

AÇÃO DO GESSO E DO CALCÁRIO NA RELAÇÃO CÁLCIO:MAGNÉSIO DO SOLO E NA PRODUTIVIDADE DA CANA-DE-AÇÚCAR

José Luiz Ioriatti Dematté¹

INTRODUÇÃO

Tem sido muito comum nos meios acadêmicos, inclusive em cursos de fertilidade de solo, assim como nas áreas técnicas das usinas de açúcar e nas reuniões com especialistas na área de nutrição, questionamentos relacionados à influência da relação Ca:Mg nos aspectos nutricionais da cultura da cana-de-açúcar inseridos do conceito de “equilíbrio de nutrientes no solo”. De acordo com este conceito, um solo equilibrado deve apresentar, na capacidade de troca catiônica (CTC), 45% a 50% de cálcio, 12% a 15% de magnésio e 3% a 5% de potássio. Por outro lado, grande parte dos laboratórios de análises de solos também apresentam, nas tabelas de resultados, diversas relações entre nutrientes, inclusive a de Ca:Mg. Tem havido casos em que se preconiza que a relação Ca:Mg deva ser 4:1 (BENITES, CARVALHO, REZENDE et al., 2009) ou valores próximos, inclusive com relações mais estreitas. A questão que surge é a seguinte: Qual seria a razão destes questionamentos, considerando que tanto o cálcio como o magnésio, assim como os demais cátions do solo, apresentam raio iônico e coordenação com moléculas de água diferentes e, portanto, sem nenhuma relação entre si? Ambos os cátions – Ca e Mg – são bivalentes, porém o cálcio apresenta menor hidratação do que o magnésio e, apesar de estar em coordenação 6, octaédrica (BLOSS, 1971), é mais fortemente retido pelos colóides do solo. O potássio, por ser monovalente, é retido com menor força, comparado ao cálcio e ao magnésio.

A água do mar é alcalina porque o sódio é um dos primeiros cátions a ser removido pelo intemperismo das rochas e dos solos e por apresentar maior grau de hidratação em relação ao potássio, vindo a seguir os demais cátions. Aliás, a série liotrópica nada mais é do que uma sequência lógica de retenção de cátions pelo solo. Em outras palavras, o solo tende a sempre apresentar maior teor de cálcio do que de magnésio e maior teor de magnésio do que de potássio, e este maior que de sódio. Um fator que pode alterar a posição do cálcio em relação ao magnésio, tornando o cálcio menos disponível no solo, e de ocorrência não muito comum, é a presença de magnésio ocluso nos microagregados de solos muito intemperizados da região do cerrado. Neste caso, por intermédio do processo de preparo das amostras de solos, assim como do processo analítico, este magnésio aparece com teor maior do que o de cálcio. Outro caso ocorre em solos das regiões semi-áridas, onde há possibilidade do teor de magnésio suplantarem o de cálcio, porém na forma de sais contidos na solução do solo.

Um dos trabalhos mais completos sobre a relação Ca:Mg está em um dos capítulos do livro “Acidez e calagem em solos tropicais”, de autoria de Quaggio (2000). O autor aborda com muita propriedade este tema, assim como apresenta a origem do conceito de saturação por cátions no complexo de troca de íons, idealizado por Bear e Prince (1945), há 56 anos, e posteriormente por Bear e Toth (1948), a partir do qual surgiu o conceito de solo “ideal de Bear”. Neste conceito, o cálcio ocupa cerca de 65% do complexo de troca, o magnésio 10%, o potássio 5% e o H 20%, considerando-se solo com argila de alta atividade.

Resultados das análises de inúmeras amostras de solos realizadas no laboratório do Departamento de Solos da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, em Piracicaba, SP, a maioria contendo argila de baixa atividade, mostraram saturação por bases de cerca de 65%, revelando distribuição de cátions no complexo de troca não muito diferente da observada no solo idealizado por Bear, porém, com patamares ligeiramente inferiores. De qualquer forma, estas relações não são casuais, como indicado na série liotrópica.

O levantamento bibliográfico nacional e internacional sobre o tema, apresentado primeiramente por Quaggio (2000), é abrangente, sendo incrementado posteriormente por Benites, Carvalho, Rezende et al. (2009). Nesses estudos, os autores comentam que é importante manter adequados os níveis de cálcio e magnésio no solo ao invés de se buscar uma relação ideal entre tais nutrientes, a qual não tem se mostrado relevante para a produtividade. Além disso, salientam que relações extremas afetam as plantas, porém tal fato não revela um efeito direto da relação Ca:Mg, mas sim a deficiência de um ou de outro nutriente. Na Bahia, por exemplo, observam-se perfis de Vertissolos com relações Ca:Mg superiores a 12:1. Exemplo disso está na região do Projeto Tourão, onde, a despeito dos Vertissolos apresentarem relação Ca:Mg de 40:1, aumentando em profundidade, a produtividade da cana-de-açúcar não é baixa. Em casos como esse, observa-se um efeito muito acentuado do material de origem do solo, muito rico em minerais contendo cálcio. Entretanto, o teor de magnésio nestes solos tem-se mantido acima do limite mínimo, o que vem explicar, de um lado, a elevada relação Ca:Mg acompanhada de produtividade também elevada.

