de calcário e gesso efeitos estatisticamente significativos na produtividade agrícola no primeiro corte. Submetendo-se estes resultados a uma análise de regressão polinomial, verificou-se que estes ajustaram-se, a nível de 1% de probabilidade, à equação linear, a qual consta da figura 31.

Na figura 32, apresenta-se um detalhamento destes resultados, as doses de calcário, combinadas uma a uma com as doses de gesso. Constata-se através desta figura que a produtividade agrícola da SP71-6163 variou de 125 t de colmos/ha, na ausência de calcário e gesso, a 147 t/ha, na ausência de calcário e adotando-se 6 t de gesso/ha, ou seja, uma variação de 22 t de colmos/ha, devido à aplicação de 6 t de gesso/ha. À medida que as doses de calcário foram sendo aumentadas e combinadas com o gesso, as diferenças de produtividade entre a testemunha do gesso e a dose máxima (6 t/ha) foram reduzidas, porém mantiveram as tendências crescentes.

Esta inexistência de significância estatística para o efeito do calcário na produtividade agrícola da cana-planta não condiz com seus efeitos no solo, já que o mesmo provocou sensíveis modificações das propriedades químicas avaliadas do solo, o que também foi constatado para o gesso. Provavelmente devido à maior solubilidade, do gesso, o mesmo tenha sido mais efetivo na nutrição com cálcio para a cultura da cana-de-açúcar ou ainda tenha provocado outras modificações em fatores não avaliados, em seu primeiro corte.

Figura 31. Efeitos do gesso na produtividade agrícola da cana planta, cultivada em LEd.

Figura 32. Efeitos complementares do gesso e calcário na produtividade agrícola da cana planta, cultivada em LEd.

ou seja, ao longo dos 18 primeiros meses da aplicação dos tratamentos.

Os resultados obtidos para o segundo corte da cultura, primeira soca, submetidos ao Teste F de análise de variância, tabela 08, indicaram um significativo efeito residual do gesso e do calcário respectivamente a nível de 1 e 5% de probabilidade. Uma vez submetidos à análise de regressão polinomial, enquadraram-se ambos à regressão linear, cujas equações do efeito do gesso e calcário na produtividade de colmos da SP71-6163 encontram-se, respectivamente, nas figuras 33 e 34.

Nas figuras 35 e 36 encontram-se, respectivamente um detalhamento dos efeitos das combinações das doses de gesso com calcário e das doses de calcário com gesso na produtividade da cultura. Analisando-se os efeitos na produtividade agrícola das interações entre o calcário e gesso, expressos através das figuras 35 e 36, pode-se verificar que, na adoção das menores dosagens, tanto do calcário como do gesso, existe um efeito bastante evidente de complementação dos insumos, ou seja, nas menores dosagens do gesso o calcário apresenta efeito complementar na produtividade agrícola, ocorrendo o mesmo para o gesso quando se considera as menores dosagens do calcário.

A produtividade da cultura no 3º corte, 42 meses após a aplicação dos insumos, sofre sensível redução, para todos os tratamentos, basta observar que a produtividade média do experimento no 2º corte foi de 110 t/ha e a do 3º corte foi de 73 t/ha. Este decréscimo pronunciado na produtividade da cultura torna-se bastante compreensível quando se analisa as sensíveis reduções nos teores de nutrientes do solo, porém pode também, em parte, ser devido ao ano agrícola com menores precipitações no período de safra, ou,

Figura 33. Efeitos do gesso na produtividade agrícola do segundo corte da cana-de-açúcar, cultivada no LEd.

Figura 34. Efeitos do calcário na produtividade agrícola do segundo corte da cana-de-açúcar, cultivada no LEd.

Figura 35. Efeitos das combinações gesso-calcário na produtividade agrícola do segundo corte da cana-de-açúcar, cultivada no LEd.

Figura 36. Efeitos das combinações calcário-gesso na produtividade agrícola do segundo corte da cana-de-açúcar, cultivada em LEd.

ainda, a limitações relativas ao potencial de produtividade das soqueiras da variedade SP71-6163.

No que se refere aos efeitos dos tratamentos adotados, na produtividade agrícola do 3º corte, constatou-se um significativo efeito residual do calcário, a nível de 5% de probabilidade, Tabela 08. Com relação ao gesso, não apresentou influência estatisticamente significativa no 3º corte da cultura, embora possam ser observadas algumas tendências positivas (Tabela 07).

