

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO**

Jocelina Paranhos Rosa de Vargas

**FORMAS DE APLICAÇÃO E TIPOS DE CORRETIVO DA ACIDEZ DO
SOLO: ALTERAÇÕES NOS ATRIBUTOS EM PROFUNDIDADE EM
LONGO PRAZO**

Santa Maria, RS

2017

Jocelina Paranhos Rosa de Vargas

**FORMAS DE APLICAÇÃO E TIPOS DE CORRETIVO DA ACIDEZ DO
SOLO: ALTERAÇÕES NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS EM
PROFUNDIDADE EM LONGO PRAZO**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Ciência do solo da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciência do Solo**.

Orientador: Prof. Dr. Danilo Rheinheimer dos Santos

Santa Maria, RS

2017

Vargas, Jocelina

FORMAS DE APLICAÇÃO E TIPOS DE CORRETIVO DA ACIDEZ DO SOLO: ALTERAÇÕES NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS EM PROFUNDIDADE EM LONGO PRAZO / Jocelina Vargas.- 2017.

63 p.; 30 cm

Orientador: Danilo Rheinheimer dos Santos
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo, RS, 2017

1. Acidez natural 2. Reacidificação 3. Sistema Plantio Direto I. Rheinheimer dos Santos, Danilo II. Título.

© 2017

Todos os direitos autorais reservados a Jocelina Paranhos Rosa de Vargas. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

E-mail: jocelinavargas@hotmail.com

Jocelina Paranhos Rosa de Vargas

FORMAS DE APLICAÇÃO E TIPOS DE CORRETIVO DA ACIDEZ DO SOLO: ALTERAÇÕES NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS EM PROFUNDIDADE EM LONGO PRAZO

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Ciência do solo da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciência do Solo**.

Aprovado em 21 de Julho de 2017:

Danilo Rheinheimer dos Santos, Prof. Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Marília Camotti Bastos, Dr^a (Universidade de Lorraine)

Tales Tiecher, Prof. Dr (UFRGS)

Santa Maria, RS
2017

Dedico este trabalho aos meus pais Isirenes e José pelo apoio e incentivo na caminhada em busca do conhecimento.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus por me permitir chegar até aqui e por todas as bênçãos derramadas sobre mim.

A Universidade Federal de Santa Maria e ao Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo, pela oportunidade de realizar o mestrado.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pela concessão da bolsa.

Ao meu orientador e grande incentivador, Danilo Rheinheimer dos Santos, que me acolheu desde o primeiro momento e vem me mostrando o caminho a seguir, sendo um grande exemplo.

A toda equipe do Laboratório de Química de Fertilidade do solo. Aos bolsistas de iniciação científica: Camila, Eduardo, Uilian, Eder, Pedro, Elisane e Marcieli que estiveram comigo me ajudando durante as etapas de desenvolvimento do trabalho. A Vanessa e a Sarah que durante o período de estágio me ajudaram nas atividades. Aos colegas da Pós-Graduação: Gilmar por toda a ajuda nas coletas, no laboratório e pelo companheirismo, a Gracieli e ao José Augusto pelo apoio no grupo. Aos Pós Doutorandos Ivan e Daniela pela ajuda nas coletas, a Fabiane pela amizade e convivência no laboratório.

A Marília, grande amiga e pessoa que Deus colocou em minha vida, que me ajudou em todas as etapas do trabalho, desde idas ao campo e ao laboratório, na escrita, me dando conselhos e sempre me encorajando. A minha amiga Mayara, por todo o apoio, conversas, incentivo e ajuda durante toda essa jornada! As minhas companheiras de apartamento e amigas Edicarla e Valéria, por sempre ajudarem e estarem comigo.

A todas as pessoas que conviveram e passaram por mim durante esses dois anos, que de alguma forma me ajudaram. Aos professores e aos colegas do PPGCS.

Enfim a todos ... Meu muito obrigada por tudo!

*“É proibido chorar sem aprender,
Levantar-se um dia sem saber o que fazer,
Ter medo de suas lembranças,
É proibido não rir dos problemas,
Não lutar pelo que se quer,
Abandonar tudo por medo,
Não transformar sonhos em realidade...”*
(Pablo Neruda)

RESUMO

FORMAS DE APLICAÇÃO E TIPOS DE CORRETIVO DA ACIDEZ DO SOLO: ALTERAÇÕES NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS EM PROFUNDIDADE EM LONGO PRAZO

AUTORA: Jocelina Paranhos Rosa de Vargas
ORIENTADOR: Danilo Rheinheimer dos Santos

