

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA  
FILHO” FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS  
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**UTILIZAÇÃO DE ÓXIDOS DE CÁLCIO E MAGNÉSIO NA  
REGIÃO SUDESTE DO BRASIL EM ÁREAS DE PLANTIO DE  
CANA-DE-AÇÚCAR**

**Josué José de Oliveira Júnior**  
Engenheiro Agrônomo

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA  
FILHO” FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS  
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**UTILIZAÇÃO DE ÓXIDOS DE CÁLCIO E MAGNÉSIO NA  
REGIÃO SUDESTE DO BRASIL EM ÁREAS DE PLANTIO DE  
CANA-DE-AÇÚCAR**

**Josué José de Oliveira Júnior**  
**Orientadora: Profa. Dra. Adriana Aparecida Ribon**  
**Coorientadora: Dra. Kathleen Fernandes Bras**

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

O48u Oliveira Júnior, Josué  
Utilização de Óxidos de Cálcio e Magnésio na Região Sudeste do Brasil em Áreas de Plantio de Cana-de-açúcar / Josué Oliveira Júnior.  
-- Jaboticabal, 2025  
38 p. : tabs., fotos

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal  
Orientadora: Adriana Aparecida Ribon  
Coorientadora: Kathleen Fernandes Bras

1. Insumos agrícolas. 2. Sustentabilidade. 3. Disponibilidade de nutrientes. 4. Longevidade do canavial. 5. Estresse hídrico. I. Título.

## **IMPACTO POTENCIAL DESTA PESQUISA**

O setor sucroenergético da região Sudeste do Brasil ainda carece de pesquisas científicas sobre a aplicação de óxidos de cálcio e magnésio no plantio da cana-de-açúcar. Este é um tema que ganha destaque diante da crescente variabilidade climática registrada nos últimos anos, a qual tem imposto condições cada vez mais adversas ao desenvolvimento das plantas. A aplicação desses óxidos pode contribuir para mitigar os efeitos do déficit hídrico, ao estimular o crescimento radicular e possibilitar uma maior exploração do perfil do solo, aumentando, conseqüentemente, a resiliência da cultura em períodos de seca. Este estudo sugere que, a utilização desses insumos, pode ter resultados significativos tanto na produtividade quanto na qualidade da matéria-prima em solos não previamente corrigidos. Além dos benefícios agrônômicos, os resultados obtidos podem nortear futuras pesquisas voltadas ao uso racional e sustentável desses insumos, contribuindo para o aprimoramento das práticas de manejo do solo e para o aumento da produtividade da cana-de-açúcar em médio e longo prazos.

## **POTENTIAL IMPACT OF THIS RESEARCH**

The sugar energy sector in the Southeast region of Brazil still lacks scientific research on the application of calcium and magnesium oxides in sugarcane planting. This is a topic that has gained prominence in light of the increasing climate variability recorded in recent years, which has imposed increasingly adverse conditions on plant development. The application of these oxides can help mitigate the effects of water deficit by stimulating root growth and enabling greater exploration of the soil profile, thereby increasing the crop's resilience during drought periods. This study suggests that the use of these inputs may have significant impacts on both productivity and raw material quality, particularly in soils that have not been previously corrected. In addition to the agronomic benefits, the results obtained may guide future research aimed at the rational and sustainable use of these inputs, contributing to the improvement of soil management practices and the increase in sugarcane productivity in the medium and long term.

## CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: UTILIZAÇÃO DE ÓXIDOS DE CÁLCIO E MAGNÉSIO NA REGIÃO SUDESTE DO BRASIL EM ÁREAS DE PLANTIO DE CANA-DE-AÇÚCAR

**AUTOR: JOSUÉ JOSÉ DE OLIVEIRA JÚNIOR**

**ORIENTADORA: ADRIANA APARECIDA RIBON**

**COORIENTADORA: KATHLEEN FERNANDES BRAZ**

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Agronomia (Ciência do Solo), pela Comissão Examinadora:

Documento assinado digitalmente  
 **ADRIANA APARECIDA RIBON OGERA**  
Data: 14/04/2025 09:20:35-0300  
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Profa. Dra. ADRIANA APARECIDA RIBON (Participação Virtual)  
Departamento de Ciências dos Solos / Universidade Estadual de Goiás (UEG) - Palmeiras de Goiás/GO

Documento assinado digitalmente  
 **HELIO DO PRADO**  
Data: 10/04/2025 05:44:06-0300  
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Pesquisador Dr. HÉLIO DO PRADO (Participação Virtual)  
Solunexus / Piracicaba/SP

Documento assinado digitalmente  
 **GASPAR HENRIQUE KORNDORFER**  
Data: 10/04/2025 09:33:17-0300  
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. Dr. GASPAR HENRIQUE KORNDORFER (Participação Virtual)  
Instituto de Ciências Agrárias / Universidade Federal de Uberlândia

Jaboticabal, 12 de março de 2025

## **DADOS CURRICULARES DO AUTOR**

**Josué José de Oliveira Júnior**, filho de Josué José de Oliveira e Maria Pereira de Oliveira, nasceu em Recife, Pernambuco, no dia 11 de maio de 1980. cursou Engenharia Agrônoma pela Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE (2005). Durante a graduação, foi bolsista pelo CNPq entre 2001 e 2004, realizando estágios e trabalhos de pesquisa científica em várias instituições e empresas no Nordeste do Brasil. Pós-graduado a nível de MBA em Gerenciamento de Projetos pela Fundação Getúlio Vargas – FGV (2011). Pós-graduado a nível de MBA em Gestão de Pessoas pela Fundação Getúlio Vargas – FGV (2015). Pós-graduado a nível de Especialização em Agronomia pelo Instituto Agrônomo de Campinas – IAC (2022). Ingresso no programa de Pós-Graduação a nível de Mestrado Acadêmico em Agronomia (Ciência do Solo) pela FCAV/UNESP, em março de 2023. Atua no setor Sucroenergético em empresas nacionais e multinacionais de médio e grande portes há 20 anos, atuando em posições corporativas, estratégicas e de liderança executiva. Atualmente, atua como Gestor de Qualidade Agrícola da Usina São Martinho S/A, sediada no município de Pradópolis-SP.

“Tu, Senhor, guardarás em perfeita paz aquele  
cujo propósito está firme, porque em ti confia.”

**Isaías, 26:3**

“Bem-aventurados os pacificadores, pois serão chamados filhos de Deus.”

**Matheus 5:9**

Aos meus filhos, Arthur e Théo, e minha amada esposa Nathália.

Ao meu pai Josué, minha mãe Maria e meus irmãos Melissa e Thiago.

**DEDICO**

À minha família.

**OFEREÇO**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus pela graça e pela santa presença do Espírito Santo em cada segundo da minha vida e na vida da minha família.

À minha esposa Nathália, pelo amor, companheirismo e apoio incondicional durante toda essa jornada. Sua paciência, incentivo e compreensão foram fundamentais para que eu pudesse enfrentar os desafios deste percurso com mais leveza e determinação. Obrigado por estar ao meu lado nos momentos mais difíceis, por acreditar em mim e por celebrar comigo cada pequena conquista.

Aos meus filhos, Arthur e Théo, minha maior fonte de inspiração, agradeço por me lembrarem diariamente do verdadeiro significado do esforço e da dedicação. Cada sorriso, abraço e demonstração de carinho foram meu combustível para seguir em frente. Este trabalho é também para vocês, com todo o meu amor.

Aos meus pais, Josué e Maria, e aos meus irmãos Melissa e Thiago, pelo amor incondicional, orações e incentivo ao longo de toda a minha trajetória pessoal e profissional. A presença de vocês em minha vida sempre foi meu bem mais preciso.

À minha orientadora Dra. Adriana Aparecida Ribon pela paciência e pelo tempo investido em mim. À minha banca composta pelo Dr. Gaspar Henrique Korndörfer e Dr. Hélio do Prado pela atenção, respeito, carinho, amizade e contribuições neste trabalho.

À Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV) / Unesp de Jaboticabal/SP, aos professores e amigos que fiz durante esta trajetória.

Em especial, a toda família da Usina São Martinho S/A, pela generosidade, apoio, confiança, disponibilidade de tempo e de recursos para que este sonho se tornasse realidade.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1. Importância da utilização de corretivos na cana-de-açúcar.....	3
2.2. Óxidos de cálcio e magnésio no plantio da cana-de-açúcar.....	5
2.3. Importância dos óxidos de Ca e Mg no sulco de plantio.....	6
2.4 Emissão de CO <sub>2</sub> do calcário comparado aos óxidos de Ca e Mg.....	7
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	9
3.1 Localização da área.....	9
3.2 Coleta e análise dos dados.....	13
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	14
4.1 Análises de solo.....	14
4.1.1 Macronutrientes.....	14
4.1.2 Micronutrientes.....	18
4.2. Produtividade e qualidade da matéria-prima.....	20
5. CONCLUSÕES.....	22
6. REFERÊNCIAS.....	22

## UTILIZAÇÃO DE ÓXIDOS DE CÁLCIO E MAGNÉSIO NA REGIÃO SUDESTE DO BRASIL EM ÁREAS DE PLANTIO DE CANA-DE-AÇÚCAR

**RESUMO** - A dinâmica dos elementos no solo pode melhorar a acessibilidade dos nutrientes, promovendo aumentos na produtividade e na qualidade da matéria-prima em áreas manejadas para o cultivo de cana-de-açúcar. O objetivo deste trabalho foi avaliar a resposta do canavial à aplicação de diferentes dosagens de óxidos de cálcio e magnésio no plantio e na operação de quebra-lombo. Em uma área experimental, no município de Barrinha (SP), foi selecionada a variedade IACSP95-5094, considerada responsiva ao manejo de fertilidade do solo. Diferentes dosagens de óxidos de cálcio e magnésio foram aplicadas em dois diferentes períodos, totalizando 8 tratamentos, que foram delineados em blocos ao acaso, com três repetições por tratamento. Feitas as análises prévias para avaliação estatística, os resultados foram submetidos à análise de variância e, quando significativos, usado o teste de média por Tukey a 5% de probabilidade. Vale destacar que o solo da área foi previamente corrigido e possui um histórico de adequado manejo do solo antes da condução do experimento. O monitoramento das parcelas incluiu avaliações do solo em cinco diferentes profundidades, e, nos dias que antecederam o corte, foram coletadas amostras para análise tecnológica, o que possibilitou o cálculo do Açúcar Total Recuperável (ATR). A colheita das parcelas foi realizada por meio de uma célula de carga acoplada ao transbordo, permitindo a avaliação em tempo real da quantidade de cana. Foram observadas diferenças estatísticas para alguns elementos do solo, com destaque para o fósforo, que variou de 41 a 81 mg dm<sup>-3</sup>. Embora não tenha sido observada diferença significativa nos tratamentos em relação à produtividade e à qualidade da matéria-prima, as médias de produtividade variaram entre 142 e 152 de TCH, enquanto a qualidade da matéria-prima entre 110 e 128 kg t<sup>-1</sup> de cana. Este estudo destaca as melhores práticas agrícolas no manejo do solo, ao utilizar os óxidos de cálcio e magnésio no plantio e/ou na operação quebra-lombo.