Os resultados obtidos do efeito residual do calcário na produtividade do 3º corte da cultura encontram-se na figura 37.

De forma geral, verificou-se a níveis bastante significativos que a aplicação de doses e combinações de calcário e gesso, em pré-plantio da cana-de-açúcar no Latossolo Vermelho Escuro Argiloso Distrófico, foi efetiva na elevação da produtividade agrícola da cultura até o corte analisado (3 cortes ou 42 meses após aplicação). Estes acréscimos obtidos na produtividade agrícola da cultura foram acompanhados e, portanto, justificados por significativas elevações nos níveis dos parâmetros de fertilidade do solo. Da mesma forma, quando os parâmetros de fertilidade sofreram reduções, 42 meses após a aplicação dos tratamentos, a produtividade agrícola também foi significativamente reduzida.

Pode-se considerar, ainda, que o gesso apresentou maior efetividade em elevar a produtividade da cultura, a curto e médio prazos, 1º e 2º cortes, enquanto que o calcário foi mais eficiente em prolongar seus efeitos residuais, 2º e 3º cortes, podendo-se considerar, portanto, quando utilizados em conjunto um efeito de complementação entre ambos.

Figura 37. Efeito residual do calcário aplicado em pré-plantio da cana-de-açúcar, cultivada no LED, na produtividade agrícola do terceiro corte da cultura.

Cabe considerar que após 42 meses, ou seja, após o 3º corte da cultura, praticamente na metade do ciclo da cana-de-açúcar, as análises do solo indicaram uma sensível redução nos níveis dos nutrientes e parâmetros analisados, indicando, portanto, que mesmo as maiores dosagens de calcário e/ou gesso não prolongam seus efeitos para todo o ciclo da cana-de-açúcar.

4.6. Efeitos do calcário e gesso aplicados no PVm/arg, em pré-plantio da cana-de-açúcar, na produtividade agrícola de dois cortes da cultura-Experimento 02

Os resultados dos efeitos dos tratamentos adotados na produtividade agrícola dos dois primeiros cortes da cana-de-açúcar, cana-planta e primeira soca, variedade SP71-1406, encontram-se na tabela 09, assim como as análises de variância na Tabela 10.

Tabela 09. Produtividade média da cana-de-açúcar obtida em 2 cortes, cultivada no PVm/arg.

Doses calcário (t/ha)	Gesso (t/ha)				Total
	0	1,5	3,0	6,0	
1º Corte					
0	135	111	121	124	491
0,4	128	119	129	124	500
1,4	138	127	137	124	526
2,4	133	127	130	136	526
Total	534	484	507	508	-
2º Corte					
0	106	99	92	88	385
0,4	99	95	101	100	395
1,4	100	107	107	95	409
2,4	104	101	103	104	412
Total	409	402	403	387	-

Tabela 10. Análise de variância dos resultados de produtividade de colmos de cana-de-açúcar do 1º e 2º cortes do Experimento 02, conduzido em PVm/arg.

QUADRO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA - 1º CORTE

CAUSAS DA VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.> F
BLOCO	3	635.2445226			
CALCÁRIO	3	924.8362313	308.278744	2.9837	0.04029 *
GESSO	3	1276.2822659	425.4274220	4.1175	0.01156 **
CAL x GES	9	879.2174870	97.6908054	0.9455	0.50307
RESÍDUO	45	4649.5007700	103.322239		
TOTAL	63	8365.0810385			

MÉDIA GERAL = 128.247700

COEFICIENTE DE VARIAÇÃO = 7.926 %

QUADRO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA - 2º CORTE

CAUSAS DA VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.> F
BLOCO	3	500.3404667			
CALCÁRIO	3	495.4733750	165.1577917	3.1067	0.03502 *
GESSO	3	253.4131805	84.4710602	1.5889	0.20407
CAL x GES	9	951.8186860	105.7576318	1.9893	0.06268
RESÍDUO	45	2392.3051584	53.1623369		
TOTAL	63	4593.3508665			

MÉDIA GERAL = 100.586900

COEFICIENTE DE VARIAÇÃO = 7.249 %

* Estatisticamente significativo a 5% de probabilidade.

