



Pró - Reitoria de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação
Mestrado Profissional em Tecnologia e Ambiente

**ESTUDO DA CAPACIDADE CORRETIVA DE RESÍDUO INDUSTRIAL DE PRODUÇÃO DE
MAGNÉSIO E DA SUA INFLUÊNCIA SOBRE OS ATRIBUTOS QUÍMICOS DE SOLO**

Miguel de Oliveira Carneiro

Araquari, 2022.

Miguel de Oliveira Carneiro

**ESTUDO DA CAPACIDADE CORRETIVA DE RESÍDUO INDUSTRIAL DE PRODUÇÃO DE
MAGNÉSIO E DA SUA INFLUÊNCIA SOBRE OS ATRIBUTOS QUÍMICOS DE SOLO**

*STUDY OF THE CORRECTIVE CAPACITY OF MAGNESIUM PRODUCTION INDUSTRIAL RESIDUE
AND ITS INFLUENCE ON THE CHEMICAL ATTRIBUTES OF SOIL*

Artigo apresentado ao Mestrado Profissional em
Tecnologia e Ambiente do Instituto Federal
Catarinense, como requisito parcial à obtenção do
título de Mestre em Ciências (área de concentração:
Ciências Ambientais).

Orientador: Prof. Dr. Leandro Marcos Salgado Alves.

Coorientador (a): Prof. Dra. Suellen Cadorin Fernandes.

Araquari, 2022.

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática do ICMC/USP, cedido ao IFC e
adaptado pela CTI - Araquari e pelas bibliotecas do Campus de Araquari e Concórdia.

C289e Carneiro, Miguel de Oliveira
Estudo da capacidade corretiva de resíduo industrial de produção de magnésio e da sua influência sobre os atributos químicos de solo / Miguel de Oliveira Carneiro; orientador Leandro Marcos Salgado Alves; coorientadora Suellen Cadorin Fernandes. -- Araquari, 2022.
20 p.

Artigo (artigo) - Instituto Federal Catarinense, campus Araquari, , Araquari, 2022.

Inclui referências.

1. Reaproveitamento industrial. 2. Química do solo. 3. Fertilidade de solo. 4. Resíduo da indústria mineral. 5. Cálcio e magnésio. I. Alves, Leandro Marcos Salgado, II. Fernandes, Suellen Cadorin. III. Instituto Federal Catarinense. . IV. Título.

Miguel de Oliveira Carneiro

**ESTUDO DA CAPACIDADE CORRETIVA DE RESÍDUO INDUSTRIAL DE PRODUÇÃO DE
MAGNÉSIO E DA SUA INFLUÊNCIA SOBRE OS ATRIBUTOS QUÍMICOS DE SOLO**

Artigo científico de aprovação como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciências, Curso de Pós-Graduação em Tecnologia e Ambiente, Pró-Reitoria de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação, Instituto Federal Catarinense.

Data da Defesa: 29/04/2022.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Leandro Marcos Salgado Alves.

Doutor em Ciências pela Escola de Engenharia de Lorena – USP.

Instituto Federal Catarinense – Campus Araquari.

Prof. Dr. Fabrício Moreira Sobreira.

Doutor em Fitotecnia pela Universidade Federal de Viçosa

Instituto Federal Catarinense – Campus Araquari.

Prof. Dr. Márcio Antônio Fiori.

Doutor em Engenharia Química pela Universidade Federal de Santa Catarina.

Universidade Comunitária da Região de Chapeco - Unochapecó.



Emitido em 29/04/2022

DOCUMENTOS COMPROBATÓRIOS - CAMPUS ARAQUARI Nº 008/2022 - CCPGTA (11.01.02.31)
(Nº do Documento: 7)

(Nº do Protocolo: NÃO PROTOCOLADO)

(Assinado digitalmente em 23/06/2022 17:38)
LEANDRO MARCOS SALGADO ALVES
PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO
CGET/ARAQ (11.01.02.08)
Matricula: 2333652

Para verificar a autenticidade deste documento entre em <https://sig.ifc.edu.br/documentos/> informando seu número: 7
, ano: 2022, tipo: **DOCUMENTOS COMPROBATÓRIOS - CAMPUS ARAQUARI**, data de emissão: **23/06**
/2022 e o código de verificação: **271ecf86ac**

À minha Família, que sempre esteve ao meu lado dando o apoio e incentivo.

Agradecimentos

A Buschle & Lepper S.A., pelo apoio e custeio, a Professora Doutora Vanessa Peripolli pelos seus números fantásticos, a Professora Doutora Suellen Fernandes pelo incentivo e apoio, a EPAGRI pelos serviços prestados, ao Professor Doutor Leandro Alves pela orientação, e ao Professor Doutor Fabricio Sobreira, e a minha filha Paola por toda a ajuda prestada.

1. CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA E ESTADO DA ARTE

A acidez é um dos principais fatores que prejudicam a qualidade do solo em sistemas agrícolas, o próprio cultivo tende a acentuar o problema, por causa da absorção de cátions pelas raízes das plantas, deixando em seus lugares quantidades equivalentes de íons hidrogênio. Adicionalmente, a atividade biológica, produzindo ácidos, e a aplicação de fertilizantes amoniacais e ureia, resultando na acidificação pela acumulação de ácido nítrico, contribuem para aumento da acidez dos solos, e da baixa saturação por bases (COLEMAN; MEHLICH, 1957). Grande parte dos solos no Brasil apresentam alto grau de intemperismo devido as condições de ambiente tropical, com chuvas intensas e temperaturas elevadas (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2017) e, por isso, pode-se encontrar em seu território solos ácidos como os latossolos (KER, 1997).

O calcário moído e seus produtos (cal virgem e hidratada, escória, dentre outros) são utilizados para corrigir a acidez e promover o crescimento das plantas. Tais produtos permitem aumentar o pH do solo que está abaixo de 5 para valores entre 6 e 7, que é considerada ótima para o cultivo de muitas plantas (NOLLA; ANGHINONI, 2004). A aplicação dos corretivos é recomendada alguns meses antes do plantio. Assim, a acidez do solo pode ser corrigida antes, permitindo o acesso pelas plantas aos nutrientes existentes disponíveis. O calcário, principalmente o dolomito, proporciona dois nutrientes importantes: o cálcio e o magnésio. Oferece também elementos-traço contidos na rocha calcária. O calcário neutraliza também a acidez gerada pelos fertilizantes nitrogenados, tais como: nitrato, amônio e sulfatos, elementos que aumentam o cultivo e o conteúdo orgânico do solo (ANGHINONI; SALET, 2000).

A utilização de resíduos industriais, para a mesma finalidade, vem sendo uma alternativa viável. O óxido de magnésio, proveniente da calcinação do carbonato de magnésio ($MgCO_3$), tem sido estudado com intuito de corrigir a acidez do solo, semelhante à reação e correção do calcário (GHIGGI PEIXOTO *et al.*, 2019).

O processo de síntese de hidróxido de magnésio, através dos sais de magnésio que estão na forma de sulfato e cloreto na água marinha, ocorre por precipitação devido à adição de reagente básico.

A extração de magnésio da água marinha gera um resíduo, formado principalmente por $Mg(OH)_2$ e $Ca(OH)_2$, com quantidade considerável de cálcio e de magnésio que poderiam contribuir para a correção da acidez do solo e para o fornecimento de nutrientes para as culturas. Neste trabalho, o resíduo desta linha de produção foi avaliado como possível enriquecedor mineral para solos de plantio agrícola e observado possíveis alterações físico-químicas neste solo.