A correção da acidez dos solos tem como objetivo principal neutralizar o Al^{3+} trocável, uma vez que a presença dessa forma de alumínio no solo causa restrição ao crescimento radicular e consequentemente a diminuição da produtividade das culturas sensíveis. Assim, em áreas cultivadas, monitorar o avanço dos atributos relacionados à acidez do solo em profundidade é fundamental para auxiliar na decisão sobre as formas de reaplicação de corretivo da acidez. O presente estudo teve como objetivo quantificar as alterações químicas do solo em profundidade, provocadas pela aplicação de corretivo, com diferentes relações Ca:Mg, de forma superficial e incorporada após 141 meses de sua aplicação. O experimento foi instalado em 2004 sob campo nativo em um Argissolo. O delineamento estatístico utilizado foi do tipo bifatorial com duas formas de aplicação (incorporado e superficial) e cinco tipos de corretivos (testemunha (0 ton/ha), e calcários com relação molar Ca:Mg de 35,5 (calcítico); 10,7; 5,9 e 2,7 (dolomítico). No mês de julho de 2016, foram abertas trincheiras em cada parcela e o solo foi amostrado até 60 cm de profundidade: a cada 1 cm até os 10 cm; a cada 2,5 cm dos 10 aos 25 cm; a cada 5 cm dos 25 aos 60 cm. As análises realizadas foram: valor de pH em água (1:1), índice TSM (Tampão Santa Maria) e teores de Ca, Mg e Al “trocáveis”. Calculou-se as saturações por Al e por bases. A simples deposição do corretivo dolomítico na superfície do solo, quase doze anos após a aplicação, propiciou alterações nos atributos relacionados a acidez do solo no perfil similares à sua incorporação. O uso do corretivo calcítico proporcionou alterações mais significativas nos atributos relacionados a acidez do solo no perfil, comparativamente ao dolomítico, seguindo sua maior solubilidade em relação a dolomita. Quase doze anos após a correção da acidez natural do solo seguindo as recomendações da Comissão de Química e Fertilidade do Solo-RS/SC (2016), percebe-se leve reacidificação do solo da camada 0-5 cm, cuja saturação por alumínio ainda é inferior a 5% nos primeiros 10 cm e migração significativa da frente alcalinizante no perfil do solo abaixo dos 20 cm.

Palavras-chaves: Acidez natural. Reacidificação. Sistema Plantio Direto.

ABSTRACT

FORMS OF APPLICATION AND TYPES OF SOIL ACIDITY CORRECTIVE: CHEMICAL ATTRIBUTES IN DEPTH IN LONG TERM

AUTHOR: Jocelina Paranhos Rosa de Vargas

ADVISOR: Danilo Rheinheimer dos Santos

The main interest of the soils acidity correction is to neutralize the exchangeable Al^{3+} , since the presence of this form of Al in the soil causes restriction of root growth and consequently the decrease of the productivity of sensitive crops. Thus, monitoring the advance of attributes related to soil acidity in depth in cultivated areas is fundamental to assist in the decision of reapplication of acidity corrective forms. The aim of this study was to quantify the chemical changes in the soil caused by lime application with different Ca:Mg ratios, in a superficial and incorporated form after 141 months of its application. The experiment was installed in 2004 under native field in an Ultisol. The statistical design was a two-factor type with two types of application forms (incorporated and superficial) and five types of correctives (control, and calcareous with Ca:Mg molar ratio of 30.0 (calcitic); 9.0; 5.0 and 3.2 (dolomitic). In July 2016, 36 trenches were opened in each plot and soil samples were collected at depths of 0 to 60 cm. In the soil layer of 0 to 10 cm the soil samples were collected every 1 cm, in the layer of 10 to 25 cm the soil samples were collected every 2.5 cm and in the layer of 25 to 60 cm the samples of were collected every 5 cm. In total, 25 depths per trench were sampled, totaling 828 soil samples used for the chemical analyzes. The analysis performed were: values of pH in water in the ratio 1:1, TSM index (Santa Maria Buffer) and Ca, Mg and Al exchangeable. From these results the saturation by Al and bases was calculated. The simple deposition of the dolomitic corrective on the surface of the soil, twelve years after the application, allowed changes in the attributes related to soil acidity in the profile, similar to the incorporation. The use of the calcitic corrective provided more significant alterations in the attributes related to soil acidity in the profile compared to the dolomite, following its greater solubility in relation to dolomite. Almost twelve years after the natural acidity correction of the soil following the recommendations of the Soil Chemistry and Fertility Commission -RS / SC (2016), a slight reacidification of the soil of the 0-5 cm layer is observed, whose aluminum saturation is still less than 5% in the first 10 cm. Even almost twelve years after the corrective application, superficial or incorporated, still significant migration of the alkalinizing front in the soil profile to depths greater than 20 cm is perceived.

Keywords: Natural acidity. Re-acidity. No-tillage

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Precipitação mensal média do município de Santa Maria (RS) durante o período de condução do experimento, nos anos de 2004 a 2016.	23
Figura 2- Valores de pH em água, alumínio, cálcio e magnésio trocáveis, saturação por alumínio e saturação por bases do solo de diferentes camadas sem aplicação do corretivo, seguido ou não de revolvimento do solo.	27
Figura 3- Valores de pH em água, alumínio, cálcio e magnésio trocáveis, saturação por alumínio e saturação por bases do solo de diferentes camadas decorrentes da aplicação ou não do corretivo dolomítico seguidas de revolvimento do solo.	30
Figura 4 - Valores de pH em água, alumínio, cálcio e magnésio trocáveis, saturação por alumínio e saturação por bases do solo de diferentes camadas decorrentes da simples deposição ou não do corretivo dolomítico na superfície do solo.	33
Figura 5 - Valores de pH em água, alumínio, cálcio e magnésio trocáveis, saturação por alumínio e saturação por bases do solo de diferentes camadas decorrentes da aplicação do corretivo calcítico ou dolomítico seguidas de revolvimento do solo.	35
Figura 6 - Valores de pH em água, alumínio, cálcio e magnésio trocáveis, saturação por alumínio e saturação por bases do solo de diferentes camadas decorrentes da simples deposição de corretivos calcítico e dolomítico na superfície do solo.	37
Figura 7- Valores de pH em água, alumínio, cálcio e magnésio trocáveis, saturação por alumínio e saturação por bases do solo de diferentes camadas decorrentes da simples deposição de corretivos com relação molar Ca:Mg de 35,5 (calcítico), 2,7 (dolomítico); 10,7 e 5,9.	39
Figura 8- Valores de pH em água, alumínio, cálcio e magnésio trocáveis, saturação por alumínio e saturação por bases do solo de diferentes camadas decorrentes da aplicação seguidas de revolvimento do solo de corretivos com relação molar Ca:Mg de 35,5 (calcítico), 2,7 (dolomítico); 10,9 e 5,9.	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Atributos químicos do solo da área experimental ainda recoberto pelo Bioma Pampa.	23
Tabela 2- Efeito significativo dos fatores experimentais e suas interações nos atributos relacionados à acidez do solo. Resultado da análise de variância (ANOVA).	26
Tabela 3 - Profundidade do solo modificada pela aplicação de calcário aplicado na superfície, avaliada pela análise estatística convencional ($p < 0,05$).	41
Tabela 4.- Valores dos atributos químicos do solo 12, 42 e 141 meses após a aplicação dos corretivos de acidez de forma superficial	44
Tabela 5- Valores dos atributos químicos do solo 12, 42 e 141 meses após a aplicação dos corretivos de acidez de forma incorporada.	45