**Palavras-chave:** insumos agrícolas, sustentabilidade, disponibilidade de nutrientes, longevidade do canavial, estresse hídrico.

## USE OF CALCIUM AND MAGNESIUM OXIDES IN THE SOUTHEAST REGION OF BRAZIL IN SUGARCANE PLANTATION AREAS

**ABSTRACT:** The dynamics of soil elements can improve nutrient accessibility, promoting increases in productivity and raw material quality in areas managed for sugarcane cultivation. The objective of this study was to evaluate the response of sugarcane fields to the application of different dosages of calcium and magnesium oxides during planting and in the “quebra-lombo” operation. In an experimental area in Barrinha (SP), the IACSP95-5094 sugarcane variety was selected as responsive to soil fertility management. Different dosages of calcium and magnesium oxides were applied at two different periods, totaling 8 treatments, which were arranged in a randomized block design with three replications per treatment. After preliminary analyses for statistical evaluation, the results were subjected to variance analysis, and when significant, the Tukey mean test at a 5% probability was used. It is important to highlight that the soil in the area was previously corrected and has a history of proper soil management before the experiment was conducted. Monitoring of the plots included soil analyses at five different depths, and, in the days leading up to harvest, bundles were collected for technological analysis, which allowed for the calculation of Total Recoverable Sugar (TRS). Harvesting of the plots was carried out using a load cell attached to the unloading system, allowing for real-time assessment of the amount of sugarcane harvested, expressed in tons per hectare (TCH). Statistical differences were observed for some soil elements, with emphasis on phosphorus, which ranged from 41 to 81 mg dm<sup>-3</sup>. Although no significant difference was observed in the treatments regarding productivity and raw material quality, the productivity averages ranged between 142.52 and 152.59 TCH, while raw material quality ranged between 110 and 128 TRS. This study highlights the best agricultural practices in soil management, using calcium and magnesium oxides in planting and/or in the “quebra-lombo” operation.

**Keywords:** agricultural inputs, sustainability, nutrient availability, longevity of sugarcane plantation, water stress.

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil possui posição de destaque na produção e na comercialização dos derivados da cana-de-açúcar. A principal fonte de produção de açúcar e de bioenergia no mundo vem da cana-de-açúcar. Na safra de 2023/2024, o Brasil teve a maior produção da história, quando produziu aproximadamente 654,43 milhões de toneladas de cana-de-açúcar, matéria-prima utilizada para a produção de 42,42 milhões de toneladas de açúcar, 33,59 bilhões de litros de etanol, sendo 1,83 bilhão de litros produzidos a partir do milho e 21 Mil GWh para a rede elétrica nacional (Única, 2024).

As maiores produções dos canaviais justificam-se, atualmente, pela expansão de novas áreas e áreas de renovação. Entre as regiões produtoras de cana-de-açúcar do País, destaca-se a região Sudeste, pois representa, na safra de 2023/2024, 61,76% das áreas de produção de cana-de-açúcar (CONAB, 2023). O Estado de São Paulo, por sua vez, foi responsável por mais de 50,54% da produção nacional em toneladas e 50,99% da produção nacional em ATR (Açúcar Total Recuperável) de cana-de-açúcar (CONAB, 2023).

Para se atingir altas produtividades, grandes quantidades de nutrientes do solo são exigidas. Em média, 120 toneladas de matéria total de cana produzem 100 toneladas de colmos industrializáveis, quando o acúmulo de nutrientes da parte área da cana está entre 50 e 40 kg de cálcio e de magnésio, respectivamente (Raj, 2011). Por isto, atentar às condições nutricionais do solo refletem na produção de colmos (Oliveira et al., 2018a).

O reforço nutricional do solo pode ser, assim, uma necessidade real desta cultura. Além do calcário, outros produtos também podem atuar na correção da acidez do solo, destacando-se os óxidos de Ca e Mg. Dependendo do controle nos processos e nas fontes de rochas utilizadas no processo industrial, pode-se obter um produto que possui baixa variabilidade em sua composição com a concentração de CaO e MgO variando em menos de 2 pontos percentuais entre os lotes. Trata-se de um produto que apresenta boa fluidez, deriva reduzida e que pode ser aplicado juntamente com a sulcação (plantio manual ou mecanizado). Os óxidos de cálcio e de magnésio, já conhecidos por possuírem uma solubilidade maior quando comparados às rochas carbonáticas tradicionalmente utilizadas, proporcionam às culturas uma resposta de produtividade, além do aumento de pH do solo (Veloso *et al.*, 1992).

O óxido de cálcio (CaO) é utilizado como corretivo de acidez do solo e ajuda a neutralizar a acidez, promovendo maior desenvolvimento de raízes em profundidade e aumentando a eficiência da absorção de água e de nutrientes pelas plantas. Por sua vez, o óxido de magnésio (MgO) é uma fonte concentrada de magnésio, nutriente essencial para as plantas. O magnésio desempenha um papel importante na fotossíntese, na formação de clorofila e na ativação de várias enzimas envolvidas no metabolismo das plantas. Sua deficiência pode levar a distúrbios no crescimento, redução da produtividade e menor resistência a estresses bióticos e abióticos. Além disso, o CaO e MgO contribuem para a disponibilidade de nutrientes essenciais, como cálcio e magnésio, que são importantes para o desenvolvimento saudável das plantas.

A cana é uma planta bastante exigente em Ca e Mg. Nesse ponto, o uso do calcário tem possibilitado maior longevidade do canavial (em geral um corte a mais do que seria possível sem a calagem). (Rossetto et al., 2008).

A canavicultura brasileira está carente em conhecer mais da importância agrônômica dos óxidos de cálcio e de magnésio na área da ciência do solo e suas aplicações práticas no plantio (Demattê, 2005; Oliveira et al., 2017). Atualmente, a principal fonte de cálcio e de magnésio nos campos agrícolas é o calcário, composto por carbonato de cálcio e de magnésio, que além de fornecer estes nutrientes atuam como corretivos do solo. No entanto, o calcário é pouco reativo no solo, além de ser dependente de incorporação e com reação lenta, o que pode reduzir a absorção desses nutrientes pelas raízes. Dessa forma, é essencial aumentar de forma racional e planejada as dosagens desses óxidos nos sulcos de plantio, visando a atender às demandas da cultura já no primeiro ciclo produtivo (cana-planta).

Há muito a ser explorado e compreendido sobre as propriedades desses óxidos, bem como suas interações com a cultura da cana-de-açúcar nos diferentes ambientes de produção. Pesquisas nesta tecnologia podem otimizar os métodos de produção, melhorar a produtividade agrícola, aumentar a longevidade do canavial e, conseqüentemente, reduzir os custos de produção.

Neste sentido, compreender a resposta da cana-de-açúcar em área de plantio, sob aplicações de óxidos de cálcio e de magnésio, aprofundaria o conhecimento científico aplicado, bem como o desenvolvimento de novos manejos fitotécnicos e tecnologias, com potencial impacto econômico e ambiental ao setor sucroenergético.

Elevar o pH a níveis que reduzem a disponibilidade de alumínio tóxico para as plantas, irá favorecer ambientes para o desenvolvimento radicular e a atividade microbiana, e contribuir para melhor estrutura do solo e, conseqüentemente, maior retenção de água e disponibilidade de nutrientes já no primeiro corte de cana-de-açúcar (Embrapa, 2020).

O uso de óxidos no sulco de plantio permite aprofundar o sistema radicular e assim reduzir o estresse hídrico durante o período seco (inverno sem chuva) (Korndörfer, 2018). Isso é importante porque a acidez nas camadas subsuperficiais, em caso de níveis tóxicos de Al e/ou de deficiência de Ca, pode impedir o desenvolvimento das raízes. Além disso, os óxidos de Ca e Mg podem promover o aumento da disponibilidade de P solúvel no solo, pois os elementos liberados no processo de correção do solo promovem a saturação dos sítios de ligação do solo que estariam fixando o P (Souza et al., 2006).

O objetivo deste trabalho foi avaliar as características químicas do solo e potenciais ganhos em produtividade de colmos (TCH), açúcar (TAH) e qualidade da matéria-prima (ATR) da cana-de-açúcar, quando submetida a diferentes dosagens de óxidos de cálcio e magnésio em diferentes momentos de aplicação (sulco de plantio e quebra-lombo).

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1. Importância da utilização de corretivos na cana-de-açúcar**

A demanda da cana-de-açúcar por nutrientes do solo nem sempre é atendida quando se buscam altas produtividades. Isto acontece pela alta exigência desta cultura a nutrientes, tais como cálcio e magnésio. A calagem, principal prática agrícola de corretivos, pode não ser suficiente para atender a estas exigências, sendo necessária a complementação do nutriente com outras fontes de fertilizantes, principalmente aqueles com alta solubilidade em água (BOLETIM TÉCNICO 100, 2023).

O cálcio está presente em todos os corretivos, e o magnésio depende das concentrações das rochas calcárias; por isto, vem aumentando estes nutrientes em fertilizantes solúveis contendo Ca e Mg (Raij, 2008). Estes elementos, junto ao

enxofre, são considerados macronutrientes secundários por serem exportados pelas colheitas em quantidades, geralmente abaixo da média que os N, P e K (macronutrientes primários).

Apesar de serem classificados naturalmente como macronutrientes secundários, alguns estudos mostram que os óxidos de cálcio e de magnésio podem ter extrações similares ou até superiores aos macronutrientes primários (N, P e K). Estudando 11 cultivares de cana-de-açúcar, Oliveira et al. (2010a) observaram que, em média, o cálcio está sendo extraído em  $226 \text{ kg ha}^{-1}$ , e o magnésio com extração de  $87 \text{ kg ha}^{-1}$ , enquanto a média de extração do nitrogênio foi de  $179 \text{ kg ha}^{-1}$ ; e a de fósforo, de  $25 \text{ kg ha}^{-1}$ .

A aplicação complementar de cálcio e de magnésio nos sulcos de plantio é essencial para aumentar a produtividade, especialmente em áreas agrícolas com solos de baixa fertilidade, ou quando o uso de aumento nas doses de potássio e de nitrogênio advindas da fertirrigação. É importante destacar que estas aplicações complementares, como o magnésio, são de fácil aplicação em campo, com a possibilidade de se misturar com produtos de caldas de pulverizações (BOLETIM TÉCNICO 100, 2023).