2. OBJETIVOS

2.1 GERAL

Avaliar o efeito do uso de resíduo industrial, obtido do processo de produção de magnésio precipitado por adição de reagente básico, na correção de acidez e no fornecimento de cálcio e magnésio para Espodossolo Humiluvico.

2.2 ESPECÍFICOS

- Caracterizar o resíduo industrial produzido durante o processo de obtenção do hidróxido de magnésio, precipitado da água do mar.
- Verificar o teor de CaO e de MgO, o poder de neutralização, o poder de neutralização total no resíduo e a granulometria do resíduo e do calcário comercial;
- Avaliar a capacidade do resíduo e do calcário comercial na alteração dos atributos químicos do solo, tais como: alteração do pH; teor de cálcio, de magnésio e de alumínio trocáveis; a acidez potencial; soma de bases; saturação em bases; e a capacidade de troca catiônica.

ESTUDO DA CAPACIDADE CORRETIVA DE RESÍDUO INDUSTRIAL DE PRODUÇÃO DE
MAGNÉSIO E DA SUA INFLUÊNCIA SOBRE OS ATRIBUTOS QUÍMICOS DE SOLO

Miguel de Oliveira Carneiro^{*1}; Suellen Cadorin Fernandes²; Leandro Marcos Salgado
Alves²

¹Buschle & Lepper SA - Divisão Magnésio. Rua da Salina 385, Salinas, 89247000 -
Balneário Barra do Sul, SC - Brasil - Caixa-postal: 22, Telefone: (47) 34481024, Fax: (47)
34481158.

²Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Catarinense - Campus Araquari
Rodovia BR 280 - km 27 - Cx. Postal 21 - CEP 89245-000 - Araquari - SC - Fone (47)
3803-7200.

*Autor correspondente: carneiro.miguel1972@gmail.com

RESUMO

CARNEIRO, Miguel. **Estudo da capacidade corretiva de resíduo industrial de produção de magnésio e da sua influência sobre os atributos químicos de solo.** 2022. 37p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Curso de Pós-Graduação em Tecnologia e Ambiente, Pró-reitora de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação, Instituto Federal Catarinense, Araquari, 2022.

A acidez é um dos principais fatores degradantes do potencial produtivo do solo, sendo os carbonatos de cálcio e magnésio os compostos mais utilizados na solução desse problema. Resíduos industriais, ricos em cátions, podem ser alternativas viáveis para utilização em correção de solo. Neste trabalho avaliou-se o potencial do resíduo do processo de produção industrial de magnésio na melhoria dos atributos químicos do solo. Amostras de solo de 1 dm³ foram coletados em área rural de Balneário Barra do Sul/SC, na camada de 0 a 20 cm de profundidade, e armazenados em sacos de polietileno. Testou-se dois corretivos, de acordo com o PRNT (CaO e MgO): i) resíduo industrial da planta da B&L-MAG de Balneário Barra do Sul/SC; e ii) calcário comercial agrícola. Os experimentos ocorreram com arranjo fatorial 2x4x4 em delineamento inteiramente casualizado. Avaliaram-se os atributos químicos do solo, tais como: pH em água e em KCl, o índice SMP, teor de cálcio e magnésio, acidez potencial (H+Al), CTC pH7, saturação de CTC e soma das bases. As análises ocorreram em *software Statistical Analysis System*. Aplicou-se os testes de Shapiro-Wilk e Levene para verificar, respectivamente, a normalidade dos dados e a homogeneidade dos corretivos e o teste de Tukey para a comparação das médias. Na avaliação dos efeitos da dose de corretivo e do tempo de incubação, os dados foram submetidos à análise de regressão. Para a variável pH em KCl os tempos de ação considerados foram de 15, 30, 45, 60, 75, 90 e 120 dias. Diferenças estatísticas significativas foram consideradas quando $p < 0,05$. Os resultados mostraram que a aplicação do resíduo industrial melhorou os atributos químicos estudados do solo, mostrando-se possivelmente viável economicamente.

Palavras-chave: reaproveitamento industrial; química do solo; fertilidade de solo; resíduo da indústria mineral; cálcio e magnésio.

ABSTRACT

CARNEIRO, Miguel. **Study of the corrective capacity of magnesium production industrial residue and its influence on the chemical attributes of soil.** 2022. 37p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Curso de Pós-Graduação em Tecnologia e Ambiente, Pró-Reitoria de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação, Instituto Federal Catarinense, Araquari, 2022.

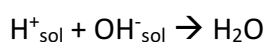
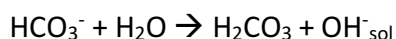
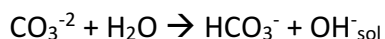
Acidity is one of the main degrading factors of the productive potential of the soil, with calcium and magnesium carbonates being the most used compounds to solve this problem. Industrial residues, rich cations, can be viable alternatives for use in soil correction. In this work, the potential of residue from magnesium production to improve soil Chemical attributes was evaluated. Soil sample of 1dm³ were collected in a rural area of Balneário Barra do Sul/SC, at 20 cm depth, and stored in polyethylene bags. Two correctives were tested, according to PRNT (CaO and MgO): i) industrial waste from the B&L-MAG plant in Balneario Barra do Sul/SC; and ii) agricultural commercial limestone. The experiments were carried out in randomized blocks with a 2x4x4 factorial arrangement in a completely randomized design. The chemical attributes of the soil were evaluated, such as: pH in water and in KCl, the SMP index, calcium and magnesium content, potential acidity (H+Al), CTC pH7, saturation of CTC and sum of bases. The analyzes were performed using the Statistical Analysis System software. The Shapiro-Wilk and Levene tests were applied to verify, respectively, the normality of the data and the homogeneity of the correctives and the Tukey test to compare the means. In evaluating the effects of the corrective dose and the incubation time, the data were submitted to regression analysis. For the variable pH-KCl, the action times considered were 15, 30, 45, 60, 75, 90 and 120 days. Significant statistical differences were considered when $p < 0.05$. The results showed that the application of industrial residue improved the studied chemical attributes of the soil, proving to be possibly economically viable.

Keywords: industrial reuse; soil chemistry; soil fertility; mineral industry residue; calcium and magnesium.

INTRODUÇÃO

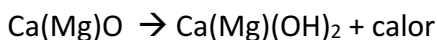
A acidez é um dos principais fatores que prejudicam a qualidade do solo em sistemas agrícolas. Grande parte dos solos no Brasil apresentam alto grau de intemperismo devido às condições de ambiente tropical, com chuvas intensas e temperaturas elevadas (COLEMAN; MEHLICH, 1957; MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2017) e, por isso, pode-se facilmente encontrar em seu território solos ácidos como os latossolos (KER, 1997).

O material mais utilizado nacionalmente como corretivo de acidez do solo é o calcário (NETO *et al.* 2000). O calcário dolomito (CaCO_3 e MgCO_3), quando aplicado ao solo, dissocia-se em íons Ca^{+2} , Mg^{+2} e HCO_3^{-1} , na presença de água. O íon bicarbonato, HCO_3^{-1} , reage com o íon hidrogênio, H^+ , formando o ácido carbônico, H_2CO_3 , que rapidamente se dissocia em gás carbônico e água. Após a aplicação desse corretivo, o pH do solo aumenta, seu teor de Al^{+3} diminui, a saturação por bases se intensifica e, conseqüentemente, a saturação por alumínio diminui (COLEMAN; MEHLICH, 1957). O calcário é obtido pela moagem de rochas calcárias, cujos constituintes químicos básicos são CaCO_3 e MgCO_3 . A ação neutralizante do calcário se deve às seguintes reações:

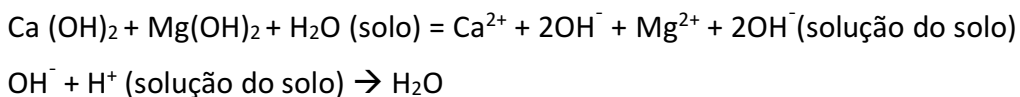


O calcário moído e seus produtos (cal virgem e hidratada, escória, dentre outros) permitem aumentar o pH do solo que está abaixo de 5 para valores entre 6 e 7, que é considerada ótima para o cultivo de muitas plantas (NOLLA; ANGHINONI, 2004). A aplicação dos corretivos é recomendada alguns meses antes do plantio. Assim, a acidez do solo pode ser corrigida antes, permitindo o acesso pelas plantas aos nutrientes existentes disponíveis. O calcário, principalmente o dolomito, proporciona dois nutrientes importantes: o cálcio e o magnésio. Oferece também elementos-traço contidos na rocha calcária. O calcário neutraliza também a acidez gerada pelos fertilizantes nitrogenados, tais como nitrato e amônio, e sulfatos, espécies químicas que aumentam o cultivo e o conteúdo orgânico do solo (ANGHINONI; SALET, 2000).

Na hidratação da cal virgem (FURTINI NETO *et al.*, 2004), os hidróxidos resultantes são denominados de cal hidratada ou cal extinta, formada por $\text{Ca}(\text{Mg})(\text{OH})_2$, conforme a reação:



Cal hidratada agrícola ou cal extinta é o produto obtido industrialmente pela hidratação da cal virgem. Seus constituintes são o hidróxido de magnésio e hidróxido de cálcio. A ação neutralizante no solo se dá pela seguinte equação de reação química:



A ação é imediata, pela dissolução do hidróxido. Sua ação neutralizante é devida à base forte OH^- .

A busca de reaproveitamento de resíduos industriais, de modo que sejam economicamente e ecologicamente viáveis, tem sido alvo de pesquisas nos últimos anos, visando o emprego desses resíduos na melhoria da fertilidade e correção de acidez do solo. Com esse intuito, alguns pesquisadores estudaram pó de rochas como fonte de potássio, silício, micronutrientes e corretivos da acidez do solo (MESQUITA *et al.*, 2009). Raymundo e colaboradores avaliaram a capacidade de neutralização da acidez de um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico, por meio da comparação entre um resíduo de mármore serrado e um calcário comercial (RAYMUNDO *et al.*, 2013). Estes autores constataram que o resíduo apresentou bom potencial para a utilização como corretivo de acidez de solo, com reatividade inicial superior à do calcário comercial. O óxido de magnésio, proveniente da calcinação do carbonato de magnésio (MgCO_3), tem sido estudado com intuito de corrigir a acidez do solo, semelhante à reação e correção do calcário (GHIGGI PEIXOTO *et al.*, 2019). Outros produtos que surgem como alternativa para correção da acidez e para a reposição de nutrientes do solo é o resíduo de mármore (BARROS; RIBEIRO, 2021) e o calcário de conchas (GHIGGI PEIXOTO *et al.*, 2019).

Existe uma intensa busca por fertilizantes adequados para os mais diversos sistemas de produção (GARDIN *et al.*, 2011). O suprimento de Ca em plantios florestais, por exemplo, está normalmente vinculado ao uso de calcário. Por outro lado, a indústria de papel e celulose gera um resíduo denominado lama de cal, de reação alcalina e que se qualifica como possível substituto do calcário no aporte de cálcio. Esse material poderia ser comparado a um calcário calcítico. É possível que se faça a substituição do

calcário por lama de cal. Simonete *et al.* (2013) concluíram em seu trabalho que a lama de cal tem eficiência semelhante ao calcário dolomítico no fornecimento de Ca para plantas de eucalipto, com aumento da produção de matéria seca da parta aérea. Além disso, o resíduo não alterou as concentrações foliares de N, P, K e S, e o teor de sódio foi elevado, em comparação ao calcário dolomítico. O resíduo causou no solo a elevação do pH e dos teores trocáveis de Ca e Na e a redução do alumínio trocável (SIMONETE *et al.*, 2013).

Diante dessas evidências, achou-se pertinente considerar a hipótese de que o processo de extração industrial de magnésio, precipitado da água marinha, gera um resíduo que pode ser útil para correção da acidez do solo. Esse resíduo contém quantidade considerável de cálcio e de magnésio que poderia contribuir para o problema da acidez do solo, assim como para o fornecimento de macro nutrientes para as culturas. Assim, este trabalho avaliou a possibilidade de uso de resíduo industrial da produção de hidróxido de magnésio, como corretivo de acidez do solo e fornecedor de cálcio e magnésio.

METODOLOGIA

O experimento foi conduzido no laboratório de Química do Instituto Federal Catarinense – *Campus* Araquari. Foram estudados os efeitos da aplicação de dois materiais corretivos no solo: i) resíduo da indústria Buschle & Lepper (Balneário Barra do Sul – SC) (B&L-MAG); e ii) calcário comercial agrícola. Uma alíquota de resíduo foi extraída como amostra da linha de produção. Como controle, foi utilizado calcário comercial agrícola com laudo de análise do fabricante (Cavassin, Almirante Tamandaré – PR). Amostras de 1 dm³ de solo foram coletadas na camada de zero a 20 cm de profundidade em área rural de Balneário Barra do Sul (UTM X = 734885,1037 e Y = 7073942,3886 seguindo o azimute 74°29'31”) e incubadas em sacos de polietileno e mantidas a temperatura ambiente e umedecidas com água deionizada a cada 15 dias, seguindo as instruções do manual de análise de solo da Embrapa (EMBRAPA, 1997). O material corretivo foi seco em estufa por 1 h a 120°C e peneirado em malha de 1mm. Os tratamentos foram distribuídos em arranjo fatorial 2x4x4 (2 tipos de materiais corretivos, 4 níveis de doses de materiais corretivos: 75, 135, 195 e 225% da dose

calculada de calagem para alcançar o pH 6,5; e quatro períodos de amostragem: 30, 60, 90 e 120 dias).

Em 1973, em decorrência da menor resposta das culturas à calagem do que esperado e por razões econômicas, passou-se a adotar a dose de calcário para o solo atingir pH em água igual a 6,0 e, a partir de 1987, adotou-se uma tabela de necessidade de calcário para elevar o pH do solo em água para 5,5, 6,0 e 6,5, bem como, opcionalmente para solos pouco tamponados (arenosos). As novas equações permitem calcular a necessidade de calagem (NC, t/ha) em função do teor de Al (cmolc/dm³) e da matéria orgânica (MO, %) quando o pH em água é inferior ao desejado e o método da solução tamponada (SMP) não prevê necessidade de calagem. Essas equações auxiliavam também no controle de qualidades, pois a NC, pelo método SMP, pode ser comparada ao então novo método de equações desenvolvido (ROSSA, 2006). Também é conveniente calcular a média dos dois procedimentos e adotá-la como dose de calcário a aplicar. Seguindo as orientações do manual de adubação e calagem da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (2004), neste trabalho as doses de calcário foram calculadas de tal forma que o pH das amostras de solo atingisse o valor de 6,5. Para isso, utilizou-se a Equação 1.

$$NC = - 0,122 + 1,193(MO) + 2,713(Al)$$

E1

Onde NC representa a necessidade de calcário em t/ha (com PRNT 100%), MO o teor de matéria orgânica (em %) e Al o teor de alumínio trocável do solo, em cmolc/dm³. Com base no valor calculado foram definidas as doses a serem utilizadas no experimento (75, 135, 195 e 225% da dose calculada). O cálculo de calagem representa uma eficiente forma de corrigir os solos brasileiros, que em grande parte, são intemperizados e apresentam acidez baixa, o que significa elevada concentração de alumínio trocável e fertilidade natural baixa. A calagem é um processo realizado pelo engenheiro agrônomo que consiste na adição de calcário ou cal virgem no solo para elevar o seu pH, diminuir os teores de alumínio trocável e disponibilizar macronutrientes, especialmente cálcio e magnésio para o desenvolvimento das plantas (SOUZA *et al.*, 2020).

As análises dos corretivos (resíduo e calcário) foram realizadas pela Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI) - Centro de Pesquisa

para Agricultura Familiar – (CEPAF), Chapecó – SC, seguindo-se as metodologias descritas no Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes minerais, orgânicos, organominerais e corretivos (BRASIL, 2017).

Os atributos químicos do solo foram avaliados pelo laboratório especializado da EPAGRI - Estação Experimental de Ituporanga - Laboratório de Análise de Solo, de acordo com o Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina (COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO, 2016). Para esta caracterização química das amostras do solo após a adição dos corretivos (resíduo e calcário), foram avaliados pH em água; pH em KCl (tempos de amostragens considerados: 15, 30, 45, 60, 75, 90 e 120 dias); Acidez potencial (H+Al); quantidade de cálcio, magnésio e alumínio trocáveis; capacidade de troca de cátions (CTC)_{pH 7,0}; Saturação da CTC_{efetiva} por Al; Saturação da CTC_{pH 7,0} por bases: (valor V); Soma das bases (SB); e Relações Ca/Mg, Ca/K, Mg/K. O diagnóstico da acidez do solo foi realizado pela interpretação dos valores de pH em água e pela porcentagem da saturação da CTC_{pH 7,0} por bases e da CTC_{efetiva} por alumínio. O pH em KCl foi avaliado a cada 15 dias de acordo com recomendações do trabalho de Rajj *et al.* (2001).

Para o meio de KCl, foram feitas determinações de pH semanalmente, e em água, seguiu-se o período de incubação de 30, 60, 90 e 120 dias. Foram utilizados os métodos de pH em água (acidez ativa), pH SMP (acidez potencial), e em KCl (acidez potencial), na relação solo/água ou solo/KCl de 1:2,5 (ROSSA, 2006). Essa determinação foi repetida em intervalos iguais até que se verificou a estabilização da acidez.

Os dados foram analisados utilizando o software Statistical Analysis System (SAS Inst. Inc., Cary, NC, v.9,3). A normalidade dos dados e homogeneidade dos corretivos foram avaliadas pelos testes de Shapiro-Wilk e Levene, respectivamente. Para avaliar o efeito do corretivo (calcário comercial e resíduo) sobre as variáveis químicas do solo os dados foram submetidos a análise de variância (GLM) e as médias comparadas pelo teste de Tukey (16 amostras de cada tratamento – calcário e resíduo). Para avaliar os efeitos da dose de corretivo (10,5; 18,7; 26,8 e 30,9 t/ha) do tempo de incubação (30, 60, 90 e 120 dias) sobre as variáveis químicas do solo os dados foram submetidos a análise de regressão (REG). Para a variável pH-KCl os tempos de ação considerados foram de 15, 30, 45, 60, 75, 90 e 120 dias. Diferenças estatísticas significativas foram consideradas quando $p < 0,05$.

A eficiência do corretivo é calculada pela equação do poder relativo de neutralização total (PRNT) (Equação 2).

$$\text{PRNT (\%)} = (\text{PN} \times \text{RE}) / 100 \quad \text{E2}$$

Onde PRNT representa a eficiência do corretivo, que depende de suas características químicas, expressas pelo Poder de Neutralização (PN) ou equivalente em carbonato de cálcio (ECaCO_3), e de suas características físicas. O tamanho de partículas é determinado por peneiração, de acordo com a Associação Brasileira Normas Técnicas (ABNT NBR 7181:2016). O efeito do tamanho de partículas é expresso pelo fator reatividade (RE).

As principais informações sobre a legislação brasileira de corretivos são especificadas pelo Decreto nº 4.954 de 14/01/2004 (Brasil, 2004a); pela Portaria nº 01, de 04/03/1983 (BRASIL, 1983a); pela Instrução normativa nº 10, de 06/05/2004 (BRASIL, 2004b); e pela Instrução normativa nº 4 de 2 de agosto de 2004 (BRASIL, 2004).

Caracterização do solo

A Tabela 1 apresenta a caracterização inicial do solo, antes da aplicação de corretivo. A camada de solo amostrada foi considerada para a instalação do sistema de plantio direto a partir de lavouras de preparo convencional ou de campo natural com revolvimento do solo.

Tabela 1. Caracterização química do solo antes dos experimentos.

pH H ₂ O	SMP	P (mg/dm ³)	K (mg/dm ³)	M.O. (%)	Ca (cmolc/dm ³)	Mg (cmolc/dm ³)	H+Al (cmolc/dm ³)	
5,3	6,1	3,1	19,8	3,0	2,0	0,9	3,8	
CTC pH 7 (cmolc/dm ³)	Al (%)	V (%)	S (%)	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K	Na	Argila (% m/v)
6,77	6,3	43,91	2,97	2,28	40,09	17,62	51,2	9

Fonte: os autores (2022).

Caracterização dos corretivos

A Tabela 2 apresenta os parâmetros constantes no laudo de análise do fabricante do calcário comercial, assim como os resultados das análises para os resíduos. As amostras foram passadas pelas diferentes peneiras para padronização de granulometria.

Tabela 2. Caracterização química^a e granulométrica dos corretivos (valores em %).

Corretivo	Peneiras (n°)			Parâmetros						
	10	20	50	Umíd	RE	PN	PRNT	CaO	MgO	CaO + MgO
Resíduo	98,9	56,7	19,3	0,60	51,4	88,5	45,5	37,9	24,2	62,1
Calcário	99,1	88,9	82,0	2,36	83,1	99,9	88,1	29,1	19,9	49,1

^a Teor de hidróxido de magnésio e hidróxido de cálcio do resíduo industrial: $\text{Ca(OH)}_2 = 50,08\%$ e $\text{Mg(OH)}_2 = 35,09\%$.

Fonte: os autores (2022).

Devido à sua composição química variável, os corretivos têm diferentes capacidades de neutralização de ácidos. Esta capacidade, chamada de poder de neutralização (PN), é expressa em relação àquela do carbonato de cálcio puro, ao qual é atribuído o valor de 100%. A capacidade de neutralização dos compostos e corretivos é também chamada de equivalente em carbonato de cálcio (ECaCO_3).

A Tabela 3 apresenta uma comparação do poder de neutralização de alguns corretivos.

Tabela 3. Composição química, poder de neutralização (PN) ou equivalente em CaCO_3 (ECaCO_3) e quantidades equivalentes a uma tonelada de CaCO_3 dos principais compostos presentes em corretivos de acidez do solo.

Corretivo	Fórmula	PN ou ECaCO_3 (%)	Quantidade Equivalente (kg)
Carbonato de cálcio	CaCO_3	100	1.000
Carbonato de magnésio	MgCO_3	119	840
Hidróxido de cálcio	Ca(OH)_2	135	741
Hidróxido de magnésio	Mg(OH)_2	172	581
Óxido de cálcio	CaO	179	559
Óxido de magnésio	MgO	248	403

Fonte: Comissão de Química e Fertilidade do Solo, 2016.