Para a cultura da cana-de-açúcar, não há na literatura nacional trabalho de pesquisa que relacione produtividade à relação Ca:Mg, embora existam os mesmos questionamentos por parte

Abreviações: Al = alumínio, Ca = cálcio, CTC = capacidade de troca de cátions, H = hidrogênio, K = potássio, Mg = magnésio, N = nitrogênio, NG = necessidade de gesso, P = fósforo, TCH = tonelada de cana por hectare, V = saturação por bases do solo.

¹ Professor Titular e ex-Chefe do Departamento de Solos e Nutrição de Plantas, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP; email: jlid@terra.com.br

dos técnicos quanto à influência desta relação na produtividade. Por outro lado, com o uso do gesso em larga escala, tanto em plantio como principalmente em soqueira, desde a década de 90 (Morelli et al., 1992), tem-se questionado também sobre a ação deste produto na diminuição do teor de Mg no solo e, portanto, no aumento da relação.

Devido a estas questões é que se propôs a execução deste estudo, muito embora, no caso do gesso, existam outros atributos relacionados à sua ação no aumento da produtividade da cana, como a presença de enxofre e do próprio cálcio.

No presente trabalho, as considerações acerca da relação Ca:Mg foram efetuadas tanto para cana-planta como para soqueira usando calcário e gesso. No estudo com cana-planta, em que visouse também o efeito residual dos corretivos nas soqueiras, com mais três cortes, foram utilizadas informações contidas no trabalho original de Morelli et al. (1992), desenvolvido na Usina Barra Grande, em Lençóis Paulista, SP, cujos resultados analíticos não foram ainda publicados. Para o estudo com cana-soca foram utilizados dados de dois experimentos, usando-se calcário e gesso em latossolos com teores crescentes de argila, na Usina São José, em Macatuba, SP.

MATERIAL E MÉTODO

Instalação dos testes em cana-planta

Em meados de setembro de 1986, na região de Lençóis Paulista, SP, a área de um latossolo de textura média-arenosa foi preparada convencionalmente para a instalação, em março de 1987, de um experimento de adubação de cana-de-açúcar em parcelas controladas de 10 sulcos de 15 metros, com quatro repetições. Os corretivos, calcário dolomítico e gesso, foram aplicados a lanço e incorporados ao solo com grade. A recomendação de calcário, com PRNT de 80%, para atingir o nível de 60% da CTC, foi de 2,8 t ha⁻¹. Adotou-se, neste trabalho, as dosagens de 0 t ha⁻¹, 2 t ha⁻¹, 4 t ha⁻¹ e 6 t ha⁻¹, sendo a dosagem máxima utilizada para estudo do efeito residual. Em relação ao gesso, por ocasião da instalação do experimento não havia critério para sua aplicação, e este trabalho teve como objetivo também promover uma primeira indicação de recomendação deste produto. Neste caso, as quantidades de gesso utilizadas foram iguais às aquelas recomendadas para calcário. Posteriormente, o solo foi sulcado e adubado com 20–120–120 kg ha⁻¹ de N–P₂O₅–K₂O.

Em julho de 1988, foi realizado o primeiro corte na cana-de-açúcar e as amostras compostas de solos foram retiradas das entrelinhas das parcelas correspondentes nas profundidades de 0–25 cm, 26–50 cm, 51–75 cm, 76–100 cm e 101–125 cm e enviadas para análise química de: carbono orgânico, pH (CaCl₂), P, Ca, Mg, K, Al, H + Al, CTC e V%, seguindo as orientações de Raij e Quaggio (1983).

Em julho de 1989, realizou-se o segundo corte e as amostras foram novamente retiradas e enviadas para análise. A soqueira foi fertilizada com 100-00-120 kg ha⁻¹ de N–P₂O₅–K₂O. Posteriormente, em agosto de 1990 e setembro de 1991, foram realizados o terceiro e o quarto cortes e, em sequência, as soqueiras foram adubadas de acordo com as recomendações anteriores.

Instalação dos testes em soqueira

No início da década de 90, iniciou-se a aplicação de corretivos e gesso também em soqueira, principalmente nas usinas do Grupo Zillo/Lorenzetti. No caso do gesso, já havia, nesta época, uma indicação para as dosagens baseada nos valores da CTC e da saturação por bases, posteriormente publicada por Demattê (2005).

No experimento das soqueiras, foram tomados os devidos cuidados na escolha dos talhões, considerando-se: baixo percentual de falhas; variedade de cana sadia; manejo com corte manual, para evitar o excesso de compactação; ausência de praga de solos, entre outros.