** Estatisticamente significativo a 1% de probabilidade.

Aplicando-se o Teste F de análise de variância aos resultados de produtividade agrícola obtidos no primeiro corte, cana-planta, constatou-se significância estatística para ambos os insumos, conforme pode ser verificado na Tabela 10.

Para os efeitos do calcário a regressão linear ajustou-se mais adequadamente, figura 38, mostrando um efeito benéfico do insumo no incremento da produtividade de colmos da cultura e justificado pelas alterações positivas nos parâmetros de fertilidade.

Com relação ao gesso, embora os parâmetros de fertilidade analisados tenham sofrido significativas elevações, as análises estatísticas indicaram um efeito depreciativo dificilmente explicável na produtividade da cultura.

Analisando-se a figura 39, pode-se verificar as interações entre as doses de calcário e as doses de gesso. Observa-se nesta figura que os resultados da testemunha do gesso apresentaram valores elevados de produtividade, sendo que para as demais dosagens, G1, G2 e G3, na presença de calcário apresentaram produtividades crescentes. Provavelmente, em função de tratar-se do primeiro plantio de cana-de-açúcar na área, as parcelas testemunhas foram beneficiadas por alguma irregularidade do terreno, a qual não pôde ser detectada pelos parâmetros de fertilidade analisados.

Para o segundo corte da cultura, Tabelas 09 e 10, o calcário apresenta efeito residual, estatisticamente significativo, a nível de 5% de probabilidade, ajustando-se também a uma equação linear, figura 40, de forma semelhante ao 1º corte da cultura.

Constatou-se ainda, para o segundo corte, um efeito bastante significativo da interação entre o gesso e o calcário, a nível de 5% de probabilidade. Independentemente da testemunha, se considerarmos a influência da aplicação

Figura 38. Efeito do calcário na produtividade agrícola da cana planta, cultivada no PVM/arg.

Figura 39. Efeitos da interação entre calcário e gesso na produtividade agrícola da cana-planta cultivada no PVM/arg.

Figura 40. Efeitos do calcário na produtividade agrícola do segundo corte da cana-de-açúcar, cultivada no PVm/arg.

isolada do gesso na produtividade agrícola do segundo corte, tabelas 09, 10 e figura 41, verifica-se um efeito depreciativo do gesso na produtividade agrícola. Analisando-se os resultados dos parâmetros de fertilidade obtidos, constata-se que aos 30 meses da aplicação isolada do gesso os teores de magnésio e a saturação por alumínio são prejudicados em relação à testemunha. Quando se observa os efeitos da interação calcário e gesso, Tabela 10, constata-se que tanto na produtividade agrícola, tabela 09 e figura 41, como nos parâmetros de fertilidade analisados, os resultados são positivos, indicando uma redução dos efeitos depreciativos do gesso, quando utilizado junto com o calcário.

Considerando-se os resultados de literatura dos efeitos do gesso nos atributos químicos de solos e na produtividade da cana-de-açúcar, DEMATTÊ (1992), FERREIRA et alii (1987), LORENZETTI et alii (1992), MORELLI et alii (1987) e MORELLI et alii (1992), ZOTARELLI (1992), verifica-se que todos os resultados positivos reportados foram obtidos em Latossolos e/ou Areias Quartzosas.

Através de comunicação pessoal com DEMATTÊ¹, foram obtidas informações de que experimentos desenvolvidos, envolvendo os efeitos do gesso na interação Solos Podzólicos x Cana-de-açúcar, ainda não apresentaram resultados positivos.

YAMADA (1988), realizando estudos sobre a capacidade de adsorção máxima de sulfato de diversos solos, inclusive Podzólicos, como parâmetro adicional na recomendação do gesso, também não encontrou respostas positivas do gesso aplicado em amostras de Podzólicos no desenvolvimento de raízes de trigo. O autor atribuiu a falta de resposta do gesso no desenvolvimento de raízes do trigo às

¹ DEMATTÊ, J.L.I. (ESALQ-Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"), comunicação pessoal, 1993.

Figura 41. Efeitos da interação gesso-calcário na produtividade agrícola do segundo corte da cana-de-açúcar, cultivada no PVM/arg.

elevadas quantidades de alumínio presentes nas amostras dos Podzólicos.

Os resultados obtidos no presente trabalho não corroboram a hipótese de YAMADA (1988), já que o Podzólico Vermelho Amarelo em questão apresenta teores de alumínio ao redor de 0,2 meq/100 ml de terra na camada superficial, e ao redor de 0,4 meq/100 ml de terra nas camadas subsuperficiais (Tabela 02).

