



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

HÉLIO PERES DE ALCÂNTARA

**ÓXIDO DE CÁLCIO E MAGNÉSIO APLICADO NO FUNDO DO SULCO DE
PLANTIO DA CANA-DE-AÇÚCAR**

UBERLÂNDIA
MINAS GERAIS – BRASIL
2020

HELIO PERES DE ALCANTARA

**ÓXIDO DE CÁLCIO E MAGNÉSIO APLICADO NO FUNDO DO SULCO DE
PLANTIO DA CANA-DE-AÇÚCAR**

Tese apresentada à Universidade Federal de Uberlândia,
como parte das exigências do Programa de Pós-graduação
em Agronomia – Doutorado, área de concentração em
Fitotecnia, para obtenção do título de “Doutor”.

Orientador

Prof. Dr. Gaspar Henrique Korndörfer

UBERLÂNDIA
MINAS GERAIS – BRASIL
2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

A347o
2020 Alcântara, Helio Peres de, 1984-
Óxido de cálcio e magnésio aplicados no fundo do sulco de plantio da cana-de-açúcar [recurso eletrônico] / Helio Peres de Alcântara. - 2020.

Orientador: Gaspar Henrique Korndörfer.
Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Agronomia.
Modo de acesso: Internet.
Disponível em: <http://doi.org/10.14393/ufu.te.2020.3014>
Inclui bibliografia.
Inclui ilustrações.

1. Agronomia. I. Korndörfer, Gaspar Henrique, 1953-, (Orient.). II. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. III. Título.

CDU: 631



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
 Secretaria do Programa de Pós-Graduação em Agronomia
 Rodovia BR 050, Km 78, Bloco 1CCG, Sala 206 - Bairro Glória, Uberlândia-MG, CEP 38400-902
 Telefone: (34) 2512-6715/6716 - www.ppga.iciag.ufu.br - posagro@ufu.br



ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-Graduação em:	Agronomia				
Defesa de:	Tese de Doutorado, 009/2020 PPGAGRO				
Data:	Três de agosto de dois mil e vinte	Hora de início:	08:00	Hora de encerramento:	12:45
Matrícula do Discente:	11613AGR010				
Nome do Discente:	Helio Peres de Alcantara				
Título do Trabalho:	Óxidos de cálcio e magnésio aplicados no fundo do sulco de plantio da cana-de-açúcar				
Área de concentração:	Solos				
Linha de pesquisa:	Uso e Recuperação de Solos e Resíduos na Agricultura				

Reuniu-se por videoconferência, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Agronomia, assim composta: Professores Doutores: Hamilton Seron Pereira - UFU; Gustavo Alves Santos - KP Consultoria; Robson Thiago Xavier de Sousa - CMAA; Ronaldo Alberto Duenhas Cabrera - Ronaldo Cabrera Consultoria Agrônômica; Gaspar Henrique Korndörfer - UFU - orientador(a) do(a) candidato(a).

Iniciando os trabalhos o(a) presidente da mesa, Dr. Gaspar Henrique Korndörfer - UFU, apresentou a Comissão Examinadora e o candidato(a), agradeceu a presença do público, e concedeu ao Discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação do Discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Programa.

A seguir o senhor(a) presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos(às) examinadores(as), que passaram a arguir o(a) candidato(a). Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando o(a) candidato(a):

Aprovado(a).

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.

Documento assinado eletronicamente por **Hamilton Seron Pereira, Professor(a) do Magistério Superior**, em 03/08/2020, às 12:46, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º,



§ 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Robson Thiago Xavier de Sousa, Usuário Externo**, em 04/08/2020, às 14:42, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Gustavo Alves Santos, Usuário Externo**, em 04/08/2020, às 15:16, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Gaspar Henrique Korndörfer, Usuário Externo**, em 04/08/2020, às 18:18, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Ronaldo Alberto Duenhas Cabrera, Usuário Externo**, em 05/08/2020, às 14:07, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **2138798** e o código CRC **0F45A260**.

DEDICATÓRIA

À minha mãe Arlete Peres Faria que, de onde ela estiver, sempre torce pelo meu sucesso e alegria; à minha companheira Bruna, apoiadora incondicional; às minhas irmãs, amigas e parceiras de todas as horas, Kelen e Daniele; aos meus tios e avós, pelo amor e carinho; à tia Denise e ao tio Onório e ao meu pai, pelo incentivo, amizade e apoio, Hélio Abílio de Alcântara,
Dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela suprema bondade, concedendo-me a graça de estar onde estou fazendo com que todas as dificuldades sejam superadas com entusiasmo e coragem;

As minhas irmãs, Daniele Peres de Alcântara e Kelen Alcântara, pelo amor, compreensão e esperança. Aos meus pais, Hélio Abílio de Alcântara e Arlete Peres Farias, que são para mim o exemplo maior de dignidade e união, que não mediram esforços para me apoiar ao longo de toda minha caminhada e, mais que isso, sempre acreditaram no meu potencial;

A Bruna Borges Brito, pelo carinho, amor e companheirismo;

Ao colega Dr. Gustavo Alves Santos pelas orientações apoio, oportunidade dada e por tudo o que isso representa, também pelo incentivo, ensino e exemplo de pessoa;

Ao professor Dr. Hamilton Seron Pereira, professor, colega e amigo, pela oportunidade de conduzir a pesquisa, pelas incontáveis ajudas, experiências compartilhadas e aconselhamentos;

Ao professor Dr. Gaspar Henrique Korndörfer, meu orientador, colega e amigo, pela oportunidade da pesquisa, ajuda e experiência compartilhada.

Ao Dr. Robson Thiago Xavier de Sousa, ao Dr. Ronaldo Alberto Duenhas Cabrera e ao Prof. Dr. Rafael Tadeu Assis por terem aceitado o convite para participar da banca examinadora e pelas contribuições;

Aos colegas e grandes amigos Camila de Andrade Carvalho Gualberto e a todos os membros do Grupo de Pesquisa Silício na Agricultura (GPSi), pela ajuda sempre que necessária, pela amizade e pelos momentos de descontração;

Aos professores e colegas da pós-graduação, pelo convívio diário prazeroso e pelo conhecimento compartilhado;

Aos colegas professores, Carlos Eugênio, Diogo Aristóteles, Jorge Junek, José Carlos, Paulo Fravet, Paulo Leite, Tony Márcio. Pelo ótimo convívio e momentos de descontração;

As equipes da Unidade Buriti Grupo Pedra Agroindustrial (Copersucar) Buritizal - São Paulo e a Usina Santo Ângelo (USA), Pirajuba – Minas Gerais, pelo apoio na instalação, condução e avaliação dos experimentos;

Aos funcionários e técnicos do Laboratório de Análise de Solo (LABAS), pelo suporte dado;

Muito Obrigado!

EPÍGRAFE

Ainda que eu ande pelo vale da sombra da morte, não temerei
mal nenhum, porque tu estás comigo.

Salmo 23

RESUMO

ALCANTARA, HELIO PERES DE. **Óxido de cálcio e magnésio aplicado no fundo do sulco de plantio da cana-de-açúcar**. 2020. 72 p. Tese (Doutorado em Agronomia/Fitotecnia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. ¹

Na cultura da cana-de-açúcar tradicionalmente têm-se utilizado o calcário (carbonato de cálcio e magnésio) como corretivo de solo e também como fonte de cálcio (Ca) e magnésio (Mg), no entanto esse material possui baixa reatividade e depende muito da incorporação no solo o que resulta, em geral, numa reação mais lenta. Em função dessas limitações, buscou-se através da pesquisa novos materiais que pudessem fornecer formas mais ativas de Ca e Mg, capazes de disponibilizar prontamente esses nutrientes à cultura, permitindo seu melhor estabelecimento. Diante disso, objetivou-se avaliar o efeito de doses de óxido de Ca e Mg aplicados no fundo do sulco de plantio, sobre o desenvolvimento, produtividade e qualidade da cana planta. Foram montados dois experimentos, ambos em delineamento experimental de blocos casualizados (DBC), com quatro repetições. Assim, foram avaliadas diferentes doses crescentes do óxido de Ca e Mg (46% de CaO e 33% MgO), bem como um tratamento testemunha sem o uso do óxido. Na Usina Santo Ângelo (experimento 1) houve aumento de produção para TCH e TAH em função das doses 100, 150 e 200 kg ha⁻¹ do óxido de Ca e Mg aplicado no sulco de plantio, sendo as maiores produtividades alcançadas com a dose de 150 kg ha⁻¹ do óxido de Ca e Mg, que proporcionou incrementos de aproximadamente 13% em TCH e 19% em TAH em relação a testemunha. Na Usina Buriti (experimento 2), houve aumento na produção de TAH em função das doses 50, 100 e 200 kg ha⁻¹ do óxido de Ca e Mg aplicado no sulco de plantio, sendo as maiores produtividades alcançadas com a dose de 100 kg ha⁻¹ do óxido de Ca e Mg, que proporcionou incrementos de aproximadamente 15% em TAH em comparação com a testemunha. Houve aumento nos níveis de Ca e Mg trocáveis no solo e nos teores foliares desses nutrientes com a aplicação do óxido de Ca e Mg, ocorrendo também um aumento de pH na linha de plantio da cana-de-açúcar nas camadas de 0 a 20 e 20 a 40 cm de profundidade em relação à testemunha.

Palavras-chave: *Saccharum officinarum* L. Produtividade. Desenvolvimento. Óxidos.

¹Orientador: Prof. Dr. Gaspar Henrique Korndörfer – UFU

ABSTRACT

ALCANTARA, HELIO PERES DE. **Calcium and magnesium oxide applied to the bottom of the sugarcane planting furrow.** 2020. 72 p. Thesis (Doctoral Program in Agronomy/ Crop Science) – Federal University of Uberlândia, Uberlândia. ¹

In the sugarcane crop, limestone (calcium and magnesium carbonate) has traditionally been used as a soil corrector and also as a source of calcium (Ca) and magnesium (Mg), however this material has low reactivity and depends on much of the incorporation into the soil which, in general, results in a slower reaction. Due to these limitations, new materials were sought through research that could provide more active forms of Ca and Mg, capable of promptly making these nutrients available to the culture, allowing their better establishment. Therefore, the objective was to evaluate the effect of doses of oxides of Ca and Mg applied at the bottom of the planting furrow, on the development, productivity and quality of the plant cane. Two experiments were set up, both in a randomized block design (DBC), with four replications. Thus, different increasing doses of Ca and Mg oxide (46% CaO and 33% MgO) were evaluated, as well as a control treatment without the use of oxide. At the Santo Ângelo Plant (experiment 1) there was an increase in production productivity for TCH and TAH due to the doses 100, 150 and 200 kg ha⁻¹ of Ca and Mg oxide applied in the planting furrow, with the highest yields achieved with the dose of 150 kg ha⁻¹ of Ca and Mg oxide, which provided increments of approximately 13% in TCH and 19% in TAH in relation to the control. At Usina Buriti (experiment 2), there was an increase in TAH production due to the 50, 100 and 200 kg ha⁻¹ of Ca and Mg oxide applied in the planting furrow, with the highest yields achieved with the 100 kg dose ha⁻¹ of Ca and Mg oxide, which provided increments of approximately 15% in TAH compared to the control. There was an increase in the levels of exchangeable Ca and Mg in the soil and in the foliar contents of these nutrients with the application of Ca and Mg oxide, also occurring an increase of pH in the sugarcane planting line in layers 0 to 20 and 20 to 40 cm deep in relation to the control.

Keywords: *Saccharum officinarum* L. Productivity. Development. Oxides.

¹ Adviser: Prof. Dr. Gaspar Henrique Korndörfer – UFU

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1-** Detalhe da área de aplicação dos tratamentos. Aplicação no fundo do sulco de plantio, (sulcos com aproximadamente 35 cm de profundidade) antes da distribuição da cana. 28
- Figura 2-** Pesagem da cana-de-açúcar colhida com o auxílio de uma balança digital acoplada a um tripé de sustentação..... 31
- Figura 3-** Pesagem da cana-de-açúcar colhida com o auxílio de transbordo instrumentado com células de carga..... 32
- Figura 4-** Valores médios de produção de colmos por hectare (TCH) da cana planta (variedade CTC 9002) em função da aplicação de doses crescentes do óxido de Ca e Mg no sulco de plantio (Usina Santo Ângelo). 35
- Figura 5-** Valores médios de produção de açúcar por hectare (TAH) da cana planta (variedade CTC 9002) em função da aplicação de doses crescentes do óxido de Ca e Mg no sulco de plantio (Usina Santo Ângelo). 36
- Figura 6-** Valores médios de Açúcar Teoricamente Recuperável (ATR) da cana planta (variedade CTC 9002) em função da aplicação de doses crescentes do óxido de Ca e Mg no sulco de plantio (Usina Santo Ângelo). 37
- Figura 7-** Valores médios da absorção foliar de Ca da cana planta (variedade CTC 9002) em função da aplicação de doses crescentes do óxido de Ca e Mg no sulco de plantio (Usina Santo Ângelo). 39
- Figura 8-** Valores médios do pH na camada 0 a 20 e 20 a 40 cm de profundidade (determinado em CaCl_2 0,01 mol L⁻¹) em solo com cana planta (variedade CTC 9002) em função da aplicação de doses crescentes do óxido de Ca e Mg no sulco de plantio (Usina Santo Ângelo). 41
- Figura 9-** Teores médios de Ca disponível na camada 0 a 20 e 20 a 40 cm de solo sob cana planta (variedade CTC 9002) em função da aplicação de doses crescentes do óxido de Ca e Mg no sulco de plantio (Usina Santo Ângelo). 44
- Figura 10-** Teores médios de Mg disponível na camada 0 a 20 cm de solo sob cana planta (variedade CTC 9002) em função da aplicação de doses crescentes do óxido de Ca e Mg no sulco de plantio (Usina Santo Ângelo). 45

Figura 11- Valores médios da absorção foliar de Ca e Mg da cana planta (variedade CTC 4) em função da aplicação de doses crescentes do óxido de Ca e Mg no sulco de plantio (Usina Buriti). 51

Figura 12- Valores médios do pH na camada 0 a 20 cm de profundidade (determinado em CaCl_2 0,01 mol L⁻¹) em solo com cana planta (variedade CTC 4) em função da aplicação de doses crescentes do óxido de Ca e Mg no sulco de plantio (Usina Buriti)..... 53

Figura 13- Teores médios de Ca disponível na camada 20 a 40 cm de solo sob cana planta (variedade CTC 4) em função da aplicação de doses crescentes do óxido de Ca e Mg no sulco de plantio (Usina Buriti). 55

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1-** Doses do óxido de Ca e Mg aplicado no sulco de plantio da cana-de-açúcar em cada tratamento bem como um tratamento testemunha sem a aplicação do óxido. 26
- Tabela 2-** Características químicas do solo da área experimental, na profundidade 0-20 e 20-40 cm. UFU, Pirajuba-MG, 2018. 27
- Tabela 3-** Características químicas do solo da área experimental, na profundidade 0-20 e 20-40 cm. UFU, Buritizal-SP, 2018. 29
- Tabela 4-** Produção de colmos por hectare (TCH), de açúcar (TAH) e ATR da cana planta (variedade CTC 9002) 420 dias após a aplicação (DAA) de doses crescentes de óxido de Ca e Mg, bem como um tratamento testemunha sem a aplicação do óxido (Usina Santo Ângelo). 34
- Tabela 5-** Concentração foliar de N, P, K, Ca, Mg e S da cana planta (variedade CTC 9002) aos 370 dias após a aplicação (DAA) das doses do óxido de Ca e Mg, bem como um tratamento testemunha sem a aplicação do óxido (Usina Santo Ângelo). 38
- Tabela 6-** Valores de pH do solo (determinado em CaCl_2 0,01 mol L⁻¹) nas camadas de 0-20 e 20-40 cm, 515 dias após a aplicação no sulco de plantio de doses do óxido de Ca e Mg, bem como um tratamento testemunha sem a aplicação de óxido (Usina Santo Ângelo). 40
- Tabela 7-** Teores de Fósforo (Resina) disponível no solo nas camadas de 0-20 e 20-40 cm, 515 dias após a aplicação no sulco de plantio de doses do óxido de Ca e Mg, bem como um tratamento testemunha sem a aplicação óxido (Usina Santo Ângelo). 42
- Tabela 8-** Teores de Ca e Mg no solo nas camadas de 0-20 e 20-40 cm, 515 dias após a aplicação no sulco de plantio de doses do óxido de Ca e Mg, bem como um tratamento testemunha sem a aplicação do óxido (Usina Santo Ângelo). 43
- Tabela 9-** Teores de Boro e Cobre (Mehlich-3) no solo nas camadas de 0-20 e 20-40 cm, 515 dias após a aplicação no sulco de plantio de doses do óxido de Ca e Mg, bem como um tratamento testemunha sem a aplicação do óxido (Usina Santo Ângelo). 46
- Tabela 10-** Teores de Ferro, Manganês e Zinco (Mehlich-3) no solo nas camadas de 0-20 e 20-40 cm, 515 dias após a aplicação no sulco de plantio de doses do óxido de Ca e Mg, bem como um tratamento testemunha sem a aplicação do óxido (Usina Santo Ângelo). 47

Tabela 11- Produção de colmos por hectare (TCH), de açúcar (TAH) e ATR da cana planta (variedade CTC 4) aos 443 dias após aplicação (DAA) em função da aplicação de doses crescentes do óxido de Ca e Mg, bem como um tratamento testemunha sem a aplicação do óxido (Usina Buriti).....	48
Tabela 12- Concentração foliar de N, P, K, Ca, Mg e S da cana planta (variedade CTC4) aos 315 dias após a aplicação (DAA) em função da aplicação de doses óxido de Ca e Mg, bem como um tratamento testemunha sem a aplicação de CaO e MgO (Usina Buriti).....	50
Tabela 13- Valores de pH do solo (determinado em CaCl_2 0,01 mol L ⁻¹) nas camadas de 0-20 e 20-40 cm de solo cultivado com cana planta (variedade CTC 4), 550 dias após a aplicação no sulco de plantio de doses crescentes do óxido de Ca e Mg, bem como um tratamento testemunha sem a aplicação do óxido (Usina Buriti).	52
Tabela 14- Teores de Fósforo (Resina) disponível no solo nas camadas de 0-20 e 20-40 cm, 550 dias após a aplicação no sulco de plantio de doses do óxido de Ca e Mg, bem como um tratamento testemunha sem a aplicação do óxido (Usina Buriti).	53
Tabela 15- Teores de Ca e Mg no solo nas camadas de 0-20 e 20-40 cm, 550 dias após a aplicação no sulco de plantio de doses do óxido de Ca e Mg, bem como um tratamento testemunha sem a aplicação do óxido (Usina Buriti).	54
Tabela 16- Teores de Boro e Cobre (Mehlich-3) no solo nas camadas de 0-20 e 20-40 cm, 550 dias após a aplicação no sulco de plantio de doses do óxido de Ca e Mg, bem como um tratamento testemunha sem a aplicação do óxido (Usina Buriti).	56
Tabela 17- Teores de Ferro, Manganês e Zinco (Mehlich-3) no solo nas camadas de 0-20 e 20-40 cm, 550 dias após a aplicação no sulco de plantio de doses do óxido de Ca e Mg, bem como um tratamento testemunha sem a aplicação do óxido (Usina Buriti).	57

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ATR	Açúcar Total Recuperável	ton. açúcar ha ⁻¹
CONSECANA:	Conselho dos Produtores de Cana-de-açúcar, Açúcar e Álcool	
CTC	Capacidade de troca de cátions	-
m	Saturação por alumínio no solo	%
pH	Potencial Hidrogênio iônico.	-
PN	Poder de Neutralização	%
POL	Teor de sacarose em uma solução.	%
ppm	Parte por milhão.	mg L ⁻¹ ou 10 ⁻⁴ %
PRNT	Poder Relativo de Neutralização Total	%
RE	Reatividade do calcário	%
SB	Soma de bases	cmol _c dm ⁻¹ ou mmol _c dm ⁻³
t	Capacidade de troca de bases efetiva	cmol _c dm ⁻¹ ou mmol _c dm ⁻³
TAH	Toneladas de Açúcar por Hectare	ton açúcar ha ⁻¹
TCH	Tonelada de Cana por Hectare.	ton cana ha ⁻¹
TPH	Toneladas de POL por hectare	ton POL ha ⁻¹
V	Saturação por bases no solo	%

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	14
2.1 Uso de calcário na cultura da cana-de-açúcar	14
2.2 Importância dos corretivos de solo.....	15
2.3 Modo de ação dos corretivos no solo	17
2.4 Óxidos de Ca e Mg.....	19
2.5 Importância do Ca e Mg para a cultura da cana-de-açúcar.....	21
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	25
3.1 Caracterização do corretivo	25
3.2 Delineamento experimental.....	25
3.2.1 Experimento 1 (Usina Santo Ângelo – Pirajuba-MG).....	26
3.2.2 Experimento 2 (Usina Buriti – Buritizal-SP)	28
3.3 Condução.....	30
3.4 Avaliações	30
3.5 Análises estatísticas	33
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
4.1 Experimento 1 (Usina Santo Ângelo – Pirajuba-MG).....	34
4.1.1 Produção de colmos (TCH) de açúcar (TAH) açúcar total recuperável (ATR)	34
4.1.2 Concentração foliar de N, P, K, Ca, Mg e S.....	38
4.1.3 Teores de pH, P, Ca e Mg no solo	40
4.1.4 Teores de B, Cu, Fe, Mn e Zn no solo.....	45
4.2 Experimento 2 (Usina Buriti – Buritizal-SP)	48
4.2.1 Produção de colmos (TCH) de açúcar (TAH) açúcar total recuperável (ATR)	48
4.2.2 Concentração foliar de N, P, K, Ca, Mg e S.....	49
4.2.3 Teores de pH, P, Ca e Mg no solo	52
4.2.4 Teores de B, Cu, Fe, Mn e Zn no solo.....	56
5 CONCLUSÃO.....	58
REFERÊNCIAS	59

1 INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar tem grande importância para o agronegócio brasileiro, gerando milhões de empregos diretos e indiretos com uma produção estimada, na safra 2019/20, na ordem de 642,7 milhões de toneladas, com uma área colhida estimada em 8,48 milhões de hectares (CONAB, 2019). Números esses que conferem ao Brasil o título de maior produtor mundial e maior exportador mundial de açúcar, já no mercado interno, ela destaca-se, ainda com 17,5% de participação na matriz energética, considerando-se o etanol combustível e a cogeração de eletricidade, a partir do bagaço (EPE, 2013; CONAB, 2019).