Para o estudo, foram escolhidos dois talhões na safra 91/92, de segundo e terceiro cortes, da Usina São José, em Macatuba, SP, em latossolos distróficos: um deles de textura média-arenosa, designado de Área 1, e outro de textura média-argilosa, designado de Área 2. Após a escolha, parcelas de 10 sulcos de 15 m foram demarcadas com glifosato e os produtos – calcário e o gesso – incorporados ligeiramente, na operação de cultivo, com 100–00–120 kg ha⁻¹ de N–P₂O₅–K₂O, em junho de 1991. A dose de calcário correspondeu a 60% da saturação por bases, no caso 2 t ha⁻¹, e as doses de gesso, 2 t ha⁻¹ e 4 t ha⁻¹. Foi incluída uma parcela com 2 t ha⁻¹ + 4 t ha⁻¹ de calcário e gesso, respectivamente. Após 12 meses, na safra 92/93, a cana foi cortada e pesada nas duas áreas e as amostras compostas de solos foram retiradas das entrelinhas das parcelas correspondentes nas profundidades de 0–25 cm, 26–50 cm, 51–75 cm e 76–100 cm e enviadas para a análise química, seguindo as orientações de Raij e Quaggio (1983).

RESULTADOS E CONCLUSÕES

SOQUEIRA

Os resultados das análises de cálcio, magnésio, saturação por bases e produtividade de colmos da Área 1, após o terceiro corte, estão indicados na Tabela 1. Nota-se no tratamento testemunha que, após o terceiro corte, esta área já mostrava deficiência de nutrientes, indicando saturação por bases na faixa de 29% na camada superficial, decrescendo sensivelmente em profundidade, atingindo valores inferiores a 20%. A produtividade de 72 t ha⁻¹ desta parcela estava próxima do limite de produtividade de reforma, no caso para aquela usina e naquele ano, de 70 t ha⁻¹. A relação Ca:Mg na testemunha, de 2,3 para a camada superficial, pode ser considerada adequada. Entretanto, analisar somente esta relação, sem se considerar a saturação por bases, pode conduzir o observador a falhas, uma vez que o solo é pobre. Com a aplicação de 2 t ha⁻¹ de calcário, após 12 meses, a saturação por bases atingiu o valor de 38%, apesar da quantidade de corretivo ter sido calculada para um valor de 60%. Isto se explica pelo fato de o corretivo não ter sido incorporado com grade ou arado, embora a segunda camada tenha sido melhorada pela ação do calcário quando V% passou de 17% para 20%. Por outro lado, a produtividade aumentou, passando para 78,4 t ha⁻¹, em área que, teoricamente, não estaria em situação de reforma. A relação Ca:Mg neste tratamento não se alterou muito em relação à testemunha, porém, houve sensível enriquecimento tanto de cálcio quanto de magnésio no solo, praticamente dobrando a quantidade deste último, pela ação do calcário dolomítico.

Com a aplicação de 2 t ha⁻¹ de gesso, a produtividade da cana aumentou para 88,7 t ha⁻¹, cerca de 10 t ha⁻¹ a mais em relação ao tratamento com calcário, porém houve alterações nos teores de cálcio, magnésio e, conseqüentemente, na saturação por bases do solo. No caso do cálcio, o gesso promoveu enriquecimento do solo em profundidade, em comparação com a testemunha e, inclusive, com a parcela com calcário. Isso ilustra o efeito da maior solubilidade do gesso, comparado ao calcário (VITTI et al., 2008), e, em consequência, a translocação do cálcio pelo sulfato. Por outro lado, o gesso reduziu o teor de magnésio na camada superficial do solo, inclusive quando comparado à testemunha, ao contrário do ocorrido na parcela com calcário. A relação Ca:Mg na camada superficial da parcela com gesso passou para 6,7,

Tabela 1. Resultados de cálcio, magnésio, saturação por bases, relação Ca:Mg e produtividade de cana (TCH) aos 12 meses após a aplicação dos corretivos em latossolo de textura média-arenosa, safra 1992/93.

Área 1 - Tratamentos	Profundidade (cm)	Ca - - - (cmol dm ⁻³) - - -	Mg	V (%)	Ca:Mg	TCH (t ha ⁻¹)
Testemunha	0-25	0,58	0,25	29	2,3	72,0 a
	25-50	0,43	0,13	17	3,3	
	50-75	0,44	0,13	17	3,3	
	75-100	0,20	0,10	14	2,1	
2 t ha ⁻¹ calcário	0-25	0,80	0,48	38	1,7	78,4 b
	25-50	0,45	0,12	20	3,7	
	50-75	0,23	0,10	11	2,3	
	75-100	0,23	0,10	14	2,1	
2 t ha ⁻¹ gesso	0-25	0,61	0,15	34	6,7	88,7 bc
	25-50	0,54	0,14	19	3,8	
	50-75	0,42	0,13	16	3,3	
	75-100	0,28	0,10	15	2,8	
4 t ha ⁻¹ gesso	0-25	0,86	0,14	27	6,2	84,6 bc
	25-50	0,48	0,07	18	6,8	
	50-75	0,33	0,13	16	2,5	
	75-100	0,27	0,11	22	2,4	
2 t ha ⁻¹ calcário + 4 t ha ⁻¹ gesso	0-25	1,47	0,65	44	2,2	87,0 bc
	25-50	0,83	0,25	25	3,3	
	50-75	0,74	0,21	25	3,5	
	75-100	0,61	0,17	22	3,5	

comparado a 1,7 com calcário, e a produtividade aumentou. Nota-se que o aumento da relação é função da redistribuição do cálcio em profundidade, além do fato de que o teor de magnésio ainda está superior ao valor crítico (RAIJ, 1981).