4.7. Efeitos do calcário e gesso aplicados em soqueiras de cana-de-açúcar, na produtividade agrícola dos cortes subsequentes-Experimentos 03 e 04

Os resultados obtidos para a influência dos tratamentos adotados na produtividade agrícola de soqueiras de SP70-1143, cultivada em Latossolo Vermelho Amarelo Podzólico, apresentaram alta variabilidade entre as repetições, não se obtendo, portanto, efeitos estatisticamente significativos do calcário e/ou gesso nos 3 cortes subsequentes da cultura, embora tenham sido detectadas sensíveis modificações benéficas nos parâmetros de fertilidade, já analisadas e discutidas.

Com relação aos resultados obtidos dos efeitos dos tratamentos na produtividade agrícola das soqueiras da SP71-6163, cultivada em Latossolo Roxo álico, verificou-se um efeito positivo do gesso, altamente significativo, a nível de 1% de probabilidade, na primeira soca subsequente à adoção do mesmo, porém, sem resposta às doses de calcário conforme pode ser constatado na Tabela 11. Submetendo-se estes dados à regressão polinomial, constatou-se um melhor ajuste à

Tabela 11. Análise de variância dos resultados de produtividade de colmos de soqueiras de cana-de-açúcar, 1º e 3º cortes do experimento 04, conduzido em LRA.

QUADRO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA - 1ª CORTE

CAUSAS DA VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.> F
CALCÁRIO	1	56.2500000	56.2500000	0.7695	0.61103
FÓSFORO	1	162.5625000	162.5625000	2.2239	0.13919
GESSO	3	2265.3750000	755.1250000	10.3304	0.00010 **
CAL x FOS	1	162.5625000	162.5625000	2.2239	0.13919
CAL x GES	3	320.1250000	106.7083333	1.4598	0.23715
FOS x GES	3	95.0625000	31.6875000	0.4335	0.73369
CAL x FOS x GES	3	310.0625000	103.3541667	1.4139	0.25013
BLOCO	3	316.6250000			
RESÍDUO	45	3289.3750000	73.0972222		
TOTAL	63	6978.0000000			

MÉDIA GERAL = 99.250000

COEFICIENTE DE VARIAÇÃO = 8.614 %

QUADRO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA - 3ª CORTE

CAUSAS DA VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.> F
CALCÁRIO	1	631.2656250	631.2656250	5.58770	0.02120 *
FÓSFORO	1	102.5156250	102.5156250	0.90740	0.65205
GESSO	3	822.5468750	274.1822917	2.42700	0.07668
CAL x FOS	1	34.5156250	34.5156250	0.30550	0.58976
CAL x GES	3	29.2968750	9.7656250	0.08640	0.96631
FOS x GES	3	31.7968750	10.5989583	0.09380	0.96226
CAL x FOS x GES	3	1054.5468750	351.5156250	3.11150	0.03483 *
BLOCO	3	3235.4218750			
RESÍDUO	45	5083.8281250	112.9739583		
TOTAL	63	11025.7343750			

MÉDIA GERAL = 84.859380

COEFICIENTE DE VARIAÇÃO = 12.525 %

* Estatisticamente significativo a 5% de probabilidade.

** Estatisticamente significativo a 1% de probabilidade.

regressão quadrática, cuja equação é apresentada na figura 42.

Verifica-se, através da figura 42, que as soqueiras tratadas responderam com acréscimos de produtividade de colmos de cana-de-açúcar (10 a 15 t/ha) até a dosagem de 6,0 t de gesso/ha. Provavelmente, conforme indicaram as modificações provocadas no solo, apenas parte do gesso aplicado deve ter reagido, já que nas soqueiras a incorporação ao solo limita-se a uma profundidade de 10-15cm, proporcionada pela tríplice operação, o que reduziria sua reação se comparada a uma incorporação ao redor de 30-40cm em pré-plantio da cultura, cujas reações seriam aceleradas pelo contato do gesso com um maior volume de solo.