As condições climáticas adversas dos últimos anos, caracterizadas por precipitações irregulares, rápidas e intensas, além de temperaturas médias mensais superiores às históricas, têm aumentado o estresse hídrico nas plantas. Para mitigar esses efeitos, a aplicação de óxidos de cálcio e de magnésio nos sulcos de plantio tem-se mostrado uma prática eficaz. Esses óxidos melhoram a estrutura do solo, aumentando sua porosidade e sua capacidade de retenção de água, o que facilita a infiltração e o armazenamento hídrico. Além disso, promovem o aprofundamento do sistema radicular das plantas, permitindo que elas acessem camadas mais profundas do solo em busca de água, reduzindo o impacto do estresse hídrico durante períodos secos.

Em situação desfavorável de água no solo, a planta reduz o volume de solo explorado pelas raízes (Machado et al., 2009), e, assim, do menor fluxo de Ca e Mg do solo em direção às raízes. Isto implica a menor absorção de nutrientes ainda nas fases iniciais dos canaviais para a implantação da cultura (Garcia et al., 2019).

## 2.2. Óxidos de cálcio e de magnésio no plantio da cana-de-açúcar

A maior demanda de cálcio e de magnésio nos solos tropicais deve-se, principalmente, às baixas fertilidades do solo. Isto porque os avanços tecnológicos permitiram tornar agricultável áreas inóspitas do passado, como em partes do cerrado brasileiro. Devido à facilidade nas aplicações e à possibilidade de misturas com outros produtos nas caldas de pulverizações, também se podem aplicar cálcio e magnésio. No entanto, em áreas de plantio, é vital para o desenvolvimento inicial do cultivo.

Na cultura da cana-de-açúcar, a maior demanda de cálcio acontece nos estádios iniciais de desenvolvimento, já que está intrinsecamente relacionada ao enraizamento quanto à integridade da parede celular (Roviero, 2017). Vale destacar que, em períodos secos, a carência deste elemento é impactante para a cultura, visto que a exploração das raízes pela planta pode estar limitada aos primeiros centímetros do solo, diminuindo a absorção de água e de nutrientes (Caires et al., 2001).

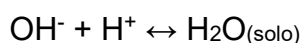
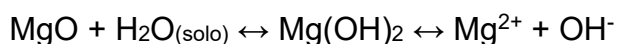
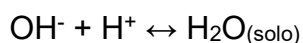
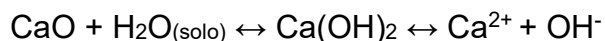
O cálcio é responsável pelo vigor do sistema radicular, pelo aumento de absorção de água e pelos demais nutrientes. Quando este nutriente é deficiente nos solos, as folhas podem perder a coloração ou caírem, o crescimento ficar restrito, a maturação ser prejudicada e perdas produtivas ocorrerem. Em geral, solos com deficiência de cálcio são muito ácidos, e uma referência para saber os valores ideais de cálcio no solo vem da avaliação por meio da saturação por bases do solo (V%) (Saldanha et al., 2007).

No caso do magnésio, a deficiência causa prejuízos diretos na capacidade fotossintética da planta; visto que, em folhas velhas, ocorre clorose internerval, na forma de “V” invertido (BOLETIM TÉCNICO 100, 2023). São adequadas relações entre Ca : Mg na CTC do solo entre 0,5 e 30, faixa que não afetará o rendimento da cultura. No entanto, na prática, quando houver magnésio suficiente, a relação entre cálcio e magnésio não afeta a cultura. Estudos destacam que a importância das relações entre nutrientes está mais para magnésio e potássio (Mg : K); posto que, se a proporção de potássio for maior ou próxima à do magnésio na CTC do solo, pode acarretar um desbalanço na absorção entre esses cátions e tornar o magnésio deficiente na planta (Malavolta, 2006).

A deficiência do cálcio e do magnésio é, assim, muito impactante para a cultura da cana-de-açúcar. Ao contrário dos corretivos tradicionais, uma das vantagens é a

dos óxidos terem alta fluidez nos equipamentos agrícolas, permitindo serem facilmente ajustados pelos mesmos (Korndörfer, 2018). Os processos agrícolas que incluem estes óxidos nos sulcos de plantio permitem chegar o cálcio e o magnésio a camadas mais profundas, beneficiando o desenvolvimento da cultura.

De acordo com as reações abaixo, pode-se observar como ocorre a neutralização da acidez do solo e como o cálcio e o magnésio ficam no lugar dos cátions de carácter mais ácido (Carvalho et al., 2020). Os ânions  $\text{OH}^-$  liberados pela reação de dissolução dos óxidos no solo reagem com o  $\text{Al}^{3+}$  e o  $\text{H}^+$  que estão na solução do solo em equilíbrio com a fase sólida (acidez potencial). Desta maneira, as reações são deslocadas para a direita até que todo o óxido aplicado seja consumido nas reações de neutralizações da acidez (Korndörfer, 2018).



Estas reações permitem facilitar o enraizamento mais profundo dos canaviais, dada a neutralização da acidez do solo, construindo ambiente livre de alumínio ( $\text{Al}^{3+}$ ) e favorecendo a absorção de outros minerais, tais como o fósforo (P).

### 2.3. Importância dos óxidos de Ca e de Mg no sulco de plantio

Um dos principais desafios para o cultivo de cana-de-açúcar é a acidez do solo, que reduz a disponibilidade de nutrientes e características do crescimento das plantas. O óxido de cálcio (CaO) é um corretivo que neutraliza a acidez e aumenta a disponibilidade de nutrientes essenciais, como fósforo e potássio, que são cruciais para o desenvolvimento saudável da cana-de-açúcar (Santos et al., 2011). Além disso, o óxido de magnésio (MgO) atua na nutrição das plantas, fornecendo magnésio, um elemento essencial para a fotossíntese e a produção de clorofila (Gomes et al., 2018).

Com o uso de óxidos de Ca e de Mg, ocorre melhora no ambiente radicular do solo em subsuperfície, de forma direta, através do fornecimento de Ca, de Mg, e de forma indireta, diminuindo os sítios de fixação de P, aumentando assim a

disponibilidade desse elemento para as plantas. Os óxidos de Ca e de Mg também contribuem para o desenvolvimento do sistema radicular das plantas, quando diminuem os níveis de H, Al e do Mn tóxico, favorecendo a maior absorção de água e de nutrientes (Korndörfer, 2018).

Em solos ácidos, a presença de alumínio pode ser tóxica para as plantas, especialmente para as raízes da cana-de-açúcar, prejudicando a absorção de água e de nutrientes. A aplicação de óxido de cálcio neutraliza a acidez e reduz a toxicidade do alumínio, o que melhora o crescimento radicular e favorece a saúde das plantas (Freitas e Silva, 2017). Em consequência, há aumento do crescimento vegetativo e da produtividade da cana-de-açúcar; pois, além de melhorar a nutrição das plantas, o Cálcio está envolvido na formação das paredes celulares, o que pode contribuir para maior resistência a doenças e a estresses ambientais. O magnésio, por sua vez, favorece a fotossíntese e o transporte de carboidratos nas plantas, elementos cruciais para o desenvolvimento e o aumento da produtividade

A aplicação de óxido de cálcio e de magnésio no sulco de plantio contribui para a melhoria da estrutura do solo, promovendo a agregação das partículas e aumentando a porosidade do solo. Isso é especialmente importante em solos argilosos e compactados, onde a circulação de ar e a infiltração de água são limitadas. A melhor estrutura facilita o crescimento do sistema radicular da cana-de-açúcar, permitindo que as raízes se desenvolvam de forma mais profunda e mais eficiente, o que resulta em plantas mais saudáveis e produtivas (Barbosa et al., 2010).

O uso contínuo de óxidos no manejo de solos com cultivo de cana-de-açúcar pode resultar em melhoria na qualidade do solo. A correção da acidez e o aumento da disponibilidade de nutrientes nutritivos para o aumento da fertilidade do solo, ao longo do tempo, permitindo que o solo sustente a produção de cana-de-açúcar de forma mais eficiente e com menores custos de insumos (Cunha et al., 2022).

#### **2.4 Emissão de CO<sub>2</sub> do calcário comparado aos óxidos de Ca e Mg**

É essencial avaliarmos os impactos ambientais dos insumos agrícolas, principalmente quando se refere ao calcário. A utilização desse corretivo, embora eficaz na melhoria da acidez do solo, apresenta uma pegada de carbono significativamente elevada, principalmente devido aos processos de produção e da

emissão de gases de efeito estufa. A emissão de CO<sub>2</sub> na produção de calcário agrícola está associada, principalmente, ao consumo de energia durante as etapas de remoção, transporte, britagem e moagem da rocha calcária. Esse processo, em comparação com a produção de produtos como cal (óxido de cálcio), não envolve calcinação e, portanto, evita emissões significativas relacionadas à concentração térmica do carbonato de cálcio (CaCO<sub>3</sub>).

Conforme dados apresentados pelo IPCC (2006), a produção de calcário agrícola gera emissões indiretas de CO<sub>2</sub> relacionadas ao uso de combustíveis fósseis em maquinários e no transporte. Essas emissões podem variar, dependendo da eficiência energética e da fonte de energia utilizada; mas, em média, são estimadas em 10 a 20 kg de CO<sub>2</sub> por tonelada de calcário processado, dependendo da distância de transporte e da eficiência das operações industriais. Por outro lado, quando o calcário é aplicado no solo, reações químicas com ácidos do solo liberam CO<sub>2</sub> de forma gradual. O IPCC também estima que, aproximadamente, 0,12 toneladas de CO<sub>2</sub> são liberadas por tonelada de calcário aplicado, como resultado dessas reações químicas naturais.

A produção de óxido de cálcio (CaO) e de óxido de magnésio (MgO) envolve um processo industrial altamente intensivo em carbono, principalmente devido à calcinação de carbonatos, como o calcário (CaCO<sub>3</sub>) e a dolomita (CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>). Durante a calcinação, realizada em temperaturas elevadas (geralmente entre 900°C e 1200°C), os carbonatos decompõem-se em óxidos e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), liberando grandes quantidades desse gás. Segundo dados apresentados por Ogle et al. (2004), a produção de 1 tonelada de óxido de cálcio resultou na emissão de aproximadamente, 1,25 tonelada de CO<sub>2</sub>, sendo cerca de 0,75 tonelada proveniente da degradação do carbonato; e o restante, associado ao consumo de energia no processo térmico.