Dobrando-se a quantidade de gesso, para 4 t ha⁻¹, observa-se que, embora a produtividade tenha se mantido alta, houve uma sensível alteração nos teores de cálcio, mas principalmente nos de magnésio. Em relação a esta dose de gesso, constata-se que houve diminuição dos teores de magnésio nas camadas superficiais e, em consequência, aumento da relação Ca:Mg na segunda camada, quando comparada com as parcelas que receberam 2 t ha⁻¹. Com a relação Ca:Mg mais aberta, proporcionada pelo gesso, houve aumento da produtividade de cana, em comparação com as demais parcelas.

No entanto, quando foram aplicados conjuntamente calcário e gesso, a relação Ca:Mg diminuiu, mantendo, entretanto, a mesma produtividade, no caso das parcelas com gesso, porém com distribuição de cálcio e magnésio bem mais segura e adequada ao longo do perfil do solo. Neste tratamento, o valor da saturação por bases aumentou na camada superficial, assim como em profundidade.

Os resultados das análises de solo, de produtividade e da relação Ca:Mg da Área 2 estão indicados na Tabela 2.

Nota-se que a situação desta soqueira, após o quarto corte, é um pouco diferente da apresentada na Área 1, justamente pela elevada produtividade apresentada pela testemunha, apesar dos níveis de saturação por bases, inferiores a 20%, estarem bem aquém dos recomendados usualmente. Entretanto, neste caso, o maior teor de argila do solo é que, possivelmente, proporcionou a diferença nos resultados. Nota-se também que a relação Ca:Mg é estreita, de 2,2, apesar

do teor de magnésio estar bem acima do valor crítico. Na parcela com 2 t ha⁻¹ de calcário, o aumento de produtividade foi de 9 t ha⁻¹, valor mais do que adequado para uma soqueira. Como era de se esperar quando se aplica calcário dolomítico, houve enriquecimento tanto de cálcio como de magnésio no solo, principalmente na camada superficial, e a relação Ca:Mg permaneceu estreita. Porém, a quantidade de corretivo calculada para se atingir 60% da saturação por bases na camada superficial do solo não foi suficiente, ficando próximo a 30%. Tal resultado pode ser explicado devido ao fato de que o corretivo aplicado na superfície do solo não é incorporado profundamente no caso de soqueiras.

Em contraste, quando foram aplicadas doses de 2 e 4 t ha⁻¹ de gesso, houve empobrecimento em magnésio nas camadas superficiais e uma redistribuição do elemento em profundidade; em relação ao cálcio, porém, houve enriquecimento tanto em superfície como em profundidade. Devido ao aumento do teor de cálcio e redução no teor de magnésio com o uso da dose de 4 t ha⁻¹, a relação Ca:Mg foi ampliada para 6,2 na camada superficial e 6,8 na camada de 26-50 cm. Novamente, neste caso, pode-se notar que o efeito do aumento da produtividade não está relacionado à relação Ca:Mg, mas sim à redistribuição dos nutrientes em profundidade e, em consequência, da maior exploração radicular.

No caso da parcela onde foram aplicados calcário e gesso, a produtividade agrícola manteve-se semelhante à dos outros tratamentos, porém, houve um adequado enriquecimento de Ca e Mg em todo o perfil estudado, inclusive com sensível aumento da saturação por bases na camada superficial. A relação Ca:Mg ficou em 2,4 na camada superficial, mantendo-se relativamente constante em profundidade, semelhante ao observado na parcela com calcário.

Tabela 2. Resultados da análise de cálcio, magnésio, saturação por bases, relação Ca:Mg e produtividade de cana (TCH), aos 12 meses após a aplicação dos corretivos, em latossolo de textura média-argilosa, safra 1992/93.