No que se refere ao experimento em questão, após a primeira colheita, ou seja, decorridos 12 meses da aplicação dos insumos, foram adotadas reaplicações de gesso (0, 3, 6 e 9 t/ha) em sobreposição às doses de 3 e 9 t/ha. Os efeitos destas reaplicações na produtividade agrícola do ano seguinte (24 meses após as primeiras dosagens e 12 meses após as reaplicações) não puderam ser avaliados, porém, os dados referentes aos efeitos residuais no corte subsequente (36 meses após as primeiras aplicações e 24 meses após as reaplicações) foram obtidos e submetidos a análise de variância (Tabela 11, 3º corte) .

Através da análise destes resultados pode-se verificar com alta significância estatística, 5% de probabilidade, um efeito residual do calcário, 36 meses após sua aplicação, e um efeito residual do gesso com menor significância estatística, 24 meses após sua aplicação.

Figura 42. Efeitos do gesso aplicado em soqueiras da cana-de-açúcar, cultivada no LRa, na produtividade do corte subsequente da cultura.

Na figura 43, a qual contém os efeitos do gesso no acréscimo da produtividade agrícola da cultura, pode ser verificado que a adoção de dosagens elevadas prolongou seu efeito residual, porém, apesar das quantidades de gesso utilizadas, o calcário complementou de forma significativa os efeitos do gesso, mostrando, conforme também constatado para cana-planta, sua alta eficiência em estender seus efeitos por maior período de tempo.

Na figura 44 são apresentados os efeitos do gesso na produtividade agrícola da cultura, 36 meses após sua aplicação, na ausência e na presença de calcário.

Verifica-se que o calcário foi eficiente em complementar os efeitos do gesso na produtividade, mesmo nas maiores dosagens do gesso, mostrando, de forma semelhante aos resultados obtidos para cana-planta, maior eficiência do calcário a médio e longo prazos, complementando os efeitos benéficos do gesso a curto prazo.

4.8. Efeitos da interação fósforo x calcário x gesso, aplicados em soqueiras de cana-de-açúcar, na produtividade da cultura

O delineamento experimental adotado nos estudos de soqueiras permitiram a avaliação dos efeitos da interação entre o fósforo, calcário e gesso aplicados.

Os resultados obtidos dos efeitos destas interações na produtividade de soqueiras de SP71-6163 cultivada no Latossolo Roxo álico encontram-se na figura 45. Verifica-se através desta figura, que quando foi adotado o fósforo isoladamente, na dosagem de 45 kg/ha, o mesmo não apresentou efeitos benéficos na produtividade da cultura, já que a diferença observada não apresenta significância

Figura 43. Efeito residual do gesso aplicado em soqueira de cana-de-açúcar, cultivada no LRA, na produtividade agrícola da cultura.

Figura 44. Efeito residual do calcário e gesso, 36 meses após suas aplicações em soqueiras da cana-de-açúcar, na produtividade agrícola da cultura.

estatística. Porém, quando foi adotado, conjuntamente ao calcário ou ao calcário mais gesso, apresentou influência positiva a nível de 5% de probabilidade na produtividade das soqueiras, Tabela 11. Provavelmente os efeitos positivos desta interação estejam associados à elevação do pH obtida com a adoção do calcário, mantendo, assim, o fósforo em formas mais solúveis e portanto, disponível para a cultura.

Saliente-se, no entanto, que por não constituir-se o assunto no enfoque principal do presente trabalho, o mesmo foi pouco explorado, porém, indubitavelmente, constitui-se o tema de grande importância no meio canavieiro, o qual deve ser mais detalhadamente estudado.

Figura 45. Efeitos das interações fósforo x calcário e fósforo x calcário x gesso, aplicados em soqueiras de cana-de-açúcar, cultivada no LRA, na produtividade do corte subsequente. Experimento 04.

5. CONCLUSÕES

O calcário promoveu significativos incrementos nos teores de cálcio, magnésio, valor S, V% e pH, restringindo, no entanto, a maior parte destes efeitos à camada superficial, enquanto que o gesso acelerou o fornecimento de cálcio, bem como promoveu a incorporação de cálcio, magnésio e sulfato a maiores profundidades.

Tanto o calcário como o gesso utilizados em pré-plantio da cana-de-açúcar reduziram sensivelmente seus efeitos benéficos nos atributos químicos dos solos após dois cortes da cultura, PVm/argila, e tres cortes, LEd, implicando na necessidade de reaplicação dos insumos em soqueiras.

A adoção de dosagens elevadas de gesso agrícola não provocou modificações drásticas nos cátions básicos ao longo do perfil do solo, indicando que o produto apresenta um limite de solubilidade, também dependente da forma e profundidade de incorporação e de características edafoclimáticas.