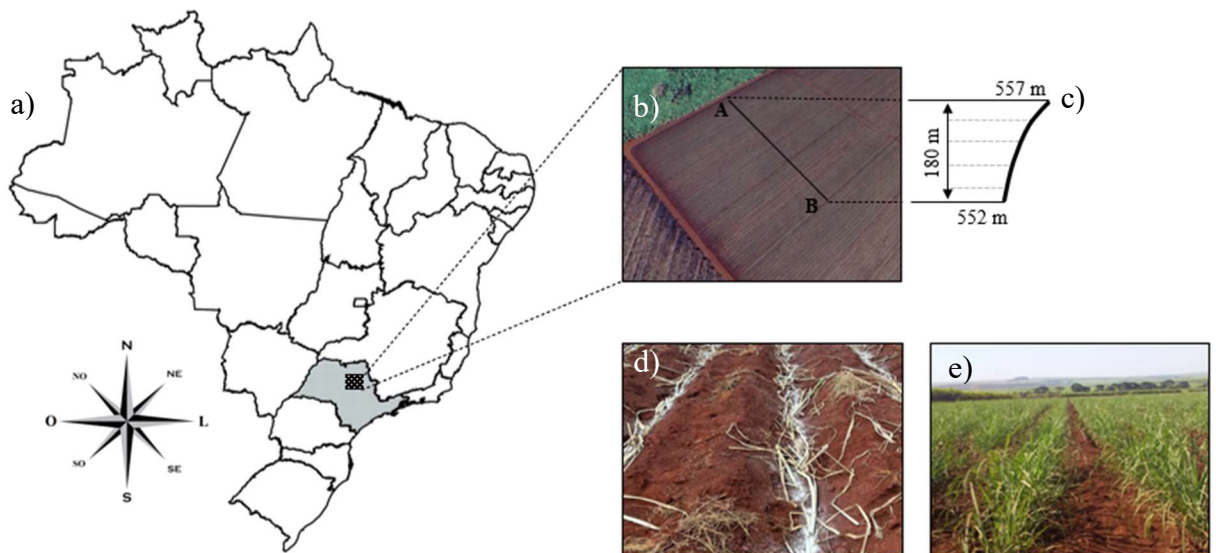
No caso do óxido de magnésio, as emissões podem variar, dependendo da matéria-prima utilizada (dolomita ou magnesita), mas o processo de calcinação segue uma dinâmica semelhante. Estudos como o de Worrell et al. (2001) destacam que a pegada de carbono do MgO, produzido a partir da dolomita, é principalmente maior devido à presença de cálcio e de magnésio na composição, resultando em emissões de CO<sub>2</sub> que podem ultrapassar 1,3 tonelada de CO<sub>2</sub> por tonelada de produto. Além

das emissões diretas da calcinação, há o impacto no consumo energético, que pode ser mitigado pelo uso de fontes de energia renovável ou pela maior eficiência nos fornos industriais. No entanto, a produção desses óxidos permanece como uma das mais intensivas em carbono dentro da cadeia de insumos minerais.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Localização da área

A área está localizada no nordeste do Estado de São Paulo, no Município de Barrinha. As coordenadas geográficas são 21°21' de latitude sul e 48°03' de longitude oeste (Figura 1).



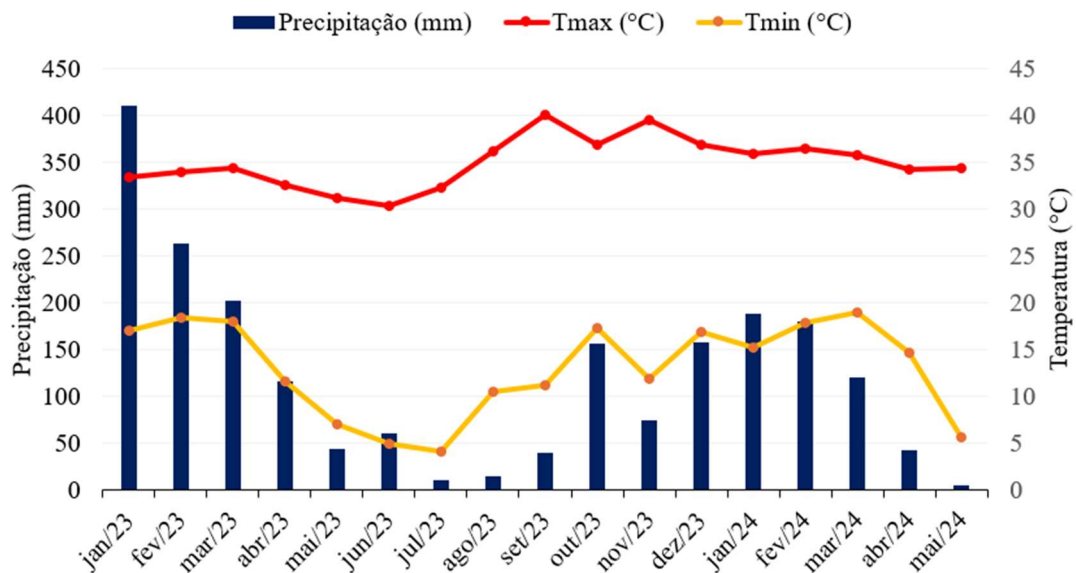
**Figura 1.** Localização da área de estudo: a – Município de Barrinha (São Paulo); b – Local do experimento; c – perfil de elevação; d – sulco com os óxidos de cálcio e magnésio; e – cana aos 60 dias após o plantio.

O estudo foi realizado em área comercial de um importante grupo de usinas de açúcar e de álcool, sob cultivo de cana-de-açúcar por mais de 30 anos. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é tropical com estação seca de inverno (Aw). A precipitação climatológica anual da região é de 1.400 mm, com chuvas concentradas no período de novembro a abril.

A área em questão está localizada na província geomorfológica do Planalto Ocidental Paulista, próxima ao limite das Cuestas Basálticas, na transição litoestratigráfica entre arenito e basalto. A área em questão apresentava, originalmente, vegetação de Mata Atlântica na região oeste e de Cerrado nas regiões leste e sudoeste do Planalto. Atualmente, o uso mais representativo do solo é o cultivo de cana-de-açúcar.

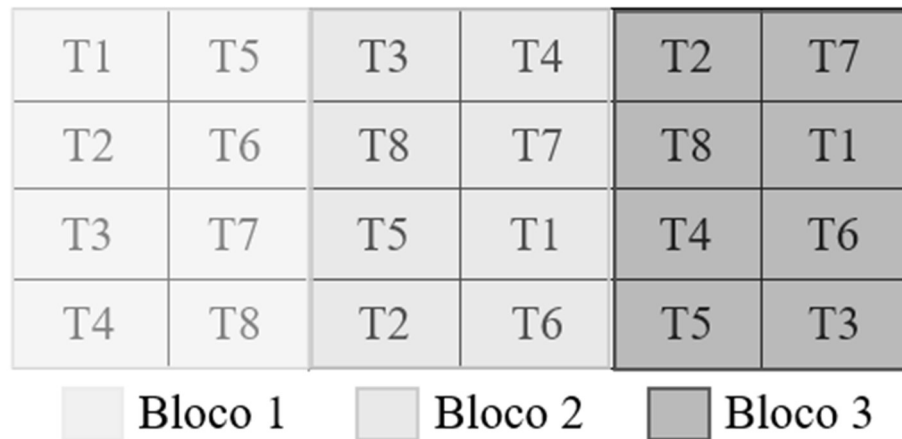
De acordo com os dados meteorológicos da estação automática de Pradópolis-SP, a precipitação na área experimental foi de 1.409 mm do plantio à colheita (Figura 2). Percebem-se acumulados que superam 650 mm nos meses de janeiro e fevereiro de 2023, o que pode favorecer melhores condições do plantio. No inverno, mais rigoroso, a temperatura mínima chegou a 4°C, e a máxima, a 40°C. Esta variação pode afetar o crescimento da cana-de-açúcar por penalizar o bom desenvolvimento.

Período chuvoso que antecede a colheita foi satisfatório, com chuvas acumuladas acima de 500 mm nos períodos de dezembro a março, máximas entre 35°C e mínimas entre 17°C.



**Figura 2.** Climograma da área experimental com dados mensais de chuva e temperaturas máximas e mínimas (Estação Inmet, Pradópolis-SP).

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, com 3 blocos e 8 tratamentos (Figura 3). As parcelas de cada tratamento formam 5 sulcos de 7,5 metros, espaçadas a 1,5 metro entre si, totalizando 120 linhas de plantio.



Tratamento	Plantio (kg ha <sup>-1</sup> )	Quebra-lombo (kg ha <sup>-1</sup> )
<b>T1</b>	0	0
<b>T2</b>	0	100 kg ha <sup>-1</sup> (250 g linha <sup>-1</sup> )
<b>T3</b>	100 kg ha <sup>-1</sup> (250 g sulco <sup>-1</sup> )	0
<b>T4</b>	100 kg ha <sup>-1</sup> (250 g sulco <sup>-1</sup> )	100 kg ha <sup>-1</sup> (250 g linha <sup>-1</sup> )
<b>T5</b>	200 kg ha <sup>-1</sup> (450 g sulco <sup>-1</sup> )	0
<b>T6</b>	200 kg ha <sup>-1</sup> (450 g sulco <sup>-1</sup> )	200 kg ha <sup>-1</sup> (450 g linha <sup>-1</sup> )
<b>T7</b>	400 kg ha <sup>-1</sup> (900 g sulco <sup>-1</sup> )	0
<b>T8</b>	400 kg ha <sup>-1</sup> (900 g sulco <sup>-1</sup> )	400 kg ha <sup>-1</sup> (900 g linha <sup>-1</sup> )

**Figura 3.** Área delimitada com os tratamentos de óxidos de cálcio e magnésio de acordo com as dosagens e períodos de aplicação.

Das 5 repetições das linhas de plantio por variedade, as avaliações do solo, das biometrias foram feitas na terceira linha com as mudas centrais. Com isto, buscou-se minimizar os efeitos de bordadura entre as variedades e entre as condições de bordadura da própria linha de plantio.

Antes da instalação do experimento, a área era cultivada comercialmente com cana-de-açúcar; onde, na última soqueira, antes da reforma, a soca foi tratada com a aplicação de 30 m<sup>3</sup>/ha de vinhaça localizada enriquecida com ureia e aplicação de 10 t ha<sup>-1</sup> de torta de filtro com 500 kg de calcário dolomítico. Após a eliminação de

soqueira, foi realizada a amostragem de solo (Tabela 1) e realizada a correção do mesmo com a aplicação de 3 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico e 500 kg/ha de gesso em área total.