Área 2 - Tratamentos	Profundidade (cm)	Ca - - - (cmol dm ⁻³) - - -	Mg	V (%)	Ca:Mg	TCH (t ha ⁻¹)
Testemunha	0-25	0,57	0,26	19	2,2	83 a
	25-50	0,37	0,22	20	1,7	
	50-75	0,25	0,09	12	2,7	
	75-100	0,25	0,09	12	2,7	
2 t ha ⁻¹ calcário	0-25	0,75	0,40	29	1,8	92 b
	25-50	0,27	0,18	19	1,5	
	50-75	0,25	0,15	13	1,7	
	75-100	0,25	0,10	16	2,5	
2 t ha ⁻¹ gesso	0-25	0,87	0,19	23	4,6	94 b
	25-50	0,44	0,12	15	3,7	
	50-75	0,28	0,10	13	2,8	
	75-100	0,29	0,10	12	2,8	
4 t ha ⁻¹ gesso	0-25	0,86	0,14	23	6,2	97 b
	25-50	0,48	0,07	16	6,8	
	50-75	0,33	0,13	16	2,5	
	75-100	0,27	0,11	15	2,4	
2 t ha ⁻¹ calcário + 4 t ha ⁻¹ gesso	0-25	1,70	0,70	49	2,4	93 b
	25-50	0,55	0,20	20	2,8	
	50-75	0,36	0,19	17	1,9	
	75-100	0,29	0,11	16	2,6	

Portanto, a aplicação de calcário ou de gesso nas soqueiras, tanto na Área 1 como na Área 2, aumentou a produtividade como também provocou alterações sensíveis na relação Ca:Mg no solo. Tanto as relações estreitas destes nutrientes, cerca de 2,0, quanto as mais ampliadas, de 6,2, mantiveram as produtividades semelhantes, indicando que não há efeito da relação Ca:Mg no rendimento da cana, como, aliás, a literatura tem indicado para outras culturas (QUAGGIO, 2000). Porém, fica evidente que o uso isolado de gesso nesses solos de baixa CTC, permitindo uma relação mais aberta, tem diminuído sensivelmente o teor de magnésio no solo. Por outro lado, a associação de calcário e gesso, em ambos os casos estudados, tem provocado um enriquecimento seguro tanto de cálcio como de magnésio em todo o perfil estudado. Sendo assim, quando se utiliza gesso em área comercial, principalmente em solos de baixa CTC, é imprescindível acompanhar as análises de solos das soqueiras e ficar atento quanto ao teor de magnésio no perfil.

CANA-PLANTA

A Tabela 3 mostra os teores de cálcio e magnésio em função dos tratamentos com calcário e gesso em cana-planta. Tais valores são os mesmos apresentados no trabalho original de Morelli et al. (1992), pouco modificados neste artigo, porém com a inclusão da relação Ca:Mg.

De maneira geral, nota-se que o uso isolado de calcário dolomítico tem proporcionado melhora nos teores de cálcio e magnésio no solo, tanto na superfície como em profundidade. O teor de cálcio na camada superficial passou de 0,40 cmol dm⁻³, no caso da parcela testemunha, para 0,71 cmol dm⁻³, 1,06 cmol dm⁻³ e 1,23 cmol dm⁻³ com o uso de 2 t ha⁻¹, 4 t ha⁻¹ e 6 t ha⁻¹ de calcário, respectivamente. Apesar de o calcário se translocar pouco

no solo, nota-se que com o aumento do seu teor no solo houve ainda enriquecimento de cálcio em profundidade, atingindo valor de 0,18 cmol dm⁻³ na camada mais profunda, com o uso da dose máxima. A mesma tendência apresentou o magnésio, com enriquecimento da camada superficial, passando de 0,17 cmol dm⁻³, na parcela testemunha, para valores crescentes, até o máximo de 0,89 cmol dm⁻³ com a dose de 6 t ha⁻¹. Além disso, houve também um pequeno enriquecimento com magnésio em profundidade, passando de 0,02 cmol dm⁻³, na camada mais profunda da parcela testemunha, para 0,10 cmol dm⁻³, na parcela com a dose máxima de calcário. Estes resultados indicam que o calcário pode se translocar em solos de textura arenosa a média.

Em relação ao comportamento do gesso no perfil do solo, a tendência tende a se inverter. Como este produto não apresenta magnésio, somente cálcio, há um enriquecimento deste nutriente no solo à medida que aumenta a quantidade utilizada. Nota-se na camada superficial do solo que o teor de cálcio aumentou de 0,40 cmol dm⁻³, na parcela testemunha, para 1,12 cmol dm⁻³, com o uso da dose máxima, proporcionando, também, um enriquecimento de Ca em profundidade. Entretanto, tem havido sensível empobrecimento de magnésio no tratamento com gesso, passando de 0,17 cmol dm⁻³ na camada superficial, na dose zero, para 0,06 cmol dm⁻³, na dose de 6 t ha⁻¹. Note que, neste caso, já havia diminuição do teor de magnésio na dose de 2 t ha⁻¹. Com a dose máxima, observa-se que a camada mais profunda do solo apresentou 0,13 cmol dm⁻³ de Mg contra 0,06 cmol dm⁻³ na superfície. Sem dúvida, o gesso, neste caso, proporcionou uma intensa remoção de magnésio. Por outro lado, nas parcelas onde o gesso esteve associado ao calcário, independentemente das proporções, houve um enriquecimento efetivo destes nutrientes. Sem dúvida alguma, o uso

Tabela 3. Teores de cálcio e magnésio em latossolo de textura média nos tratamentos com calcário e gesso na região de Lençóis Paulista, SP.