Nesse cenário, o desenvolvimento da tecnologia e da pesquisa nacional permite prolongar a vida útil do canavial, onde o uso do calcário de forma mais eficiente, possibilita aumentar, desta forma, a produtividade, a competitividade e a sustentabilidade do sistema (GIRO FILHO; SERAFINI NETO, 2013). Essa tecnologia é voltada para melhorar a fertilidade dos solos intemperizados que são pobres em bases, principalmente o Ca e o Mg, e que possuem pH ácido com elevados teores de hidrogênio (H) e alumínio (Al) tanto na superfície quanto na subsuperfície, dificultando o desenvolvimento do sistema radicular da maioria das culturas comerciais.

A cana-de-açúcar apresenta boa tolerância e adaptabilidade à acidez do solo, pois ela requer uma saturação por bases (V) na camada arável inferior àquela recomendada para a maioria das culturas anuais em geral (QUAGGIO; RAIJ, 2008; ROSSETTO et al., 2004). No entanto, essa cultura é grande extratora de Ca e Mg do solo (OLIVEIRA et al., 2010a), sendo assim a aplicação de óxidos de Ca e Mg no fundo do sulco de plantio da cana pode fornecer esses elementos prontamente disponíveis para a cultura em um intervalo rápido de tempo o suficiente para o início de desenvolvimento da cultura, quando esta começa seu enraizamento no solo (KORNDÖRFER, 2018).

Outra vantagem do uso de óxidos de Ca e Mg no sulco de plantio é a possibilidade de aprofundar o sistema radicular e reduzir o estresse hídrico durante o período seco (inverno sem chuva), período esse que geralmente acontece para a maioria das regiões produtoras, principalmente na região dos cerrados, poucos meses após o plantio da cana (KORNDÖRFER, 2018). Isso é importante porque a acidez nas camadas subsuperficiais, em caso de níveis tóxicos de Al e/ou 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). Os óxidos também podem aumentar a atividade microbiana no solo, atuando na decomposição da matéria orgânica, fixação do N, além de trazer melhorias para as condições do solo para a aplicação do gesso agrícola (PANG et al., 2019).

Sendo assim, os óxidos representam uma estratégia altamente promissora em termos de mitigação da acidificação do solo pelo aumento de cátions básicos (Ca^{2+} e Mg^{2+}) e no aumento da disponibilidade de nutrientes no solo, levando a maior produtividade da cana-de-açúcar. Diante disso, objetivou-se avaliar o efeito de doses do óxido de Ca e Mg aplicado no fundo do sulco de plantio, sobre o desenvolvimento, produtividade e qualidade da cana planta.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Uso de calcário na cultura da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) pode ser cultivada em muitos tipos de solos, que possuem diferentes condições físicas, hídricas, morfológicas, químicas e mineralógicas. Assim, antecedendo a implantação do canavial é imprescindível a prática de coletar amostras de solo na camada de 0 a 20 e de 20 a 40 cm de profundidade, onde a primeira camada de 0 a 20 cm é utilizada para avaliação dos níveis de fertilidade do solo e posteriormente a recomendação de adubação e calagem, enquanto isso, os resultados da segunda camada do solo, de 20 a 40 cm de profundidade, serve para avaliar a necessidade da aplicação de gesso (DEMATTE, 2005; RAIJ et al., 1996; RIBEIRO, 1999).

Para um bom crescimento das plantas, a maioria das culturas, precisa de um valor de pH a ser atingido entre 6,0 e 6,5 (MALAVOLTA, 2006) e a saturação por bases é recomendado se elevar para 60% na camada de 0 a 20 cm (DEMATTE, 2005; RAIJ et al., 1996), contudo há divergências quanto a esse critério. Pois para a cultura da cana-de-açúcar que apresenta elevada tolerância à acidez do solo e aos fatores determinados por ela, como acidez ativa, saturação por bases, saturação por Al^{+3} e acidez trocável esses valores já não se empregam (ROSSETTO et al., 2004).

De forma geral, nesse contexto, desde que o solo possua teores satisfatórios de Ca e Mg, tendo como nível crítico 1,0 e 0,4 $cmol_c\ dm^{-3}$, respectivamente (RIBEIRO, 1999) não há grandes problemas para o desenvolvimento da cultura. Ainda assim, a cultura responde positivamente à calagem em solos muito ácidos, além de ser afetada também pelas condições de acidez das camadas subsuperficiais, sendo esta constatação a base dos sistemas de classificação dos ambientes edáficos de produção de cana-de-açúcar (DEMATTE, 2005; PRADO et al., 2008). Fato esse verificado por MORAES (2019), que observou ganhos em produtividade no cultivo de cana-de-açúcar com a incorporação de calcário em profundidade.

Já Natale et al. (2012) defende o uso do calcário como um investimento, pensando nos benefícios que este insumo pode promover às culturas, visto que os seus benefícios perduram por mais de um ano, ou de uma safra agrícola, fatos esses que podem aumentar a longevidade do canavial. Na cana-planta, a prática da calagem é importante por proporcionar principalmente maiores rendimentos de colmos e melhor qualidade da cana, com aumentos de POL (%) cana, TPH e açúcar total recuperável (ATR) (ANDRADE, 2019).

Esses acréscimos na produtividade da cana-de-açúcar em resposta à calagem nem sempre são comuns (ROSSETTO et al., 2004) devido à já mencionada tolerância à acidez do

solo que a cana-de-açúcar possui, no entanto, não se pode esquecer que 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). (GIRO FILHO; SERAFINI NETO, 2013; ROSSETTO et al., 2008). Segundo Gonçalves et al. (2013), essa queda de produtividade que leva à reforma dos canaviais pode estar relacionada ao aumento da acidez do solo e a diminuição dos teores de P, Ca, SB, CTC, V%.

Pensando nesse contexto, pode-se afirmar que o calcário é uma boa opção para o suprimento de Ca e Mg, no entanto, os calcários tradicionalmente utilizados (rocha carbonática) apresentam baixa solubilidade e lenta movimentação ao longo do perfil do solo, o que resulta na obrigatoriedade de se fazer distribuição uniforme e incorporação profunda (SORATTO; CRUSCIOL, 2008).

Diante disso, novas tecnologias têm melhorado a eficiência do calcário, com o intuito de fornecer Ca e Mg com alguma correção de pH em curto espaço de tempo e próximo à raiz da planta de cana-de-açúcar. Para isso, tem-se empregado o uso de óxidos de Ca e Mg com elevado PN, em doses baixas, no sulco de plantio em sistema de cultivo mínimo dando mais condições para o melhor desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar (KORNDÖRFER, 2018).

2.2 Importância dos corretivos de solo

A maioria dos solos brasileiros são intemperizados e ácidos (cerca de 70%), com baixa capacidade de troca de cátions (CTC), elevada acidez trocável (Al^{+3}) e alta capacidade de fixação de fósforo (P), além de apresentar pequenas quantidades de macronutrientes (P, K, Ca, Mg e S) e micronutrientes (B, Zn e Cu) (GOEDERT et al., 1985; BERNARDI et al., 2002). Essas características conferem redução da produtividade das culturas em até 40% (QUAGGIO, 2000 apud FERREIRA, 2013).

Para diminuir as limitações químicas de um solo, comumente o agricultor faz uso de corretivos, que concomitantemente neutraliza os sítios de cargas positivas, oxihidróxidos de Fe e Al, diminuindo os efeitos tóxicos do seu excesso no solo, minimizando a adsorção de fósforo (KINRAIDE, 1991). Esses corretivos também são fonte de Ca e Mg para as culturas, o que se torna uma vantagem, visto que muitos solos do Cerrado se encontram com deficiência desses nutrientes. Dentre os produtos que podem ser usados para tal finalidade estão incluídos aqueles que contêm como constituinte neutralizante ou princípio ativo, os

óxidos, os hidróxidos, os carbonatos e os silicatos (CARVALHO et al., 2000; MALAVOLTA, 2006).

A aplicação desses corretivos no solo quando executada dentro de critérios bem fundamentados, também pode exercer vários efeitos benéficos para as culturas, principalmente, por favorecer a mineralização da matéria orgânica (fonte de N, P, S, B e de outros elementos) e aumentar a eficiência de uso dos adubos potássicos e, principalmente, dos fosfatados (HAVLIN et al., 1999), pois o P é o elemento cuja falta mais frequentemente limita a produção agrícola, e em cerca de 90 % das análises feitas no país os teores de P disponíveis são comumente baixos, podendo ser inferiores a $1,0 \text{ mg dm}^{-3}$ quando avaliados pelo extrator Mehlich-1 (GOEDERT et al., 1985). Além disso, essa prática também aumenta a CTC dos solos, pois o corretivo também neutraliza a acidez ativa, o que proporciona uma quantidade maior de cargas no solo disponíveis para retenção de cátions e ainda gera cargas negativas no solo.

No solo, o pH mais equilibrado também favorece a atividade biológica nele presente porque, em pH ácido microrganismos decompositores de matéria orgânica tem sua atividade reduzida. Assim, com o uso de corretivos, os microrganismos do solo passam a promover, principalmente, maior mineralização da matéria orgânica e maior fixação biológica de N_2 . Agora, em relação ao sistema de plantio direto, os corretivos criam condições favoráveis para o aumento da atividade biológica do solo conduzindo a um incremento no sequestro de carbono e produtividade das culturas (INAGAKI, 2016).

No quesito desenvolvimento radicular das culturas, o Al ao entrar em contato com a raiz, impede seu crescimento, devido à inibição da divisão celular, ruptura das células do periciclo e competição com o Ca pelos sítios de absorção das células radiculares tornando as raízes mais curtas e grossas, com pouca formação de pelos radiculares. Há também o efeito da absorção de H^+ pelas raízes, que pode promover a ruptura do plasmalema (membrana plasmática) e conseqüentemente prejudicar o desenvolvimento radicular (CORRÊA, et al., 2008)

Com o uso de óxidos de Ca e Mg, ocorre uma melhora no ambiente radicular do solo em subsuperfície, de forma direta através do fornecimento de Ca, 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 Mg também contribui para o desenvolvimento do sistema radicular das plantas, quando diminui os níveis de H, Al e do Mn tóxico, favorecendo a maior absorção de água e nutrientes (KORNDORFER, 2020).

Alterações nas propriedades físicas e químicas do solo, também podem ser influenciadas pelo uso de óxidos de Ca e Mg, devido aos íons fornecidos, que influenciam na aproximação das partículas do solo. Uma vez que os óxidos de Ca e Mg ao promover um aumento de cargas negativas dependentes do pH no solo podem por consequência, ocasionar a dispersão dos seus coloides. Como consequência, pode ocorrer uma diminuição da macroporosidade e da porosidade total, devido à dispersão química dos agregados do solo intemperizado (BORTOLANZA; KLEIN, 2016).

Entender como os corretivos atuam na redução da acidez do solo e alteram as suas propriedades físico-químicas-biológicas, assim como a determinação da necessidade e a quantidade correta a ser aplicada, a escolha do melhor tipo de corretivo e época de aplicação, são essenciais para o sucesso dessa prática. Para isso, deve-se primeiro entender que os efeitos da acidez do solo que interferem no desenvolvimento das plantas ocorrem tanto na primeira camada do solo, camada superficial, que vai de 0 a 20 cm, quanto na camada subsuperficial, que está a mais de 20 cm de profundidade. Por isso, a correção da acidez é essencial para promover maior eficiência de absorção de nutrientes pelas plantas e maior crescimento radicular para que se possa finalmente obter uma maior produtividade das culturas (HAVLIN et al., 1999).

Moraes et al., (2019) observou que a incorporação de calcário usando arado de aiveca proporcionou ganhos de produtividade no cultivo de cana-planta, demonstrando a viabilidade da incorporação profunda do corretivo de solo na implantação da cultura. Prática essa que pode garantir uma correção do solo e um aumento na disponibilidade de nutrientes na subsuperfície, assim como um melhor desenvolvimento do sistema radicular da cana-planta em camadas subsuperficiais, o que por sua vez está relacionado com a produtividade da cana-de-açúcar.

2.3 Modo de ação dos corretivos no solo

Os calcários que são tradicionalmente utilizados apresentam uma limitação que dever ser atendida. Essa limitação está relacionada à sua velocidade de reação no solo, a qual é lenta, devido a sua baixa solubilidade, que varia conforme seu Poder de Reação e Neutralização Total (PRNT). De maneira geral, a maior parte do calcário reage dentro de três meses após a aplicação no solo com umidade suficiente para que ocorram as reações químicas. É importante, então, que a calagem seja realizada com antecedência, antes do plantio, para a obtenção de melhores resultados.

Essa eficiência dos corretivos, então, depende das substâncias presentes no material, do tamanho das partículas, estrutura cristalina do material e do teor de CaO e MgO. Ademais, a qualidade do corretivo varia de acordo com a granulometria (superfície de contato – quanto menor a partícula, maior a área de contato ou reação como solo) e com o poder de neutralização (PN) do material. O PN do material representa a equivalência em relação ao carbonato de cálcio (CaCO_3), isto é, um valor que indica o quanto do material tem efeito maior ou menor na correção da acidez comparativamente ($\text{PN} = \text{CaO} (\%) \times 1,79 + \text{MgO} (\%) \times 2,48$).

Com base na granulometria, determinam-se a reatividade (RE) e a velocidade de reação do corretivo no solo, de acordo com a legislação brasileira, Instrução Normativa Nº 39, de 0 de agosto de 2018, a granulometria do corretivo deve conter as seguintes características mínimas: passar 100% por peneira de 2 mm; 70% por peneira de 0,84 mm; e 50% por peneira de 0,30 mm. É permitida tolerância de 5% na peneira de 2 mm, de 1% na peneira de 1mm, 5% na peneira de 0,84 mm e 0,30 mm. Esses valores representam a porcentagem do corretivo que reagirá no solo dentro de um período de três meses no solo, indicando a porcentagem de calcário que irá, de fato, reagir durante esse período, esse intervalo de tempo é explicado pelo fato de as taxas de eficiência granulométrica serem determinadas apenas durante três meses para o cálculo da reatividade. A fórmula para o cálculo da reatividade é $\text{RE} (\%) = 0 \times (\% \text{ retida na peneira ABNT 10}) + 0,2 \times (\% \text{ retida entre as peneiras ABNT 10 e ABNT20}) + 0,6 \times (\% \text{ retida entre as peneiras ABNT 20 a ABNT50}) + 1,0 \times (\% \text{ que passa na peneira ABNT50})$. Dessa forma pode-se dizer que quanto maior o RE (menor granulometria), menor seu residual no solo e mais rápido o corretivo irá reagir disponibilizando seus nutrientes para a planta.

O PRNT é um valor que caracteriza o poder neutralizante dos corretivos, levando-se em consideração valores de PN e RE [$\text{PRNT} = (\text{PN} \times \text{RE}) / 100$]. Dessa maneira, não se pode afirmar que dois corretivos com $\text{PRNT} = 100\%$ são semelhantes, pois ambos podem variar quanto ao PN e RE, o que resulta em diferentes tipos de manejo no campo. Um calcário pode conter maior quantidade de Ca e Mg, ou, maior velocidade de reação, em comparação com outro calcário de mesmo PRNT. De acordo com a legislação brasileira, Instrução Normativa Nº 39, de 0 de agosto de 2018, como valores mínimos, são considerados 67% para o PN e 45% para o PRNT. O calcário também é classificado pelo PRNT: Grupo A (PRNT entre 45 e 60%); Grupo B (entre 60,1 e 75%); Grupo C (entre 75,1 e 90%); e Grupo D (superior a 90%). Para o óxido de Ca e Mg os valores mínimos, são considerados 32% de Ca e 6% de Mg, e como valores mínimos, são considerados 67% para o PN e 45% para o PRNT.

Portanto, a escolha ideal do corretivo irá depender do PRNT (PN e RE) e da relação entre Ca e Mg. Em quantidades desequilibradas, por se tratar de nutrientes de mesma carga elétrica, Ca e Mg podem competir por mesmos sítios de absorção na planta, onde um excesso de Mg poderia ocasionar em uma deficiência de Ca na planta. A relação mais adequada entre Ca:Mg, para a maioria das culturas, varia entre 3:1 e 4:1, visto que o Ca tem maior poder de adsorção aos coloides do solo. Por isso, é importante selecionar um calcário que obtenha relação Ca:Mg mais adequada, complementando os teores dos nutrientes já disponíveis no solo. Pelos teores de Mg, os calcários podem ser classificados em calcíticos (menos de 5% de MgO) ou dolomíticos (maior que 5% de MgO). Calcários com maiores teores de Mg, de maneira geral, possuem preço mais elevado contudo, é notadamente conhecida a importância deste nutriente para as plantas.

2.4 Óxidos de Ca e Mg

O calcário tradicionalmente utilizado pelos agricultores possui baixa reatividade o que resulta em uma solubilidade muito pequena, fazendo com que o início da sua atividade no solo somente ocorra após um período de 3 a 6 meses (CAIRES et al., 2003). Pensando nessas limitações, buscou-se através de tratamentos físicos e químicos a obtenção de um óxido de Ca e Mg com maior solubilidade e reatividade, que seja composto por Ca e Mg em formas ativas capazes de disponibilizar esses nutrientes essenciais às plantas e em profundidade.

Este produto é obtido industrialmente pela calcinação parcial do calcário, dando origem a um corretivo de solo que possui como seus constituintes carbonatos de cálcio e magnésio (CaCO_3) e (MgCO_3) não decompostos do calcário, óxidos de Ca e Mg e também hidróxidos de Ca e Mg, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ e $\text{Mg}(\text{OH})_2$ resultantes da hidratação dos óxidos pela umidade do ar. Esse óxido apresenta-se na forma refinada, e sua ação neutralizante decorre de sua base forte OH^- e base fraca CO_3^{2-} (ALCARDE, 2005).