**Tabela 1.** Análise de solo de caracterização da área antes da instalação do experimento.

Prof.	MO	P	K	Ca	Mg	Al	H + Al	pH	SO <sub>4</sub>	SB	CTC	m	V
0 – 20	2,1	18	0,2	1,5	0,6	0	3,6	5,1	0	2,3	5,9	0	39
20 - 40	2,2	14	0,2	1,7	0,6	0	3,5	5	19	2,5	5,9	0	42

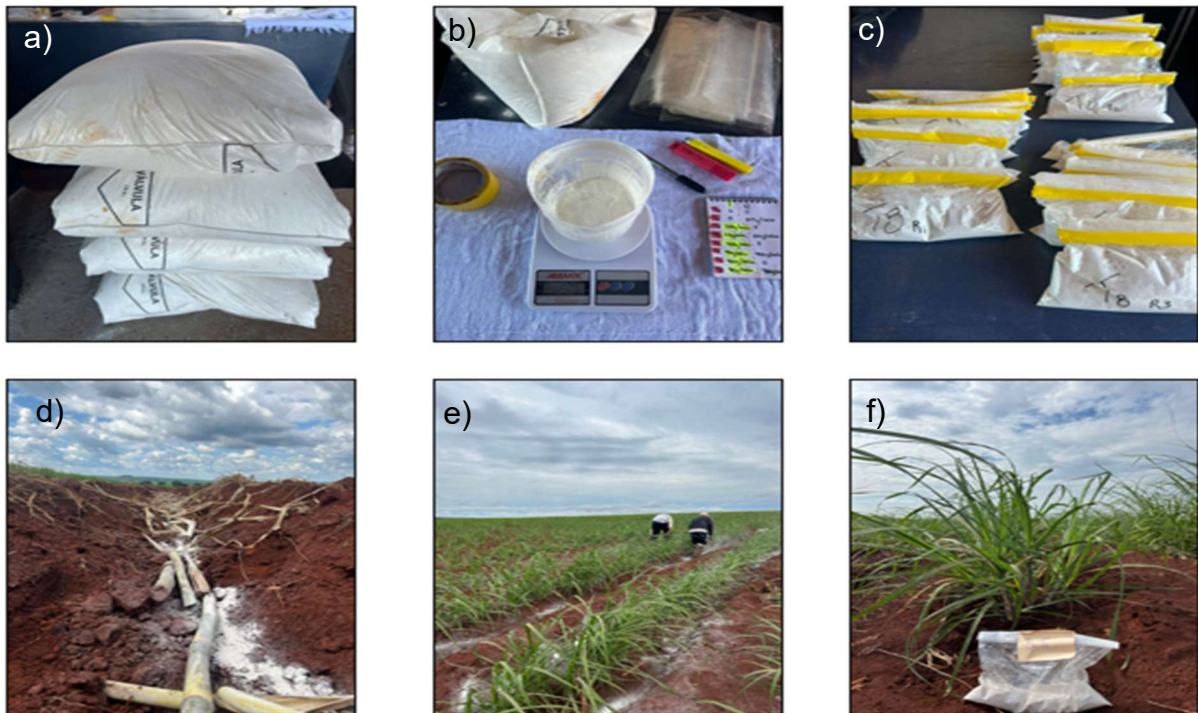
Prof.: Profundidade (cm); MO: Matéria Orgânica (%); P: Fósforo em resina (mg dm<sup>-3</sup>); K: Potássio (cmolc dm<sup>-3</sup>); Ca: Cálcio (cmolc dm<sup>-3</sup>); Mg: Magnésio (cmolc dm<sup>-3</sup>); Al: Alumínio (cmolc dm<sup>-3</sup>); pH: potencial hidrogeniônico (CaCl<sub>2</sub>); SB: Soma de Bases (cmolc dm<sup>-3</sup>); CTC: Capacidade de Troca Catiônica (cmolc dm<sup>-3</sup>); m: saturação de alumínio (%); V: índice de saturação por bases (%).

Na área de experimento, foi verificada a formação Basalto Serra Geral e, de acordo com o levantamento mais recente, realizado pelo Centro de Tecnologia Canavieira (CTC), o solo foi classificado como Latossolo Vermelho Eutroférico típico (LVef-1.1), textura argilosa, teores entre 180 e 360 g kg<sup>-1</sup> de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (pelo H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) nos primeiros 100cm de profundidade do horizonte B, sob cultivo de cana-de-açúcar, com colheita mecanizada há mais de 20 anos.

A variedade escolhida para o monitoramento do canavial foi a IACSP95-5094. É considerada uma variedade promissora, com alto potencial produtivo, e que pode responder facilmente às dosagens de óxidos de cálcio e de magnésio, além de ter grande potencial de adaptabilidade a diferentes ambientes de produção.

O plantio foi realizado com espaçamento de 1,5 metro entre as linhas. Após o subsolador, dias antes do plantio, foram abertos sulcos nas linhas de plantio de 40 cm de profundidade e, conjuntamente, aplicados inseticidas junto aos bicos injetores do sulcador. Pela Figura 4, pode-se observar a coleta do material, seguido das medições (Figura 4a; 4b).

As áreas foram executadas respeitando o delineamento planejado, às doses e, sobretudo, o efeito casual, o controle local e as repetições mínimas exigidas para analisar resultados confiáveis deste experimento em campo (Figura 4c; 4d; 4e; 4f).



**Figura 4.** Coleta dos óxidos de cálcio e magnésio (4a); Medição das dosagens para cada tratamento (4b); Amostras dos tratamentos (4c); Aplicação de óxidos de cálcio e magnésio no sulco de plantio (4d); Cobertura da linha com os óxidos de cálcio e magnésio antes do quebra-lombo (4e); Linha de plantio que recebeu 200 kg ha<sup>-1</sup> no sulco e na cobertura do solo (4f).

### 3.2 Coleta e análise dos dados

Para a avaliação dos atributos do solo, foram coletadas amostras deformadas, com auxílio do trado holandês, dentro de cada parcela experimental, a 0,20 m da touceira da cana-de-açúcar. Em cada ponto amostral, foram avaliadas 5 camadas de solo, sendo elas: 0,0 a 0,2 m; 0,2 a 0,4 m; 0,4 a 0,6 m; 0,6 a 0,8 m e 0,8 a 1,0 m. No laboratório, foram determinados os teores de matéria orgânica, pH, fósforo (extraído por resina), H + Al, potássio, cálcio, magnésio, sulfato e os micronutrientes cobre, ferro, zinco e manganês, seguindo os métodos descritos por Raij et al. (2011).

Além disso, foram calculados a soma de bases, a capacidade de troca catiônica e o índice de saturação por bases (V%). A colheita foi mecanizada sem queima da palha, e a pesagem das parcelas foi realizada em transbordo equipado com balança eletrônica para a avaliação da produtividade. Os parâmetros tecnológicos açúcar total recuperável (ATR) e tonelada de Pol por hectare (TPH) foram avaliados segundo o método da Consecana (2003).

As análises estatísticas foram pelo software estatístico R Core Team (2023), incluindo-se o uso MASS (Venables e Ripley, 2002), hier. part (Nally e Walsh, 2004), ExpDes.p (Ferreira et al., 2018), Agricolae. Mediante as pressuposições básicas das análises de variância, da normalidade dos erros e da homogeneidade das variâncias, serão testadas as análises estatísticas para os diferentes tratamentos, com dosagens de cálcio e magnésio, usando-se a comparação das médias pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1 Análises de solo**

#### **4.1.1 Macronutrientes**

Foram obtidos resultados significativos em algumas das profundidades analisadas. O fósforo (P) apresentou diferença significativa entre os tratamentos ( $p < 0,05$ ), na profundidade de 0-20 cm (Tabela 2). O maior valor de P foi encontrado no tratamento T4, com a aplicação de 100 kg/ha no sulco e 100 kg/ha na operação de quebra-lombo de Óxido de Ca e Mg. Este valor diferiu-se estatisticamente, do T6, tratamento com a aplicação de 200 kg/ha no sulco e 200 kg/ha na operação de quebra-lombo do Óxido de Ca e Mg (Tabela 2). Os demais tratamentos não diferiram entre si.

A capacidade de troca catiônica (CTC) foi, significativamente maior no T4 (9,4  $\text{cmol dm}^{-3}$ ) em comparação ao T8 (8,1  $\text{cmol dm}^{-3}$ ), na profundidade de 0-20 cm. Para o ferro (Fe), na profundidade de 0-20 cm, o T3, tratamento com a aplicação 100 kg/ha no sulco de plantio do óxido de Ca e Mg, apresentou o maior valor, de 13,8  $\text{mg dm}^{-3}$ , sendo, estatisticamente, superior aos tratamentos T4; T5; T7 e T8. Os demais parâmetros analisados não apresentaram diferenças significativas pelo teste de ANOVA (Tabela 2).

**Tabela 2:** Efeito das doses de óxidos de Ca e Mg na disponibilidade de nutrientes e na correção da acidez em diferentes profundidades

Variável	Profundidade do solo (0 a 20 cm)							
	Teste- munha	0PL+ 100QL	100PL+ 0QL	100PL+ 100 QL	200PL+ 0QL	200PL+ 200QL	400PL+ 0QL	400PL+ 400QL
M.O.	3,5a	3,5a	3,6a	3,5a	3,6a	3,5a	3,7a	3,2a
pH-CaCl <sub>2</sub>	5,6a	5,8a	5,7a	5,9a	5,6a	5,6a	5,7a	5,5a
P Resina	<b>48ab</b>	<b>54ab</b>	<b>66ab</b>	<b>76a</b>	<b>51ab</b> ab	<b>43b</b>	<b>54ab</b>	<b>44ab</b>
H+Al	2,5a	2,2a	2,3a	2,6a	2,1a	2,9a	2,4a	2,8a
K	0,2a	0,3a	0,3a	0,6a	0,2a	0,2a	0,2a	0,1a
Ca	3,9a	4,5a	4,1a	4,0a	3,9a	3,9a	3,8a	3,4a
Mg	2,0a	2,3a	2,1a	2,0a	1,9a	2,0a	2,0a	1,8a
SO <sub>4</sub>	17a	9,5a	10a	15a	12a	13a	9,4a	9,8a
SB	6,2a	7,1a	6,6a	6,7a	6,1a	6,2a	6,2a	5,2a
CTC	<b>8,8ab</b>	<b>9,3ab</b>	<b>8,9ab</b>	<b>9,4a</b>	<b>8,3ab</b>	<b>8,7ab</b>	<b>8,6ab</b>	<b>8,1b</b>
V%	71a	76a	74a	71a	74a	71a	71a	64a

Variável	Profundidade no solo (20 a 40 cm)							
	Teste- munha	0PL+ 100QL	100PL+ 0QL	100PL+ 100QL	200PL+ 0QL	200PL+ 200QL	400PL+ 0QL	400PL+ 400QL
M.O.	3,5a	3,6a	3,3a	3,6a	3,3a	3,3a	3,6a	3,3a
pH-CaCl <sub>2</sub>	5,5a	5,8a	5,6a	5,8a	5,6a	5,5a	5,5a	5,5a
P Resina	<b>45b</b>	<b>59ab</b>	<b>61ab</b>	<b>81a</b>	<b>46b</b>	<b>49b</b>	<b>49b</b>	<b>45b</b>
H+Al	2,5a	2,2a	2,3a	2,6a	2,1a	2,4a	2,4a	2,8a
K	0,1a	0,2a	0,2a	0,4a	0,2a	0,2a	0,2a	0,1a
Ca	4,2a	4,4a	3,8a	4,1a	3,8a	3,6a	3,8a	3,5a
Mg	2,1a	2,2a	1,9a	2,1a	1,9a	1,9a	2,0a	1,7a
SO <sub>4</sub>	19a	11a	11a	11a	11a	9a	9a	12a
SB	6,5a	6,9a	6,0a	6,7a	6,0a	5,8a	6,1a	5,4a
CTC	9,3a	9,1a	8,6a	9,1a	8,6a	8,9a	8,8a	8,2a
V%	70a	76a	70a	74a	69a	66a	69a	65a