Calcário (t ha ⁻¹)	Profundidade (cm)	Ca (cmol dm ⁻³)				Mg (cmol dm ⁻³)			
		Gesso (t ha ⁻¹)				Gesso (t ha ⁻¹)			
		18 meses				18 meses			
		0	2	4	6	0	2	4	6
0	0-25	0,40	0,56	0,77	1,12	0,17	0,07	0,06	0,06
	50-75	0,13	0,32	0,38	0,67	0,06	0,08	0,06	0,08
	100-125	0,08	0,19	0,30	0,42	0,02	0,08	0,13	0,13
2	0-25	0,71	1,25	1,30	1,79	0,42	0,26	0,36	0,20
	50-75	0,13	0,38	0,59	0,70	0,06	0,16	0,19	0,12
	100-125	0,01	0,19	0,32	0,57	0,04	0,08	0,12	0,17
4	0-25	1,06	1,26	1,85	2,90	0,74	0,47	0,50	0,36
	50-75	0,19	0,42	0,47	0,61	0,10	0,19	0,16	0,15
	100-125	0,15	0,29	0,31	0,50	0,08	0,14	0,17	0,24
6	0-25	1,23	1,71	1,57	2,05	0,89	0,87	0,53	0,56
	50-75	0,13	0,44	0,60	0,59	0,07	0,22	0,22	0,19
	100-125	0,18	0,23	0,30	0,62	0,10	0,15	0,18	0,38

Fonte: Morelli et al. (1992).

isolado de gesso em solos de baixa CTC tem causado empobrecimento do solo em magnésio e, possivelmente, também em potássio.

A Tabela 4 mostra os dados de acréscimo de produtividade e a relação Ca:Mg em dois cortes de cana-de-açúcar. Parte dos dados apresentados foram extraídos do trabalho de Morelli et al. (1992). As relações Ca:Mg foram calculadas tomando-se como base os resultados da Tabela 3. Os acréscimos de produtividade foram extraídos da tabela original, porém, levando-se em consideração somente os dois primeiros cortes, pois as análises de solos foram feitas somente após a execução destes.

Posteriormente, para determinação da relação Ca:Mg, dois tratamentos foram selecionados: 1) doses crescentes de calcário e 2) doses crescentes de gesso. Alguns tratamentos conjuntos de calcário e gesso foram também selecionados, considerando-se aqueles com produtividades semelhantes.

Observa-se que com o uso de doses crescentes de calcário houve acréscimo de produtividade até a dose de 4 t ha⁻¹. Comparado à testemunha, houve um acréscimo máximo de 20 t ha⁻¹, com relação Ca:Mg inferior a 1,7 na camada superficial. Por sua vez, doses crescentes de gesso permitiram aumento de produtividade também na faixa de 20 t ha⁻¹ com o uso de 6 t ha⁻¹, porém, com relação Ca:Mg atingindo 18,6. Nos tratamentos em que foram utilizadas associações de calcário e gesso, porém, com acréscimos de produtividade semelhantes, no caso 20 t ha⁻¹, as relações também foram extremas. É necessário entender que o uso isolado de gesso nestes tipos de solos, embora proporcione ampliação na relação Ca:Mg, tem causado empobrecimento do solo em magnésio. Valores semelhantes de produtividade obtidos nas parcelas de calcário + gesso se devem à ação do gesso no aprofundamento do sistema radicular no solo (Figura 1).

Tabela 4. Acréscimos de produtividade e relação Ca:Mg em dois cortes de cana-de-açúcar.

Profundidade (cm)	Calcário			Gesso			Calcário + gesso					
	Calcário (t ha ⁻¹)	Acréscimo	Relação Ca:Mg	Gesso (t ha ⁻¹)	Acréscimo	Relação Ca:Mg	Calcário + gesso (t ha ⁻¹)	Acréscimo	Relação Ca:Mg			
0-25	0	0	2,35	0	0	2,30	0 + 6	20	18,60	2 + 4	36	3,44
50-75			2,16			2,16			8,35			5,33
100-125			4,00			4,00			3,20			1,46
0-25	2	16	1,69	2	12	8,00	2 + 2	20	4,80	4 + 2	39	3,93
50-75			2,16			4,00			2,37			2,47
100-125			0,25			2,37			2,37			2,21
0-25	4	20	1,43	4	19	12,80	4 + 0	20	1,43	4 + 4	33	3,70
50-75			1,90			6,30			1,90			2,93
100-125			1,87			2,30			1,87			1,82
0-25	6	12	1,38	6	20	18,60	6 + 4	20	3,86	4 + 6	44	2,80
50-75			1,85			8,35			2,68			3,15
100-125			1,80			3,20			3,44			0,78

Fonte: Morelli et al. (1992).

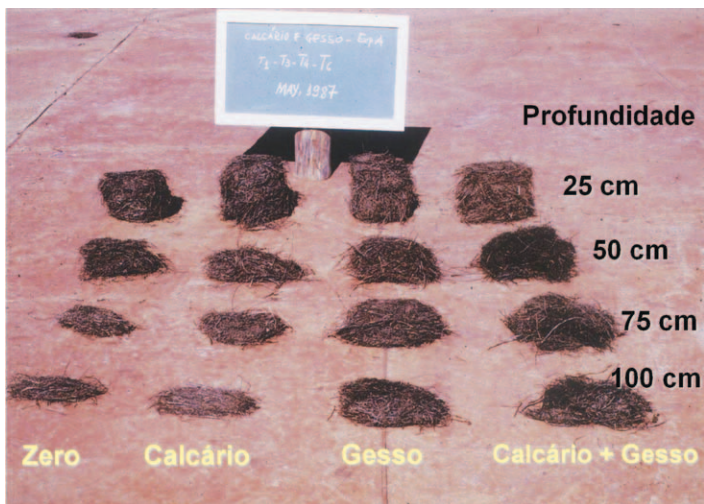


Figura 1. Quantidade de raízes em profundidade em experimento com gesso e calcário na cultura da cana-de-açúcar.

Fonte: Morelli et al. (1992).

Por outro lado, nota-se que os maiores acréscimos de produtividade têm sido obtidos nas associações de calcário e gesso, porém, com predominância de gesso (Tabela 4), sendo que, neste caso, com variações menos acentuadas da relação Ca:Mg. Dessa forma, as análises de solos apresentam valores mais seguros de cálcio e magnésio. Tais resultados vem comprovar que a associação de calcário e gesso tem sido mais vantajosa do que a aplicação isolada de cada corretivo, como tem sido comprovado por diversos autores, inclusive com outras culturas (RAIJ, 2008).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho mostrou que a cultura da cana-de-açúcar reage muito bem tanto à aplicação de calcário como à de gesso, embora, na segunda década de 1980, quando foi desenvolvido o trabalho de Morelli et al. (1987) praticamente não se dava muita atenção à ação do calcário, mas principalmente à ação do gesso, e quase não se comentava sobre a ação desses insumos em soqueira de cana. Trabalho original de Fernandes (1985) indica a ação do gesso como nutriente em cana-de-açúcar mas não faz alusão à ação do gesso associado ao calcário na recuperação dos solos e no aumento da produtividade. Foi através do estudo de longa duração de Morelli et al. (1992), sobre o uso de gesso e calcário e sua ação sobre o solo, que foi desenvolvida a indicação para a determinação da quantidade de gesso utilizando os parâmetros da CTC e da saturação por bases, a qual foi publicada posteriormente.

A análise da quantidade de raízes produzidas no tratamento com 4 t ha⁻¹ de calcário e 6 t ha⁻¹ de gesso, no qual foram observadas as maiores produtividades ao longo dos quatro cortes (MORELLI et al., 1992), também serviu de subsídio para o desenvolvimento da expressão para a determinação da quantidade de gesso a ser empregada nos solos.

Assim, é preciso entender que a proposta para indicação da quantidade de gesso a ser aplicada com base na CTC e no teor de cálcio e magnésio não tem apoio científico, ela é empírica, porém, era o que havia na ocasião para servir de orientação. Por outro lado, nos órgãos de pesquisa, há uma linha de indicação para uso do gesso com base no teor de argila do solo associado a parâmetros como teor de cálcio e de alumínio.

Sousa e Lobato (2002) sugerem, para solos de Cerrado, possibilidade de resposta ao gesso se ele estiver, na camada 0–20 cm ou 20–40 cm, saturação por alumínio maior que 20% e

teor de cálcio inferior a 5 mmol dm⁻³. Neste caso, e para culturas perenes, a indicação é a seguinte: NG = 7,5 x argila, em que a quantidade de gesso seria dada em t ha⁻¹ e a de argila expressa em g kg⁻¹. Para São Paulo, a indicação é: NG = 6 x argila, quando na camada 20–40 cm os teores de cálcio são inferiores a 4 mmol dm⁻³ e a saturação por alumínio superior a 40% (RAIJ, 2008). Entretanto, este mesmo autor comenta que a quantidade de gesso a ser aplicada ao solo, calculada por tal expressão, é conservadora e não contempla maior aprofundamento do sistema radicular no solo, assim como não promove a produtividade máxima.

No caso da cana-de-açúcar, as doses recomendadas com base nestes parâmetros estavam bem aquém das necessárias para alcançar produções máximas (RAIJ, 2008). Houve casos em que quando o teor de cálcio era de 6,3 mmol dm⁻³ e a saturação por alumínio de 15%, a quantidade recomendada foi de 0,8 t ha⁻¹ de gesso, sendo que a produção máxima foi atingida com 6,0 t ha⁻¹ de gesso. Dos sete experimentos com cana-de-açúcar indicados pelo autor, as doses de gesso recomendadas estavam bem aquém das indicadas para produção máxima.

Portanto, faltam informações para uma recomendação de gesso mais precisa. Na falta desta, tem-se utilizado a indicação baseada na CTC e na saturação por bases, porém, são necessários cuidados, principalmente nas análises de solos, observando-se principalmente o comportamento dos cátions em profundidade, em particular, do magnésio e do potássio.

De qualquer maneira, o aumento da produtividade agrícola com o uso de calcário e de gesso, tanto em cana-soca como em cana-planta, em solos de baixa CTC, não foi influenciado pela relação Ca:Mg.

LITERATURA

- BEAR, F. E.; PRINCE, A. L. Cátion – equivalent constancy in alfafa. *Journal of American Society of Agronomy*, Madison, v. 37, p. 217-222, 1945.
- BEAR, F. E.; TOTH, S. J. Influence of calcium on availability of other cations. *Soil Science*, Baltimore, v. 65, p. 67-74, 1948.
- BENITES, V. M.; CARVALHO, M. C. S.; RESENDE, A. V. et al. Potássio, cálcio e magnésio. In: PROCHNOW, L. I.; CASARIN, V.; STIPP, S. R. (Ed.). *Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes*. v. 2. Piracicaba: IPNI, 2010.
- BLOSS, D. F. *Crystallography and crystal chemistry: An introduction*. New York: Holt, Rinehart and Winston, Inc., 1971. p. 208-214.
- CORSINI, P. C. Problemas causados pela compactação dos solos. *STAB*, v. 11, n. 5, 1993.
- DEMATTÊ, J. L. I. Recuperação e manutenção da fertilidade dos solos. *Informações Agronômicas*, Piracicaba, n. 111, set. 2005, 24 p.
- DEMATTÊ, J. L. I. Solos arenosos de baixa fertilidade: estratégia de manejo. In: 5º Seminário Agroindustrial, 29ª Semana “Luiz de Queiroz”. Piracicaba, 1986. (Mimiografado)
- FERNANDES, F. A. *Efeito do gesso como fonte de cálcio e de enxofre na cultura da cana-de-açúcar (Saccharum officinarum L.)*. 1985. 92 f. Dissertação (Mestrado)–Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1985.
- FERNANDES, J. A. *Subsolagem no controle da compactação do solo na cana-soca (Saccharum sp.) variedade CB 41-76 e seus efeitos no rendimento agrícola e no sistema radicular*. 1979. 157 f. Dissertação (Mestrado)–Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1979.
- IDE, B. Y.; OLIVEIRA, M. A.; LOPES, J. R. *Cultivo de soqueira em cana-de-açúcar*. Piracicaba: Centro de Tecnologia Copersucar, 1984. p.15-21. (Boletim Técnico, 26).
- LUZ, P. H. C. Efeitos de sistemas de colheita e formas de cultivo sobre a cana-de-açúcar. *STAB*, v. 10, n. 3, 1992.
- MORELLI, J.; NELLI, E. F.; DEMATTÊ, J. L. I. Efeito do gesso e do calcário nas propriedades químicas de solos arenosos álicos e na produção da cana-de-açúcar. *STAB*, v. 6, n. 2, p. 24-31, 1987.
- MORELLI, J.; DALBEN, A. E.; ALMEIDA, J. O.; DEMATTÊ, J. L. I. Calcário e gesso na produtividade da cana-de-açúcar e nas características químicas de um latossolo de textura média álico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 16, p. 187-194, 1992.
- QUAGGIO, A. J. *Acidez e calagem em solos tropicais*. Campinas:IAC, 2000. 111 p.
- RAIJ, B. van. *Avaliação da fertilidade do solo*. Piracicaba: Instituto da Potassa & Fosfato, Instituto Internacional da Potassa, 1981. 142 p.
- RAIJ, B. van. *Gesso na agricultura*. Campinas: Instituto Agronômico, 2008. 233 p.
- RAIJ, B. van; QUAGGIO, J. A. *Métodos de análise de solo para fins de fertilidade*. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 1983, 40 p. (Boletim Técnico, 81).
- SOUSA, D. M. B.; LOBATO, E. Correção da acidez do solo. In: SOUSA, D. M. B.; LOBATO, E. (Ed.). *Cerrado: correção do solo e adubação*. Planaltina, DF: Embrapa Cerrado, 2002. p. 81-96.
- VASCONCELOS, A. C. M. Raízes da cana: os fatores físicos do solo que estão associados ao desenvolvimento das raízes e a produtividade da cana. *IDEA News*, Ribeirão Preto, ano 5, n. 55, maio 2005.
- VITTI, G. C.; LUZ, P. H. C.; MALAVOLTA, E.; DIAS, A. S.; SERRANO, C. G. E. *Uso do gesso em sistemas de produção agrícola*. Piracicaba: GAPE, 2008. 104 p.