De acordo com a legislação brasileira, Instrução Normativa N° 35, de 04 de julho de 2006, determina que os óxidos agrícola deve ter um PN mínimo de 80%, uma soma de Soma de $\% \text{CaO} + \% \text{MgO}$ igual a 43% e um PRNT mínimo 54%. No entanto, vale a pena ressaltar que os óxidos, apresentam PRNT superiores a 100%, em função da sua granulometria extremamente fina, que combinada com sua natureza química, formada por bases fortes [CaO , MgO , $\text{Ca}(\text{OH})$, $\text{Mg}(\text{OH})$] aumenta ainda mais a sua reatividade, resultando assim em um calcário agrícola de ação quase “imediate”, que pode ocorrer em um intervalo de 10 a 15 dias (ALCARDE, 2005).

Dependendo do controle nos processos das rochas utilizadas pode-se obter um produto que possui baixa variabilidade na sua composição química, com a concentração de CaO e MgO variando em menos de 2 pontos percentuais entre os lotes produzidos. Essas características permitem que ele possa ser dosado com tanta precisão e em doses menores que o calcário tradicionalmente utilizado na agricultura. Além disso, o produto pode ser dosado tanto em área total, como misturado com adubo na linha, o que permite sua aplicação no fundo do sulco de plantio em cana. Esse processo mecânico de incorporação do óxido pela semeadora ou pela plantadora só é possível devido à alta fluidez nos diversos equipamentos que podem ser utilizados para a aplicação desse corretivo, além de ter uma deriva reduzida que permite trabalhar com largas faixas de aplicação (KORNDORFER, 2020).

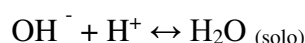
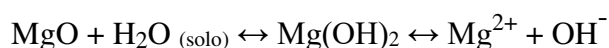
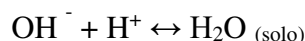
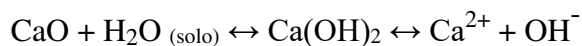
Em função do fino tamanho de suas partículas e às bases que os compõem, os óxidos movem-se com mais facilidade no perfil do solo quando comparada com os calcários tradicionalmente utilizados, permitindo ao mesmo que atue em regiões mais profundas do solo sem a necessidade da sua incorporação (CORRÊA, et al., 2018).

A presença de resíduos vegetais no solo, também pode promover um transporte mais acelerado dos óxidos de Ca e Mg no perfil do solo (MIYAZAWA et al., 2002). Vale a pena ressaltar que, o movimento das partículas de qualquer corretivo no perfil do solo é dependente da sua taxa de aplicação, tempo de aplicação, tipo de solo, práticas de fertilização na lavoura, declive do solo e tipo de cobertura vegetal (NATALE et al., 2012).

Nesse contexto, uma prática que pode melhorar ainda mais a eficiência dos óxidos de Ca e Mg no solo, consiste na sua aplicação direto no sulco de plantio resultando em ganhos positivos no cultivo de cana-de-açúcar, fornecendo Ca e Mg para as plantas melhorando o desenvolvimento do sistema radicular da cultura e promovendo ganhos em produtividade (GUALBERTO et al., 2019). Sendo que tal operação só é possível, se levar em consideração as características dos óxidos que ao contrário dos corretivos tradicionalmente utilizados, possui alta fluidez nos equipamentos, permitindo serem aplicados e terem suas doses ajustadas pelos equipamentos agrícolas (KORNDORFER, 2020).

O princípio no qual se fundamenta a reação desses corretivos no solo é o da troca catiônica, onde um material doa e um segundo recebe os prótons, corrigindo a acidez no solo gerada por íons H^+ e Al^{3+} . Para ser considerado um corretivo, um material deve ser considerado uma base forte capaz de trocar com H^+ , Al^{3+} e outros cátions trocáveis de caráter ácido, que dissociam parte de H. Além disso, deve ser um nutriente para as plantas e, após a reação de troca, o material que sede ao solo seu cátion, ao receber o ânion adsorvido no solo em troca, não pode formar um ácido forte (CARVALHO et al., 2000).

Dentre os materiais que proporcionam estes benefícios, temos os óxidos (CaO, MgO) e para que haja a correção da acidez é necessário que ocorra a sua dissolução, (KORNDORFER, 2020), conforme reações abaixo:



Os ânions liberados pela reação de dissolução dos óxidos no solo (OH^-) reagem com o Al^{3+} e o H^+ presentes na solução do solo em equilíbrio com a fase sólida (acidez potencial), promovendo dessa forma o deslocamento da reação química para a direita até que todo o óxido aplicado seja consumido nas reações de neutralização da acidez (KORNDORFER, 2020). De maneira geral, os óxidos neutralizam a acidez, deixando o solo com Ca e Mg no lugar de cátions de caráter ácido.

2.5 Importância do Ca e Mg para a cultura da cana-de-açúcar

Para se praticar uma agricultura sustentável e se alcançar um ótimo manejo de nutrientes nas plantas, alguns princípios fundamentais da nutrição mineral de plantas devem ser considerados, além dos processos físicos, químicos e biológicos envolvidos nas plantas e nos solos (SENBAYRAM et al., 2015). Nesse âmbito o Ca e o Mg estão envolvidos em numerosos processos fisiológicos e bioquímicos que afetam o crescimento e o desenvolvimento das plantas e apesar de serem classificados tradicionalmente como macronutrientes secundários, tanto o Ca quanto o Mg podem ter a sua extração pelas culturas similar ou superior à do nitrogênio e a do fósforo, respectivamente. Segundo dados de Oliveira et al. (2010a) estudando 11 cultivares modernas de alta produtividade de cana, dentre os elementos mais absorvidos pela cultura, o Ca com média extraída de 226 kg ha⁻¹ foi superior à média de nitrogênio extraído na ordem de 179 kg ha⁻¹ e o Mg com extração de 87 kg ha⁻¹ foi superior ao fósforo extraído na ordem de 25 kg ha⁻¹.

O Ca participa ativamente do desenvolvimento e formação do sistema radicular da cana, e está presente nas membranas celulares (parede celular), evitando o vazamento do conteúdo citoplasmático, além de agir como regulador enzimático e mensageiro secundário

(MALAVOLTA, 2006). Os efeitos positivos alcançados pelas culturas em consequência da melhor distribuição do sistema radicular no perfil do solo são resultados dos maiores teores disponíveis de Ca em profundidade (CAIRES et al., 2001; CAIRES et al., 2006; SALDANHA et al., 2007).

A deficiência de Ca na cultura da cana causa a desestruturação das paredes com subsequente colapso dos tecidos, perdendo solutos de baixo peso molecular (BONATO et al., 1998), por isso os aspectos visuais dessa deficiência se manifestam nas folhas novas enrolando-se para baixo, dando uma aparência de "gancho" e em casos extremos (deficiência aguda) os cartuchos tornam-se necróticos nas pontas e ao longo das margens. As folhas mais velhas inicialmente apresentam minúsculas lesões cloróticas com centros necróticos agora tem aparência de "enferrujadas". A deficiência de Ca na casca pode se manifestar com um escurecimento na parte interna muito similar à deficiência de Mg. Os colmos tornam-se mais moles, mais finos, afilando rapidamente em direção ao ponto de crescimento. Nas raízes o desenvolvimento radicular é extremamente prejudicado com a falta de Ca dos quais os sintomas se manifestam muito antes de qualquer sintoma na folha, as raízes se tornam grossas e curtas com poucos pelos de absorção de nutrientes (RAIJ et al, 1997)

Na cultura da cana-de-açúcar, segundo Raij et al., 1996, apud por Roviero, 2017, o Ca tem uma quantidade significativa extraída nos estádios iniciais de desenvolvimento da cultura, sendo importante tanto para o enraizamento quanto para a integridade da parede celular. E nos períodos de veranico que a carência desse elemento mais pode ser impactante para o desenvolvimento da cultura, pois a exploração do solo pelas raízes das plantas pode estar limitada aos primeiros centímetros do solo, diminuindo a absorção de água e nutrientes (CAIRES et al., 2001).

Ganhos indiretos também são alcançados quando se aumenta os níveis de Ca no solo, pois ocorre uma maior disponibilidade de nutrientes para as plantas, em função de melhorias nas características físicas, químicas e biológicas do solo (CAIRES et al., 2003). Em relação a isso, tal fato pode ser explicado devido à esse elemento participar de pontes metálicas entre a matéria orgânica e os minerais das frações mais finas do solo, configurando assim uma proteção química dos compostos orgânicos, dificultando a sua decomposição contribuindo assim para uma maior estabilidade dos agregados do solo (GARCIA, 2018).

Em valores de pH baixo, muitas vezes a inibição ao alongamento radicular deve-se a formas monoméricas de Al. Por outro lado, o Ca protege as raízes do estresse causado pelo pH baixo. O fato do Ca^{+2} ser imóvel no floema e não ser translocado da parte aérea para as partes mais novas das raízes em desenvolvimento faz com que o Ca requerido para o

crescimento de raízes deva ser absorvido diretamente da solução do solo pelas zonas apicais da própria raiz (MARSCHENER, 2012).

Assim como o Ca, a nutrição com Mg à cana-de-açúcar é fundamental, uma vez que ele atua nos seus mecanismos de defesa em situações de estresses abióticos e bióticos, tanto direto quanto indiretamente (CAKMAK, 2013; GRANSEE; FÜHRS, 2013; HUBER; JONES, 2013; MENGUTAY et al., 2013). Em relação aos estresses abióticos o uso do Mg aumenta a resistência da cultura a excesso de calor, elevada intensidade luminosa e déficit hídrico (CAKMAK; KIRKBY, 2008; MENGUTAY et al., 2013). O Mg ainda está envolvido em muitos processos fisiológicos e bioquímicos, sendo um elemento essencial para o crescimento e desenvolvimento das plantas, pois esse elemento, além de atuar na síntese de clorofila é um ativador enzimático no metabolismo de gorduras e carboidratos, além de estar envolvido na absorção e metabolismo de fósforo. Em relação aos processos fisiológicos das plantas, o Mg tem função chave na carga do floema, sendo cofator e modulador alostérico para mais de 300 enzimas (incluindo o ciclo de Calvin, quinases, RNA polimerases e ATPases) e em quelação nas formas de fosfato de nucleotídeos (COWAN, 2002; VERBRUGGEN; HERMANS, 2013).

O Mg na cultura da cana-de-açúcar atua na produção de açúcar, que chega a ser 50% maior em plantas com um bom suprimento desse nutriente em comparação com plantas sob deficiência desse nutriente. O Mg quando em níveis adequados na cultura ainda está relacionado com um maior acúmulo de matéria seca nas folhas, além de favorecer uma maior concentração de sacarose nos colmos, principalmente em área com alto teor de K (GARCIA et al., 2019).

A deficiência de Mg nos estágios iniciais de desenvolvimento da cana-de-açúcar, resulta em déficits no acúmulo de carboidratos nas folhas, diminuindo a fixação de CO₂ pela ribulose-1,5-bisfosfato carboxilase/oxigenase (Rubisco) (SENBAYRAM et al., 2015). Esse fato se dá através de dois mecanismos principais: (i) inibição da síntese de sacarose e (ii) acúmulo de amido no cloroplasto, afetando a condutância de CO₂ da membrana e causando menor pressão parcial de CO₂ no sítio catalítico da Rubisco (ARAYA et al., 2006).

Na cultura da cana-de-açúcar o peso dos colmos está relacionado com os teores de Mg²⁺ no solo e os incrementos de produção proporcionados pela calagem devem ser atribuídos mais a uma ação nutricional do Mg do que mesmo a uma ação do Ca, o que reforça mais ainda a necessidade do seu fornecimento à cultura (FERRAZ et al., 2015).

Mesmo quando uma quantidade suficiente de calcário é incorporada ao solo, mas apenas na camada superficial, faz com que as raízes sejam intensamente prejudicadas em sua

capacidade de se desenvolver no subsolo ácido (MARSCHENER, 2002). Com a cultura de cana-de-açúcar não é diferente, principalmente nas áreas sem irrigação, o que limita a tolerância da cultura aos períodos de déficit hídrico, condição esta que pode reduzir a taxa de assimilação de CO₂ e de fotossíntese (TAIZ; ZEIGER, 2009), com reflexo negativo na produtividade de colmos e açúcar.

Diante desse cenário, o uso de óxidos de Ca e Mg no sulco de plantio da cana tem se destacado, devido ao fornecimento de Ca e Mg em maiores profundidades e próximo à zona de formação das raízes. O seu uso também tem o objetivo de proporcionar condições favoráveis ao melhor desenvolvimento do sistema radicular e conseqüentemente maior absorção de água, conferindo à planta aumento da resistência aos períodos de estresses hídricos. Esse maior crescimento radicular também proporciona maior absorção de nutrientes e, conseqüentemente, aumento de produtividade (ZANDONA et al., 2015), melhorando também a qualidade da soqueira. Além disso, um sistema radicular melhor desenvolvido pode resistir ao arranquio acidental da touceira na colheita mecanizada.

Outro fator que tem contribuído para a aplicação localizada desse insumo se deve à irregularidade da precipitação hídrica nos canaviais, que resulta na redução do volume de solo explorado pelas raízes (MACHADO et al., 2009) e conseqüentemente em um menor fluxo de massa de Ca e Mg do solo em direção às raízes, o que resulta em uma menor absorção de nutrientes pela planta. Segundo Garcia (2018), tradicionalmente a calagem é realizada durante a implantação do canavial, porém a quantidade utilizada é baseada nas camadas superficiais (até 40 cm), desconsiderando as camadas inferiores, mesmo que a cultura possua raízes que ultrapassem 100 cm de profundidade, o que resulta em uma limitação do ambiente para o desenvolvimento radicular da cultura já na implantação da cultura.

A importância da incorporação do Ca em profundidade se deve à sua função no crescimento das raízes, pela sua ação na divisão celular e pelo fato desse elemento ser imóvel na planta (HAWKESFORD et al., 2012) e também pela absorção significativa e quase exclusiva pela coifa da raiz (TAIZ; ZEIGER, 2009). Dessa maneira, o Ca absorvido pelas raízes superficiais não atende as necessidades das raízes profundas, caso essas estejam em ambiente deficiente desse nutriente.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização do corretivo

O produto utilizado no estudo é um óxido de Ca e Mg refinado que contém 46% de CaO e 33% de MgO, com granulometria inferior a 2 mm (sem pó) e PN igual a 164,18%. Este corretivo é originado de uma rocha composta de dolomita pura ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$). Um mineral para ser considerado dolomita pura deve ter obrigatoriamente 1 mol de CaCO_3 para 1 mol de MgCO_3 , por isso, para dolomitas puras a relação CaO/MgO é sempre 1,4. Segundo o fabricante, não existe na mina onde as rochas são extraídas sem alguma contaminação da calcita (CaCO_3).

A metodologia da RE e do PRNT não se emprega nesse tipo de material por dois motivos. Primeiro esse procedimento (RE e PRNT) determina as frações granulométricas a seco e não após a abertura em água, uma vez que o produto assim que reage com a água, gera partículas menores em comparação com a granulometria original. O outro motivo é a reatividade dos óxidos serem diferentes dos carbonatos para cada faixa granulométrica, o que leva a interpretação errônea da reatividade global.

Quanto ao processo de calcinação das rochas para a obtenção dos óxidos de Ca e Mg, o principal fator levado em consideração é a temperatura do tratamento térmico, que é o fator preponderante para garantir a reatividade do óxido de Mg que ocorre praticamente por inteiro em temperaturas próximas a 800°C.

3.2 Delineamento experimental

Foram instalados dois experimentos, ambos em delineamento experimental de blocos casualizados (DBC), com quatro repetições. Assim, foram avaliadas diferentes doses crescentes do óxido de Ca e Mg e um tratamento testemunha sem a aplicação de CaO e MgO (Tabela 1).

Tabela 1. Doses do óxido de Ca e Mg aplicado no sulco de plantio da cana-de-açúcar em cada tratamento, bem como um tratamento testemunha sem a aplicação do óxido.

Tratamentos	Dose do produto	Dose de CaO	Dose de MgO
	----- (kg ha ⁻¹) -----		
Testemunha	0	0	0
Óxido de Ca e Mg	50	23,0	16,5
Óxido de Ca e Mg	100	46,0	33,0
Óxido de Ca e Mg	150	69,0	49,5
Óxido de Ca e Mg	200	92,0	66,0

Óxido de Ca e Mg: 46% de CaO e 33% de MgO.

Fonte: O autor.

As parcelas experimentais foram compostas por cinco linhas de cana com 10 m de comprimento espaçadas 1,5 m entre si, totalizando assim 75 m² de área por parcela. Entre as parcelas foram adotados espaços de 3 m nas cabeceiras sem cana distribuída.

3.2.1 Experimento 1 (Usina Santo Ângelo – Pirajuba-MG)

O primeiro experimento foi realizado em parceria com a Usina Santo Ângelo, em área de produção comercial, localizada no Sítio 7 irmãos (fazenda 123), talhão 02, no município de Pirajuba-MG, situado a 20°00'14" de latitude sul e 48°39'43" de longitude oeste. O clima, segundo a classificação Köppen é do tipo Aw (verão úmido e inverno seco), com temperatura média anual de 24,3 °C e precipitação média anual de 1552 mm e sua altitude é de 487 metros (ALVARES et al., 2013; ROLIM et al., 2015).

A área selecionada para a instalação do experimento era uma área de reforma, e antes da instalação do experimento o solo recebeu a aplicação de 2,4 t ha⁻¹ de calcário, 1,7 t ha⁻¹, gesso, 40 t ha⁻¹ de composto com 65% de umidade (resultado expresso em MS: 55,24% de M.O.; 1,1% de N; 1,02% de P₂O₅; 0,55% K₂O; 2,13% CaO; 0,57% MgO; 0,21% S; 12 mg kg⁻¹ de B; 50 mg kg⁻¹ de Cu; 31,9 g kg⁻¹ de Fe 365 mg kg⁻¹ de Mn e 118 mg kg⁻¹ de Zn) e 360 kg ha⁻¹ de fosfato reativo (20 % P₂O₅ solúvel em H₂O), incorporados com arado de aiveca a 40 cm de profundidade e depois gradeado. Após o preparo do solo, foi semeada a cultura da soja com uma adubação de plantio de 300 kg ha⁻¹ de MAP (11-52-00), a qual após completar seu ciclo foi colhida e a área sulcada para receber as mudas de cana-de-açúcar. Além disso, para manejo fitossanitário da cultura foram utilizados os seguintes produtos aplicados no cobridor: Biozyme (0,5 L ha⁻¹), Fipronil (250 g ha⁻¹), PrioriXtra (0,5 L ha⁻¹), Marchal (4,0 L ha⁻¹).

O solo da área experimental foi classificado como LATOSSOLO VERMELHO

Eutrófico (LVe) (SANTOS, 2018), com um teor de argila de 47,5%, e ambiente de produção B, ou seja, com potencial de produtividade alto/médio. Para a sua caracterização química e física foi realizada uma amostragem de solo antes da implantação do experimento. Nas camadas de 0 a 20 e 20 a 40 cm de profundidade, cujos resultados estão apresentados na tabela abaixo (Tabela 2).

Tabela 2. Características químicas do solo da área experimental, na profundidade 0-20 e 20-40 cm. UFU, Pirajuba-MG, 2018¹

Prof. cm	pH CaCl ₂	P resina --mg dm ⁻³ --	K ⁺	Al ³⁺	H + Al	Ca ⁺²	Mg ⁺²	SB	t	T	V	m	M.O.
	--		-----			cmol _c dm ⁻³ -----						--%--	
0-20	5,5	40,6	65	0,0	2,2	4,0	1,23	5,40	5,40	7,60	71	0	4,0
20-40	5,1	9,3	54	0,0	2,5	1,8	0,59	2,53	2,53	5,03	50	0	3,1

¹ P, K = HCl 0,05 mol L⁻¹ + H₂SO₄ 0,0125 mol L⁻¹; P disponível = extrator Mehlich⁻¹; Ca, Mg, Al = KCl 1 mol L⁻¹; H+Al = SMP a pH 7,5; SB = soma de bases; t = CTC efetiva; T = CTC a pH 7; V = saturação por bases; e, m = saturação por alumínio foram avaliados segundo EMBRAPA 2009. MO = matéria orgânica pelo método colorimétrico.