SUMÁRIO

RESUMO.....	8
1. ESTADO DA ARTE SOBRE ACIDEZ DO SOLO E SUA NEUTRALIZAÇÃO	13
1.1 INTRODUÇÃO.....	19
1.2 MATERIAL E MÉTODOS	22
1.2.1 Coletas relacionadas aos atributos químicos do solo	24
1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	25
1.3.1 Avaliações dos atributos químicos do solo	25
1.4 CONCLUSÕES.....	46
2 CONSIDERAÇÕES FINAIS	47
2.1 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	48
APÊNDICES	57
Apêndice A	58
Apêndice C.....	60
Apêndice D	61
Apêndice E.....	62
Apêndice F -	63

1. ESTADO DA ARTE SOBRE ACIDEZ DO SOLO E SUA NEUTRALIZAÇÃO

Os solos brasileiros foram formados em regiões com materiais originalmente ricos em bases. Porém devido a sua localização em região tropical e subtropical, o intenso intemperismo resultou na perda de grande parte das bases presentes inicialmente nas rochas de formação, resultando em solos com baixa saturação de bases, naturalmente ácidos e de baixa fertilidade (Bernardi et al., 2002). A vegetação natural que se desenvolve sobre esses solos (ex.: campos nativos, cerrados e florestas tropicais e subtropicais) se adaptaram a presença de alta acidez dos solos através do acúmulo de resíduos orgânicos e ciclagem dos nutrientes (Motta e Melo, 2009). Adicionalmente, as espécies de plantas que co-evoluíram com o avanço do intemperismo intenso nas regiões tropicais e subtropicais além de tolerarem altas concentrações de alumínio são, inclusive, eficazes em absorver e utilizar nutrientes, em especial, o fósforo (Santos Jr, 2003). Visando contornar os problemas de baixa produtividade causados pela acidez, os indígenas brasileiros encontraram nas queimadas da vegetação nativa e no plantio por curto período de tempo duas formas de garantir suas produções de subsistência. As queimadas eram realizadas visando o aporte de nutrientes prontamente disponíveis as plantas e a alcalinização dos solos através das cinzas (Motta e Melo, 2009). Com o melhoramento genético, cultivares tradicionais foram trocados por plantas selecionadas geneticamente para atender à demanda de produtividade e qualidade. Por diversas razões, a opção mais comum no plantio comercial foi selecionar plantas de crescimento rápido e alta produtividade em condições adequadas de fertilidade e de baixa acidez com a aplicação de adubos e corretivos (Motta e Melo, 2009).

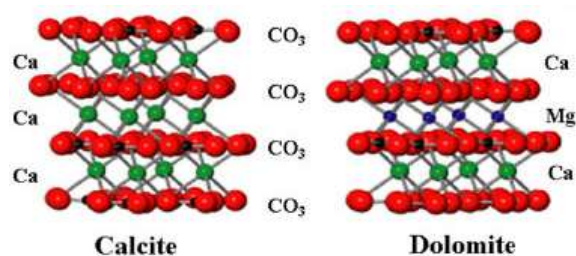
A correção da acidez do solo, realizada através da aplicação de rochas metamórficas (mármore) ou rochas calcárias (calcário) é atualmente a principal forma de eliminar os problemas causados pela acidez sem aumentar significativamente o custo de produção do produtor agrícola. No Estado do Rio Grande do Sul, as rochas calcárias ocorrem predominantemente na região que constitui o embasamento cristalino no Escudo Sul-Rio Grandense, que detém somente 0,37% do total das reservas lavráveis do país (158,610 milhões de toneladas) (Anuário Mineral Brasileiro, 2010).

Essas rochas são formadas por cristais de carbonato que consistem de um radical aniônico $(\text{CO}_3)^{2-}$ e de cátions de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Ba^{2+} , Sr^{2+} , Pb^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} , Zn^{2+} , entre outros. Este grupo $(\text{CO}_3)^{2-}$, na configuração geral, apresenta-se na forma de um triângulo equilátero,

com átomos de oxigênio nos vértices e um átomo de carbono no centro (Scoffin, 1987). O cátion existente no cristal tem papel importante no comportamento dos carbonatos, principalmente em termos de reatividade ou estabilidade do mineral. Na formação do cristal, seja em um sistema aquoso ou sólido, ocorre influência no arranjo dos átomos imposto pela força da ligação e número de coordenação. As diversas estabilidades existentes entre os minerais carbonáticos refletem as diferentes estruturas e ligações químicas (Reeder, 1983).