Variável	Profundidade do solo (40 a 60 cm)							
	Teste- munha	0PL+ 100QL	100PL+ 0QL	100PL+ 100QL	200PL+ 0QL	200PL+ 200QL	400PL+ 0QL	400PL+ 400QL
M.O.	3,5a	3,3a	3,2a	3,2a	3,3a	3,4a	3,5a	3,1a
pH-CaCl <sub>2</sub>	5,8	5,6	5,5	5,6	5,6	5,5	5,4	5,3
P Resina	<b>41b</b>	<b>53ab</b>	<b>53ab</b>	<b>81a</b>	<b>48b</b>	<b>46b</b>	<b>44b</b>	<b>41b</b>
H+Al	2,5a	2,2a	2,3a	2,6a	2,1a	2,4a	2,4a	2,8a
K	0,1a	0,2a	0,2a	0,3a	0,1a	0,2a	0,2a	0,1a
Ca	3,8a	4,0a	3,4a	3,7a	3,5a	3,6a	3,6a	3,3a

Mg	2,0a	1,9a	1,6a	1,8a	1,8a	1,9a	1,9a	1,5a
SO <sub>4</sub>	47a	12a	11a	9,8a	11a	11a	9,9a	14a
SB	6,0a	6,3a	5,3a	5,9a	5,5a	5,8a	5,7a	5,0a
CTC	8,8a	8,9a	8,2a	9,1a	8,1a	8,3a	8,4a	7,9a
V%	68a	70a	65a	65a	67a	69a	67a	63a

Variável	Profundidade do solo (60 a 80 cm)							
	Teste- munha	0PL+ 100QL	100PL+ 0QL	100PL+ 100QL	200PL+ 0QL	200PL+ 200QL	400PL+ 0QL	400PL+ 400QL
M.O.	3,4a	3,3a	3,1a	3,3a	3,2a	3,3a	3,4a	3,0a
pH-CaCl <sub>2</sub>	5,6a	5,6a	5,4a	5,6a	5,6a	5,5a	5,5a	5,2a
P Resina	42b	53ab	57ab	79a	47b	45b	42b	46b
H+Al	2,7a	2,6a	3,1a	2,9a	3,5a	2,7a	2,8a	3,1a
K	0,1a	0,2a	0,2a	0,3a	0,1a	0,1a	0,1a	0,1a
Ca	3,9a	3,7a	3,4a	3,6a	3,4a	3,5a	3,6a	2,9a
Mg	1,9a	1,8a	1,6a	1,8a	1,6a	1,7a	1,9a	1,3a
SO <sub>4</sub>	25a	10a	12a	19a	16a	10a	7,3a	23a
SB	6,0a	5,9a	5,2a	5,8a	5,2a	5,4a	5,6a	4,3a
CTC	8,8a	8,5a	8,3a	8,7a	8,8a	8,2a	8,5a	7,5a
V%	68a	68a	62a	65a	59a	66a	66a	57a

Variável	Profundidade do solo (80 a 100 cm)							
	Teste- munha	0PL+ 100QL	100PL+ 0QL	100PL+ 100QL	200PL+ 0QL	200PL+ 200QL	400PL+ 0QL	400PL+ 400QL
M.O.	3,4a	3,4a	3,1a	3,5a	3,3a	3,4a	3,4a	3,1a
pH-CaCl <sub>2</sub>	5,6a	5,8a	5,5a	5,6a	5,5a	5,7a	5,5a	5,6a
P Resina	43a	55a	54a	72a	43a	44a	43a	44a
H+Al	2,8a	2,8a	2,7a	6,6a	2,9a	3,0a	2,9a	3,2a
K	0,1a	0,3a	0,1a	0,3a	0,1a	0,1a	0,1a	0,2a
Ca	3,9a	4,0a	3,3a	3,8a	3,1a	3,2a	3,4a	3,0a
Mg	1,9a	1,9a	1,6a	1,8a	1,5a	1,6a	1,7a	1,4a
SO <sub>4</sub>	25a	12a	16a	17a	19a	11a	8,5a	15a
SB	6,1a	6,2a	5,1a	6,0a	4,8a	5,1a	5,2a	4,6a
CTC	8,9a	9,1a	7,9a	8,6a	7,8a	8,1a	8,2a	7,9a
V%	68a	68a	65a	69a	61a	62a	64a	59a

\* - T1 - 0 kg/ha de óxido de Ca e Mg no plantio (PL) e 0 kg/ha de óxido de Ca e Mg no quebra-lombo (QL). T2 - 0 kg/ha de óxido de Ca e Mg no PL e 100 kg/ha de óxido de Ca e Mg no QL. T3 - 100 kg/ha de óxido de Ca e Mg no PL e 0 kg/ha de óxido de Ca e Mg no QL. T4 - 100 kg/ha de óxido de Ca e Mg no PL e 100 kg/ha de óxido de Ca e Mg no QL. T5 - 200 kg/ha de óxido de Ca e Mg no PL e 0 kg/ha de óxido de Ca e Mg no QL. T6 - 200 kg/ha de óxido de Ca e Mg no PL e 200 kg/ha de óxido de Ca e Mg no QL. T7 - 400 kg/ha de óxido de Ca e Mg no PL e 0 kg/ha de óxido de Ca e Mg no QL. T8 - 400 kg/ha de óxido de Ca e Mg no PL e 400 kg/ha de óxido de Ca e Mg no QL. \*\* - MO: Matéria Orgânica (%); pH: potencial hidrogeniônico (CaCl<sub>2</sub>); P: Fósforo em resina (mg dm<sup>-3</sup>); H+Al (cmolc/dm<sup>3</sup>); K: Potássio (cmolc dm<sup>-3</sup>); Ca: Cálcio (cmolc dm<sup>-3</sup>); Mg: Magnésio (cmolc dm<sup>-3</sup>); SB: Soma de Bases (cmolc dm<sup>-3</sup>); CTC: Capacidade de Troca Catiônica (cmolc dm<sup>-3</sup>); V: índice de saturação por bases (%).

Nas profundidades de 0-20; 20-40; 40-60 e 60-80 cm, o P foi o único elemento que apresentou tratamentos com diferenças significativas. Na profundidade de 20-40

cm, o tratamento T4 ( $81,0 \text{ mg dm}^{-3}$ ) destacou-se como o maior valor, diferenciando-se, significativamente, dos tratamentos T1; T5; T6; T7 e T8. Já na profundidade de 40-60 cm, o maior valor de fósforo também foi encontrado em T4 ( $81,0 \text{ mg dm}^{-3}$ ), que se diferenciou dos mesmos tratamentos da camada imediatamente superior. O mesmo comportamento foi encontrado na profundidade abaixo, 60-80 cm, onde o T4 também apresentou o maior valor de fósforo ( $79,8 \text{ mg dm}^{-3}$ ) nesta profundidade, diferindo-se dos mesmos tratamentos (Tabela 2).

Resultados da análise de solo mostram que existe um aumento nos teores de P disponível, o que destrói as especulações de que o uso de óxidos pode reduzir o teor de P disponível, devido às reações de retrogradação do P solúvel do adubo fosfatado, como, por exemplo, o MAP.

Na camada de 0-20 cm, os valores variaram de 5,50 (T8) a 5,93 (T4). Em profundidades maiores, como de 80-100 cm, os valores oscilaram entre 5,28 (T8) e 5,82 (T2), indicando que os tratamentos não provocaram alterações significativas no pH ao longo do perfil. A correção prévia do solo pode ter influenciado a variação do pH observada durante o experimento.

Os teores de cálcio (Ca) e de magnésio (Mg) apresentaram variações moderadas entre os tratamentos e as profundidades. Para o cálcio, o maior valor foi registrado no T2 ( $4,5 \text{ cmolc/dm}^3$ ), na camada de 0-20 cm, enquanto o menor valor foi observado no T8 ( $2,9 \text{ cmolc/dm}^3$ ), na profundidade de 60-80 cm. Quanto ao magnésio, o T2 também apresentou os maiores valores nas camadas mais superficiais, enquanto o T8 se destacou pelos menores teores em profundidades maiores, com  $1,3 \text{ cmolc/dm}^3$  na camada de 60-80 cm.

A soma de bases (SB) apresentou valores relativamente uniformes entre os tratamentos, variando de  $5,06 \text{ cmolc/dm}^3$  (T8, 40-60 cm) a  $7,11 \text{ cmolc/dm}^3$  (T2, 0-20 cm). A capacidade de troca catiônica (CTC) foi maior nas camadas mais superficiais e nos tratamentos com maior teor de matéria orgânica, com destaque para o T4 ( $9,44 \text{ cmolc/dm}^3$ , 0-20 cm). A saturação por bases (V%) foi alta em todas as profundidades, variando de 57,15% (T8, 80-100 cm) a 75,91% (T2, 0-20 cm).

A saturação por bases (V%), na profundidade de 0-20 cm, variou de 64,3 a 75,9%; 65,1 a 75,8%, na profundidade de 20-40 cm; 62,7 a 70,1%, na profundidade

de 40-60 cm; 57,1 a 68,3%, na profundidade de 60-80 cm, e 59 a 69,1%, na profundidade de 80-100 cm.

Estudos confirmam que os óxidos de cálcio e de magnésio são conhecidos por sua solubilidade imediata e eficiência na mobilidade no solo, contribuindo para a elevação do pH e para a maior disponibilidade de nutrientes, fatores que impactam, positivamente, a produtividade da cana-de-açúcar (Souza, et al. 2023). Além disso, influenciam, diretamente, a capacidade de troca catiônica (CTC), favorecendo a retenção e a disponibilidade de nutrientes essenciais à cultura (Embrapa, 2024). Ainda se destaca que a eficácia desses produtos varia conforme o tipo de solo e as condições específicas de cultivo, sendo fundamental a realização de análises prévias para a determinação das doses ideais (AGRICONLINE, 2023).