A utilização do gesso no PVm/arg propiciou efeitos depreciativos na produtividade agrícola nos dois cortes analisados, apesar das modificações benéficas nos atributos químicos do solo em questão, enquanto que o calcário apresentou-se eficiente em elevar a produtividade da cultura.

O gesso agrícola quando utilizado nos latossolos, tanto em pré-plantio da cultura como em soqueiras apresentou maior capacidade de elevar a produtividade da cultura a curto e médio prazos (1º e 2º cortes), enquanto o calcário foi mais eficiente em prolongar seus efeitos a longo prazo (2º e 3º cortes).

6. LITERATURA CITADA

- BERTON, R.S. Especificação iônica da solução do solo, metodologia e aplicações. In: DECHEN, A.R., CARMELLO, Q.A. de C. e FLOSS, E.L. Simpósio avançado de solos e nutrição de plantas, 2, Anais. Campinas. Fundação Cargill, 1989. p.17-41.
- BORKERT, C.M.; PAVAN, M.A.; LANTMANN, A.F. Considerações sobre o uso de gesso na agricultura (1). Piracicaba, Potafos, 1987. 3p. (Informações Agronômicas, 40).
- CAMARGO, A.P.; PINTO, H.S.; BRUNINI, O.; PEDRO JUNIOR, M.J.; ORTOLANI, A.A.; ALFONSI, R.R. Clima do Estado de São Paulo. In: ZONEAMENTO AGRÍCOLA DO ESTADO DE SÃO PAULO. 1974. Vol. 1:51-87.
- CAMARGO, C.E.O. Tolerância de cultivares de arroz a dois níveis de alumínio em soluções nutritivas contendo diferentes concentrações de sais. *Bragantia* 43:381-388, 1984.
- CAMARGO, C.E.O. Trigo: efeito de magnésio combinado com forças iônicas em solução nutritiva na tolerância ao alumínio. *Bragantia* 46:191-202, 1987.

- CAMARGO, O.A. & RAIJ, B. van. Movimento do gesso em amostras de latossolos com diferentes propriedades eletroquímicas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO. 21. 1987.
- CAMARGO, O.A.; FURLANI, P.R. Alumínio no solo: concentração, especificação e efeito no desenvolvimento radicular. In: DECHEN, A.R.; CARMELLO, Q.A. de; FLOSS, E.L. II Simpósio avançado de solos e nutrição de plantas. Anais. Campinas. Fundação Cargill. 1989. p.45-69.
- CORDEIRO, O.A. Efeitos da calagem e da adubação potássica sobre a produção de colmo e o equilíbrio nutricional da cana-de-açúcar (*Saccharum spp*). Piracicaba, 1978 (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).
- COSTA, C.A.S. Mineralização de enxofre orgânico e adsorção de sulfato em solos. Porto Alegre, 1980. 65p. (Mestrado - Universidade Federal do Rio Grande do Sul).
- COUTO, W.; LATHWELL, O.J.; BOULDEN, O.R. Sulfate sorption by two oxisols and an alfisol of the tropics. Soil Sci., 127:108-116, 1979.
- DEMATTE, J.L.I. Aptidão agrícola de solos e o uso do gesso. In: SEMINÁRIO SOBRE O USO DO GESSO NA AGRICULTURA, 2, Uberaba. MG. 1992. p.307-324.
- ERNANI, P.R.; FIGUEIREDO, O.A.R.; AMARAL, A.S. Aumento de matéria seca de trigo e da disponibilidade de K decorrentes do pH e da adição de gesso e calcário. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO. 21. Goiânia, GO. Programa e Resumos. 1993. Vol. II. p.07.