Fonte: O autor.

Na operação de quebra-lombo foi realizada a adubação com 550 kg ha⁻¹ do formulado 18-04-24 seguida de duas aplicações de 15 kg ha⁻¹ com Nmoll (17.00.00 + Micro). Durante o ano de condução do experimento, esta área apresentou precipitação pluviométrica acumulada de 1.604 milímetros distribuídas em 64 dias de chuva no ano, resultando em uma precipitação média diária de 25 milímetros no período de cultivo da cana planta.

A variedade de cana-de-açúcar utilizada nesse experimento foi a CTC 9002, que apresenta ciclo médio (colheita de junho a setembro) e foi produzida do pelo Centro de Tecnologia Canavieira. Essa variedade destaca-se por ser tolerante à seca (adaptada às condições de Cerrado) e ter boa adequação ao plantio mecanizado com ótimas brotações tanto no plantio quanto após a colheita mecanizada (brotação sob palha). Com ótimos resultados em solos mais restritivos, apresenta produtividade maior de açúcar por hectare do que as concorrentes, além de possuir um porte ereto, alto perfilhamento, boa colheitabilidade e longevidade (CENTRO DE TECNOLOGIA CANAVIEIRA, 2018).

A aplicação dos tratamentos foi realizada manualmente, após sulcação e antes do plantio da cana, mas no mesmo dia do plantio. Aplicou-se os produtos no fundo do sulco de plantio das linhas da parcela, conforme apresentado nas figuras abaixo (Figura 1).

Figura 1. Detalhe da área de aplicação dos tratamentos. Aplicação no fundo do sulco de plantio, (sulcos com aproximadamente 35 cm de profundidade) antes da distribuição da cana.



Fonte: Santos, 2018.

3.2.2 Experimento 2 (Usina Buriti – Buritizal-SP)

O segundo experimento foi realizado em parceria com a Usina Buriti do Grupo da Pedra, em área de produção comercial, localizada na fazenda São Luiz 18 (fazenda 30.374), talhão 1, setor 359, no município de Buritizal-SP, situada a 20°12'22'' de latitude sul e 47°39'29'' de longitude oeste. O clima, segundo a classificação Köppen é do tipo Aw (verão úmido e inverno seco), com temperatura média anual de 22,6 °C e precipitação média anual de 1.636 mm e sua altitude é de 848 metros (ALVARES et al., 2013; ROLIM et al., 2015).

O solo da área experimental foi classificado como LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico (LVAd) (SANTOS, 2018), com um teor de argila de 35% e ambiente de produção C, ou seja, com potencial de produtividade médio.

Para a sua caracterização química e física foi realizada uma amostragem de solo antes da implantação do experimento. As amostras foram coletadas ao acaso dentro da área experimental, nas camadas de 0 a 20 e 20 a 40 cm de profundidade, e os resultados estão apresentados a seguir (Tabela 3).

Tabela 3. Características químicas do solo da área experimental, na profundidade 0-20 e 20-40 cm. UFU, Buritizal-SP, 2018¹

Prof.	pH CaCl ₂	P meh.	K ⁺	Al ³⁺	H+Al	Ca ⁺²	Mg ⁺²	SB	t	T	V	m	M.O.
cm	--	--mg dm ⁻³ --				----- cmol _c dm ⁻³ -----						---- % ----	
0-20	5,1	51,5	74,0	0,0	3,2	2,2	1,0	3,38	3,38	6,58	51	0	3,8
20-40	4,7	17,5	60,0	0,1	4,0	1,2	0,5	1,85	1,95	5,85	32	5	3,5

¹ P, K = HCl 0,05 mol L⁻¹ + H₂SO₄ 0,0125 mol L⁻¹; P disponível = extrator resina⁻¹; Ca, Mg, Al = KCl 1 mol L⁻¹; H+Al = SMP a pH 7,5; SB = soma de bases; t = CTC efetiva; T = CTC a pH 7; V = saturação por bases; e, m = saturação por alumínio foram avaliados segundo EMBRAPA (2009). MO = matéria orgânica pelo método colorimétrico.

Fonte: O Autor.

O experimento foi implantado em área de expansão, a cultura anteriormente presente na área era pastagem *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, e o plantio realizado no dia 02 de fevereiro de 2018. O calcário e o gesso, segundo recomendações técnicas da usina, foram incorporados com arado de aiveca a 40 cm de profundidade conforme recomendações técnicas da usina e todas as operações do preparo convencional foram realizadas, uso de subsolador, arado de aiveca e grade niveladora conforme recomendações técnicas da usina.

A variedade de cana-de-açúcar utilizada nesse ensaio foi a CTC 4, que apresenta ciclo médio (colheita de junho a setembro) e foi produzida pelo Centro de Tecnologia Canavieira. Essa variedade destaca-se por ter um bom desempenho na colheita mecanizada e resistência ao pisoteio das máquinas além de apresenta desenvolvimento vigoroso, hábito final sem tombamento, colmos médios a longos, de diâmetro fino a médio, com despalha fácil e bom perfilhamento, de cor amarelo-arroxeadada, cerosidade média e canaletas rasas; gema oval média; palmito médio com regular quantidade de cera, de cor amarelo-arroxeadada e com joçal regular; aurícula dentóide unilateral e pequena (CENTRO DE TECNOLOGIA CANAVIEIRA, 2018).

A adubação de plantio utilizada seguiu recomendação da usina e foi feita com a aplicação em área total de 20 t ha⁻¹ de composto + 270 kg ha⁻¹ de MAP (11-52-00). Além

disso, para manejo fitossanitário da cultura foram utilizados os seguintes produtos aplicados no cobridor: Fipronil (250 g ha^{-1}), Commet ($0,5 \text{ L ha}^{-1}$).

Visando redução de falhas e homogeneização do perfilhamento no campo, no plantio foram utilizadas mudas pré-brotadas – MPB, com espaçamento entre plantas de 0,6 m.

De modo semelhante ao experimento anterior, a aplicação dos tratamentos foi realizada manualmente, após sulcação e antes do plantio da cana, também no mesmo dia do plantio, aplicando-se os corretivos no fundo do sulco de plantio.

3.3 Condução

Os experimentos foram conduzidos por aproximadamente 18 meses, até o primeiro corte do canavial. A condução e manutenção do experimento, ou seja, o controle fitossanitário, a realização de adubações complementares e afins, foram afetadas pelas equipes das usinas, de acordo com o manejo recomendado para as áreas, considerando que não interferisse nos tratamentos.

A ressalva que se fez à usina responsável pelas práticas de manejo empregadas na área foi a de que nas adubações de cobertura posteriores à de plantio (quebra-lombo ou foliares, por exemplo) não fossem aplicados fertilizantes com Ca e Mg em sua composição.

3.4 Avaliações

Foram realizadas as seguintes avaliações:

a) Concentração foliar de nutrientes

Foram coletadas na fase de maior desenvolvimento vegetativo da cana-de-açúcar, no período chuvoso, (experimento 1 aos 370 DAA, experimento 2 aos 315 DAA) duas folhas (TVD - Top Visible Dewlap; definida como a primeira folha com a lígula visível) de cada uma das 5 linhas de cada parcela. De cada uma das folhas foram excluídos os terços basal e apical e a nervura central, segundo a metodologia descrita por Rajj et al. (1997). Posteriormente essas folhas foram acondicionadas em sacos de papel, devidamente identificadas e levadas ao laboratório, onde foram submetidas à secagem em estufa de ventilação forçada à temperatura média de 65° C , por um prazo de 72 horas.

Após a secagem, as folhas coletadas foram moídas em moinho tipo Wiley, em seguida foram realizadas as digestões das amostras para determinação dos teores de macro (N, P, K,

Ca, Mg e S) foliar, conforme EMBRABA (2009).

b) Produtividade de colmos (TCH)

- No experimento 1 (Usina Santo Ângelo) aos 420 dias após a aplicação (DAA) dos tratamentos realizou-se a colheita manual da cana-de-açúcar de 3 metros lineares das três linhas centrais de cada parcela, sendo colhidos todos colmos consecutivos em cada uma das linhas centrais, excluindo-se pelo menos 1 m das extremidades da linha (bordadura), totalizando uma área de colheita de 9 metros lineares por parcela. Após o desponte e a retirada do excesso de palha, a pesagem da cana colhida foi realizada com o auxílio de uma balança acoplada a um tripé de sustentação (Figura 2). A produtividade foi determinada convertendo os pesos obtidos para $t\ ha^{-1}$.

Figura 2. Pesagem da cana-de-açúcar colhida com o auxílio de uma balança digital acoplada a um tripé de sustentação



Fonte: Santos, 2019.

- No experimento 2 (Usina Buriti) aos 550 dias após a aplicação (DAA) dos tratamentos realizou-se a colheita mecanizada da cana-de-açúcar das três linhas centrais de cada parcela, totalizando uma área de colheita de 30 metros lineares por parcela. A pesagem da cana-de-açúcar colhida foi realizada com o auxílio de uma célula de carga acoplada ao transbordo de um caminhão (Figura 3), determinando-se assim o peso de cada uma das linhas avaliadas. A produtividade foi determinada convertendo os pesos obtidos para $t\ ha^{-1}$, sendo que, para a obtenção dos valores de tonelada de colmos por hectare (TCH).

Figura 3. Pesagem da cana-de-açúcar colhida com o auxílio de transbordo instrumentado com células de carga



Fonte: Santos, 2019.

c) Indicadores de qualidade da cana-de-açúcar como matéria-prima

Para a realização das análises de qualidade da matéria-prima, foram amostrados, aleatoriamente 10 colmos dentre os cortados para estimativa de TCH no experimento 1 e, imediatamente antes da colheita, 10 colmos industrializáveis seguidos da linha central da

parcela do experimento 2. Em seguida, estas amostras foram devidamente identificadas e posteriormente submetidos à análise nos laboratórios das usinas, conforme o Conselho dos Produtores de Cana, Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo (CONSECANA-SP, 2006).

A principal análise realizada foi para quantificação do açúcar total recuperável (ATR) da cana (kg de açúcar t^{-1} de cana). A partir desse valor e dos resultados de TCH, estimou-se, a produção de açúcar por hectare (TAH em $t\ ha^{-1}$).

d) Características químicas do solo (análise de solo)

Após a colheita de toda a cana presente nas áreas dos experimentos, foi realizada a amostragem do solo nas profundidades de 0 a 20 cm e 20 a 40 cm. As coletas foram realizadas com auxílio de um trado acoplado em um motor a gasolina, amostrando-se dois pontos em cada uma das três linhas centrais, mais próximo possível da linha de brotação da cana, formando assim uma amostra composta por parcela. Com o objetivo de avaliar o efeito residual do óxido na região de crescimento das raízes da cana planta.

As amostras de solo coletadas foram então submetidas à análise de pH ($CaCl_2$ 0,01 mol L^{-1}), Ca^{2+} , Mg^{2+} , S, P (resina), B Cu, Mn, Zn e Fe seguindo metodologia descrita pela EMBRAPA (2009).

3.5 Análises estatísticas

Inicialmente foram testadas as pressuposições do modelo, ou seja, a existência de normalidade dos resíduos, homogeneidade das variâncias e efeitos não aditivos entre os blocos pelos testes de Tukey, Shapiro-Wilk e Levene, respectivamente, todos a 0,01 de significância, utilizando-se o programa SPSS 17.0 (SPSS, 2008).

Com o auxílio do programa estatístico SISVAR versão 5.3 (FERREIRA, 2014) a comparação entre os produtos foi feita mediante análise de variância e, em caso de significância do teste de F as médias foram comparadas entre si pelo teste de Scot-Knott, a 0,1 de significância. O estudo para as doses crescentes do óxido de Ca e Mg foi também realizado a partir de análise variância, com o auxílio do programa SISVAR versão 5.3 (FERREIRA, 2014) e somente em caso de significância do teste de F, foram feitas as regressões (0,1 de significância) que constam nos gráficos apresentados nos resultados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Experimento 1 (Usina Santo Ângelo – Pirajuba-MG)

4.1.1 Produção de colmos (TCH) de açúcar (TAH) açúcar total recuperável (ATR)

As médias diferem significativamente entre as doses do óxido de Ca e Mg para TCH e TAH em cana planta. Onde, as doses de 100, 150 e 200 kg ha⁻¹ do óxido de Ca e Mg superaram a testemunha, sendo que a aplicação de 100 kg ha⁻¹ do óxido de Ca e Mg promoveu incrementos de aproximadamente 10% em TCH e 15% em TAH, enquanto as doses de 150 kg ha⁻¹ do óxido de Ca e Mg proporcionaram incrementos de aproximadamente 13% em TCH e 19% em TAH, e a dose de 200 Kg ha⁻¹ promoveu incrementos de 8% em TCH e TAH (Tabela 4).

Tabela 4. Produção de colmos por hectare (TCH), de açúcar (TAH) e ATR da cana planta (variedade CTC 9002) 420 dias após a aplicação (DAA) de doses crescentes de óxido de Ca e Mg, bem como um tratamento testemunha sem a aplicação do óxido (Usina Santo Ângelo).

Tratamento	Dose do produto	Dose de CaO	Dose de MgO	TCH ⁽¹⁾	TAH ⁽¹⁾	ATR ⁽¹⁾
	----- kg ha ⁻¹ -----			-----t ha ⁻¹ -----	kg t ⁻¹	
Testemunha	0	0	0	140,0 b	16,7 b	120,3 a
Óxido de Ca e Mg	50	23,0	16,5	137,5 b	16,9 b	122,5 a
Óxido de Ca e Mg	100	46,0	33,0	153,6 a	19,3 a	125,5 a
Óxido de Ca e Mg	150	69,0	49,5	159,5 a	19,8 a	124,1 a
Óxido de Ca e Mg	200	92,0	66,0	150,4 a	18,1 a	120,2 a
C.V.				7,71%	9,06%	6,39%

⁽¹⁾ Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Scott Knott a 0,1 de significância.

Fonte: O autor.

Observa-se que a aplicação do óxido de Ca e Mg no sulco de plantio da cana apresenta maiores valores de TCH isso devido ao fornecimento de elementos essenciais às plantas que podem contribuir para um melhor desenvolvimento radicular da cultura. Este fato pode ser observado com o estudo do efeito das doses sobre os dados de produção, o qual mostra que as doses crescentes do óxido, proporcionam aumento com comportamento quadrático de

produção até valores máximos de 154 t ha⁻¹ de colmos que correspondem à dose de 163 kg ha⁻¹ do óxido de Ca e Mg de acordo com as equações apresentadas na Figura 4.

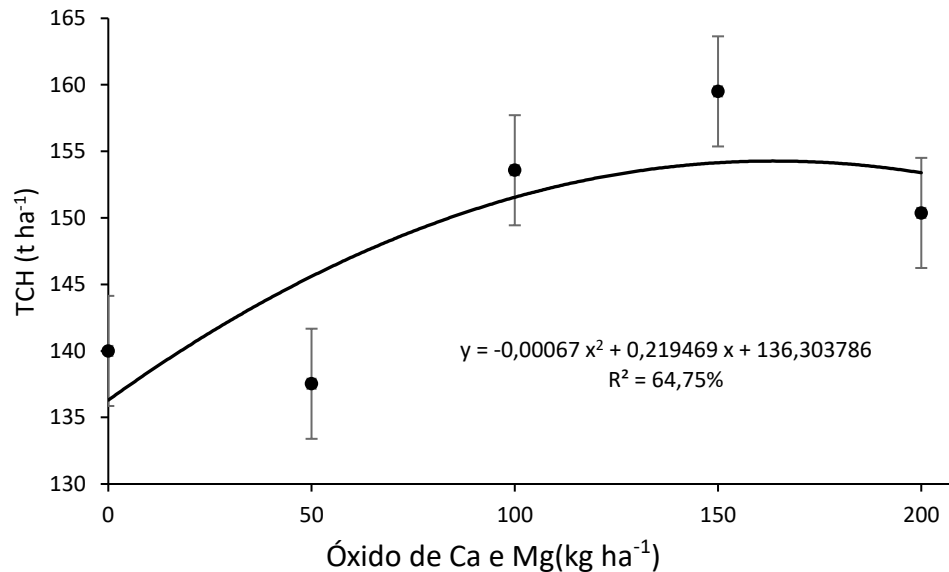


Figura 4. Valores médios de produção de colmos por hectare (TCH) da cana planta (variedade CTC 9002) em função da aplicação de doses crescentes do óxido de Ca e Mg no sulco de plantio (Usina Santo Ângelo).

Fonte: O autor.

Esses ganhos de produção em relação à testemunha se deve as inúmeras vantagens do uso do óxido de Ca e Mg no sulco de plantio, tais como ser fonte de Ca e Mg, além de fazer a correção localizada do pH e a neutralização do Al no solo, o que proporciona um ambiente mais favorável ao crescimento radicular da cultura e conseqüentemente um maior aproveitamento dos nutrientes presentes no solo culminando em menor susceptibilidade à estresse hídrico.

Corroborando com esses resultados, Sousa et al. (2015), afirmam que a correção da acidez subsuperficial até pelo menos 80 cm, possibilita maior desenvolvimento do sistema radicular da cana-de-açúcar, ocasionando maior exploração do volume de solo, com maior eficiência no uso dos fertilizantes aplicados, bem como a água armazenada no perfil do solo. Essa maior exploração do solo se deve à maior disponibilidade de Ca e Mg que foi fornecida pelo óxido de Ca e Mg aplicado diretamente no sulco de plantio permitindo o fornecimento desses nutrientes em uma região onde naturalmente eles são mais deficientes para a cultura (abaixo da camada arável; aproximadamente 40 cm de profundidade).

Para a produção de açúcar (TAH), o estudo do efeito do aumento das doses do óxido de Ca e Mg é semelhante àquilo observado para TCH com aumento de produção até os

valores máximos de 19,1 t ha⁻¹ de açúcar que correspondem à dose de 133 kg ha⁻¹ óxido de Ca e Mg de acordo com as equações apresentadas na Figura 5.

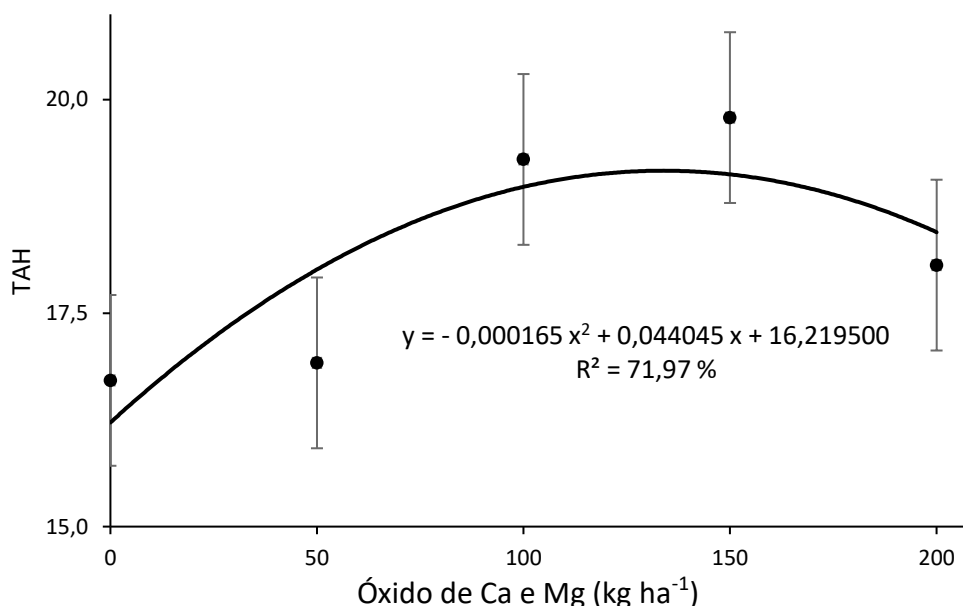


Figura 5. Valores médios de produção de açúcar por hectare (TAH) da cana planta (variedade CTC 9002) em função da aplicação de doses crescentes do óxido de Ca e Mg no sulco de plantio (Usina Santo Ângelo).