Assim, na organização estrutural dos minerais das rochas calcárias quando o radical carbonato combina com cátions bivalentes, em coordenação 6, a estrutura resultante possui geometrias simples, do tipo calcita, onde se alternam as camadas de cátions metálicos e ânions carbonato (Figura 1). No entanto, quando as camadas de cátions perpendiculares ao eixo C se alternam com as de íons carbonato, com camadas alternadamente de Ca e Mg, o mineral formado é a dolomita (Figura 1) (Klein e Mizusaki, 2007). Dessa forma, as rochas calcárias variam em sua composição química, consistindo principalmente de calcita (CaCO_3), mas podem igualmente conter dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$).

Figura 1- Estrutura cristalina da calcita e dolomita. Observa-se a estrutura do mineral com camadas de Ca intercaladas por ânions (CO_3^{2-}) para calcita e camada de Ca e Mg intercaladas com ânions (CO_3^{2-}) para dolomita.



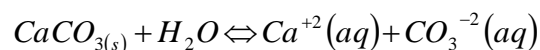
Fonte: Magalhães et al., 2013

A dolomita apresenta Ca e Mg em proporções molares equivalentes. Sua característica principal é a presença dos dois cátions regularmente alternados entre os ânions ($(\text{CO}_3)^{-2}$). Isso dá maior estabilidade a estrutura, com ângulos cristalográficos ligeiramente diferentes daqueles da calcita. A simetria é distinta, devido ao menor tamanho do íon Mg em relação ao Ca. O grau de desordem na estrutura cristalina afeta a dimensão dos retículos cristalinos, e consequentemente, a solubilidade da dolomita. A dolomita estequiométrica é considerada a forma menos solúvel, porém qualquer mudança na sua estrutura ou na composição aumenta a energia livre do cristal, tornando-a mais solúvel (Boggs, 1998).

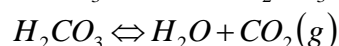
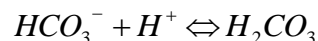
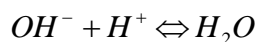
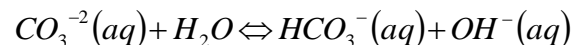
Ensaios laboratoriais evidenciaram que o tempo aproximado para a dissolução completa de uma esfera ou cubo com \varnothing 1 mm de calcita em solução diluída a pH 5 e 25 °C é de 0,1 anos, enquanto para a dolomita é de 1,6 anos (Kampf, Curi e Marques, 2009). O retardamento da dissolução é devido a substituídos de íons de cálcio, presentes na calcita, por íons de magnésio, modificando a estrutura cristalina e, por conseguinte, a solubilidade (Klein e Mizusaki, 2007). A constante de dissociação para a calcita é de 10^{-8} enquanto que para a dolomita é 10^{-17} (Sherman e Barak, 2000).

Os carbonatos de cálcio e magnésio, como o calcário, em meio aquoso se solubilizam e na sequência se dissolvem. Kaminski et al. (2007) descrevem suas reatividades químicas quando adicionados ao solo:

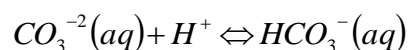
“A solubilidade do calcário em água é muito baixa e, portanto, a quantidade de íons resultante da solubilização do carbonato de cálcio é infinitamente menor do que a acidez potencial banhada pela solução portadora de poder neutralizante:



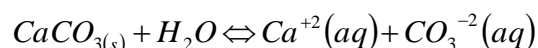
O valor de K_{ps} é $10^{-8,4}$, o que equivale a 0,0038 g CO_3^{-2} L⁻¹ (Stumm & Morgan, 1996). A hidrólise do íon CO_3^{-2} ocorrerá significativamente somente na presença de prótons na solução do solo:



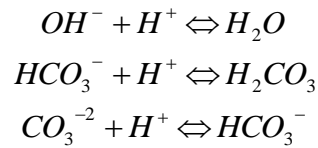
À medida que a reação do íon CO_3^{-2} com os prótons presentes na solução avança:



$K = 10^{10,3}$ (Stumm & Morgan, 1996), o equilíbrio da reação se desloca na direção dos produtos, gerando mais íons Ca^{+2} e íons CO_3^{-2} em solução.



Como os íons CO_3^{-2} são consumidos pelos prótons, como resultado da soma das reações:



A concentração de íons Ca^{+2} em solução necessária para manter constante o produto de solubilidade [$(Ca^{+2})(CO_3^{-2}) = 10^{-8,4}$] torna-se maior em relação aos íons CO_3^{-2} . Isso indica que os prótons acentuam a dissolução e a consequente dissociação do calcário e à medida que o pH da solução do solo aumenta, em função do consumo de calcário, a quantidade de íons CO_3^{-2} na solução disponível para neutralizar outros prótons diminui. A baixos valores de pH, a taxa de geração de OH^- é superior à sua taxa de consumo, de forma que o pH da solução do solo aumenta. No pH de 8,3, essas duas taxas se igualam e a concentração de OH^- permanece constante. Consequentemente, as concentrações dos íons CO_3^{-2} e Ca^{+2} em solução não variam mais, cessando o consumo do carbonato de cálcio sólido. ”

A elevação do pH da solução do solo favorece a precipitação do Al trocável na forma de oxihidróxido $Al(OH)_3$, forma não solúvel e portanto não tóxica para as plantas (Alcarde, 2005; Sousa et al., 2007). Concomitantemente, ocorrerá a dissociação dos grupos funcionais da superfície dos coloides inorgânicos (argilominerais e óxidos) e orgânicos, cujos prótons serão neutralizados e tornando os grupos funcionais mais negativos.

Com a expansão das fronteiras agrícolas, muitos biomas naturais foram incorporados às áreas agricultáveis. A Comissão de Química e Fertilidade do Solo do Núcleo Regional Sul da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo em seu Manual de Calagem e Adubação (CQFS-RS/SC, 2016) é explícita na recomendação de que a correção da acidez natural ou resquícios dela no perfil do solo deve ser realizada com a incorporação do corretivo na implantação do sistema plantio direto (SPD), quer seja a partir de algum bioma natural ou do cultivo convencional. Essa recomendação é válida também para todo e qualquer sistema de produção que não se pretenda mais revolver o solo por longos períodos, como é o caso das frutíferas, das florestais e das pastagens perenes. A reacidificação, em qualquer um desses casos, por outro lado, pode e deve ser neutralizada com a reaplicação do corretivo na superfície sem incorporação, uma vez que ela ocorre a partir da superfície, principalmente, pela injeção de prótons da água da chuva.

No sistema plantio direto diversos trabalhos têm demonstrado que o efeito da calagem superficial para a correção do solo das camadas subsuperficiais varia com: a dose e a granulometria do corretivo; a forma de aplicação; o tipo de solo; as condições climáticas,

especialmente regime hídrico; o sistema de cultivo; e o tempo decorrido da aplicação (Alleoni, Cambri e Caires, 2005; Caires *et al.*, 2003; Oliveira e Pavan, 1996; Rheinheimer *et al.*, 2000). Desse modo, a eficiência dessa prática é controversa, particularmente na correção da acidez do subsolo.

Mecanismos para correção do solo das camadas subsuperficiais são discutidos na literatura (Caires, Banzatto e Fonseca, 2000; Amaral e Anghinoni, 2001; Amaral *et al.*, 2004; Vilela *et al.*, 2010). O mais comumente encontrado na literatura é o deslocamento físico de partículas do corretivo através de canais formados por raízes mortas, mantidos intactos em razão da ausência de preparo do solo (Amaral e Anghinoni, 2001). Há também, a formação de planos de fraqueza no solo que permitem o deslocamento físico de finas partículas de calcário através do movimento descendente da água (Petreire e Anghinoni, 2001). Porém, esse mecanismo, sozinho, provavelmente não justifica os expressivos efeitos da calagem superficial em alterar os atributos químicos do solo em camadas mais profundidade. A pequena mobilização do solo, que ocorre somente na linha de semeadura no SPD, também contribui com a movimentação física do calcário em função da incorporação ocorrida nesta região, e, com os repetidos ciclos de semeadura, auxilia no caminhar em profundidade das partículas do corretivo (Rheinheimer *et al.*, 2000). Outro mecanismo envolvido na neutralização da acidez do solo de camadas abaixo da zona de aplicação do corretivo é a movimentação de ânions (Tedesco; Gianello, 2000). A água que percola no solo, enriquecida com os produtos da dissolução do calcário, pode neutralizar a acidez do solo do entorno dos poros e, globalmente, diminuir a saturação por alumínio e aumentar o valor do pH do solo, mesmo estando longe do local de aplicação do corretivo. Logicamente que, a movimentação de ânions somente ocorrerá associado a cátions, em especial, na forma de pares iônicos solúveis. Oliveira e Pavan (1996) mencionam a formação de pares iônicos entre o bicarbonato, cálcio e magnésio, facilitando o seu movimento no perfil do solo. No entanto, enquanto existirem cátions ácidos a reação de neutralização da acidez ficará limitada à camada superficial, retardando o efeito em subsuperfície. Assim, para que a neutralização da acidez ocorra em subsuperfície, os produtos da dissolução do calcário devem ser arrastados para camadas inferiores.

Outros mecanismos responsáveis pela eficiência da correção da acidez do solo com a aplicação superficial de calcário em SPD é a liberação de compostos orgânicos hidrossolúveis de baixa massa molar (ácidos orgânicos) pelos materiais vegetais presentes na superfície do solo (Franchini *et al.*, 2001). Segundo esses autores, a presença de certos materiais vegetais é capaz de potencializar o efeito da calagem, mobilizando a chamada frente alcalina. Eles

apresentam capacidade de complexar e mobilizar Ca e Mg arrastando-os para camadas mais profundas. Lá, esses dois cátions poderiam deslocar o Al adsorvido fracamente aos grupos funcionais à solução do solo, onde seria complexado por esses mesmos compostos orgânicos, seguindo séria de energia de estabilidade.

Portanto, o monitoramento das modificações dos atributos químicos relacionados à acidez do solo quando as opções foram incorporar ou não o corretivo torna-se uma ferramenta útil para o entendimento da dinâmica de sua movimentação no perfil do solo e, inclusive, do processo de reacidificação.

1.1 INTRODUÇÃO

O processo de intemperismo de rochas promove a liberação de diversos elementos químicos, podendo ser benéficos ou maléficos ao desenvolvimento dos vegetais. O alumínio (Al) é um desses elementos e na sua forma reativa (Al^{3+}) pode permanecer ligado às superfícies das partículas carregadas negativamente (Coleman e Thomas, 1967), ser complexado pela matéria orgânica, reprecipitado em formas de óxidos de ferro e também drenado para as entrecamadas dos argilominerais 2:1. Devido ao grande potencial tóxico do Al^{3+} para as plantas, a correção do pH dos solos é uma prática agrícola mundial. Para comprovar sua eficiência, pesquisas sobre aplicação de calcário nos solos foram desenvolvidas desde o século passado por diversos pesquisadores em diversos países (Bear, 1932; Gallo e Catani, 1954; Mohr 1960; Corrêa et al., 1961; Miyasaka et al., 1966; Gargantini, 1974).

Assim, a aplicação do corretivo com posterior revolvimento do solo é realizada desde a descoberta do potencial fitotóxico do alumínio trivalente. Os principais problemas são a restrição de crescimento radicular e conseqüentemente a diminuição da produtividade das culturas sensíveis. Nos anos 60, os danos significativos de produção causados pela alta acidez do solo e a presença de Al^{3+} , resultou na criação do primeiro programa governamental e cooperativado de correção da acidez do solo no Rio Grande do Sul (Mielniczuk, 1999).

Para a correção dos solos são usadas rochas metamórficas (mármore) ou rochas calcárias (calcário), genericamente denominados de corretivos da acidez do solo, que consistem carbonatos, principalmente de calcita, mas podem conter dolomita. Quando os íons de cálcio são substituídos por íons de magnésio a estrutura cristalina se altera e diminui a sua solubilidade. A calcita é mais solúvel quando comparada com a dolomita, devido a mecanismos de controle da reação superficiais mais complexos e possui processos de dissolução química mais forte (Liu, Yuan e Dreybrodt, 2005). Em conseqüência, corretivos que contenham maior quantidade de pequenos cristais de calcita induzem maior solubilidade ao corretivo, comparativamente ao carbonato de magnésio puro (Morse e Arvidson, 2002; Liu, Yuan e Dreybrodt, 2005; Grunwaldt *et al.*, 2016)

Quando o corretivo da acidez, finamente moído, reage com o próton da solução do solo, provoca aumento do pH e, conseqüentemente, a neutralização do Al^{3+} e a dessorção dos hidrogênios coordenados nos grupos funcionais, em especial, da matéria orgânica do solo.

Deste modo, as reações dos ânions oriundos da dissociação dos corretivos (HCO_3^- e OH^-) com os prótons da solução do solo do entorno das partículas do corretivo provocam inicialmente a polimerização do Al^{3+} da solução do solo (neutralização) e, concomitantemente, desequilíbrio entre a solução e os grupos funcionais dos colóides inorgânicos (argilominerais e óxidos) e orgânicos (matéria orgânica). Assim, haverá dessorção do Al^{3+} fracamente adsorvido e inclusive do hidrogênio dos grupos funcionais (acidez potencial). Essas reações são limitadas ao solo em contato com as partículas do corretivo, uma vez que sua solubilidade é, na realidade, controlada pela sua dissociação e depende da presença de prótons na solução do solo (Weirich Neto *et al.*, 2000; Kaminski *et al.*, 2007).

A neutralização da acidez ativa, do Al^{3+} adsorvido e dos hidrogênios dos grupos funcionais dos colóides do solo que se encontram longe do local de dissolução/dissociação do corretivo da acidez é muito limitada. No entanto, têm se observado modificações nos atributos da acidez do solo de camadas subsuperficiais quando da simples distribuição do corretivo na superfície do solo (Rheinheimer *et al.*, 1998, 2000; Gatiboni *et al.*, 2003; Kaminski *et al.*, 2005; Castro e Crusciol, 2013; Crusciol *et al.*, 2016; Joris *et al.*, 2016).

Dois mecanismos são apontados como responsáveis por essa frente alcalinizante. O primeiro deles é a movimentação de partículas de corretivo em profundidade de forma “acidental” provocada pelo movimento turbulento descendente de água via macroporos. Em sistemas naturais, como não há interferência antrópica, os bioporos e a estrutura de boa qualidade do solo, permitem a formação de canais, os quais são mantidos intactos e contínuos no perfil do solo (Molope, Grieve e Page, 1987) (Gassen e Kocchann, 1998). A não-mobilização do solo e o acúmulo e a estabilização da matéria orgânica determinam ambiente propício para a atividade de minhocas, larvas de insetos e de outros organismos e o aumento da atividade microbiana (Amaral *et al.*, 2004). Esses processos contribuem para a formação e estabilização dos agregados do solo, melhorando igualmente sua estrutura (Molope, Grieve e Page, 1987) e favorecendo a infiltração de água.

Quando essas propriedades físicas são preservadas, as taxas de infiltração instantâneas d'água no sistema plantio direto e em pastagem nativa são altas (Silva, 2011), devido ao equilíbrio alcançado no ecossistema. A manutenção de palha na superfície do solo e a ausência de revolvimento resultam em melhorias nas características físicas e biológicas do solo (Lima *et al.*, 2011). Essas melhorias favorecem a descida do calcário por canais preferenciais formados pelo aumento da porosidade, canalículos formados pelas raízes mortas e bioporos formados pelo meso e macrofauna do solo.

Os atributos físicos do solo associados às condições de clima e solo no sul do Brasil podem possibilitar a movimentação de partículas finas de calcário, que não reagiram na superfície do solo (Amaral et al., 2004). A textura do solo é uma das propriedades mais estáveis, sendo pouco modificada pelo cultivo e outras práticas que ocasionam a mistura de diferentes camadas (Arshad et al., 1996). Contudo, é uma propriedade que tem estreita relação com a retenção e o transporte de água, estrutura, teor de nutrientes e de matéria orgânica, além de influenciar fortemente os processos erosivos do solo (Feller e Beare, 1997). Quando se tem boa estruturação do solo e condições de relevo que favorecem a máxima infiltração de água, pode-se dizer que tais condições favorecem o mecanismo de transporte de partículas ao longo do perfil do solo. A migração das partículas pode ser importante para explicar, pelo menos em parte, os efeitos na neutralização da acidez e na concentração de Ca e Mg verificados no solo da subsuperfície, dependendo do tempo e da dose.

O segundo mecanismo que pode explicar as alterações nos atributos da acidez do solo de camadas subsuperficiais quando depositado o corretivo na superfície é a adsorção/dessorção de cátions por ânions orgânicos solúveis na solução do solo. Esse mecanismo não envolve reações acidobásicas; simplesmente está baseada na formação e migração de sais orgânicos solúveis no perfil do solo. Ácidos orgânicos com baixo número de átomos de carbono podem ser excretados pelo sistema radicular ou serem produzidos pela decomposição microbológica dos resíduos vegetais, parte deles permanece na solução do solo ou na zona de interface solo-solução (Kleber, Sollins e Sutton, 2007). Portanto, devido à alta concentração de Ca e Mg (subproduto da dissociação dos corretivos) haverá a formação de complexos solúveis. Esse fenômeno (de formação de complexos) não causa efeito na alteração dos atributos da acidez do solo. O mecanismo está relacionado a migração desse complexo no perfil do solo via movimento de água, onde à medida que ocorre a descida no perfil, ocorre a troca do Al pelo Ca ou Mg, uma vez que a solução do solo é mais pobre em Ca e Mg rica em Al. Alguns trabalhos publicados têm demonstrado que esse mecanismo aumentou a mobilidade de Ca e diminuiu a atividade do Al^{+3} da solução do solo das camadas de subsuperfície quando da aplicação superficial do corretivo e da adição de resíduos vegetais (equivalente a $40 t ha^{-1}$ de massa seca) (Franchini *et al.*, 2001; Miyazawa, Pavan e Franchini, 2002; Cassiolato *et al.*, 2000)

Independentemente do mecanismo de migração dos efeitos da adição de corretivos, dois fatores são primordiais para a magnitude dos mecanismos: o tempo e a infiltração de água. O tempo, para que ocorra a dissolução do calcário, que é pouco solúvel e, conseqüentemente, os produtos de sua dissolução apresentam baixas concentrações na

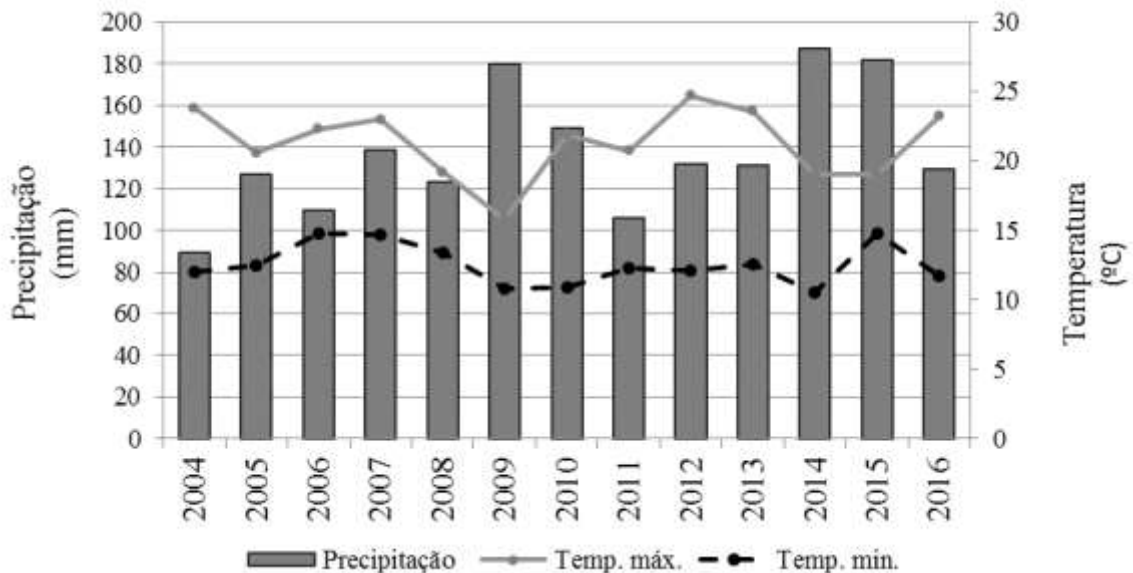
solução. Além disso, a migração da frente alcalinizante no perfil do solo está limitada ao transporte de partículas de calcário em suspensão na solução percolante. Portanto, a água infiltrada no perfil do solo, que fará com que seja efetivado o transporte das partículas do corretivo (Amaral et al., 2004).