- FERREIRA, E. da S.; KORNDORFER, G.H.; MARTINS, J.; MATTHIELSEN, L.A. Efeitos da aplicação de gesso + calcário sobre algumas características químicas em latossolo vermelho-amarelo. Boletim Técnico Copersucar, 1987. p.13-15.
- FURLANI, P.R. & BERTON, R.S. Atividade de cálcio e alumínio e desenvolvimento radicular. In: SEMINÁRIO SOBRE O USO DO GESSO NA AGRICULTURA, 2, Uberaba, MG. 1992. p.121-138.
- GAVIOLI, E.A. Efeito do calcário dolomítico calcinado, gesso e misturas calcário calcinado/gesso na cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum spp*). Jaboticabal, 1989. 65p. (Graduação - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias/UNESP).
- KOFFLER, N.F. A profundidade do sistema radicular e o suprimento de água às plantas no cerrado. Piracicaba, Potafos, 1986. 12p. (Informações Agronômicas, 33).
- LOPES, A.S. Calagem e gesso agrícola. Encontro técnico sobre gesso agrícola. Belo Horizonte, 1986. 58p.
- LORENZETTI, J.M.; RODRIGUES, J.C.; MORALES, S.H. & DEMATTÊ, J.L.I. Uso de calcário e gesso em soqueira de cana-de-açúcar. 1992. 15p. (Mimeografado).
- MALAVOLTA, E. O gesso agrícola no ambiente e na nutrição da planta - perguntas e respostas. Jaboticabal. XVI Semana de Ciências e Tecnologia Agropecuária. 1991, 29p. (Mimeografado).
- MARINHO, M.L. & ALBUQUERQUE, G.A.C. Calibração do cálcio + magnésio no solo para cana-de-açúcar em Alagoas. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS DO BRASIL, 2, Rio de Janeiro. Anais, 1981.

- MORAIS, F.I.; PAGE, A.L.; LUNO, L.V. The effect of pH, salt concentration, and nature of electrolytes on the charge characteristics of Brazilian tropical soils. Soil Sci. Soc. Am. J., 40:521-527.
- MORELLI, J.L.; NELLI, E.J.; DEMATTÊ, J.L.I.; DALBEN, A.E. Efeito do gesso e calcário nas propriedades químicas de solos arenosos álicos e na produção da cana-de-açúcar. Revista da Soc. Técnicos Açucareiros do Brasil, Piracicaba, 6(2), 24-31. 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. Rev. Bras. Ci. Solo, Campinas. 16.2. 187-194. 1992.
- OLIVEIRA, J.B. de; ALFONSI, R.R.; PEDRO JUNIOR, M.J. Regimes hídricos e térmicos dos solos do Estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 15., Campinas, SP. Anais. 1975. p.359-363.
- PAVAN, M.A. Toxicity of Al(III) to coffee (*Coffea arabica* L.) in nutrient solution culture and in Oxisols and Ultisols amended with CaCO_3 , MgCO_3 and $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Riverside. 1981. (Doutorado - Universidade da Califórnia).
- PAVAN, M.A. & VOLKWEISS, S.J. Efeitos do gesso nas relações solo-planta: Princípios. In: SEMINÁRIO SOBRE O USO DO FOSFOGESSO NA AGRICULTURA, 1, Brasília, DF, 1985. Anais. Brasília, EMBRAPA-DDT, 1986. p.107-144.

- PAVAN, M.A.; BINGHAM, F.T. & PRATT, P.F. Redistribution of exchangeable calcium, magnesium, and aluminium following lime or gypsum applications to a Brazilian oxisol. Soil Sci. Soc. Am. J., Madison, 48:33-38, 1984.
- PAVAN, M.A.; BINGHAM, F.T. & PERYA, F.J. Influence of calcium and magnesium salts on acid soil chemistry and calcium nutrition of apple. Soil Sci. Soc. Am. J., Madison, 51:1526-1530, 1987.
- PEREIRA, J.R.; VALDIVIESO, C.R. & CORDEIRO, G.G. Recuperação de solos afetados por sódio através do uso de gesso. In: SEMINÁRIO SOBRE O USO DO FOSFOGESSO NA AGRICULTURA, 1., Brasília, DF, 1985. Anais. Brasília, EMBRAPA-DDT, 1986. p.85-105.
- QUAGGIO, J.A.; DECHEN, A.R. & RAIJ, B. van. Efeitos da aplicação de calcário e gesso sobre a produção de amendoim e lixiviação de bases no solo. R. Bras.Ci. do Solo. 6:189. 1982.
- RAIJ, B. van. Gesso agrícola na melhoria do ambiente radicular no subsolo. São Paulo. Associação Nacional para Difusão de Adubos e Corretivos Agrícolas. 1988. 88p.
- RAIJ, B. VAN & QUAGGIO, J.A. Métodos de análise de solo para fins de fertilidade. Campinas, Instituto Agronômico, 1993. 31p. (Boletim Técnico, 81).
- REEVE, N.G. & SUMNER, M.E. Amelioration of subsoil acidity in Natal Oxisols by leaching of surface applied amendments. Agrochemaphysica 4:1-5, 1972.