#### **4.1.2 Micronutrientes**

Os valores de cobre (Cu) variaram entre 3,25 mg/kg e 4,89 mg/kg nas diferentes profundidades. Não foram observadas diferenças estatisticamente significativas. No entanto, destaca-se que os tratamentos com aplicação de 100 kg/ha de óxido de cálcio e de magnésio, no sulco de plantio (T3), apresentaram tendência a maiores concentrações de cobre (Tabela 3).

Nas profundidades de 0 a 20 cm; 20 a 40 cm; 40 a 60 cm, e 60 a 80cm, o cobre apresentou concentrações estáveis entre os tratamentos, com ligeira elevação em T3, apresentando teores de 4,89 mg/kg; 4,67 mg/kg, e 4,68 mg/kg e, novamente, 4,68 mg/kg, respectivamente. Já na profundidade de 80 a 100 cm, as concentrações apresentaram-se homogêneas (Tabela 3).

Para o micronutriente ferro (Fe), os resultados apresentaram diferenças significativas, na profundidade de 0 a 20 cm, com destaque para o tratamento T3, 100 kg/ha de óxido de cálcio e de magnésio no sulco de planto, que apresentou 13,87 mg/kg de ferro, que foi, significativamente, superior a T4; T5; T6; T7 e T8. Nas demais profundidades de estudo, houve redução nas concentrações, com valores mais homogêneos entre os tratamentos (Tabela 3). Esse resultado está alinhado com estudos de Marschner (2012), que demonstrou que a aplicação de cálcio e de magnésio pode afetar a solubilidade do ferro no solo, especialmente em solos com pH elevado, reduzindo sua disponibilidade.

**Tabela 3:** Efeito das doses de óxidos na disponibilidade de micronutrientes do solo em diferentes profundidades.

Micro-nutriente	Profundidade do solo 0 a 20 cm							
	Testemunha	0PL+ 100QL	100PL+ 0QL	100PL+ 100QL	200PL+ 0QL	200PL+ 200QL	400PL+ 0QL	400PL+ 400 QL
<b>Cu</b>	4,6a	4,3a	4,8a	4,0a	4,3a	4,3a	4,1a	4,2a
<b>Fe</b>	11,4ab	10,5ab	13,8a	10,2 b	9,9 b	10,4ab	10,1b	10,2b
<b>Mn</b>	24,8a	23,4a	24,2a	18,3a	20,7a	22,2 a	21,1a	18,4a
<b>Zn</b>	1,1a	1,0a	1,1a	0,9a	0,7a	0,9a	1,0 a	0,8a
Profundidade do solo 20 a 40 cm								
<b>Cu</b>	4,6a	4,3a	4,6a	3,9a	4,4a	4,3a	4,0a	4,1a
<b>Fe</b>	11,3a	10,1a	10,9a	9,5a	9,9a	10,0a	10,0a	10,6a
<b>Mn</b>	24,6a	22,1a	19,9a	17,6a	19,9a	20,7a	20,0a	20,1a
<b>Zn</b>	1,2a	1,4a	1,4a	0,9a	0,7a	1,6a	0,8a	0,9a
Profundidade do solo 40 a 60 cm								
<b>Cu</b>	4,2a	4,5a	4,6a	4,0a	3,2a	4,2a	3,8a	4,0a
<b>Fe</b>	9,8a	10,3a	11,1a	9,6a	6,7a	10,4a	9,8a	9,4a
<b>Mn</b>	20,3a	20,2a	17,8a	15,8a	13,4a	20,5a	17,3a	16,8a
<b>Zn</b>	0,9a	1,49a	1,0a	1,2a	0,5a	1,25a	0,91a	1,31a
Profundidade do solo 60 a 80 cm								
<b>Cu</b>	4,5a	4,4a	4,6a	4,0a	4,3a	4,5a	4,1a	4,1a
<b>Fe</b>	10,5a	10,2a	11,1a	9,5a	9,6a	10,7a	10,2a	9,5a
<b>Mn</b>	21,0a	19,7a	18,1a	13,8a	17,2a	20,7a	16,4a	15,8a
<b>Zn</b>	1,1a	1,2a	2,1a	1,7a	1,7a	1,1a	0,9a	2,9a
Profundidade do solo (80 a 100 cm)								
<b>Cu</b>	4,5a	4,4a	3,7a	4,1a	4,6a	4,4a	4,2a	4,0a
<b>Fe</b>	10,9a	10,4a	8,3a	10,0a	9,6a	10,6a	10,3a	9,9a
<b>Mn</b>	21,2a	20,6a	13,4a	15,8a	17,1a	19,5a	16,2a	17,4a
<b>Zn</b>	1,1a	1,6a	0,7a	1,0a	0,8a	1,4a	0,7a	1,1a

\* - T1 - 0 kg/ha de óxido de Ca e Mg no plantio (PL) e 0 kg/ha de óxido de Ca e Mg no quebra-lombo (QL). T2 - 0 kg/ha de óxido de Ca e Mg no PL e 100 kg/ha de óxido de Ca e Mg no QL. T3 - 100 kg/ha de óxido de Ca e Mg no PL e 0 kg/ha de óxido de Ca e Mg no QL. T4 - 100 kg/ha de óxido de Ca e Mg no PL e 100 kg/ha de óxido de Ca e Mg no QL. T5 - 200 kg/ha de óxido de Ca e Mg no PL e 0 kg/ha de óxido de Ca e Mg no QL. T6 - 200 kg/ha de óxido de Ca e Mg no PL e 200 kg/ha de óxido de Ca e Mg no QL. T7 - 400 kg/ha de óxido de Ca e Mg no PL e 0 kg/ha de óxido de Ca e Mg no QL. T8 - 400 kg/ha de óxido de Ca e Mg no PL e 400 kg/ha de óxido de Ca e Mg no QL. \*\* - Cu: Cobre (ppm); Fe: Ferro (ppm); Mn: Manganês (ppm); Zn: Zinco (ppm).

Embora não tenham sido observadas diferenças estatísticas nas concentrações de manganês (Mn), nota-se uma variação mais acentuada das concentrações do micronutriente em tratamentos com aplicação de óxido de cálcio e de magnésio. Em profundidade, apresentando tendência de diminuição das concentrações de Mn no solo, em todos os tratamentos, com ligeira recuperação de 80 a 100 cm (Tabela 3).

O zinco (Zn) variou de concentrações de 0,55 mg/kg, na profundidade de 40 a 60 cm no tratamento T5; a 2,91 mg/kg, na profundidade de 60 a 80 cm, com destaque para T8, na profundidade de 60 a 80 cm. Esse resultado sugere que a aplicação em altas doses de óxido de Ca e Mg pode, em alguns casos, aumentar a mobilidade do Zn no perfil do solo (Tabela 3). Em estudo de Alloway (2008), indica-se que a interação entre Zn e Ca/Mg é complexa, podendo variar conforme as condições do solo, com tendência à redução da disponibilidade em solos mais alcalinos.

#### **4.2 Produtividade e qualidade da matéria-prima**

A análise de variância (ANOVA), para a produtividade, avaliada em Toneladas de Colmos por Hectares (TCH), indicou que não houve diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos ( $p = 0,7517$ ). O coeficiente de variação (CV) foi de 5,13%, demonstrando boa precisão experimental. O teste de normalidade dos resíduos apresentou p-valor de 0,0411, indicando que, ao nível de 5% de significância, os resíduos não podem ser considerados normais. Contudo, as variâncias foram homogêneas ( $p = 0,0647$ ). As médias variaram entre 142,52 (T7) e 152,59 (T6) (Tabela 4).

O mesmo comportamento foi observado para os Açúcares Totais Recuperáveis (ATR), sem diferenças significativas ( $p = 0,4422$ ). O CV foi de 8,26%, mostrando consistência nos dados. Os resíduos foram considerados normais ( $p = 0,8233$ ); e as variâncias, homogêneas ( $p = 0,4991$ ). As médias oscilaram de 110,20 (T2) a 128,44 (T7) (Tabela 4). Para o parâmetro que considera as duas variáveis anteriores, Toneladas de Açúcar por Hectare (TAH), a ANOVA revelou ausência de diferenças significativas entre os tratamentos ( $p = 0,8485$ ), com CV de 10,55%. Os resíduos atenderam à normalidade ( $p = 0,1350$ ), e as variâncias foram homogêneas ( $p = 0,7148$ ), tendo as médias variado de 16,07 (T2) a 18,35 (T7) (Tabela 3).

Estes resultados estão de acordo com os encontrados por Souza et al. (2023), onde houve registros de situações que os óxidos de Ca e Mg não resultaram em impacto significativo na produtividade, não havendo diferenças na produção entre parcelas tratadas com óxidos e parcelas-controle, em solos previamente corrigidos (Souza, et al., 2023). Similarmente, no estudo De Oliveira et al. (2023), os pesquisadores demonstraram que em solos com teores adequados de magnésio, a

aplicação adicional deste nutriente não proporcionou aumento na produção de açúcar (De Oliveira, et al., 2023).

**Tabela 4:** Resultados dos parâmetros de produtividade e de qualidade de matéria-prima.

Tratamentos/Doses de Óxidos de Ca e Mg*	Produção de Colmos (TCH)**	ATR (kg/t)**	Produção de Açúcar (TAH)**
kg/ha	t/ha	kg/t	t/ha
<b>T1</b> Testemunha	149a	114a	17,0a
<b>T2</b> 0PL + 100QL	146a	110a	16,1a
<b>T3</b> 100PL + 0QL	152a	116a	17,6a
<b>T4</b> 100PL + 100QL	146a	124a	18,1a
<b>T5</b> 200PL + 0QL	148a	119a	17,5a
<b>T6</b> 200PL + 200QL	152a	115a	17,6a
<b>T7</b> 400PL + 0QL	142a	128a	18,3a
<b>T8</b> 400PL + 400QL	150a	120a	18,0a

\* - T1 - 0 kg/ha de óxido de Ca e Mg no plantio (PL) e 0 kg/ha de óxido de Ca e Mg no quebra-lombo (QL). T2 - 0 kg/ha de óxido de Ca e Mg no PL e 100 kg/ha de óxido de Ca e Mg no QL. T3 - 100 kg/ha de óxido de Ca e Mg no PL e 0 kg/ha de óxido de Ca e Mg no QL. T4 - 100 kg/ha de óxido de Ca e Mg no PL e 100 kg/ha de óxido de Ca e Mg no QL. T5 - 200 kg/ha de óxido de Ca e Mg no PL e 0 kg/ha de óxido de Ca e Mg no QL. T6 - 200 kg/ha de óxido de Ca e Mg no PL e 200 kg/ha de óxido de Ca e Mg no QL. T7 - 400 kg/ha de óxido de Ca e Mg no PL e 0 kg/ha de óxido de Ca e Mg no QL. T8 - 400 kg/ha de óxido de Ca e Mg no PL e 400 kg/ha de óxido de Ca e Mg no QL. \*\* - TCH – Toneladas de colmo por hectares, ATR – Açúcares totais recuperáveis, TAH – Toneladas de açúcar por hectare.