Fonte: O autor.

O óxido de Ca e Mg proporcionou ganhos na produção de açúcar por hectare em relação à testemunha, principalmente para o uso das doses 100 e 150 kg ha⁻¹ do óxido que proporcionou ganhos de 15,6 e 18,6%, respectivamente. Rossetto et al. (2008), observaram que o uso de corretivos no sulco de plantio aumentou a produtividade da cana-de-açúcar e, por consequência, a produtividade de açúcar, devido a maior disponibilidade de Ca e Mg, entre outros nutrientes próximo das raízes das plantas, o que certamente favorece a brotação da cana, assim como o seu enraizamento e resulta consequentemente em maior aproveitamento principalmente do fósforo no solo.

As produções de colmos por hectare (TCH) e de açúcar (TAH) sofrem redução gradativa, para doses acima de 163 kg ha⁻¹ e 133 kg ha⁻¹ respectivamente (Figura 4 e Figura 5). A queda na produção pode ser explicada, dentre outros, por fatores relacionados ao pH do solo, isto é, a aplicação de calcário no preparo do solo (calagem antes do plantio da cana) juntamente com as aplicações das maiores doses do óxido no fundo do sulco (200 kg ha⁻¹) que também apresenta poder corretivo, mesmo sem aumentos drásticos nos valores de pH, podem ter diminuído a solubilidade de alguns nutrientes, nesse caso, micronutrientes catiônicos os quais são essenciais ao desenvolvimento e à produção da cana-de-açúcar.

O estudo do efeito das doses do óxido de Ca e Mg sobre a produção de ATR, também seguiu o mesmo comportamento das variáveis anteriormente analisadas. Dessa forma, o aumento das doses crescentes do óxido de Ca e Mg resulta também em aumento da produção de açúcar até os valores máximos de 124 kg t⁻¹ de colmos que correspondem à dose de 103 kg ha⁻¹ do produto de acordo com as equações apresentadas na Figura 6, incrementando ganho de 4,5% a mais em relação a testemunha.

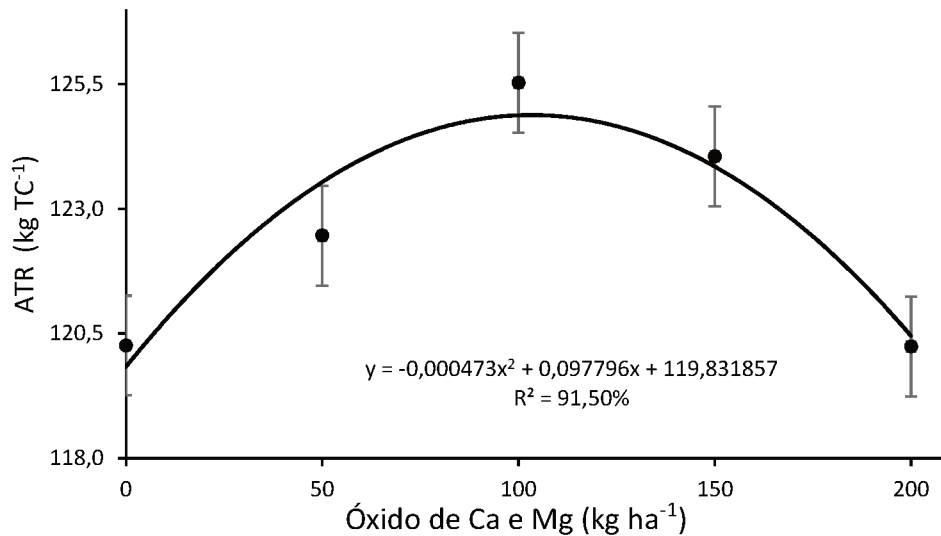


Figura 6. Valores médios de Açúcar Teoricamente Recuperável (ATR) da cana planta (variedade CTC 9002) em função da aplicação de doses crescentes do óxido de Ca e Mg no sulco de plantio (Usina Santo Ângelo).

Fonte: O autor.

O uso do óxido de Ca e Mg no sulco de plantio da cultura da cana-de-açúcar, revela-se como uma técnica vantajosa ao aplicar doses baixas que costuma variar de 85 a 250 kg ha⁻¹ (OLIVEIRA JR., 2017 apud por KORNDÖRFER, 2018), que ajuda a cana-de-açúcar a superar estresses ambientais, podendo desenvolver seu ciclo de forma mais plena. Esse fato, pode ser verificado por vários trabalhos científicos, já realizados, que demonstraram eficiência em relação ao uso de corretivos na cultura da cana sobre o seu desenvolvimento inicial (OLIVEIRA et al., 2010b) e sob a sua produção e qualidade tecnológica (BRASSIOLI et al., 2009; CARLIN; SANTOS, 2010; GARCIA, 2018; ROSSETTO et al., 2004; ROSSETTO et al., 2008.).

4.1.2 Concentração foliar de N, P, K, Ca, Mg e S

As médias diferem significativamente entre as doses do óxido para a concentração foliar de Ca na cana planta. Onde as doses de 50 e 100 kg ha⁻¹ do óxido aplicado superaram a testemunha, ambas com um aumento de 6% na concentração foliar do nutriente (Tabela 5).

Tabela 5. Concentração foliar de N, P, K, Ca, Mg e S da cana planta (variedade CTC 9002) aos 370 dias após a aplicação (DAA) das doses do óxido de Ca e Mg, bem como um tratamento testemunha sem a aplicação do óxido (Usina Santo Ângelo).

Tratamento	Dose do produto -- kg ha ⁻¹ --	Teor foliar ⁽¹⁾					
		N	P	K	Ca	Mg	S
		----- g kg ⁻¹ -----					
Testemunha	0	17,5 a	1,4 a	10,1 a	4,8 b	1,9 a	0,8 a
Óxido de Ca e Mg	50	17,7 a	1,5 a	10,1 a	5,1 a	1,9 a	0,9 a
Óxido de Ca e Mg	100	17,0 a	1,5 a	10,7 a	5,1 a	2,0 a	0,9 a
Óxido de Ca e Mg	150	18,7 a	1,4 a	10,4 a	4,6 b	1,9 a	0,8 a
Óxido de Ca e Mg	200	17,1 a	1,5 a	9,3 a	4,5 b	1,9 a	0,8 a
Média geral		17,6	1,5	10,1	4,8	1,9	0,8
C.V.		7,94%	7,66%	8,06%	10,25%	7,07%	20,78%

⁽¹⁾ Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Scott Knott a 0,1 de significância.

Fonte: O autor.

O estudo do efeito das doses sobre a absorção de Ca foliar, mostra que o comportamento das doses crescentes do óxido de Ca e Mg aumentou o teor foliar de Ca até os valores máximos de 5,02 g kg⁻¹ de folha que corresponde à dose de 65,92 kg ha⁻¹ do óxido de Ca e Mg de acordo com as equações apresentadas na Figura 7. Rodrighero (2015), também obteve aumento na concentração foliar de Ca em plantas de milho e soja cultivados em diferentes tipos de solo tratados com doses crescentes do calcário e atribuiu esse resultado à maior disponibilidade de Ca no solo decorrente da aplicação do corretivo, situação essa que foi observado no experimento com a aplicação de óxido de Ca e Mg no sulco de plantio da cana que aumentou a concentração de Ca no solo e conseqüentemente um aumento no teor foliar de Ca (Figura 7).

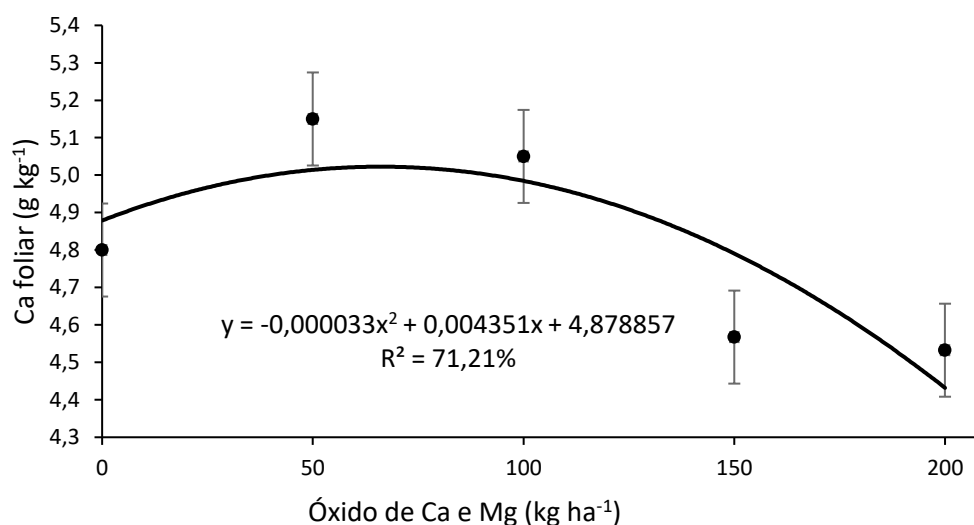


Figura 7. Valores médios da absorção foliar de Ca da cana planta (variedade CTC 9002) em função da aplicação de doses crescentes do óxido de Ca e Mg no sulco de plantio (Usina Santo Ângelo).

Fonte: O autor.

Segundo Ribeiro et al. (1999), as concentrações ideais de Ca nas folhas de cana estão compreendidas no intervalo de 9,4 a 11,5 g kg⁻¹, para o referido experimento nenhum dos tratamentos teve valores que chegaram próximos a essa referência até mesmo nos tratamentos com maior dose de óxido de Ca e Mg. Sabe-se que o aumento do desenvolvimento vegetativo (TCH) pode causar o efeito de diluição, o que também pode estar relacionado à diminuição do teor foliar de Ca em relação à testemunha que teve menor crescimento vegetativo e por isso maiores teores foliares de Ca (CRUSCIOL et al., 2014; GUIMARÃES et al., 2010), conforme já relatado anteriormente.

No entanto, utilizando os valores de referência para a cultura da cana citado por Raij et al. (1997), as concentrações foliares de Ca encontradas nesse experimento estariam dentro de um valor ideal para a cultura, isso porque o referido autor cita o intervalo entre 2 e 8 g kg⁻¹ como a faixa de teor de Ca adequada.

O estudo do efeito das doses sobre a concentração de Mg foliar, mostra que o aumento das doses do óxido de Ca e Mg não teve uma correlação com o aumento da absorção do foliar de Mg. Ao contrário do que foi para a concentração de Ca nas folhas, os resultados de Mg foliar na cana primeiro corte (cana planta) foram estatisticamente iguais para as diferentes doses do óxido onde se obteve uma média de 1,9 g kg⁻¹ de Mg (Tabela 5). Observa-se que todos os resultados estão um pouco abaixo do intervalo utilizado como referência para Ribeiro et al. (1999), variando de 2,2 a 4,5 g kg⁻¹ de Mg. No entanto, esses teores se enquadram

dentro do que é citado por Raij et al. (1997), sendo o adequado para a cultura da cana, visto que, de acordo com esse segundo autor, o intervalo ideal é de 1 a 3 g kg⁻¹ de Mg.

De um modo geral, uma provável causa de os teores foliares de macronutrientes não variarem em função do tipo de corretivo utilizado no solo se deve ao fato de que com maiores produtividades a cana apresenta um efeito de diluição em função da sua maior produção, como já comentado anteriormente. Prado et al. (2002), ao estudarem o uso de materiais corretivos (calcário e escórias de siderurgia), observou que as doses e as fontes corretivas também não afetaram o teor foliar de macronutrientes da cana-de-açúcar, ou quando estes tiveram menores concentrações foliares foi observado um maior crescimento vegetativo da cultura.

4.1.3 Teores de pH, P, Ca e Mg no solo

Os níveis de pH do solo na camada de 20 a 40 cm de profundidade (CaCl₂) apresentaram diferenças estatísticas quando se utilizou o óxido de Ca e Mg no sulco de plantio da cana planta em comparação com a testemunha sem uso do óxido (Tabela 6). Quando se fez a leitura do pH em CaCl₂ na camada de 20 a 40 cm, todos os tratamentos tiveram um aumento no pH do solo em comparação com a testemunha sem uso do óxido.

Tabela 6. Valores de pH do solo (determinado em CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹) nas camadas de 0-20 e 20-40 cm, 515 dias após a aplicação no sulco de plantio de doses do óxido de Ca e Mg, bem como um tratamento testemunha sem a aplicação de óxido (Usina Santo Ângelo).

Tratamento	Dose do produto -- kg ha ⁻¹ --	pH ⁽¹⁾	
		0-20	20-40
Testemunha	0	5,3 c	4,8 b
Óxido de Ca e Mg	50	5,3 c	5,3 a
Óxido de Ca e Mg	100	5,5 b	5,2 a
Óxido de Ca e Mg	150	5,7 a	5,7 a
Óxido de Ca e Mg	200	5,5 b	5,4 a
Média geral		5,4	5,2
C.V.		2,5%	4,6%

⁽¹⁾ Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Scott Knott a 0,1 de significância.

Fonte: O autor.

O estudo do efeito das doses sobre os teores de pH em CaCl_2 mostra que o comportamento das doses crescentes óxido de Ca e Mg aumentou o pH do solo até os valores máximos de 5,56 e 5,50 correspondente às dose de 179,36 e 161,94 kg ha^{-1} do óxido de Ca e Mg para as camadas de 0 a 20 e 20 a 40 cm de profundidade, respectivamente de acordo com as equações apresentadas na Figura 8.

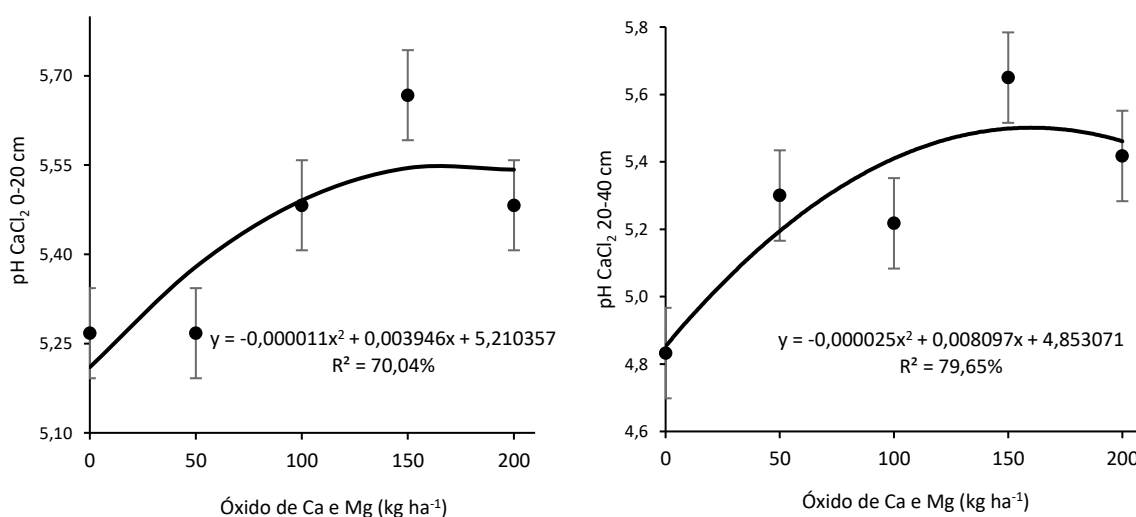


Figura 8. Valores médios do pH na camada 0 a 20 e 20 a 40 cm de profundidade (determinado em CaCl_2 0,01 mol L⁻¹) em solo com cana planta (variedade CTC 9002) em função da aplicação de doses crescentes do óxido de Ca e Mg no sulco de plantio (Usina Santo Ângelo).

Fonte: O autor.

A variação de pH em CaCl_2 existente de 0 a 20 cm foi de 5,3 a 5,7 (Tabela 6) o que, de acordo com Raji et al. (1997) representam acidez “MÉDIA” (pH entre 5,1 e 5,5) e “BAIXA” (5,6 e 6,0). Em função da aplicação do óxido no sulco de plantio em torno de 30 cm fez com que o subsolo na camada de 20 a 40 cm mantivesse os valores de pH variando entre 5,2 a 5,4 acidez MÉDIA” (RAIJ et al., 1997), enquanto a testemunha sem aplicação do óxido tivesse um aumento na acidez para valores de pH = 4,8 classificada como “ACIDEZ ALTA”. A maior acidez do solo atribuída à testemunha, no solo de 20 a 40 cm, certamente se deve ao não suprimento de bases que os óxidos forneceram ao solo, mantendo o solo com pH em condições de acidez “MÉDIA” (RAIJ et al., 1997).

Em relação ao P disponível no solo, as médias dos tratamentos não diferem estatisticamente em relação à testemunha na camada de 0 a 20 cm e 20 a 40 cm. No entanto, pode-se observar que todas as doses do óxido de Ca e Mg aplicado no sulco de plantio da cana-de-açúcar contribuíram com uma maior disponibilidade de P solúvel no solo em relação à testemunha, com destaque para a dose de 150 kg ha^{-1} do óxido que apresentou 20,6 e 18,2

mg dm⁻³ de P disponível, valores esses superiores em 37 e 32% em relação à testemunha, respectivamente para as camadas de 0 a 20cm e 20 a 40 cm do solo (Tabela 7).

Tabela 7. Teores de Fósforo (Resina) disponível no solo nas camadas de 0-20 e 20-40 cm, 515 dias após a aplicação no sulco de plantio de doses do óxido de Ca e Mg, bem como um tratamento testemunha sem a aplicação óxido (Usina Santo Ângelo).

Tratamento	Dose do produto -- kg ha ⁻¹ --	P	P
		0-20	20-40
		----- mg dm ⁻³ -----	
Testemunha	0	15,0 a	13,8 a
Óxido de Ca e Mg	50	17,3 a	14,0 a
Óxido de Ca e Mg	100	17,2 a	16,0 a
Óxido de Ca e Mg	150	20,6 a	18,2 a
Óxido de Ca e Mg	200	16,9 a	14,0 a
Média geral		18,5	16,3
C.V.		22,27%	23,54%

⁽¹⁾ Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Scott Knott a 0,1 de significância.

Fonte: O autor.

Esse efeito pode ser justificado devido a ação corretiva dos óxidos no solo que resulta indiretamente no aumentando da disponibilidade de fósforo, devido ao fato dos corretivos diminuírem os sítios de fixação presentes no solo (oxihidróxidos de Fe e Al) e a elevação do pH, que proporciona um ambiente com menores condições para a formação de fosfatos de Fe e Al insolúveis (NOVAIS; SMITH, 1999).

Em relação aos teores de Ca e Mg disponível no solo, as médias dos tratamentos não diferem estatisticamente em relação à testemunha na camada de 0 a 20 cm e 20 a 40 cm (Tabela 8). No entanto, pode-se observar uma tendência no aumento da disponibilidade de ambos os nutrientes nas camadas de 0 a 20 e 20 a 40 cm.

Tabela 8. Teores de Ca e Mg no solo nas camadas de 0-20 e 20-40 cm, 515 dias após a aplicação no sulco de plantio de doses do óxido de Ca e Mg, bem como um tratamento testemunha sem a aplicação do óxido (Usina Santo Ângelo).

Tratamento	Dose do produto	Ca		Mg	
		0-20	20-40	0-20	20-40
		----- cmol _c dm ⁻³ -----		----- cmol _c dm ⁻³ -----	
Testemunha	0	2,9 a	2,3 a	0,8 a	0,6 a
Óxido de Ca e Mg	50	3,2 a	2,3 a	0,9 a	0,7 a
Óxido de Ca e Mg	100	3,1 a	2,3 a	0,9 a	0,7 a
Óxido de Ca e Mg	150	3,0 a	2,4 a	1,0 a	0,7 a
Óxido de Ca e Mg	200	3,0 a	2,5 a	0,9 a	0,8 a
Média geral		3,0	2,4	0,9	0,7
C.V.		7,04%	10,29%	9,56%	13,33%

⁽¹⁾ Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Scott Knott a 0,1 de significância.

Fonte: O autor.

O estudo das doses sobre a disponibilidade de Ca no solo, na camada de 0 a 20 cm de profundidade, mostra que o comportamento das doses crescentes do óxido aumentou a disponibilidade de Ca até os valores máximos de 3,15 cmol_c dm⁻³ que corresponde à dose de 100,45 kg ha⁻¹ do óxido de acordo com as equações apresentadas na Figura 9.

O estudo das doses crescentes do óxido de Ca e Mg sobre a disponibilidade de Ca no solo, na camada de 20 a 40 cm de profundidade, mostra que o óxido aumentou a disponibilidade de Ca a uma taxa de 0,1 cmol_c dm⁻³ para cada 100 kg ha⁻¹ do material acrescentado no solo de acordo com as equações apresentadas na Figura 9.

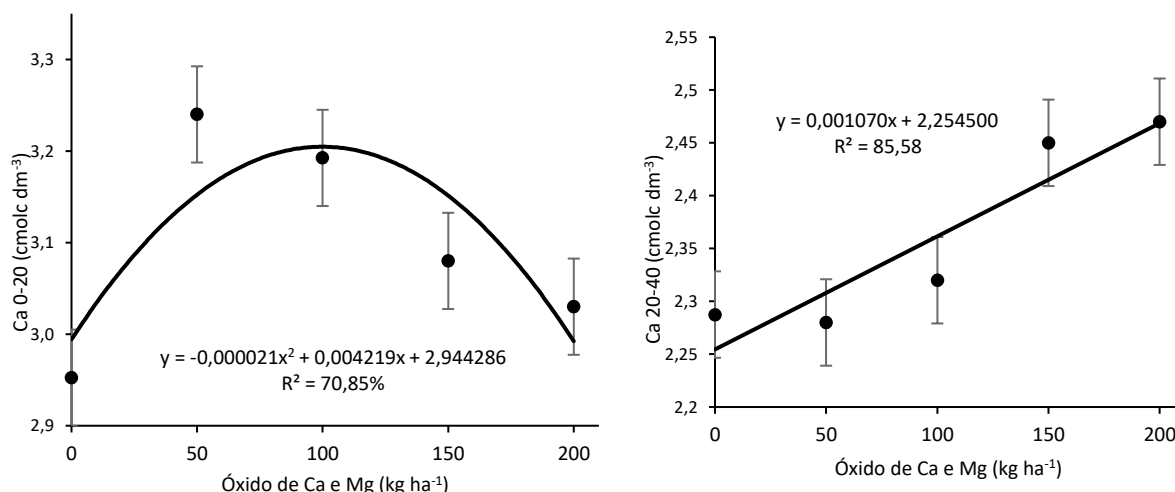


Figura 9. Teores médios de Ca disponível na camada 0 a 20 e 20 a 40 cm de solo sob cana planta (variedade CTC 9002) em função da aplicação de doses crescentes do óxido de Ca e Mg no sulco de plantio (Usina Santo Ângelo).

Fonte: O autor.

O estudo do efeito das doses sobre a disponibilidade de Mg no solo, na camada de 0 a 20 cm de profundidade, mostra que o comportamento das doses crescentes do óxido aumentou a disponibilidade do Mg até os valores máximos de $0,93 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ que corresponde à dose de $130,43 \text{ kg ha}^{-1}$ do óxido de Ca e Mg de acordo com as equações apresentadas na Figura 10.

O estudo do efeito das doses sobre a disponibilidade de Mg no solo, na camada de 20 a 40 cm de profundidade, mostra que o comportamento das doses crescentes do óxido aumentou a disponibilidade de Mg a uma taxa de $0,1 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ para cada 100 kg de óxido, até o valor de $0,8 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de acordo com as equações apresentadas na Figura 10.

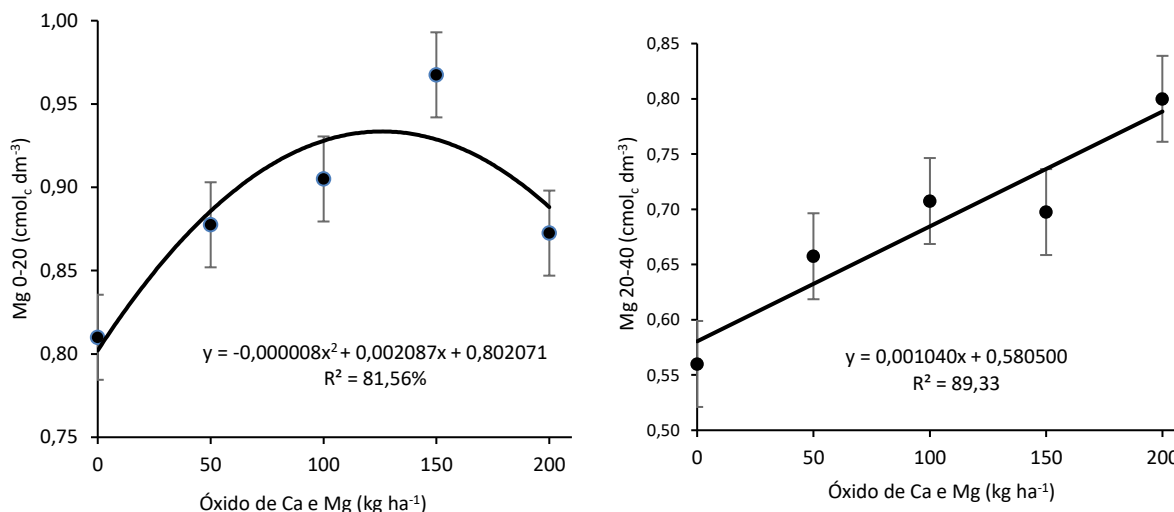


Figura 10. Teores médios de Mg disponível na camada 0 a 20 cm de solo sob cana planta (variedade CTC 9002) em função da aplicação de doses crescentes do óxido de Ca e Mg no sulco de plantio (Usina Santo Ângelo).

Fonte: O autor.

A maioria dos solos brasileiros são intemperizados e apresentam baixos níveis de Ca e Mg trocáveis, especialmente em camadas subsuperficiais. Dessa forma, as raízes das plantas tendem a se concentrar mais próximas à superfície do solo, reduzindo a absorção de nutrientes que estão distribuídos em um maior volume de solo, além de tornar as plantas suscetíveis a estresses hídricos (KORNDÖRFER, 2018). Neste contexto, todos os tratamentos do referido experimento tiveram ganhos desses nutrientes disponíveis no solo, principalmente o Ca e o Mg na camada de 20 a 40 cm de profundidade no solo.

Outro ponto a ser levado em consideração se deve ao fato do solo originalmente ter sido feita uma boa preparação de solo com incorporação de corretivos e torta de filtro no solo, além da reforma da área com a cultura da soja, conferindo ao mesmo boas condições para um maior desenvolvimento da cana-de-açúcar. E mesmo sob essas boas condições de correção que o solo originalmente apresentava, foi observado que a aplicação do óxido de Ca e Mg além de apresentar ganhos de produtividade em relação ao TCH e ao TAH, houve uma tendência de aumentar a disponibilidade do Ca e do Mg no solo.

4.1.4 Teores de B, Cu, Fe, Mn e Zn no solo

As médias dos tratamentos diferem entre as doses do óxido de Ca e Mg para o teor de B na camada 0 a 20 cm, onde os tratamentos com 100 e 150 kg ha⁻¹ do óxido superou a testemunha em 13 e 26% respectivamente, e superou também os demais tratamentos. Em

relação ao Cu disponível na profundidade de 0 a 20 e 20 a 40 cm, não foi observado diferenças estatísticas entre os tratamentos e a testemunha (Tabela 9).

Tabela 9. Teores de Boro e Cobre (Mehlich-3) no solo nas camadas de 0-20 e 20-40 cm, 515 dias após a aplicação no sulco de plantio de doses do óxido de Ca e Mg, bem como um tratamento testemunha sem a aplicação do óxido (Usina Santo Ângelo).

Tratamento	Dose do produto --- kg ha ⁻¹ ---	B ⁽¹⁾		Cu ⁽¹⁾	
		0-20	20-40	0-20	20-40
		----- mg dm ⁻³ -----			
Testemunha	0	0,08 b	0,06 a	3,25 a	3,38 a
Óxido de Ca e Mg	50	0,08 b	0,07 a	3,24 a	3,47 a
Óxido de Ca e Mg	100	0,09 a	0,06 a	3,23 a	3,47 a
Óxido de Ca e Mg	150	0,10 a	0,06 a	3,26 a	3,38 a
Óxido de Ca e Mg	200	0,07 b	0,09 a	3,22 a	3,36 a
Média geral		0,08	0,07	3,26	3,41
C.V.		13,54%	32,60%	6,22%	6,91%

⁽¹⁾ Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Scott Knott a 0,1 de significância.

Fonte: O autor.

As médias dos tratamentos diferem entre as doses do óxido de Ca e Mg para os teores de Fe na camada 20 a 40 cm e para os teores de Zn na camada 0 a 20 cm de solo. Observou-se que os tratamentos com 150 e 200 kg ha⁻¹ do óxido de Ca e Mg apresentaram os menores teores de Fe disponível na camada 20 a 40 cm de profundidade quando comparados aos demais tratamentos e a testemunha. Enquanto isso, para o Zn disponível na camada 0 a 20 cm de solo, os tratamentos com 100 e 150 kg ha⁻¹ do Óxido de Ca e Mg superam os demais tratamentos e a testemunhas com maiores teores de Zn disponível (Tabela 10).

Tabela 10. Teores de Ferro, Manganês e Zinco (Mehlich-3) no solo nas camadas de 0-20 e 20-40 cm, 515 dias após a aplicação no sulco de plantio de doses do óxido de Ca e Mg, bem como um tratamento testemunha sem a aplicação do óxido (Usina Santo Ângelo).

Tratamento	Dose do produto -- kg ha ⁻¹ --	Fe ⁽¹⁾		Mn ⁽¹⁾		Zn ⁽¹⁾	
		0-20	20-40	0-20	20-40	0-20	20-40
		----- mg dm ⁻³ -----					
Testemunha	0	43,50 a	50,70 a	19,24 a	15,59 a	0,55 b	0,43 a
Óxido de Ca e Mg	50	43,84 a	51,99 a	21,26 a	16,86 a	0,59 b	0,51 a
Óxido de Ca e Mg	100	44,12 a	49,85 a	23,78 a	17,25 a	0,77 a	0,43 a
Óxido de Ca e Mg	150	42,79 a	46,63 b	23,28 a	17,05 a	0,71 a	0,49 a
Óxido de Ca e Mg	200	40,59 a	45,93 b	21,62 a	15,93 a	0,64 b	0,42 a
Média geral		42,9	49,01	21,8	16,53	0,67	0,46
C.V.		5,02%	6,2%	15,07%	9,99%	17,70%	18,69%

⁽¹⁾ Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Scott Knott a 0,1 de significância.

Fonte: O autor.

O uso de óxidos ao corrigir a acidez do solo, assim como os calcários incorporados no solo aumenta a atividade microbiana e a liberação dos nutrientes pela mineralização da matéria orgânica (WISNIEWSKI E HOLTZ, 1997) o que pode justificar o aumento nos teores de Zn no solo. No entanto, a elevação do pH no solo recorrente de práticas corretivas podem diminuir a disponibilidade dos micronutrientes B, Fe, Mn e Zn no solo (CAIRES et al., 2000). Fato esse que corrobora com os dados observados na camada de 20-40, onde foi colocado o óxido no sulco de plantio e observou-se menores teores de Fe com as maiores doses dos tratamentos testados.

4.2 Experimento 2 (Usina Buriti – Buritizal-SP)

4.2.1 Produção de colmos (TCH) de açúcar (TAH) açúcar total recuperável (ATR)

A aplicação dos tratamentos alterou significativamente o TAH em cana planta, cujas doses de 50, 100 e 200 kg ha⁻¹ do óxido de Ca e Mg promoveu incrementos de aproximadamente 2, 3 e 8 t ha⁻¹ em TAH respectivamente, quando comparadas com a testemunha (Tabela 11).

Tabela 11. Produção de colmos por hectare (TCH), de açúcar (TAH) e ATR da cana planta (variedade CTC 4) aos 443 dias após aplicação (DAA) em função da aplicação de doses crescentes do óxido de Ca e Mg, bem como um tratamento testemunha sem a aplicação do óxido (Usina Buriti).

Tratamento	Dose do produto	Dose de CaO	Dose de MgO	TCH ⁽¹⁾	TAH ⁽¹⁾	ATR ⁽¹⁾
	----- kg ha ⁻¹ -----			-----t ha ⁻¹ -----	kg t ⁻¹	
Testemunha	0	0	0	139,0 a	17,6 b	127,2 a
Óxido de Ca e Mg	50	23,0	16,5	146,0 a	18,9 a	129,4 a
Óxido de Ca e Mg	100	46,0	33,0	153,7 a	20,3 a	132,2 a
Óxido de Ca e Mg	150	69,0	49,5	138,4 a	17,6 b	127,3 a
Óxido de Ca e Mg	200	92,0	66,0	143,2 a	19,3 a	134,8 a
Média geral				144,0	18,7	130,2
C.V.				7,6 %	9,12 %	6,5 %

⁽¹⁾ Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Scott Knott a 0,1 de significância.

Fonte: O autor.

Silva et al. (2018), afirma que a melhoria observada no alongamento das raízes com adições de Mg pode estar ligada ao alívio da toxicidade do H⁺ pelo Mg, fato esse que pode justificar uma maior produção de TAH por hectare, uma vez que uma cultura com maior sistema radicular desenvolvido tem maior resistência a estresses hídricos, além de uma melhor nutrição da planta permitindo a mesma uma maior produtividade.

Outro ponto que pode justificar ganhos de produtividade de açúcar se deve ao fato do óxido, aplicado no fundo do sulco, fornece Ca e Mg em profundidades maiores que os corretivos convencionais, melhorando o equilíbrio entre as bases do solo. O equilíbrio entre as

bases do solo é importante para a nutrição adequada de todas as culturas, principalmente as cultivadas em solos pobres em Ca e Mg (USHERWOOD, 1982 apud REIS JUNIOR, 2001).

Medeiros et al. (2008) avaliando a absorção de nutrientes e a produção inicial de matéria seca de plantas de milho, observaram que a produção de matéria seca e a altura de plantas de milho no estágio inicial de desenvolvimento decresceram com o aumento da relação Ca:Mg no solo, fato esse que também pode justificar uma melhor qualidade da cana-de-açúcar produzida com maiores teores de açúcar por hectare. Uma vez que a cana também tem uma grande dependência do Mg que atua na produção de Biomassa (carboidratos), produção de foto-assimilados (açúcar), auxilia também no transporte dos carboidratos e foto-assimilados das folhas até o colmo (KORNDORFER, 2020).

A resposta positiva da cana-de-açúcar à aplicação de materiais corretivos é bem conhecida, em função da melhoria do ambiente radicular, principalmente em condições em que o solo utilizado para o plantio da cana for de elevada acidez. Nessas condições a calagem, promove a neutralização da acidez do solo, aumentando a disponibilidade dos macronutrientes e, ainda, possibilitando a proliferação intensa das raízes, com reflexos positivos no crescimento da planta (GIRO FILHO; SERAFINI NETO, 2013; ROSSETTO et al., 2004;)

4.2.2 Concentração foliar de N, P, K, Ca, Mg e S

As doses do óxido de Ca e Mg apresentaram maiores teores foliar de Ca, Mg e K em relação a testemunha, mostrando a eficiência que o uso do óxido têm no fornecimento de Ca e Mg para a cultura da cana-de-açúcar, equilibrando as bases do solo e promovendo uma nutrição mais equilibrada (Tabela 12).

Tabela 12. Concentração foliar de N, P, K, Ca, Mg e S da cana planta (variedade CTC4) aos 315 dias após a aplicação (DAA) em função da aplicação de doses óxido de Ca e Mg, bem como um tratamento testemunha sem a aplicação de CaO e MgO (Usina Buriti).

Tratamento	Dose do produto	Teor foliar ⁽¹⁾					
		N	P	K	Ca	Mg	S
	-- kg ha ⁻¹ --	----- g kg ⁻¹ -----					
Testemunha	0	22,3 a	5,6 a	9,7 c	3,5 b	0,9 b	0,3 a
Óxido de Ca e Mg	50	21,7 a	5,2 a	12,6 b	4,8 a	1,4 a	0,4 a
Óxido de Ca e Mg	100	22,0 a	5,8 a	14,2 a	4,3 a	1,5 a	0,4 a
Óxido de Ca e Mg	150	21,6 a	4,7 a	14,5 a	3,9 b	1,4 a	0,4 a
Óxido de Ca e Mg	200	21,6 a	5,5 a	14,3 a	3,6 b	1,4 a	0,4 a
Média geral		22,1	5,5	13,6	4,2	1,4	0,4
C.V.		2,30%	10,82%	6,26%	12,66%	17,49%	19,33%

⁽¹⁾ Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Scott Knott a 0,1 de significância.

Fonte: O autor.

Para a concentração do K foliar, todos os tratamentos superaram a testemunha, onde a dose de 50 kg ha⁻¹ de óxido de Ca e Mg foi inferior aos demais tratamentos, porém também foi superior a testemunha (Tabela 12). Segundo os valores de referência para a cultura da cana citados por Raij et al. (1997), os resultados de K foliar estariam dentro do intervalo entre 10 e 16 g kg⁻¹, o qual é considerado ideal para a cultura.

Em relação à concentração de Ca foliar, todos os tratamentos superaram a testemunha, onde a maior concentração do nutriente foi alcançada com a dose de 50 kg ha⁻¹ de óxido de Ca e Mg (Tabela 12). Segundo Raij et al. (1997), esses valores de Ca foliar estariam dentro de um valor do desejado e ideal para a cultura, isso porque o referido autor cita o intervalo entre 2 a 8 g kg⁻¹ como a faixa de teor de Ca adequada para a cultura.

Quanto à concentração do Mg foliar, assim como para o Ca foliar, todos os tratamentos superaram a testemunha, e a maior concentração do nutriente foi alcançada com a dose de 100 kg ha⁻¹ de óxido de Ca e Mg (Tabela 12). Segundo os valores de referência para a cultura da cana citados por Raij et al. (1997), os resultados de Mg foliar estariam dentro do intervalo entre 1 e 3 g kg⁻¹, como a faixa de teor de Mg adequada para a cultura.

O estudo do efeito das doses sobre a absorção de Ca foliar, mostra que o comportamento das doses crescentes do óxido de Ca e Mg aumentou a absorção do foliar de

Ca até os valores máximos de 4,44 g kg⁻¹ de folha que corresponde à dose de 91,79 kg ha⁻¹ do óxido de Ca e Mg de acordo com as equações apresentadas na Figura 11.

O estudo do efeito das doses sobre a absorção de Mg foliar mostra que o comportamento das doses crescentes do óxido de Ca e Mg aumentou a absorção do foliar de Mg até os valores máximos de 1,50 g kg⁻¹ de folha que corresponde à dose de 132,04 kg ha⁻¹ do óxido de Ca e Mg de acordo com as equações apresentadas na Figura 11.