- RITCHEY, K.D.; SILVA, J.E. & SOUZA, D.M.G. Relação entre o teor de cálcio no solo e desenvolvimento de raízes avaliado por um método biológico. R. Bras. Ci. Solo, 7:260-275, 1983.
- RITCHEY, K.D.; SOUZA, D.M.G.; SILVA, J.E. Strategies for increasing calcium in low-CEC subsoils. In: ANNUAL MEETING OF THE AMERICAN SOCIETY OF AGRONOMY, 75. Washington, EUA. 1983. Agronomy abstrats. Washington, Am. Soc. Agron., 1983. p.202.
- RITCHEY, K.D.; SOUZA, D.M.G.; LOBATO, E. & CORREIA, O. Calcium leaching to increase rooting depth in a Brazilian Savannah Oxisol. Agron. J. 72:40-4, 1980.
- RITCHEY, K.D.; SOUZA, D.M.G.; LOBATO, E.; CORREIA, O. Lixiviação do cálcio e crescimento de raízes em solos de cerrados. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 18., Salvador, BA. Programa e Resumos. 1981. p.96.
- ROSOLEM, C.A. & MACHADO, J.R. Efeito da calagem e gessagem na produção de algodão e na lixiviação de bases em dois latossolos. Rev. Bras. Ci. Solo, Campinas, 8:103-109, 1984.
- SOUZA, D.M.G. Uso de gesso na adubação. In: SEMINÁRIO DA AGROINDÚSTRIA CANAVIEIRA DE PERNAMBUCO, PARAIBA E RIO GRANDE DO NORTE. 4. 1988.
- SOUZA, D.M.G. & RITCHEY, K.D. Uso de gesso no solo. In: SEMINÁRIO SOBRE O USO DE FOSFOGESSO NA AGRICULTURA, 1., Brasília, 1985. Anais. Brasília, EMBRAPA-DDT, 1986. p.119-144.

- SOUZA, D.M.G.; LOBATO, E.; RITCHEY, K.D.; REIN, T.A. Resposta de culturas anuais e leucena a gesso no cerrado. In: SEMINÁRIO SOBRE O USO DO GESSO NA AGRICULTURA, 2, Uberaba, MG. 1992. p. 277-306.
- SUMNER, M.E. Uso atual do gesso no mundo em solos ácidos. In: SEMINÁRIO SOBRE O USO DO GESSO NA AGRICULTURA, 2., Uberaba, MG, 1992. p.07-40.
- SUMNER, M.E.; FEY, M.V.; FARIMA, M.P.W. Amelioration of acid subsoils with phosphogypsum. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PHOSPHOGYPSUM, 2, Miami. 1986. p.41-45.
- TISDALE, S.L. & NELSON, W.L. Soil fertility and fertilizers. New York, McMillan, 1975. 694p.
- VITTI, G.C. Efeitos de fontes e doses de enxofre na cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum spp*). Jaboticabal, 1988. 183p. (Livre-docência - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias/UNESP).
- VITTI, G.C. Avaliação e Interpretação do enxofre no solo e na planta. Jaboticabal. FUNEP, 1989. 37p.
- VITTI, G.C.; MUTTON, M.A.; MAGALHÃES, P.M. de; FERREIRA, M.E. & CARVALHO, M.J.V. Efeito de doses de gesso e de calcário na cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum sp.*) variedade NA56-79. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO. 16., Ilhéus, BA. Resumos. 1984. p.40.
- VITTI, G.C.; MAZZA, J.A.; PEREIRA, H.S.; DEMATTÊ, J.L.I. Resultados experimentais do uso do gesso na agricultura - Cana-de-açúcar. In: SEMINÁRIO SOBRE O USO DO GESSO NA AGRICULTURA, 2., Uberaba. MG. 1992. p.191-224.

YAMADA, T. Capacidade de adsorção máxima de sulfato do solo como parâmetro adicional na recomendação do gesso. Piracicaba, 1988. 73p. (Doutorado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).

ZOTARELLI, E.M.M. Calagem e gessagem em uma areia quartzosa cultivada com cana-de-açúcar. Piracicaba, 1992, 73p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz").