

Coeficientes técnicos para modelagem de resposta da cana-de-açúcar à calagem considerando-se a origem da rocha.⁽¹⁾

Aline Cristina de Camargo^(2,8), Mariana Lopes de Carvalho⁽³⁾, Arnaldo José Raizer⁽⁴⁾, Fabio Cesar da Silva⁽⁵⁾ e Luis Fernando Sanglade Marchiori⁽⁶⁾ e Cristiano de Andrade⁽⁷⁾.

⁽¹⁾Trabalho realizado com apoio financeiro da Embrapa, CNPq e Faped. ⁽²⁾Estudante, Fatec, Piracicaba,SP. ⁽³⁾Estudante, Fatec, Piracicaba,SP. ⁽⁴⁾Engenheiro Agrônomo, Esalq-USP, Piracicaba,SP. ⁽⁵⁾Pesquisador da Embrapa Agricultura Digital, Campinas,SP. ⁽⁶⁾Diretor Técnico Esalq/USP, Piracicaba,SP.

⁽⁷⁾Pesquisador da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna,SP. ⁽⁸⁾aline.camargo5@fatec.gov.sp.br

Resumo - Solos ácidos têm a produtividade limitada devido ao aparecimento de formas tóxicas de alumínio e manganês, redução da disponibilidade de nutrientes e restrição do desenvolvimento radicular. O calcário neutraliza a acidez do solo, além de fornecer cálcio e magnésio, viabilizando produtividades competitivas das culturas. Os calcários são rochas carbonatadas (> 50% de sua constituição em carbonatos), contendo cálcio e magnésio como cátions acompanhantes, podendo ser de origem sedimentar ou metamórfica, e cujas características físico-químicas e propriedades mineralógicas podem ser bastante diferentes a depender do seu processo de formação. O objetivo desse projeto é avaliar a neutralização da acidez do solo em função da aplicação de diferentes doses e tipos de calcário, sendo um de origem sedimentar e outro de origem metamórfica, com diferentes valores de Poder Relativo de Neutralização Total (PRNT), visando obter-se coeficientes técnicos para modelagem da resposta da cultura da cana-de-açúcar à calagem. O experimento foi instalado em campo com solo com textura arenosa, classificado como ambiente E. Foram instalados 10 tratamentos em esquema fatorial com dois tipos de calcário e cinco doses. A saturação por bases no solo a 0-20 cm alcançou valores superiores a 70% nas doses de 6 e 8 t. ha⁻¹ de calcário e o efeito de doses foi linear. Não houve diferença entre os tipos de calcário, considerando-se cada dose testada, reforçando o comentado anteriormente sobre a reatividade dos calcários PRNT 70% e PRNT 96% em função do tipo de rocha e não somente a distribuição do tamanho das partículas. Independentemente do tipo de calcário, as doses reduziram a acidez e incrementaram os teores de Ca e Mg, com tendência de estabilização dos teores de H+Al a partir de 6 t ha⁻¹. Para os parâmetros analisados de Magnésio e Saturação de bases, houve diferença significativa em termos de reação, mesmo o calcário metamórfico tendo um PRNT de 96% e o sedimentar um PRNT de 70%.

Termos para indexação: calcário, reatividade, correção da acidez, cálcio, magnésio.

Technical coefficients for modeling the response of sugar cane to liming considering the origin of the rock.

Abstract - Acidic soils have limited productivity due to toxic levels of aluminum and manganese, low nutrient availability and root development restriction. Limestone neutralizes soil acidity, in addition to providing good calcium (Ca) and magnesium (Mg) levels, enabling competitive crop yields. Limestones are carbonates containing calcium and magnesium which can be originated from sedimentary or metamorphic rocks and whose properties can be quite different depending on their origin. The objective of this trial is to evaluate the neutralization of soil acidity using different doses and types of limestone in order to obtain technical coefficients for modeling the sugarcane response to liming. The experiment was carried out in sandy soil classified as poor environment. Ten treatments were installed in a factorial scheme with two types and five doses of limestone. Soil base saturation at 0-20cm reached values above 70% at doses of 6 and 8 ton.ha⁻¹ of limestone and the effect of doses was linear. There was no difference between the types of limestone, considering each dose tested, reinforcing the reactivity of PRNT 70% and PRNT 96% limestones as a function of the type of rock and not just the particle size distribution. Regardless of the type of limestone, the doses reduced the acidity and increased the Ca and Mg contents with tendency to stabilize the H+Al contents from 6 ton.ha⁻¹. For parameters as Mg levels and base saturation there was a significant difference in terms of reaction, even the metamorphic limestone having a 96% PRNT and the sedimentary a 70% PRNT.

Index terms: limestone, reactivity, acidity correction, calcium, magnesium.

Introdução

Solos formados em ambiente tropical são geralmente ácidos e de baixa fertilidade natural, sendo a calagem um passo fundamental para a realização de uma agricultura eficiente e produtiva. Um solo ácido favorece o aparecimento de formas tóxicas de alumínio e manganês, reduz a disponibilidade de nutrientes e restringe o desenvolvimento do sistema radicular, o que conduz a um baixo rendimento na produtividade da cultura (Malavolta, 1980). A calagem é uma prática agrícola frequentemente usada na correção da acidez do solo e deve ser realizada antes de qualquer outro programa nutricional e/ou de manejo da fertilidade do solo (Amostragem..., 2002).

A utilização de calagem no solo proporciona importante mudança no ambiente radicular, e possui diversas vantagens, tais como: diminuir a acidez do solo elevando seu pH, neutralizar a disponibilidade de alumínio e manganês tóxicos do solo mediante a formação de hidróxidos, que não são adsorvidos, aumentando a eficiência na utilização de nutrientes e proporcionando Ca e Mg, aumentando o Capacidade de Troca Catiônica (CTC) e a atividade biológica na fixação de Nitrogênio (Embrapa, 2021).

A determinação da necessidade de calagem no solo difere conforme a região do Brasil, pois cada estado tem sua característica específica de solo, clima e o desenvolvimento socioeconômico decorrente dessa conjuntura (Silva, 2019). Embora os métodos de recomendação de calagem possam diferir nas diferentes regiões do País, praticamente todos consideram aspectos relacionados com o corretivo da acidez, como o Poder Relativo de Neutralização Total (PRNT), obtidos a partir do Poder de Neutralização (PN) e da Reatividade (RE). Enquanto o PN pode ser analisado no laboratório, a RE é um valor atribuído em função da granulometria do corretivo, ignorando a origem da rocha e diferenças de solubilidade em função dessa origem (Rajj et al., 1985).

O calcário é um corretivo da acidez obtido a partir da moagem de rochas carbonatadas (> 50% em carbonatos de cálcio e magnésio), cuja origem pode ser metamórfica ou sedimentar. A composição química, características físico-químicas e propriedades mineralógicas podem diferir entre os calcários, a depender do processo de formação (Gallo; Catani, 1954).

Nesse contexto, há que se considerar que a origem da rocha influencia sua solubilidade e tempo de reação no solo (Gallo; Catani, 1954; Soratto et al., 2019), o que não se considera atualmente no conceito de PRNT ou na diferenciação na estratégia de manejo da correção no campo. Calcários de origem sedimentar poderiam, então, ser mais grosseiros, com menor deriva na aplicação e sem perda na reatividade, desde que o aspecto da solubilidade seja considerado e/ou curvas de neutralização sejam estabelecidas a campo para suportar alterações na recomendação do calcário ou no manejo da acidez do solo (Soratto et al., 2019).

O objetivo do presente trabalho é avaliar a neutralização da acidez do solo em função da aplicação de dois calcários, sendo um de origem sedimentar e outro de origem metamórfica, com diferentes valores de PRNT, devido à RE, na cultura da cana-de-açúcar, de forma a obter coeficientes técnicos para modelagem da resposta da cultura à calagem considerando-se a origem da rocha.

Material e Métodos

O experimento foi instalado em campo, numa área de 100x115m², com solo de textura arenosa, do tipo Areia Quartzosa, com características químicas principais, a saber: pH= 4,9, CTC=27,5, V%=48, classificado como ambiente E. A área foi dividida em parcelas de 20m², e o corredor entre as parcelas foi de 3m². Foram instalados 10 tratamentos em esquema fatorial com dois tipos de calcário (PRNT e cinco doses dos calcários (0, 2, 4, 6 e 8 t/ha), divididos em camada superficial (0-20 cm). Os calcários utilizados foram o metamórfico (PRNT 96%, PN (ECaCO₃) 103,7%, CaO 38,6%, MgO 17,2%, RE 92,6%) e o sedimentar (PRNT 70%, PN (ECaCO₃) 82,1%, CaO 25,3%, MgO 18%, RE 85,4%). O primeiro tratamento (T1) foi a testemunha, não recebeu nenhuma dose de calcário, no segundo tratamento (T2) foi adicionado ao solo uma dose de calcário sedimentar de 2t ha⁻¹ - PRNT 70%, no T3 (4t ha⁻¹ - PRNT 70%), no T4 (6t ha⁻¹ - PRNT 70%) e no T5 (8t ha⁻¹ - PRNT 70%), já no tratamento T7 foi adicionado ao solo uma dose de calcário metamórfico de 2t ha⁻¹ - PRNT 96%, no T8 (4t ha⁻¹ - PRNT 96%), no T9 (6t ha⁻¹ - PRNT 96%) e no T10 (8t ha⁻¹ - PRNT 96%).

Resultados e Discussão

Na calagem, a produtividade da cana não foi alterada em função do tipo de calcário com valor médio de produtividade igual a 85,0 t de colmos ha⁻¹. A produtividade variou entre 79,9 a 97,0 t, colmos ha⁻¹, de acordo com os resultados apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Produtividade e parâmetros tecnológicos da cana-de-açúcar em função da calagem com dois tipos de calcário e doses dos corretivos.

Calcário	Dose (t ha ⁻¹)	TCH	ATR	TAH
		t ha ⁻¹	kg t ⁻¹	t ha ⁻¹
-	0	81,7 a ¹	140,7 a ¹	11,5 a 1
PRNT 70	2	82,1 a	138,0 a	11,3 a
PRNT 70	4	88,0 a	141,8 a	12,5 a
PRNT 70	6	79,9 a	134,6 a	10,8 a
PRNT 70	8	88,5 a	138,4 a	12,3 a
PRNT 96	2	82,8 a	137,6 a	11,4 a
PRNT 96	4	83,5 a	136,8 a	11,4 a
PRNT 96	6	83,6 a	138,8 a	11,6 a
PRNT 96	8	97,0 a	135,9 a	13,2 a
PRNT 70	4	83,3 a	141,9 a	11,8 a
¹ Média geral		85,0	138,4	11,8
² DMS		11,0	8,2	1,8
³ CV (%)		8,95	4,10	10,61

¹ Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste t a 5% de probabilidade. ² DMS = diferença mínima significativa. ³ CV = coeficiente de variação.

Embora não tenha ocorrido interação entre dose e tipo de calcário, houve efeito linear de incremento da produtividade de colmos com o aumento da dose de calcário aplicada (Figura 1). Esse incremento linear mostra que a cultivar RB86 7515, para o ambiente estudado, apresenta uma resposta diferenciada a doses de calcário, apesar dos resultados não diferirem entre si pelo teste t a 5% de probabilidade, ainda chama a atenção que houve resposta, inclusive, ao dobro da dose recomendada para os critérios de elevação da V a 70%, para os dois calcários utilizados, PRNT 70% e 96%.

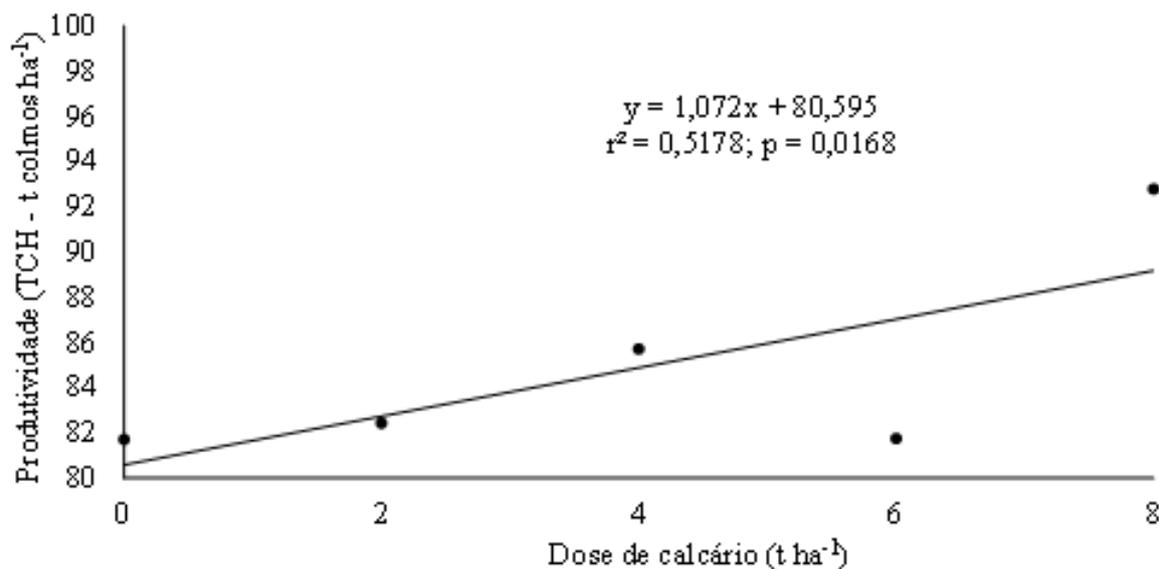


Figura 1- Resposta linear de produtividade da cana-de-açúcar com a aplicação de doses crescentes de calcário.

Esse incremento linear não seria esperado, num primeiro momento, para doses de calcário acima de 4 t ha⁻¹, uma vez que essa dose seria a recomendada seguindo os critérios de elevação da V a 70%, para um calcário de PRNT 96%. No entanto, a ocorrência de forte restrição hídrica no período de desenvolvimento da cultura prejudicou a expressão do potencial produtivo da cana e, provavelmente, atrasou a reação do corretivo no solo. Nessa situação, observou-se (Figura 1) que a aplicação do dobro da dose recomendada, ou seja, 8 t ha⁻¹ de calcário, garantiu um adicional de 8 a 10 t ha⁻¹ na produtividade, comparativamente à dose de 4 t ha⁻¹. De acordo com a equação de regressão apresentada na Figura 1, percebe-se que o incremento de produtividade por tonelada de calcário foi de 1,1 t colmos ha⁻¹.

Outro aspecto fundamental a ser observado é o fato da ausência de diferença entre os dois calcários para cada dose aplicada, uma vez que se poderia esperar para o calcário de menor PRNT (menor reatividade) um desempenho inferior. Isso sugere que a origem da rocha, sedimentar ou metamórfica, é fator importante na reação do calcário no solo, o que é hoje negligenciado na instrução normativa do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Os parâmetros tecnológicos relacionados ao açúcar total recuperado na cana (ATR) e ao açúcar recuperado por área (TAH) não variaram com os tratamentos e não responderam às doses crescentes de calcário (Tabela 1).

As respostas à calagem estiveram mais relacionadas com os atributos de solo, comparativamente ao desempenho de produtividade (colmos e açúcar) da cultura, o que é comum quando outros fatores de produção, como os fatores climáticos, são mais limitantes ao desenvolvimento das plantas e, conseqüentemente, à expressão do potencial produtivo da cultura.

No solo, independentemente do tipo de calcário (PRNT 70 ou 96%), as doses reduziram a acidez (Figura 2a e 2b) e incrementaram os teores de Ca e Mg (Figura 2c e 2d).

Houve elevação do pH de 5,2 para 6,4, respectivamente no solo controle (sem calcário) e no solo que recebeu 8 t ha⁻¹ de calcário. A redução da acidez potencial seguiu comportamento quadrático, com tendência de estabilização dos teores de H+Al a partir de 6 t ha⁻¹ de calcário.

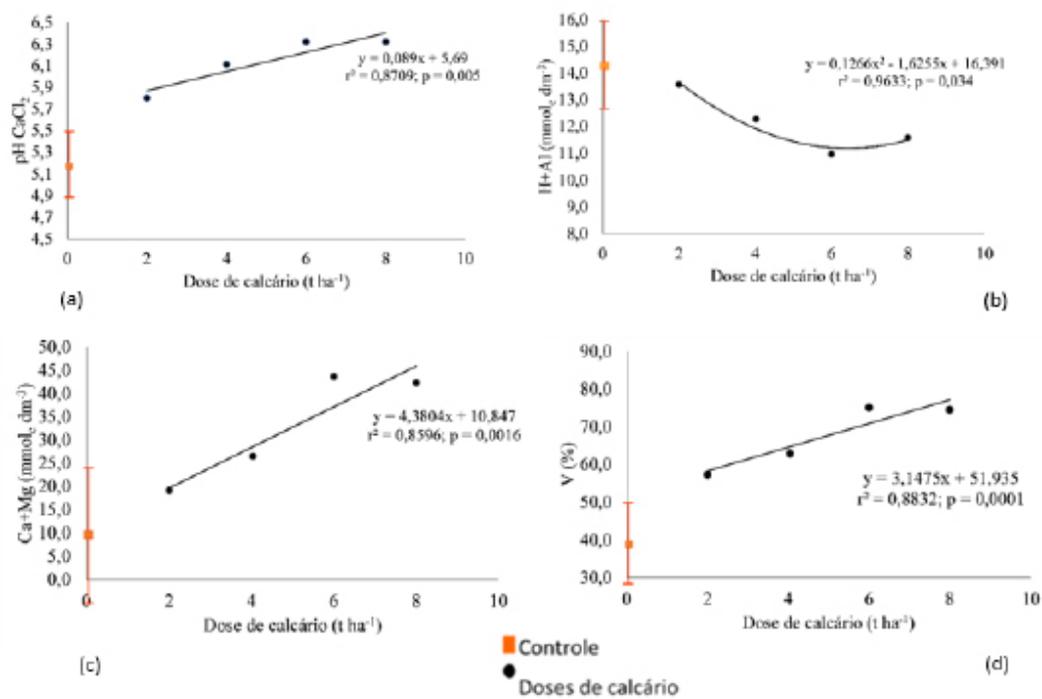


Figura 2. Correção da acidez do solo (a e b) e incremento na disponibilidade de bases no solo pela aplicação de doses de calcário entre 2 e 8 t ha⁻¹ (c e d).

Na figura 3 e 4, os gráficos mostram que para os dois parâmetros analisados de Magnésio (Mg) e Saturação de bases (V%), de acordo com o teste t com probabilidade 5% não houve uma diferença significativa em termos de reação, mesmo o metamórfico tendo um PRNT de 96% e o sedimentar um PRNT de 70%.

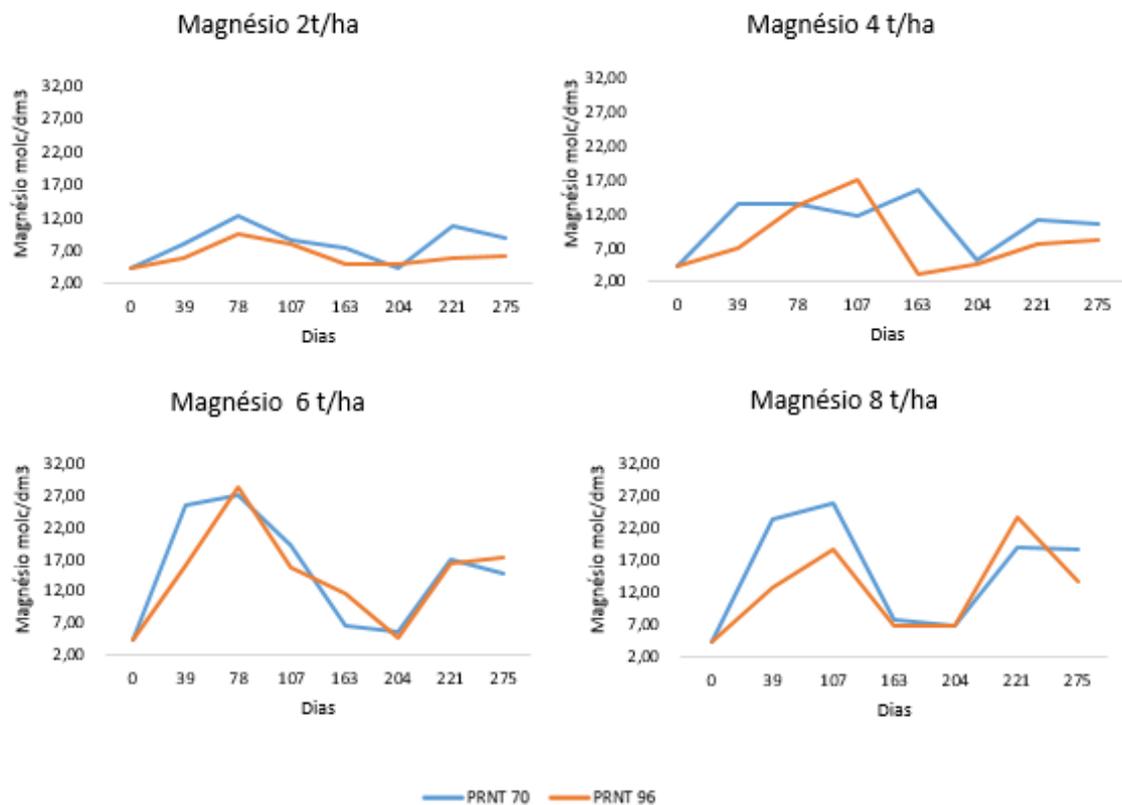


Figura 3 - Comparativo de Magnésio cmolc/dm³ em resposta aos dias.

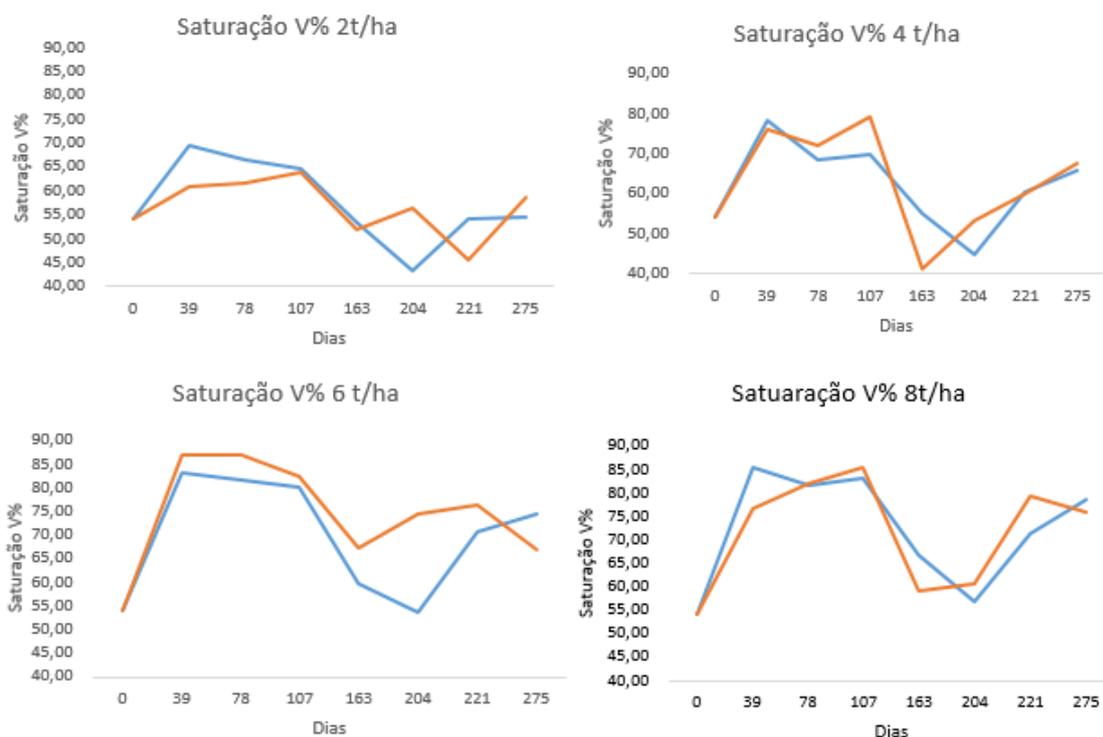


Figura 4 - Comparativo de saturação V% cmolc/dm^3 em resposta aos dias.

Os principais resultados relacionados à produtividade da cana-de-açúcar (cultivar RB 86 7515) e produção de açúcar em função de práticas de correção da acidez com dois tipos de calcário, um com PRNT de 70% e origem (sedimentar ou metamórfica) e outro com PRNT de 96% e origem (sedimentar ou metamórfica) e adubação recomendada pelo Instituto Agrônomo de Campinas (Raij et al., 1985).

Conclusão

Levando-se em conta o que foi observado, a saturação por bases no solo a 0-20 cm alcançou valores superiores a 70% quando doses de 6 e 8 t. ha^{-1} de calcário foram aplicados e o efeito de doses foi linear em função de dose de corretivo. Novamente houve ausência de diferença entre os tipos de calcário, considerando-se cada dose testada, reforçando o comentado anteriormente sobre a reatividade dos calcários PRNT 70% e PRNT 96% em função do tipo de rocha e não somente a distribuição do tamanho das partículas. Calcários com menor reatividade tem a dose corrigida, ou seja, aumentada em relação a um calcário de maior reatividade, o que conduz a um possível efeito residual mais longo. Isso, aliado aos resultados de desempenho similares aqui apresentados (produtividade da cana e atributos relacionados à acidez) negam a tendência do produtor em buscar um calcário de maior reatividade (segundo o critério do MAPA), mesmo que mais distantes da propriedade, principalmente considerando-se a origem sedimentar ou metamórfica das rochas.

Agradecimentos

Agradeço ao CNPq pela bolsa concedida me proporcionando aprender mais sobre metodologias e práticas na correção da acidez do solo no cultivo de cana-de-açúcar. Agradeço à Embracal, ao Eng. Agrônomo Estevão Granjo, pelo apoio técnico-financeiro e da parceria no projeto Embracal Embrapa/Faped. Agradeço ao meu orientador Dr. Fabio Cesar da Silva que me concedeu essa oportunidade de aprendizado, e sua disponibilidade em me ajudar na realização do projeto. Agradeço ao Dr. Cristiano de Andrade pelos valiosos ensinamentos durante toda execução do projeto.

Referências

AMOSTRAGEM e análise do solo: calagem, adubação, sementes. Brasília, DF: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Secretaria de Apoio Rural e Cooperativismo, 2002. 34 p.

EMBRAPA. **Calagem**. Disponível em: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_34_711200516717. Acesso em: 5 jun de 2022.

SILVA, F. C. da (ed.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. ver. ampl. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627 p.

GALLO, J. R. Estudo da solubilidade, em solução de ácido acético a 1%, de alguns materiais calcários de grau de finura comercial. **Bragantia**, v.13, n.10, p. 133-139, maio 1954. DOI: [10.1590/S0006-87051954000100010](https://doi.org/10.1590/S0006-87051954000100010).

GALLO, J. R.; CATANI, R. A. Solubilidade de alguns tipos de calcários. **Bragantia**, v. 13, n. 5, p. 63-74, abr. 1954. DOI: [10.1590/S0006-87051954000100005](https://doi.org/10.1590/S0006-87051954000100005).

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 251 p.

RAIJ, B. van; SILVA, N. M. da; BATAGLIA, O. C.; QUAGGIO, J. A.; HIROCE, R.; CANTARELLA, H.; BELLINAZZI JÚNIOR, R.; DECHEN, A. R.; TRAINI, P. E. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agronômico, 1985. 107 p. (IAC. Boletim técnico, 100).

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C.; FERNANDES, A. M.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; VITTI, G. C. Reactivity of sedimentary and metamorphic limestones of different particle sizes under controlled conditions. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**. v. 50, n. 4, p. 464-473, 2019. DOI: [10.1080/00103624.2019.1566920](https://doi.org/10.1080/00103624.2019.1566920).

SOUSA, D. M. G. de; REIN, T. A.; NUNES, R. de S.; SANTOS JUNIOR, J. de D. G. dos. **Recomendações para correção da acidez do solo para cana-de-açúcar no cerrado**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2015. 5 p. (Embrapa Cerrados. Comunicado técnico, 177). Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1026363/recomendacoes-para-correcao-da-acidez-do-solo-para-cana-de-acucar-no-cerrado>. Acesso em: 6 jun. 2022.