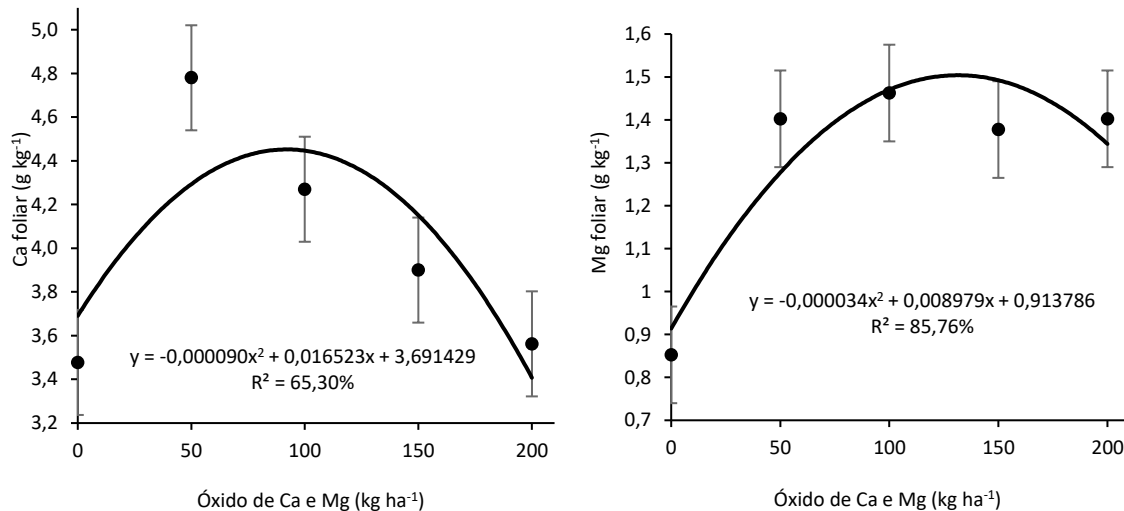


Figura 11. Valores médios da absorção foliar de Ca e Mg da cana planta (variedade CTC 4) em função da aplicação de doses crescentes do óxido de Ca e Mg no sulco de plantio (Usina Buriti).

Fonte: O autor.

Em relação aos demais nutrientes foliares analisados estes não tiveram diferenças estatísticas entre a testemunha e os tratamentos com óxido de Ca e Mg, no entanto os valores observados de N e P observados foram um pouco menores em valores absolutos quando comparado com a testemunha. Uma hipótese que poderia justificar isto, refere-se ao efeito diluição, ou seja, a concentração dos nutrientes é diluída com maior crescimento da planta, fato que é amplamente relatado na literatura (JARRELL; BEVERLY, 1981).

Prado et al. (2003) verificaram que houve incremento nos teores de Ca, Mg e P em folhas da cana-de-açúcar na época da colheita para a aplicação do calcário. Esses mesmos autores alertam que a amostragem das folhas das plantas pode ser uma fonte importante de variação porque o tipo de folha define a sua idade, e tal fato pode influir nas interpretações do estado nutricional da planta.

4.2.3 Teores de pH, P, Ca e Mg no solo

Diferenças nos níveis de pH na camada de 0 a 20 cm de solo (CaCl_2) foram obtidas quando se utilizou o óxido no sulco de plantio em comparação com a testemunha sem uso da testemunha. A exceção foi para as doses de 50 e 200 kg ha^{-1} de óxido de Ca e Mg que apresentaram leitura do pH em CaCl_2 semelhante à testemunha. Na camada de 20 a 40 cm todos os tratamentos não diferiram estatisticamente em relação à testemunha, mas pode se observar que a dose de 100 kg ha^{-1} teve um valor de pH, 11% superior à testemunha (Tabela 13).

Tabela 13. Valores de pH do solo (determinado em CaCl_2 0,01 mol L^{-1}) nas camadas de 0-20 e 20-40 cm de solo cultivado com cana planta (variedade CTC 4), 550 dias após a aplicação no sulco de plantio de doses crescentes do óxido de Ca e Mg, bem como um tratamento testemunha sem a aplicação do óxido (Usina Buriti).

Tratamento	Dose do produto -- kg ha^{-1} --	pH ⁽¹⁾	
		CaCl_2 0-20	CaCl_2 20-40
Testemunha	0	4,0 b	3,6 a
Óxido de Ca e Mg	50	4,1 b	3,7 a
Óxido de Ca e Mg	100	4,9 a	4,0 a
Óxido de Ca e Mg	150	4,8 a	3,7 a
Óxido de Ca e Mg	200	4,3 b	3,7 a
Média geral		4,4	3,8
C.V.		10,34%	7,84%

⁽¹⁾ Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Scott Knott a 0,1 de significância.

Fonte: O autor.

O estudo do efeito das doses sobre o pH CaCl_2 na camada de 0 a 20 cm de profundidade no solo mostra que o comportamento das doses crescentes do óxido de Ca e Mg aumentou os teores de pH até os valores máximos de pH = 4,69, que corresponde à dose de 119,95 kg ha^{-1} do óxido de Ca e Mg de acordo com as equações apresentadas na Figura 12. Diferentes autores testando aplicação de corretivos no solo incorporados na linha do plantio, relataram que a aplicação de calcário proporcionou aumentos significativos no pH do solo na profundidade de 0-20 cm. (KORNDORFER, 2020; NASCENTE; COBUCCI, 2015; SILVA et al., 2007).

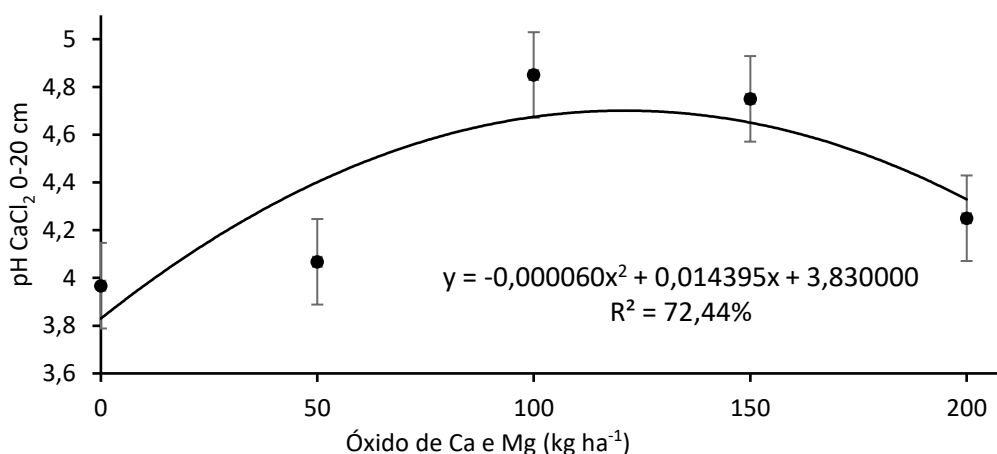


Figura 12. Valores médios do pH na camada 0 a 20 cm de profundidade (determinado em CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹) em solo com cana planta (variedade CTC 4) em função da aplicação de doses crescentes do óxido de Ca e Mg no sulco de plantio (Usina Buriti).

Fonte: O autor.

Teores de P disponível na camada de 0 a 20 cm não ocorreu diferença estatística entre os tratamentos e os teores mais disponíveis de P foram obtidos com a aplicação de 200 kg ha⁻¹ de óxido de Ca e Mg. Por outro lado, na camada de 20 a 40 cm, ocorreu diferença estatística entre os teores de P e o maior teor de P disponível no solo foi observado no tratamento com 50 kg ha⁻¹ do óxido aplicado (Tabela 14).

Tabela 14. Teores de Fósforo (Resina) disponível no solo nas camadas de 0-20 e 20-40 cm, 550 dias após a aplicação no sulco de plantio de doses do óxido de Ca e Mg, bem como um tratamento testemunha sem a aplicação do óxido (Usina Buriti).

Tratamento	Dose do produto -- kg ha ⁻¹ --	P ⁽¹⁾	
		0-20	20-40
		----- mg dm ⁻³ -----	
Testemunha	0	81,2 a	28,4 c
Óxido de Ca e Mg	50	59,8 a	47,9 a
Óxido de Ca e Mg	100	49,8 a	38,1 b
Óxido de Ca e Mg	150	38,4 a	17,9 d
Óxido de Ca e Mg	200	90,9 a	15,7 d
Média geral		83,2	44,7
C.V.		42,78%	23,02%

⁽¹⁾ Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Scott Knott a 0,1 de significância.

Fonte: O autor.

Crusciol et al. 2014, observou que a aplicação de calcário ao diminuir os sítios de ligação que fixam o P, assim como os óxidos podem promover no solo, um aumento nos

teores de P tanto na camada superficial do solo quanto nas camadas subsequentes. Watanabe et al. 2004, testando calcário com vinhaça, observaram que não se obteve alteração significativa nos teores de P no solo, atribuindo esses resultados ao fato de que os teores desse nutrientes no solo serem originalmente elevados em função do manejo da fertilidade adotado em áreas cultivadas com a cana-de-açúcar que além de serem bastante adubada com vinhaça frequentemente recebe a aplicação de P durante a reforma, esse mesmo raciocínio pode ser empregado ao uso dos óxidos no solo, justificando o porquê dessa alterações não terem sido significativa.

Em relação aos teores disponíveis de Ca no solo, na camada de 0 a 20 cm observou-se diferenças estatísticas entre os tratamentos, sendo que a aplicação de 100 kg ha⁻¹ óxido de Ca e Mg foi superior à testemunha e aos demais tratamentos, sendo que na camada de 20 a 40 cm não foi observado diferença entre os tratamentos. Quanto ao teor de Mg disponível na camada de 0 a 20 cm de profundidade, apenas o tratamento com 50 kg ha⁻¹ de óxido de Ca e Mg foi estatisticamente inferior aos demais, e na camada de 20 a 40 cm não foi observado diferença entre os tratamentos aplicados (Tabela 15).

Tabela 15. Teores de Ca e Mg no solo nas camadas de 0-20 e 20-40 cm, 550 dias após a aplicação no sulco de plantio de doses do óxido de Ca e Mg, bem como um tratamento testemunha sem a aplicação do óxido (Usina Buriti).

Tratamento	Dose do produto -- kg ha ⁻¹ --	Ca ⁽¹⁾		Mg ⁽¹⁾	
		0-20	20-40	0-20	20-40
		----- cmol _c dm ⁻³ -----			
Testemunha	0	2,1 b	1,1 a	0,8 a	0,6 a
Óxido de Ca e Mg	50	1,4 c	1,0 a	0,5 b	0,3 a
Óxido de Ca e Mg	100	2,6 a	1,2 a	1,0 a	0,6 a
Óxido de Ca e Mg	150	2,0 b	1,4 a	0,9 a	0,5 a
Óxido de Ca e Mg	200	1,7 c	1,4 a	0,7 a	0,5 a
Média geral		1,9	1,2	0,8	0,5
C.V.		16,55	22,69%	24,25%	32,64%

⁽¹⁾ Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Scott Knott a 0,1 de significância.

Fonte: O autor.

O estudo de regressão em relação às doses do óxido sobre a disponibilidade de Ca no solo, na camada de 0 a 20 cm de profundidade, mostra que o comportamento das doses crescentes não teve correlação com a disponibilidade de Ca. No entanto, o estudo do efeito

das doses sobre a disponibilidade de Ca no solo, na camada de 20 a 40 cm de profundidade, mostra que o comportamento das doses crescentes do óxido de Ca e Mg aumentou a disponibilidade de Ca a uma taxa de $0,2 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ para cada 100 kg de óxido de Ca e Mg, até o valor máximo de $1,4 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ alcançado com a dose de 200 ha^{-1} , de acordo com as equações apresentadas na Figura 13.

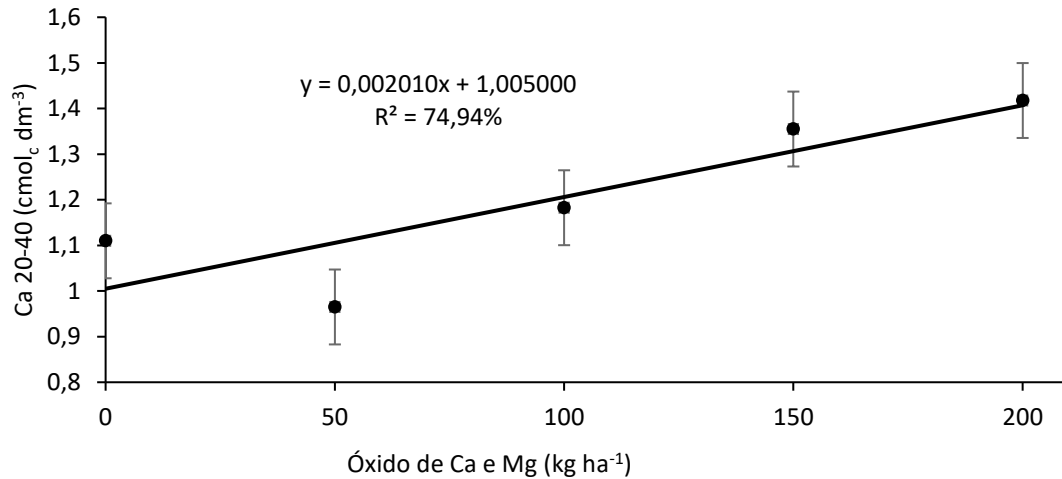


Figura 13. Teores médios de Ca disponível na camada 20 a 40 cm de solo sob cana planta (variedade CTC 4) em função da aplicação de doses crescentes do óxido de Ca e Mg no sulco de plantio (Usina Buriti).

Fonte: O autor.

A elevação nos teores de Ca no em subsuperfície do solo, pode ser justificado tanto pelo fato deste ter sido aplicado no sulco de plantio quanto pelo deslocamento de partículas de calcário no perfil do solo pelos canais deixados pela decomposição de raízes e pela formação de pares entre as bases (Ca e Mg), e ácidos orgânicos de alta solubilidade estariam permitindo o carreamento desses pares às camadas subsuperficiais do perfil do solo (MIYAZAWA et al., 2001).

4.2.4 Teores de B, Cu, Fe, Mn e Zn no solo

Menores teores de Cu foram observados na camada de 20 a 40 cm de profundidade, onde todos os tratamentos com óxido de Ca e Mg diminuíram a disponibilidade de Cu no solo (Tabela 16).

Tabela 16. Teores de Boro e Cobre (Mehlich-3) no solo nas camadas de 0-20 e 20-40 cm, 550 dias após a aplicação no sulco de plantio de doses do óxido de Ca e Mg, bem como um tratamento testemunha sem a aplicação do óxido (Usina Buriti).

Tratamento	Dose do produto -- kg ha ⁻¹ --	B ⁽¹⁾		Cu ⁽¹⁾	
		0-20	20-40	0-20	20-40
		----- mg dm ⁻³ -----			
Testemunha	0	0,12 a	0,14 a	3,13 a	3,90 a
Óxido de Ca e Mg	50	0,10 a	0,11 a	2,50 a	2,60 b
Óxido de Ca e Mg	100	0,11 a	0,14 a	2,53 a	2,61 b
Óxido de Ca e Mg	150	0,11 a	0,13 a	2,65 a	2,67 b
Óxido de Ca e Mg	200	0,08 a	0,15 a	2,45 a	2,85 b
Média geral		0,10	0,13	2,66	2,92
C.V.		37,58%	34,69%	17,52%	22,83%

⁽¹⁾ Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Scott Knott a 0,1 de significância.

Fonte: O autor.

Na análise de Zn no solo, os tratamentos com 50, 100 e 150 kg ha⁻¹ de óxido de Ca e Mg apresentaram uma redução na sua disponibilidade quando comparado com a testemunha (Tabela 17).

Tabela 17. Teores de Ferro, Manganês e Zinco (Mehlich-3) no solo nas camadas de 0-20 e 20-40 cm, 550 dias após a aplicação no sulco de plantio de doses do óxido de Ca e Mg, bem como um tratamento testemunha sem a aplicação do óxido (Usina Buriti).

Tratamento	Dose do produto -- kg ha ⁻¹ --	Fe ⁽¹⁾		Mn ⁽¹⁾		Zn ⁽¹⁾	
		0-20	20-40	0-20	20-40	0-20	20-40
		----- mg dm ⁻³ -----					
Testemunha	0	86,72 a	86,34 a	12,47 a	10,28 a	2,54 a	1,69 a
Óxido de Ca e Mg	50	65,40 a	76,95 a	10,93 a	7,86 a	1,59 a	1,18 b
Óxido de Ca e Mg	100	67,10 a	72,71 a	11,12 a	8,66 a	2,04 a	1,01 b
Óxido de Ca e Mg	150	79,68 a	71,18 a	12,61 a	8,07 a	2,04 a	0,89 b
Óxido de Ca e Mg	200	71,39 a	67,30 a	9,88 a	8,64 a	2,26 a	1,46 a
Média geral		74,06	74,89	11,40	8,70	2,09	1,24
C.V.		21,98%	17,86%	19,71%	17,52%	31,94%	27,89%

⁽¹⁾ Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Scott Knott a 0,1 de significância.

Fonte: O autor.

Sobral et al., (2011), estudando aplicação de calcário na cana-de-açúcar, que também tem efeito corretivo no solo assim como os óxidos, observou que o aumento do pH do solo pode reduzir o teor de Al, contribuir para o acréscimo nos teores de Ca, Mg, Cu e Zn no solo. O excesso de calcário, assim como o uso de maiores doses do óxido aplicado no solo pode resultar na deficiência de cobre, ferro manganês e zinco, além da menor disponibilidade de fósforo e na menor absorção do boro. Esse fato é mais comum de ocorrer em solos arenosos, menor poder tampão e do menor teor de argila e matéria orgânica, em comparação com os solos mais argilosos (BRADY; WEIL, 2012).

5 CONCLUSÃO

Na Usina Santo Ângelo (Experimento 1) houve aumento de produtividade para TCH e TAH em função das doses 100, 150 e 200 kg ha⁻¹ do óxido de Ca e Mg aplicado no sulco de plantio, sendo as maiores produtividades alcançadas com a dose de 150 kg ha⁻¹ do óxido de Ca e Mg, que proporcionou incrementos de aproximadamente 13% em TCH e 19% em TAH em relação a testemunha

Na Usina Buriti (Experimento 2) houve aumento na produção de TAH em função das doses 50, 100 e 200 kg ha⁻¹ do óxido de Ca e Mg aplicado no sulco de plantio, sendo as maiores produtividades alcançadas com a dose de 100 kg ha⁻¹ do óxido de Ca e Mg, que proporcionou incrementos de aproximadamente 15% em TAH em comparação com a testemunha.

Houve aumento nos níveis de Ca e Mg trocáveis no solo e nos teores foliares desses nutrientes com a aplicação do óxido de Ca e Mg, ocorrendo também um aumento de pH na linha de plantio da cana-de-açúcar nas camadas de 0 a 20 e 20 a 40 cm de profundidade em relação à testemunha.

REFERÊNCIAS

ALCARDE, J. C. Corretivos de acidez dos solos: características e interpretações técnicas. São Paulo: **Associação Nacional para Difusão de Adubos**, 2005. (Boletim técnico, 6).

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift, Stuttgart**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>. Disponível em: <https://www.ingentaconnect.com/content/schweiz/mz/2013/00000022/00000006/art00008?toKen=004f1a11bab2a729bc7e41225f40382d2c2b4652767446624550576b34272c5f7b3d6d3f4e4b34a>. Acesso em: 16 mar. 2020.

ANDRADE, P. P.; ANDRADE, L. A. B.; NOGUEIRA, F. D. Métodos de recomendação, doses de calcário e variedades no rendimento agrícola e qualidade de cana-de-açúcar (1º corte). **Revista Agroveterinária do Sul de Minas**, Varginha, v. 1, p. 62-76, 2019. DOI: s. /. Disponível em: <https://periodicos.unis.edu.br/index.php/agrovetsulminas/article/view/267>. Acesso em: 14 ago. de 2020.

ARAYA T.; NOGUCHI K.; TERASHIMA I. Effects of carbohydrate accumulation on photosynthesis differ between sink and source leaves of Phaseolus vulgaris L. **Plant & Cell Physiology**, Kyoto, v.47, p. 644-652, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1093/pcp/pcj033> Disponível em: <https://academic.oup.com/pcp/article/47/5/644/1844202>. Acesso em: 14 ago. de 2020.

BERNARDI, A. C. C.; MACHADO, P. L. O. A.; SILVA, C. A. Fertilidade do solo e demanda por nutrientes no Brasil. In: MANZATTO, C. M.; FREITAS JÚNIOR, E.; PERES, J. R. R. **Uso agrícola dos solos brasileiros**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. p. 61-77.

BONATO, E. R; BERTAGNOLLI, P. F; IGNACZAK, J. C. Desempenho de cultivares de soja em três épocas de semeadura, no Rio grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília,DF, v. 33, n. 6, p. 879-884, 1998.