Em um experimento conduzido na usina Santo Ângelo, em Minas Gerais, foi observado aumento de produtividade em função das doses de óxido de Ca e de Mg (calcário calcinado) aplicado no sulco de plantio. Este resultado positivo na produtividade pode ser atribuído ao aumento nos teores de Ca e Mg trocáveis no solo e nos teores foliares desses nutrientes em relação à testemunha. Também pode ser observada uma queda na acidez ativa no sulco de plantio da cana-de-açúcar (Alcântara, 2020).

Estes resultados destacam que a eficácia da aplicação de óxidos de Ca e de Mg depende, fortemente, das condições específicas de cada área, como a composição inicial do solo, as condições climáticas e as práticas de manejo. Portanto, a realização de análises detalhadas do solo, antes da aplicação desses insumos, é recomendada para garantir sua eficácia.

## 5. CONCLUSÕES

O tratamento com 100 kg/ha de óxido de cálcio e magnésio aplicado tanto no plantio quanto na operação de quebra-lombo resultou em aumento nos teores de fósforo no solo e na capacidade de troca catiônica (camada 0 a 20 cm).

Embora o efeito sobre a produtividade e a qualidade da matéria-prima não tenha sido significativo, foram observadas variações de até 10 t ha<sup>-1</sup> na cana planta, variações de até 18 kg t<sup>-1</sup> de açúcar total recuperável (ATR) e variações de até 2,3 t ha<sup>-1</sup> na tonelada de açúcar por hectare.

O resultado deste trabalho permite concluir que em solos devidamente corrigidos com cálcio e magnésio, não existe resposta ao uso de óxidos de Ca e Mg aplicados no sulco de plantio e quebra-lombo. Isso pode ser explicado pela presença no solo de altos teores de Ca e Mg, ausência de alumínio trocável e saturação de bases elevada (acima de 60%). Portanto, a produtividade da cana planta e a qualidade da matéria prima não foram afetadas pelo uso de óxidos de Ca e Mg em solos já corrigidos.

## 6. REFERÊNCIAS

AGRICONLINE. **Calagem na cultura da cana-de-açúcar: aspectos técnicos e benefícios**, Disponível em: <https://agronline.com.br/portal/artigos/calagem-na-cultura-da-cana-de-açúcar/>. 2023.

Alcântara HP. **Óxido de cálcio e magnésio aplicado no fundo do sulco de plantio da cana-de-açúcar**. 2020. 72f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2020. DOI <http://doi.org/10.14393/ufu.te.2020.3014>.

Alloway BJ (ed.). *Micronutrient deficiencies in global crop production*. New York: Springer, 2008. 353p.

Barbosa FJ et al. **Influência do óxido de cálcio na estrutura e fertilidade do solo**. *Revista de Pesquisa Agrícola*, 2010.

Caires EF, Feldhaus IC, Blum J (2001) Crescimento radicular e nutrição da cevada em função da calagem e aplicação de gesso. *Bragantia* 6: 213-223.

Carvalho R, Furtine Neto AE, Nilton C, Fernandes LA (2000) Dessorção de fósforo por silício em solos ácidos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 4:69-74.

CONAB. **Boletim da safra de cana-de-açúcar**. Brasília, DF, 2023. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana>. Acesso em: 23 jun. 2023.

CONSECANA. **Manual de Instruções**. 4 ed. Piracicaba: Conselho dos Produtores de Cana-de-Açúcar, Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo, 2003. 115p.

Cunha MT et al. **Efeitos de cálculo no uso de fertilizantes e no rendimento de culturas**. *Jornal de Pesquisa Agrícola*, 2020.

De Oliveira MW et al. (2023) Adubação com magnésio, qualidade do caldo e produção de açúcar pelas variedades de cana RB867515 e RB92579. **REVISTA DELOS**, [S. l.], 16:666–682.

Demattê JLI (2005) **Recuperação e manutenção da fertilidade dos solos**. Informações Agronômicas, Brasília-DF, n. 111.

EMBRAPA. **Correção da acidez do solo com óxidos de cálcio e magnésio**. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/doc/1167009/1/PL-Correcao-acidez-2024.pdf>.

EMBRAPA. **Recomendação de calagem e adubação para culturas de interesse econômico no Estado de Minas Gerais – 5ª Aproximação**. Embrapa Solos, 2020.

Ferreira EB, Cavalcanti PP, Nogueira DA (2018). **ExpDes.pt: Pacote Experimental Designs (Portuguese). Version 1.2.3**. [S.l.: s.n.]. Disponível em: <https://CRAN.Rproject.org/package=ExpDes.pt>. Acesso em: 26 jun. 2023.

Freitas AA, Silva PR (2017). **Toxicidade do alumínio em solos ácidos e sua mitigação com o uso de corretivos**. *Revista Brasileira de Fertilidade de Solos*.

Garcia A, Crusciol CAC, Mccray JM, Nascimento CAC, Martello JM, Aiqueira GF, Tarumoto MB (2019) Magnesium as a Promoter of technological quality in sugarcane. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, 20:19–30.

Gomes MJ et al. (2018) **Magnésio no solo e na planta: funções e interações**. Revista de Fertilidade do Solo.

**INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS – IAC**. *Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes no Estado de São Paulo*. 3. ed. rev. e atual. Campinas: IAC, 2023. (Boletim Técnico, 100).

IPCC. **Diretrizes do IPCC de 2006 para Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa: Volume 4 – Agricultura, Silvicultura e Outros Usos da Terra**. Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas. 2006.

Korndorfer GH (2018) Manejo da Fertilidade do Solo para Cana na Região do Cerrado. **“Uso Eficiente de Nutrientes e Adubação de Sistemas Agrícolas”**. Painel: Sistema de produção atual e novas tecnologias para cana-de-açúcar. 2º Simpósio sobre Nutrição de Plantas no Cerrado e V Reunião Centro-Oeste de Ciência do Solo. Goiânia. Disponível em: <https://www.passeidireto.com/arquivo/76459299/manejo-da-fertilidade-do-solo-para-cana-na-regiao-do-cerrado-uso-eficiente-de-nutrientes>.

Machado RS, Ribeiro RV, Marchiori PER, Machado DFSP, Machado EC, Landell MG de A (2009). Respostas biométricas e fisiológicas ao déficit hídrico em cana-de-açúcar em diferentes fases fenológicas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 44:p.1.575-1.582.

Malavolta E (2006). **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 638p.

Marschner P (2012). Mineral nutrition of higher plants. 3. ed. Austrália: Elsevier, 651p.

Nally RM; Walsh CJ (2004). Hierarchical partitioning public-domain software. **Biodiversity and Conservation**, 13:p.659-660.

Ogle SM; Breidt FJ; Paustian K (2004). Impactos da gestão agrícola nas emissões de gases de efeito estufa: uma estrutura para quantificar o potencial de mitigação das práticas agrícolas. **Environmental Management Journal**, 33(S1), p.50-63.

Oliveira MW; Macêdo GAR; Martins JAL; Silva VSG; Oliveira AB (2018a). Mineral nutrition and fertilization of sugarcane. In: **Sugarcane – Technology and Research**. Londres: INTECH - Open Science, 2018a. Disponível em:

<https://www.intechopen.com/books/sugarcane-technology-and-research/mineral-nutrition-and-fertilization-of-sugarcane>. Acesso em: 26 jun. 2023.

Oliveira APP; Alves BJR; Anjos LHC dos; Lima E; Zonta E; Pereira W; Soares PFC (2017). Agronomic performance of green cane fertilized with ammonium sulfate in a coastal tableland soil. **Bragantia**, 76:p.246-256.

Oliveira ECA; Freire FJ; Oliveira RI; Freire MBG; Simoes Neto DE; Silva SAM (2010a). Extração e exportação de nutrientes por variedades de cana-de-açúcar cultivadas sob irrigação plena. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 34:p.1.343-1.352.

R Core Team, 2020. In: R: **A Language and Environment for Statistical Computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 26 jun. 2023.

Raij, B. Van. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011. 420p.

Raij, B. Van. **Gesso na agricultura**. Campinas: Instituto Agrônomo, Fundação IAC, 2008. 233p.

Rossetto R; Dias FLF; Vitti AC (2008) Fertilidade do Solo, Nutrição e Adubação. In.: Dinardo-Miranda, L, L.; Vasconcelos, A. C. M.; Landell, M. G. A. **Cana-de-açúcar**. p. 221-238.

Roviero JP (2017). **Biomassa derivada de cana-de-açúcar e cana energia submetidas a hidrólise ácida e enzimática para produção de etanol**. 119f. Tese (Doutorado em Microbiologia Agropecuária) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Jaboticabal, 2017. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/148919>. Acesso em: 26 jun. 2023.

Saldanha ECM; Rocha AT; Oliveira ECA; Nascimento CWA; Freire FJ (2007). Uso do gesso mineral em Latossolo cultivado com cana-de-açúcar. **Revista Caatinga**, 20, p.36-42.

Santos JL et al. (2011) Efeito do óxido de cálcio na acidez do solo e na produção de culturas em solos tropicais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**.

Souza RF; Faquin V; Torres PRF; Baliza DP (2006). Calagem e adubação orgânica: influência na adsorção de fósforo em solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 30, p.975-983.

Souza et al. (2023) **Avaliação do efeito de diferentes doses de óxido de cálcio e magnésio no solo e no desenvolvimento da cana-de-açúcar**. UNIFASC. Disponível em: <https://unifasc.edu.br/wp-content/uploads/2023/02/61-AVALIACAO-DO-EFEITO-DE-DIFERENTES-DOSES-DE-OXIDO-DE-CALCIO-E-MAGNESIO.pdf>.

Única - **União da indústria de cana-de-açúcar**. São Paulo. Disponível em: <https://unica.com.br/>. Acesso em: 28 nov. 2024.

Veloso CAC; Borges AL; Muniz AS; IA de JM Veigas (1992). Efeito de diferentes materiais no pH do solo. **Scientia Agricola**, 49p.:123-128.

Venables WN; Ripley BD (2022). **Modern Applied Statistics with S**. 4. ed. New York: Springer. Disponível em: <http://www.stats.ox.ac.uk/pub/MASS4/>. Acesso em: 26 jun. 2023.

Webinar Técnico: **Uso de Óxido de Ca e Mg como alternativa em tempos de crises**. [S.l.: s.n.], 2020. 1 vídeo (59 min. e 57seg). Publicado pelo canal Fertimaco Fertilizantes. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=y4ZM2L4hwpU>. Acesso em: 17 maio 2023.

Worrell E; Price L; Martin N; Hendriks C; Meida LO (2001). Emissões de dióxido de carbono da indústria global de cimento. **Revisão anual de energia e meio ambiente**, 26(1), p.303-329.