Para fins de comparação, a Tabela 4 apresenta parâmetros mínimos exigidos para alguns corretivos de acidez mais utilizados.

Tabela 4. Garantias mínimas de poder de neutralização (PN), da soma de óxidos (CaO + MgO) e de PRNT exigidas para os principais corretivos da acidez do solo.

Corretivo	PN (ECaCO ₃) (%)	CaO + MgO (%)	PRNT (mín.)
Calcário agrícola	67	38	45
Cal virgem agrícola	125	68	120
Cal hidratada agrícola	94	50	90
Calcário calcinado agrícola	80	43	54
Outros	67	38	45

Fonte: COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO, 2016.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

De acordo com o Manual de Adubação e Calagem para os estados do RS e SC (2004), o solo utilizado neste estudo apresentou teor de cálcio médio, teor de magnésio baixo, saturação na CTC muito baixa, CTC pH7 muito baixa e pH água baixo, sendo considerado um solo infértil (COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO, 2016; RONQUIM, 2010) (Tabelas 1 e 5).

Tabela 5. Valores dos parâmetros físico-químicos do solo em diferentes corretivos após os tratamentos com os diferentes corretivos.

Parâmetro	Tratamento		Media ¹	DP	Erro	Valor de P
	Calcário	Resíduo				
pH (Água)	7,00 ^b	7,41 ^a	7,2	0,45	0,079	0,0083
SMP	6,75 ^b	7,03 ^a	6,89	0,25	0,045	0,0013
K (mg/dm ³)	14,1 ^b	18,4 ^a	16,25	4,33	0,342	0,0033
Ca (cmolc/dm ³)	5,98 ^a	6,11 ^a	6,05	1,93	0,342	0,8518
Mg (cmolc/dm ³)	4,89 ^a	5,45 ^a	5,17	1,56	0,277	0,3185
H + Al (cmolc/dm ³)	1,85 ^a	1,42 ^b	1,64	0,46	0,081	0,0061

CTCpH 7(cmolc/dm ³)	12,81 ^a	13,05 ^a	12,93	2,56	0,453	0,7963
V (%)	84,74 ^b	88,93 ^a	86,84	4,42	0,782	0,0054
S (%)	10,92 ^a	11,6 ^a	11,27	2,63	0,465	0,4555
Ca/Mg	1,38 ^a	1,29 ^a	1,34	0,79	0,141	0,7506
Ca/K	175,4 ^a	138,2 ^a	156,8	70,59	12,479	0,1384
Mg/K	140,7 ^a	121,1 ^a	130,9	46,16	8,16	0,2344
Na (mg/dm ³)	12,8 ^b	45,6 ^a	29,2	19,66	6,953	0,0029
pH (KCl)	6,74 ^b	7,21 ^a	6,98	0,45	0,06	<0,0001

¹Médias seguidas de letras diferentes nas linhas indica diferença significativa para o teste de Tukey (p<0,05). Fonte: os autores (2022).

Os valores de pH em água, SMP, teor de K, acidez H+Al, saturação na CTC (V) e pH em KCl responderam significativamente a aplicação do resíduo, evidenciando interação pela análise de variância. Entretanto, não houve diferença significativa para o teor de Ca e Mg, CTC pH 7 e soma das bases (valor S); o efeito da aplicação do resíduo mostrou-se significativo ($p \leq 0,0083$) para a correção de acidez do solo.

A Figura 1 mostra a variação de pH, medidos em água e em KCl, em função das doses de corretivos aplicadas.

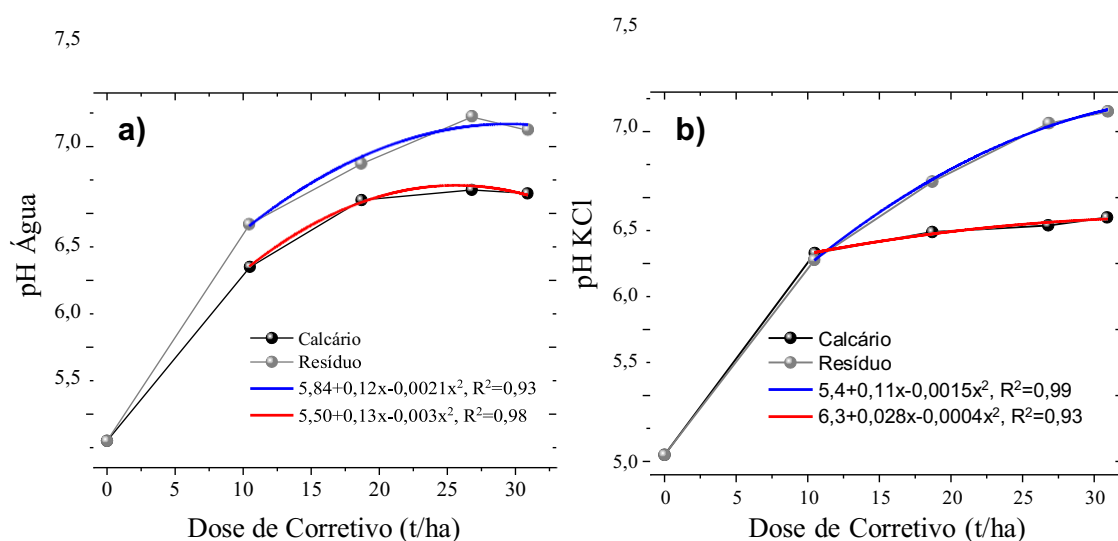


Figura 1. Variação de a) pH em água e b) em KCl em função das doses de calcário dolomítico e de resíduo aplicados ao solo nos períodos de incubação. A relação entre a variável independente (dose) e a dependente (pH Água e em KCl) para os dois corretivos apresentaram comportamentos quadráticos e coeficientes de determinação elevados.

A adição dos corretivos, calcário e o resíduo, aumentaram o pH tanto em água quanto em meio salino (KCl) (Figura 1) e a saturação por bases na amostra de solo (Tabela 5). Considerando a variação de pH em função das dosagens dos corretivos, observam-se incrementos quadráticos do pH com o aumento das doses. O pH (KCl) apresentou diferença significativa, com uma resposta quadrática de elevado fator de correlação (Figura 1b). O resíduo demonstrou efeito mais acentuado na elevação do pH com as doses aplicadas, uma vez que este contém maior soma de bases (V%), conforme Tabela 5. Houve interação significativa entre doses e tipo de corretivo. Resultados semelhantes foram encontrados por Prado e Fernandes (2000), que observaram aumento de pH do solo com a adição de doses de calcário e de escória de siderurgia, atuando positivamente na correção da acidez do solo. Outro trabalho com resultados semelhantes utilizou escória de siderurgia e óxido de magnésio como corretivos de acidez em Latossolos (MESQUITA *et al.*, 2008).

A Figura 2 apresenta a variação do teor de cálcio e magnésio do solo após aplicação dos corretivos.