BORTOLANZA, D. R.; KLEIN, V. A. Soil Chemical and Physical Properties on na Inceptisol after Liming (Surface and Incorporated) Associated with Gypsum Application. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 40, e0150377, p. 1-13 mês fev. 2016. DOI: 10.1590/18069657rbs20150377

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2012.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 35, de 04 de julho de 2006**. Dispõe sobre as normas sobre especificações e garantias, tolerâncias, registro, embalagem e rotulagem dos corretivos de acidez, de alcalinidade e de sodicidade e dos condicionadores de solo, destinados à agricultura. Brasília, DF, 2006. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/in-35-de-4-7-2006-corretivos.pdf>. Acesso em: 14 ago. 2020.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 39, de 08/08/2018**. Estabelece as regras sobre definições, exigências, especificações, garantias, registro de produto, autorizações, embalagem, rotulagem, documentos fiscais, propaganda e tolerâncias dos fertilizantes minerais destinados à agricultura. Brasília, DF, 2018. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacoes>. Acesso em: 14 agosto 2020.

BRASSIOLI, F. B.; PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M. Avaliação agronômica da escória de siderurgia na cana-de-açúcar durante cinco ciclos de produção. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 2, p. 381- 387, 2009.

CAIRES, E. F.; BANZATTO, D. A.; FONSECA, A. F. Calagem na superfície em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Ponta Grossa, v. 24, p. 161-169, jan/mar. 2000.

CAIRES, E. F.; FELDHAUS, I. C.; BLUM, J. Crescimento radicular e nutrição da cevada em função da calagem e aplicação de gesso. **Bragantia**, Campinas, v. 60, n.3. p. 213-223, 2001.

CAIRES, E.F.; BLUM, J.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J.; KUSMAN, M. T. Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.2, p. 275-286, mar/abr. 2003.

CAIRES, E. F.; GARBUIO, F. J.; ALLEONI, L. R. F.; CAMBRI, M. A. Calagem superficial e cobertura de aveia preta antecedendo os cultivos de milho e soja em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 1, p. 87-98, jan/fev. 2006.

CAKMAK I. Magnesium in crop production, food quality and human health. **Plant and Soil**, Netherlands, v. 368, p. 1-4, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-013-1781-2>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11104-013-1781-2#article-info>. Acesso em: 14 ago. 2020.

CAKMAK, I.; KIRKBY, E. A. Role of magnesium in carbon partitioning and alleviating photooxidative damage. **Physiologia Plantarum**, Sweden, v. 133, n.4, p.692–704, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2007.01042.x>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1399-3054.2007.01042.x>. Acesso em: 14 ago. 2020.

CARLIN, S. D.; SANTOS, D. M. M. Indicadores fisiológicos da interação entre déficit hídrico e acidez do solo em cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 9, p. 1106- 1113, 2010.

CARVALHO, R.; FURTINE NETO, A. E.; NILTON, C.; FERNANDES, L. A. Dessorção de fósforo por silício em solos ácidos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 1, p. 69-74, 2000.

CENTRO DE TECNOLOGIA CANAVIEIRA. **Bula Técnica Variedades**. São Paulo: Centro de Tecnologia Canavieira, 2018. Disponível em: <https://ctc.com.br/produtos>. Acesso em: 19 jan. 2020.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (Brasil). **Acompanhamento da safra brasileira: cana-de-açúcar**, v. 5 - safra 2018/19, n. 1 - Primeiro levantamento. Brasília, DF, 2019. 66 p. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar>. Acesso em: 20 maio 2019.

CONSECANA – Conselho dos Produtores de cana-de-açúcar, açúcar e álcool do estado de São Paulo. **Manual de Instruções**. 5ed. Piracicaba: CONSECANA, 2006.

CORRÊA, J. C.; BÜLL, L. T.; CRUSCIOL, C. A. C.; FERNANDES, D. M.; PERES, M. G. de M. Aplicação superficial de diferentes fontes de corretivos no crescimento radicular e produtividade da aveia preta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 4, p. 1583-1590, jul/ago 2008. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000400022> . Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-06832008000400022&script=sci_arttext&tlng=pt. Acesso em: 14 ago. 2020.

CORRÊA, M. C. M.; NATALE, W.; PRADO, R. M.; BANZATTO, D. A.; QUEIROZ, R. F.; SILVA, M. A. C. Surface Application of Lime on a Guava Orchard in Production. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 42, n. 1, p. 1-13, jul. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/18069657rbcS20170203> . Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832018000100522&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 14 ago. 2020.

COWAN, J. A. Structural and catalytic chemistry of magnesium-dependent enzymes. **Biometals**, Berlin, v. 15, n.1, p. 225–235, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1016022730880> . Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1016022730880>. Acesso em: 14 ago. 2020.

CRUSCIOL, C. A. C.; FOLTRAN, R.; ROSSATO, O. B.; MCCRAY, J. M.; ROSSETTO, R. Effects of surface application of calcium-magnesium silicate and gypsum on soil fertility and sugarcane yield. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 6, p. 1843-1854, nov/dez 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000600019> . Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832014000600019. Acesso em: 14 ago. 2020.

DEMATTE, J. L. I. Recuperação e manutenção da fertilidade dos solos. **Informações Agrônomicas**, (Encarte Técnico - POTAFOS) n. 111, set., 2005.

EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília, DF: Informação Tecnológica, 2009b. 628 p.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco energético nacional 2013**: ano base 2012. Rio de Janeiro. 2013. Disponível em: https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2013.pdf. Acesso em: 8 mar., 2020.

FERRAZ, R. L. de S.; Barbosa, M. de A.; Batista, J. L.; MAGALHÃES, I.D.; Dantas, G. de F.; Franco, F. O. Calagem em cana-de-açúcar: efeitos no solo, planta e reflexos na produção. **InterfaceHS**, São Paulo, v. 10, p. 166-177, 2015.

FERREIRA, D. F. **SISVAR**: sistema de análise de variância, versão 5.3. Lavras: DEX, 2014.

FERREIRA, G. F. P.; NOVAES, Q. S.; MALTA, M. R.; SOUZA, S. E. Quality of coffee produced in the Southwest region of Bahia, Brazil subjected to different forms of processing and drying. **African Journal of Agricultural Research**, Nigeria, v. 8, p. 2334-2339, 2013. DOI: <https://doi.org/10.5897/AJAR2013.7038> . Disponível em: <https://academicjournals.org/journal/AJAR/article-abstract/D47F4BF37363>. Acesso em: 8 mar., 2020.

GARCIA, A.; CRUSCIOL, C. A. C.; MCCRAY, J. M.; NASCIMENTO, C. A. C.; MARTELLO, J. M.; AIQUEIRA, G. F.; TARUMOTO, M. B. Magnesium as a Promoter of Technological Quality in Sugarcane. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, Chile, v. 20, p. 19–30, 2019.

GARCIA, C. P. **Efeitos do preparo profundo do solo e da calagem na compactação do solo e na produtividade da cana-de-açúcar**. 2018. 96f. Dissertação (mestrado) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2018.

GIRO FILHO, J.; SERAFINI NETO, G. Acidez dos solos e corretivos. **Informativo do Fornecedor**: boletim n° 30 – ano III, fev. 2013. Disponível em: <https://docplayer.com.br/4021961-Falando-de-cana-de-acucar.html> . Acesso em: 29 dez. 2019.

GOEDERT, W. J.; SOUZA, D. M. G.; LOBATO, E. Fósforo. *In*: GOEDERT, W. J. (ed.). **Solos dos cerrados**: tecnologias e estratégias de manejo. São Paulo: Nobel, 1985, p. 129-163.

GONÇALVES, J. R. P.; RAMOS, N. P.; FILIZOLA, H. F.; ANDRADE, C. A. de; PACKER, A. P.; VIEIRA, H. B. Fertilidade de solos cultivados com cana de açúcar em sistema plantio direto por diferentes períodos. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 34., 2013, Florianópolis. **Anais** [...]. Florianópolis: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2013.

GRANSEE, A.; FÜHRS, H. Magnesium mobility in soils as a challenge for soil and plant analysis, magnesium fertilization and root uptake under adverse growth conditions. **Plant and Soil**, Netherlands, v. 368, p.5–21, jul. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-012-1567-y>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11104-012-1567-y>. Acesso em: 8 mar., 2020

GUALBERTO, C. de A. C.; SANTOS, G. A.; KORNDORFER, G. H. Nutrição e adubação da cana-de-açúcar na região do Cerrado. **Nutrição e adubação de grandes culturas na região do cerrado**. 1. ed. Goiânia: Gráfica UFG, 2019, v. 1 p. 553-573. ISBN: 978-85-495-0258-2

HAVLIN, J.; BEATON, J. D.; TISDALE, S. L.; NELSON, W. L. **Soil fertility and fertilizers**: an introduction to nutrient management. Upper Saddle River: Prentice Hall, 1999, p. 499.

HAWKESFORD, M.; HORST, W.; KICHEY, T.; LAMBERS, H.; SCHJOERRING, J.; MOLLER, I.S.; WHITE, P. Functions of macronutrients. *In*: MARSCHNER, P., **Mineral nutrition of higher plants**. 3. ed. New York: Elsevier, 2012, p.171-178.

HUBER, D. M.; JONES, J. B. The role of magnesium in plant disease. **Plant and Soil**, Netherlands, v. 368, n. 1, p. 73–85, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-012-1476-0> . Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11104-012-1476-0>. Acesso em: 14 ago. 2020.

INAGAKI, T. M. **Lime and gypsum applications as strategies to increase carbon sequestration in no-till system**. 2016. 76 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura) - Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2016.

JARRELL, W. M.; BEVERLY, R. B. The dilution effect in plant nutrition studies. **Advances in Agronomy**, United States v. 34, n. 3 p. 197-224, 1981. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60887-1](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60887-1). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0065211308608871>. Acesso em: 14 ago. 2020.

KINRAID, T. B. Identity of the rhizotoxic aluminum species. **Plant and Soil**, Netherlands, The Hague, v. 134, n. 1 p. 167-178, 1991.

KORNDORFER, G. H. 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. In: 2º SIMPÓSIO SOBRE NUTRIÇÃO DE PLANTAS NO CERRADO E V REUNIÃO CENTRO-OESTE DE CIÊNCIA DO SOLO. Goiânia, 2018 **Anais** [...]. Disponível em: <https://www.passeidireto.com/arquivo/76459299/manejo-da-fertilidade-do-solo-para-cana-na-regiao-do-cerrado-uso-eficiente-de-nu>. Acesso em: 29 mar. 2020.

LIMA FILHO, O. F.; SILVA, C. J. **Avaliação agrônômica do silicato de cálcio e magnésio granulado na cultura da cana-de-açúcar**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2016. (Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 77).

MACHADO, R. S.; RIBEIRO, R. V.; MARCHIORI, P. E. R.; MACHADO, D. F. S. P.; MACHADO, E. C.; LANDELL, M. G. de A. Respostas biométricas e fisiológicas ao déficit hídrico em cana-de-açúcar em diferentes fases fenológicas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 12, p. 1575-1582, dez. 2009. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2009001200003> . Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-204X2009001200003&script=sci_arttext&tlng=pt . Acesso em: 29 mar. 2020.

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

MENGUTAY, M.; CEYLAN, Y.; KUTMAN, U.B.; CAKMAK, I. Adequate magnesium nutrition mitigates adverse effects of heat stress on maize and wheat. **Plant and Soil**, Netherlands, v. 368, n. 3, p. 57–72, maio 2013. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11104-013-1761-6>. Acesso em: 29 mar. 2020.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; FRANCHINI, J. C. Evaluation of plant residues on the mobility of surface applied lime. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 45, n. 3, p. 251-256, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-89132002000300001>.

Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1516-89132002000300001&script=sci_abstract&tlng=es. Acesso em: 29 mar. 2020.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; ZIGLIO, C. O.; FRANCHINI, J. C. Reduction of exchangeable calcium and magnesium in soil with increasing pH. **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, Curitiba, v. 44, n. 2, p. 149-153, 2001.

MORAES, E. R.; MAGESTE, J. G.; LANA, R. M. Q.; TORRES, J. L. R.; DOMINGUES, L. A. S.; LEMES, E. M.; LIMA, L. C. Sugarcane Root Development and Yield under Different Soil Tillage Practices. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 43, p. 1-10, 2019.

NASCENTE, A. S.; COBUCCI, T. Calcário na forma de micropartículas aplicado no sulco de semeadura aumenta produtividade do feijoeiro. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 62, n. 6, p. 597-606, dec. 2015.

NATALE W.; ROZANE D. E.; PARENT L. E; PARENT S. E. Acidez do solo e calagem em pomares de frutíferas tropicais. **Revista Brasileira Fruticultura**, Jaboticabal, v. 34, n.4 p. 1294-1306, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-29452012000400041> .Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-29452012000400041&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 14 ago. 2020.

NATALE, W.; PRADO, R. de M.; ROZANE, D. E.; ROMUALDO, L. M. Efeitos da calagem na fertilidade do solo e na nutrição e produtividade da goiabeira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 31, p. 1475-1485, 2007.

NOVAIS, R. F.; SMITH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. UFV: Viçosa, 1999. 399 p.

OLIVEIRA, C. M. R.; PASSOS, R. R.; ANDRADE, F. V.; REIS, E. F.; STURM, G. M.; SOUZA, R. B. Corretivos da acidez do solo e níveis de umidade no desenvolvimento da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Pernambuco, v. 5, n. 1, p. 25-31, 2010 b.

OLIVEIRA, E. C. A.; FREIRE, F. J.; OLIVEIRA, R. I.; FREIRE, M. B. G.; SIMOES NETO, D. E.; SILVA, S. A. M. Extração e exportação de nutrientes por variedades de cana-de-açúcar cultivadas sob irrigação plena. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 4, p. 1343-1352, 2010 a.

PANG, Z.; TAYYAB, M.; KONG, C.; HU, C.; ZHU, Z.; WEI, X.; YUAN, Z. Liming positively modulates microbial community composition and function of sugarcane fields. **Agronomy**, Switzerland, v. 12, n. 9, p. 808-825, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy9120808>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4395/9/12/808>. Acesso em: 29 mar. 2020.

PRADO, H. do; PÁDUA JUNIOR, A. L.; GARCIA, J. C.; MORAES, J. F. L. de; CARVALHO, J. P. de; DONZELI, P. L. Solos e ambientes de produção. *In*: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M. de; LANDELL, M. G. de A. (Ed.). **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2008, p. 179-204.

PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M. Eficiência da escória de siderurgia sobre a cultura do milho (*Zea mays* L.) cultivados em um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico. **Científica**, Jaboticabal, v. 31, n. 1, p. 9-17, 2003.

PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M.; NATALE, W. Calcário e escória de siderurgia avaliados por análise foliar, acúmulo, e exportação de macronutrientes em cana-de-açúcar. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 59, p. 129-135, 2002.

QUAGGIO, J. A.; RAIJ, B. V. Cálcio, magnésio e correção da acidez do solo. *In:* DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M. de; LANDELL, M. G. de A. (Ed.). **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2008. p. 313-321.

RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (ed.) **Recomendações de Adubação e Calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônômico, 1996. p. 285 (Boletim Técnico, 100).

REIS, J. J. D.; ALOVISI, A. M. T.; FERREIRA, J. A. A.; ALOVISI, A. A.; GOMES, C. F. Atributos químicos do solo e produção da cana-de-açúcar em resposta ao silicato de cálcio. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 36, n.1, p. 3-9, jan. 2013.

REIS JUNIOR, R. A. Probabilidade de resposta da cana-de-açúcar à adubação potássica em razão da relação $K^+ (Ca^{2+}Mg^{2+})^{-0.5}$ do solo. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, DF, v. 36, n. 9, p. 1175-1183, set. 2001.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª Aproximação**. Viçosa: UFV, 1999. 359 p.

ROSSETTO, R.; DIAS, F. L. F.; VITTI, A. C. Fertilidade do solo, nutrição e adubação. *In:* DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. Cana-de-açúcar. Campinas, **Bragantia**, Campinas, 2008, p. 221-238.

ROSSETTO, R; SPIRONELLO, A.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. Calagem para cana-de-açúcar e sua interação com a adubação potássica. **Bragantia**, Campinas, v. 63, n. 1, p. 105-119, 2004.

ROVIERO, J. P. **Biomassa derivada de cana-de-açúcar e cana energia submetidas a hidrólise ácida e enzimática para produção de etanol**. Tese (doutorado) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2017.

ROLIM, G. S.; APARECIDO, L. E. O. Camargo, Köppen and Thornthwaite climate classification systems in defining climatological regions of the state of São Paulo, Brazil. **International Journal of Climatology**. Germany, v. 36, p. 636-643, 2015.

SALDANHA, E. C. M.; ROCHA, A. T.; OLIVEIRA, E. C. A.; NASCIMENTO, C. W. A.; FREIRE, F. J. Uso do gesso mineral em latossolo cultivado com cana de açúcar. **Revista Caatinga**, Mossoró, 2007, p.36-42.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAUJO FILHO, J. C.;

OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SENBAYRAM, M.; GRANSEE, A.; WAHLE, V.; THIEL, H. Role of magnesium fertilisers in agriculture: plant–soil continuum. **Crop and Pasture Science**, Austrália, v.66, n.1, p. 1219-1229, jan. 2015. DOI: [10.1071/CP15104](https://doi.org/10.1071/CP15104). Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/287800497_Role_of_magnesium_fertilisers_in_agriculture_Plant-soil_continuum. Acesso em: 29 mar. 2020.

SILVA, L. M.; LEMOS, L. B.; CRUSCIOL, C. A. C.; FELTRAN, J. C.; MATEUS, G. P. Crescimento radicular e absorção de micronutrientes pelo feijoeiro em razão da calagem. **Científica**, Jaboticabal, v. 35, p. 88-105, 2007.

SILVA, R. R.; CARNEIRO, J. S. S.; LUCENA, G. N.; NEGREIROS NETO, J. V. Supercalagem nos atributos químicos de um Latossolo Vermelho de textura média. **TECNOLOGIA & CIÊNCIA AGROPECUÁRIA**, Paraíba, v. 12, p. 53-58, 2018.

SOBRAL, M. F.; NASCIMENTO, C. W. A.; CUNHA, K. P. V.; FERREIRA, H. A.; SILVA, A. J.; SILVA, F. B. V. Escória de siderurgia e seus efeitos nos teores de nutrientes e metais pesados em cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, p. 867-872, 2011.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C. Atributos químicos do solo decorrentes da aplicação em superfície de calcário e gesso em sistema plantio direto recém-implantado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 675-688, 2008.

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. (Embrapa Cerrados. Comunicado técnico, 177).

SOUZA R. F., FAQUIN V., TORRES, P. R. F., BALIZA D. P. Calagem e adubação orgânica: influência na adsorção de fósforo em solos. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 6, p. 975-983, nov./dez.2006. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832006000600007>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-06832006000600007&script=sci_arttext&tlng=pt. Acesso em: 29 mar. 2020.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 819 p.

VERBRUGGEN N., HERMANS C. Physiological and molecular responses to magnesium nutritional imbalance in plants. **Plant and Soil**, Netherlands, v. 368, n.1-2, p. 87–99, 2013. DOI: <https://www.researchgate.net/deref/http%3A%2F%2Fdx.doi.org%2F10.1007%2Fs11104-013-1589-0>. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/257639141_Physiological_and_molecular_responses_to_magnesium_nutritional_imbalance_in_plants. Acesso em: 29 mar. 2020.

WATANABE, R. T.; FIORETTO, R. A.; HERMANN, E. R. Propriedades químicas do solo e produtividade da cana-de-açúcar em função da adição da palhada de colheita, calcário e vinhaça em superfície (sem mobilização). **Semina: ciências agrárias**, Londrina, v. 25, n. 2, p. 93-100, 2004.

WEBINAR TÉCNICO CALTEC: uso de óxido de Ca e Mg como alternativa em tempos de crises. Webinar apresentada por GASPAR HENRIQUE KORNDORFER. [S.l.: s.n.], 2020. 1 vídeo (59min 49seg.) publicado pelo canal YouTube. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=y4ZM2L4hwpU>. Acesso em: 14 ago. 2020.