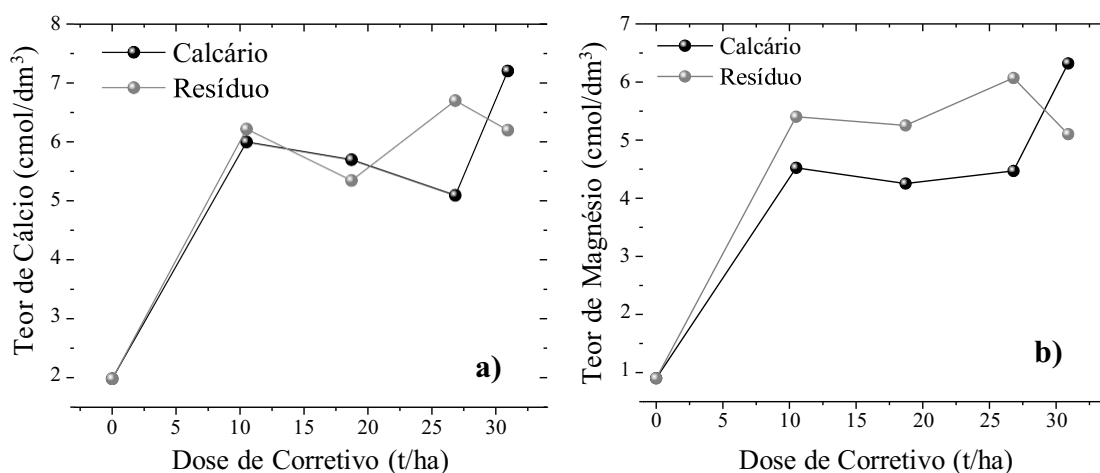


Figura 2. Variação do teor de a) cálcio e b) magnésio trocável do solo em função das doses de corretivos. Os valores foram obtidos calculando-se a média de 4 períodos de incubação.

A capacidade de fornecimento de Ca e Mg para o solo é praticamente a mesma para os dois corretivos e os teores de Ca e Mg atingidos são considerados altos (COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO, 2016). Esse efeito também foi

observado pelo uso de resíduos de serragem de mármore e calcário em amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (VALÉRIO RAYMUNDO *et al.*, 2011).

O teor de magnésio é um fator importante para se considerar na escolha de um corretivo de acidez. Corretivos com teor muito baixo de Mg, como os calcários calcíticos e conchas marinhas moídas, por exemplo, não são recomendados para solos com baixo teor deste elemento. Entretanto, para a maioria das culturas, a relação Ca/Mg dos corretivos pode variar entre limites muito amplos, desde que ambos estejam em nível de suficiência (NOLLA; ANGHINONI, 2004).

O teor de magnésio do resíduo foi de 24,20% em MgO. Em alguns casos, porém, esta relação deve ser considerada, em que alto teor de Mg no corretivo pode inibir a absorção de Ca pelas plantas, prejudicando a qualidade e a conservação dos frutos. Nesse caso, os calcários calcíticos são, algumas vezes, recomendados. No resíduo, o teor de cálcio observado foi de 37,90% em CaO. A legislação considera para outros tipos de corretivos a mínima soma de CaO e MgO igual a 38% (COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO, 2016). No caso do resíduo essa soma chega a 62,1%. De acordo com o Manual de Adubação e Calagem para os Estados do RS e SC, os teores de Ca e de Mg trocáveis e de S extraível são enquadrados em três faixas: “Baixo”, “Médio” e “Alto”. Consideram-se satisfatórios os teores desses nutrientes situados na classe “Alto”, embora para algumas culturas teores “Médio” de Ca e Mg já sejam suficientes para o bom desempenho agrônômico delas.

A Figura 3 apresenta a variação de acidez potencial do solo em função da aplicação de corretivos.

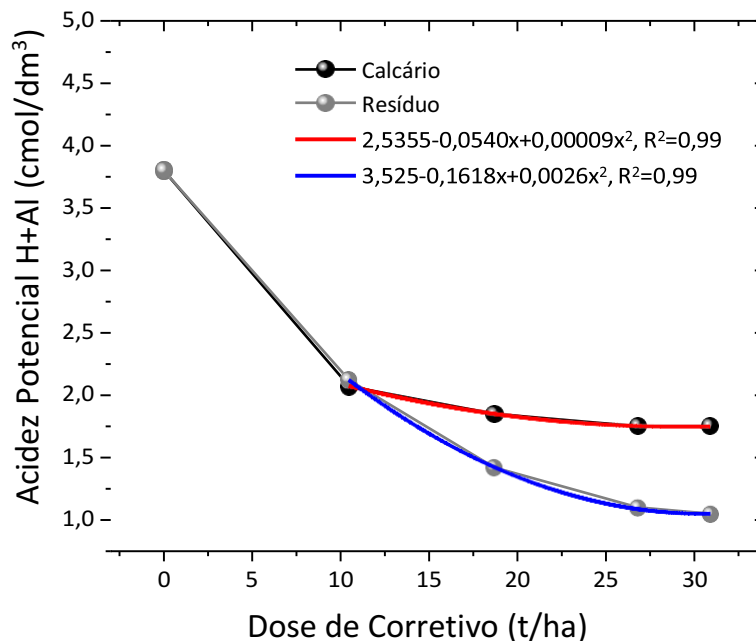


Figura 3. Variação da acidez potencial em função da aplicação de diferentes doses dos corretivos: resíduo e calcário.

O efeito da aplicação do resíduo sobre a acidez potencial teve diferença significativa, com $p \leq 0,0061$, diminuindo, dessa forma, a toxicidade do Al presente no solo, chegando a um valor médio de $1,42 \text{ cmolc/dm}^3$, com a maior dose de resíduo. (A ação tóxica do cátion Al^{3+} , além de reduzir o crescimento das raízes, diminuindo a absorção de água e nutrientes, interfere na absorção e transporte de nutrientes como o magnésio e o cálcio (SILVA *et al.*, 2000)). A relação entre a variável independente (dose) e a dependente (acidez potencial) para os dois corretivos apresentou comportamento quadrático e coeficiente de determinação elevados. Com o aumento da dosagem, a acidez potencial foi gradativamente reduzida. A diminuição da acidez do solo está relacionada com a precipitação do Al e a dissociação do hidrogênio (H), de grupos funcionais orgânicos e inorgânicos dos compostos sólidos presentes no solo com o aumento do pH, diminuindo o teor de Al na solução do solo (ERNANI, 2008). O efeito mais pronunciado do resíduo deve-se à maior disponibilidade de cátions básicos: CaO e MgO (Tabela 2).

Com a adição de cátions básicos ao solo, como magnésio, cálcio e potássio, através dos corretivos, houve aumento da soma de bases (valor de S) no solo (Tabela 5). Essa ocorrência se deve às reações químicas na solução e na superfície dos argilominerais do solo. Com a correção da acidez, os teores de Al^{3+} e de H^+ adsorvidos

nas cargas permanentes e dependentes de pH diminuem, enquanto aumenta os teores de cátions básicos, processo que eleva a CTC efetiva do solo (CAIRES *et al.*, 2004). A calagem aumenta a CTC efetiva em solos ácidos com predomínio de carga variável (ALBUQUERQUE *et al.*, 2000), como é o caso da maioria dos solos do Sul do Brasil. Conforme o pH do solo aumenta, o composto com Al sofre hidrólise, deixando vagos sítios de troca de cátions, ou ainda ocasiona a dissociação do hidrogênio de compostos orgânicos (CAMARGO *et al.*, 1997).

A variação da CTC pH 7 foi semelhante para ambos os corretivos e, para o resíduo, o valor atingido (Tabela 5) é considerado médio para as culturas do grupo 2, de acordo com o Manual de Adubação e Calagem para os Estados do RS e SC (2004).

A Figura 4 apresenta a variação da saturação CTC (V%) em função das doses de corretivos.

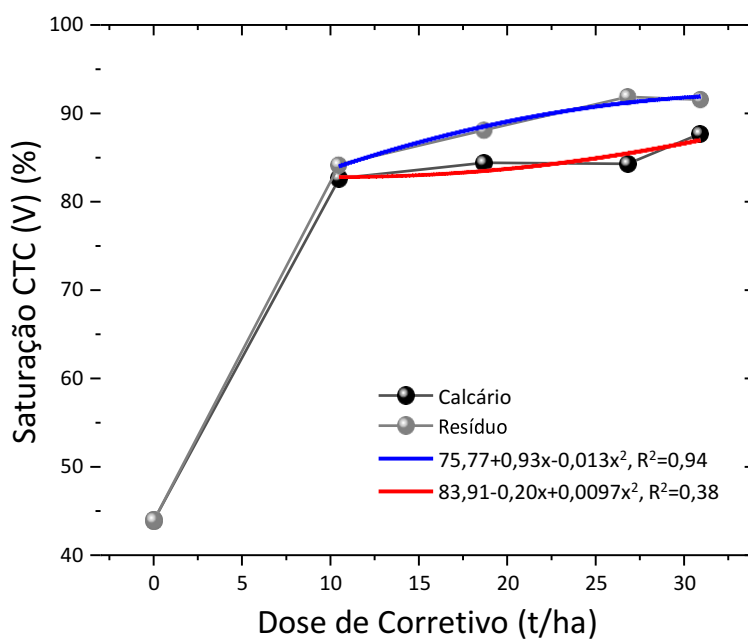


Figura 4. Variação da saturação na CTC, em função das doses de corretivos aplicados.

A saturação na CTC sofreu um acréscimo altamente significativo ($p \leq 0,0054$) com a aplicação de quantidades crescentes dos corretivos e o tratamento com o resíduo foi responsável por 94% da variação observada. A média observada para o resíduo foi de 88,93%, considerado um valor alto (COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO, 2016).

A capacidade de troca de cátions (CTC) de um solo, de uma argila ou do húmus representa a quantidade total de cátions retidos à superfície desses materiais em condição permutável ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+ + \text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$). Se a maior parte da CTC do solo está ocupada por cátions essenciais como Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ , pode-se dizer que esse é um solo bom para a nutrição das plantas, por outro lado, se grande parte da CTC está ocupada por cátions potencialmente tóxicos, como H^+ e Al^{3+} , este será um solo pobre, um valor baixo de CTC indica que o solo tem pequena capacidade para reter cátions em forma trocável (RONQUIM – EMBRAPA, 2010).

A Figura 5 mostra a variação do índice SMP em função das doses de corretivos aplicados.

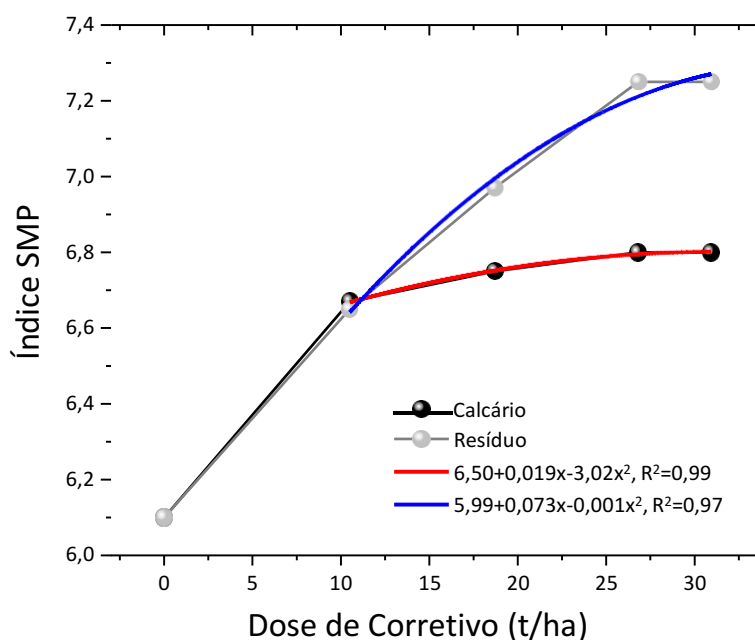


Figura 5. Índice SMP médio, em função das doses aplicadas de corretivos, calcário dolomítico e o resíduo.

O índice SMP, estimado pela necessidade de calagem, foi atingido na dose de 10,5 t/ha, com 76% da necessidade prevista. A relação entre a variável independente (dose) e a dependente (SMP), para os dois corretivos apresentou comportamento quadrático e coeficiente de determinação elevados (Figura 6).

Os resultados alcançados com o resíduo foram muito semelhantes aos obtidos com o calcário comercial. Entretanto, a substituição do calcário pelo resíduo do processo de fabricação de magnésio pode ser limitada pelo seu teor de sódio (Tabela 5). O efeito dos íons na solução irá depender da tolerância e da adaptação da cultura a toxidez do

íon. As plantas se comportam diferentemente em relação à salinidade. Algumas culturas podem tolerar concentrações relativamente elevadas de sais, outras são extremamente sensíveis. A tolerância varia não só com a concentração salina, mas, também, com práticas de manejo, clima e natureza e proporções relativas dos diversos íons na solução do solo (FULLER, 1967; RICHARDS, 1969). Vários são os métodos existentes para avaliar a salinidade do solo, sendo os mais importantes o pH, a condutividade elétrica do extrato de saturação e a porcentagem de sódio trocável. Esses métodos são descritos por Cruciani (2010). Em estudos utilizando-se resíduos alcalinos da indústria de papel com alto teor de sódio, não foram constatados efeitos negativos. A análise do solo após aplicação do resíduo atestou baixas concentrações de sódio, que possivelmente deve ter encontrado solubilidade suficiente no solo testado (BOGNOLA *et al.*, 1997; CORREA *et al.*, 2007; ALMEIDA *et al.*, 2008).

Considerando os diversos fatores que definem um bom corretivo, de acordo com o Manual de Adubação e Calagem para os Estados do RS e SC (2004), tem-se para o resíduo aqui estudado, um bom efeito neutralizante, no que diz respeito a sua equivalência em carbonato de cálcio, sendo que o mesmo forneceu cálcio e magnésio (Tabela 5), elevou suficientemente o pH a uma faixa favorável à maioria das culturas, de acordo com o Manual de Adubação e Calagem para os Estados do RS e SC (COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO, p.58, 2004), e neutralizou o alumínio tóxico, elevando a saturação em bases acima de 80% (Figura 5). A saturação por bases é um excelente indicativo das condições gerais de fertilidade do solo, sendo utilizada até como complemento na nomenclatura dos solos. Os solos podem ser divididos de acordo com a saturação por bases: solos eutróficos (férteis) $V\% \geq 50\%$; solos distróficos (pouco férteis) = $V\% < 50\%$ (RONQUIM – EMBRAPA, 2010). A maioria das culturas apresenta boa produtividade quando no solo é obtido valor $V\%$ entre 50 e 80% e valor de pH entre 6,0 e 6,5 (RONQUIM – EMBRAPA, 2010). O resíduo usado como corretivo atingiu na média $V\%$ o valor de 88,93% (Tabela 5). Pela atual Legislação (BRASIL, 2017), o calcário agrícola comercializado precisa, obrigatoriamente, apresentar valores mínimos de 67% de PN, 45% de PRNT e 38% de CaO + MgO; o resíduo apresentou 88,5% de PN, 45,50% de PRNT e 62,10% de CaO + MgO (Tabela 2), valores superiores ao calcário agrícola comercializado.

Ainda há possibilidades de alguns futuros ensaios com o resíduo, quanto a sua utilização; em condições de campo; em compostagem; na adição a outros resíduos sólidos, vegetais ou não, para melhorar sua condição física, facilitando o seu manuseio; na correção de tanques de piscicultura; na calagem de dejetos animais, visando estabilização química e reduzindo problemas de odor. Também é importante a consideração econômica pois, os dispêndios da empresa com depósito, transporte e descarte desse rejeito tornam o faturamento positivo quando esse, agora subproduto, for utilizado nos campos de produção agrícola ou vendido a terceiros.

CONCLUSÕES

A adição do resíduo, usado como corretivo, provocou efeito significativo em parâmetros físico-químicos importantes do solo: elevou o pH e os teores de Ca e Mg; reduziu o teor tóxico de Al trocável; aumentou a saturação por bases a um nível em que os solos são considerados férteis; e aumentou o teor de sódio.

Portanto, o resíduo testado mostrou-se potencialmente eficaz para ser utilizado como corretivo de acidez do solo e fornecedor de macro nutrientes para as culturas. O resíduo apresentou comportamento semelhante do que o calcário em alguns atributos, e possivelmente por apresentar em sua composição duas bases fortes, o hidróxido de cálcio e de magnésio, proporcionou um feito mais acentuado na alteração do pH do solo, na redução da acidez potencial, possuindo assim um poder de neutralização maior do que o calcário.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; ERNANI, P. R.; FONTANA, E. C. Propriedades físicas e eletroquímicas de um Latossolo Bruno afetadas pela calagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, p. 295-300, 2000.

ALMEIDA, H. C.; ERNANI, P. R.; ALBUQUERQUE, J. A.; MACABÔ JÚNIOR, J. & ALMEIDA, D. Influência da adição de um resíduo alcalino da indústria de papel e celulose na lixiviação de cátions em um solo ácido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32: 1775-1784, 2008.

ANGHINONI, I.; SALET, R. L. Reaplicação de calcário no sistema de plantio direto consolidado. In: KAMINSKI, J. (Coord.) **Uso de corretivos da acidez do solo no plantio direto**. Pelotas: Núcleo Regional Sul, 2000. p. 41-59. (Boletim Técnico, 4)

BARROS, M. M.; RIBEIRO, R. C. C. **Fertilização e correção de solos utilizando resíduos de rochas ornamentais: estado da arte**. 2021. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2021. 98p. - (Série Tecnologia Ambiental; 116). ISBN 978-65-5919-010-2.

BOGNOLA, I. A.; MAIA, C. M. B. F. & ANDRADE, G. C. Avaliação de lama de cal como material corretivo do solo. In: **Workshop sul-americano sobre usos alternativos de resíduos de origem florestal e urbana**, 1997, Curitiba. Anais... Colombo, Embrapa Florestas, 1997. p. 125-128.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Manual de métodos oficiais para fertilizantes e corretivos**. Secretaria de Defesa Agropecuária – Brasília/DF: MAPA, 2017.

CAIRES, E. F.; KUSMAM, M. T.; BARTH, G.; GARBUIO, F. G.; PADILHA, J. M. Alterações químicas do solo e resposta do milho à calagem e aplicação de gesso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 125-136, 2004.

CAMARGO, O. A.; CASTRO, O. M.; VIEIRA, S. R.; QUAGGIO, J. A. Alterações de atributos químicos do horizonte superficial de um Latossolo e um Podzólico com a calagem. **Scientia Agricola**, v. 54, p. 1-8, 1997.

COLEMAN, N. T.; MEHLICH, A. The chemistry of soil pH. **Soil: The**, p. 72-79, 1957.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/ SC. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10.ed. Porto Alegre, SBCS - Núcleo Regional Sul/UFRGS, 2004. 400p.

CORRÊA, J. C.; BÜLL, L. T.; CRUSCIOL, C. A. C.; MARCELINO, R; MAUAD, M. Correção da acidez e mobilidade de íons em Latossolo com aplicação superficial de escória, lama cal, lodos de esgoto e calcário. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, p. 1307-1317, 2007.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPQ, 1997, 212p.

ERNANI, P.R. **Química do solo e disponibilidade de nutrientes**. Lages: O autor, 2008. 230p.

FURTINI NETO, A.E.; TOKURA, A.M.; RESENDE, V.R. **Interpretação de Análise de Solo e Manejo da Adubação**. Lavras. Ed. UFLA. 159p. 2004.

GARDIN, João Peterson Pereira; DOUMER, Marta Eliane; MESSIAS, Rafael da Silva. Produtividade da cultura do milho e atividade de enzimas do metabolismo dos carboidratos com fertilizantes foliares contendo água de xisto. **Evidência**, v. 11, n. 2, p. 83-90, 2011.

GHIGGI PEIXOTO, D. J.; ZANÃO JÚNIOR, L. A.; MIOLA, V.; PEREIRA, N.; DE ANDRADE, E. A.; IARROCHESKI ROTTA, L. Atributos químicos de solo após incubação com produtos com cálcio e magnésio. **Acta Iguazu**, [S. l.], v. 8, n. 3, p. 62–68, 2019.

JUNIOR, Joaquim Lima; SILVA, André Luiz. Estudo do processo de salinização para indicar medidas de prevenção de solos salinos. **Enciclopédia Biosfera**, v. 6, n. 11, 2010.

KER, João Carlos. Latossolos do Brasil: uma revisão. **Geonomos**, 1997.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. Climatologia: noções básicas e climas do Brasil. **Oficina de textos**, 2017.

MESQUITA, L. F. et al. Escória de siderurgia e óxido de magnésio como corretivos da acidez em latossolos. In: **XII Encontro latino americano de iniciação científica e VIII encontro latino americano de pós-graduação**, 2008, São Bernardo do Campo. Anais... São Bernardo do Campo: UNIVAP. CD.

NOLLA, A.; ANGHINONI, I. Métodos utilizados para a correção da acidez do solo no Brasil. **Revista de Ciências Exatas e Naturais**, v. 6, n. 1, 2004.

PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M. Escória de siderurgia e calcário na correção da acidez do solo cultivado com cana-de-açúcar em vaso. **Scientia Agrícola**, v.57, n.4, p. 739- 744, 2000.

RAIJ, B. van.; ANDRADE, J.C.; CANTARELA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para a avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2001. 285p.

RAYMUNDO, Valério et al. Resíduos de serragem de mármore como corretivo da acidez do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 1, p. 47-53, 2013.

RAYMUNDO, Valério et al. Uso de Resíduos de Serragem de Mármore do Estado do Espírito Santo como Corretivo da Acidez de Solos. 2008.

RICHARDS, Lorenzo Adolph. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. LWW, 1954.

RONQUIM, Carlos C. Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais. **Embrapa Territorial-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E)**, 2010.

ROSSA, U. B. Estimativa de calagem pelo método SMP para alguns solos do Paraná. **Curitiba: Universidade Federal do Paraná**, v. 137, 2006.

SILVA, C.A.; AVELAR, M.L.; BERNARDI, A.C.C. Estimativa da acidez potencial pelo pH SMP em solos do semiárido do nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.24, n.3, p.689-692, 2000.

SIMONETE, M. A.; CHAVES, D. M.; TEIXEIRA, C. F. A.; MORO, L.; NEVES, C. U. **Fornecimento de cálcio para plantas de *Eucalyptus saligna* por meio de aplicação de resíduo industrial lama de cal**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 37(5), 1343–1351, 2013.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. **Manual de Adubação e de Calagem Para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10. ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2004.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO; NÚCLEO REGIONAL SUL. Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. 2004.

SOUZA, J. G., AIRES, F. P. G., GOMIDE, P. H. O., & NUNES, J. C. **Calagem e adubação no crescimento do capim Mombaça em Rorainópolis, Roraima**. Ambiente: Gestão e Desenvolvimento, 13(1), 24-3, 2020.