Monitorar o avanço da alteração nos atributos relacionados à acidez do solo em profundidade em áreas cultivadas é fundamental para auxiliar na tomada de decisão sobre formas de reaplicação de corretivo da acidez e, inclusive, se há necessidade em revolver o solo quando da transformação dos biomas naturais em áreas agrícolas. Nesse sentido, o presente estudo teve como objetivo principal medir algumas mudanças químicas provocadas pela correção convencional da acidez do solo (uma lavração até 15 cm + duas gradagens) em relação a simples deposição do corretivo da acidez na superfície do solo. Secundariamente, objetiva-se monitorar se corretivos com diferentes relações molares de cálcio e magnésio terão movimentação diferencial no perfil do solo.

1.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na área experimental do Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria (coordenadas geográficas 29° 43'13"S e 53° 42'13"O), localizado no município de Santa Maria, na região fisiográfica da Depressão Central do Rio Grande do Sul. O solo é classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico típico (Embrapa, 2006). O clima é classificado como Cfa, de acordo com a classificação de Köppen, com precipitação média anual de 1.769 mm e temperatura média anual de 19,2°C. Os dados reais de precipitação e de temperatura medidos durante o período experimental encontram-se na Figura 1.

Figura 1- Precipitação mensal média do município de Santa Maria (RS) durante o período de condução do experimento, nos anos de 2004 a 2016.



Fonte: Elaborada com dados do Instituto Nacional de Meteorologia.

Até outubro de 2004 o solo da área experimental estava coberto pelo Bioma Pampa, com vegetação campestre. Os atributos químicos do solo das camadas 0-10 e 10-20 cm estão listados na Tabela 1.

Tabela 1- Atributos químicos do solo da área experimental ainda recoberto pelo Bioma Pampa.

Camada cm	MO* g kg ⁻¹	Argila	pH	Ca	Mg cmol _c dm ⁻³	Al dm ⁻³	CTC	V %	Al	P mg dm ⁻³	K	Ca/Mg
0-10	17	150	4,3	1,7	1,0	1,3	3,8	50	46	6,0	300	1,7
10-20	10	190	4,9	1,5	0,6	1,8	3,5	39	37	1,5	108	2,5

Fonte: Miotto (2009).

Em outubro de 2004 a vegetação natural foi dessecada com glifosato. Numa faixa de 5 x 136 m foi realizada lavração com arado de disco (0-15 cm), seguida de duas gradagens para a incorporação dos diferentes tipos de corretivos da acidez. Na outra faixa, os corretivos foram apenas depositados na superfície da vegetação natural dessecada.

Em cada faixa foram delimitados três blocos, sem intervalo entre eles. Em cada um dos blocos foram definidas seis parcelas (5 x 6 m) e em cada parcela foi adicionado um tipo

de corretivo da acidez, relações molares de Ca:Mg de 35,5 (calcítico); 10,7; 5,9 e 2,7 (dolomítico), além da testemunha. Desse modo, construiu-se um arranjo bifatorial: dois modos de aplicação de calcário e seis tipos de calcário, com três repetições.

A quantidade de corretivo aplicada foi suficiente para elevar o pH do solo a 6,0, correspondendo a 6,1 Mg ha⁻¹ de carbonato de cálcio puro e extremamente fino. O corretivo calcítico tinha 45% de CaO e 1,5% de MgO (relação molar Ca:Mg de 35,5), poder de neutralização de 76% e PRNT de 64%. O corretivo dolomítico tinha 32% de CaO e 14,0% de MgO (relação molar Ca:Mg de 2,7), poder de neutralização de 77% e PRNT de 70%. A partir da mistura desses dois corretivos construíram-se os demais corretivos com as diferentes relações molares de Ca:Mg. As doses aplicadas foram ajustadas para PRNT de 100% para que todos os corretivos apresentassem a mesma reatividade química.

A partir da instalação do experimento adotou-se o manejo sistema plantio direto (SPD) cultivando-se soja (*Glycine max*) (2005/2006, 2007/2008, 2014/2015 e 2016/2017), aveia preta (*Avena strigosa* Schreb) (2005 e 2006), trigo (*Triticum aestivum* L.) (2007), canola (*Brassica napus* L.) (2008), consórcio de aveia preta + nabo forrageiro (*Raphanus silvestres*) (2014) e centeio (*Secale cereale* L.) (2015). Nas safras de primavera/verão (2008/2009, 2009/2010, 2011/12, 2013/2014) e de inverno (2009; 2010; 2011; 2012 e 2013) a área permaneceu em pousio.

1.2.1 Coletas relacionadas aos atributos químicos do solo

No mês de julho de 2016, aos 141 meses após a instalação do experimento, o solo foi coletado. Em cada parcela foi aberta trincheira de 1,0 x 1,0 x 0,7 m. O perfil do solo de uma face da trincheira foi amostrado até 60 cm de profundidade. Nos primeiros 10 cm, coletou-se solo em camadas de 1 em 1 cm; nos próximos 15 cm (10 a 25 cm) coletou-se solo em camadas de 2,5 em 2,5 cm; nos próximos 35 cm (25 a 60 cm) coletou-se solo em camadas de 5 em 5 cm. O solo foi seco em estufa a 55°C. Após, o solo foi destorroado e passado em peneira com malha de 2 mm. Finalmente, o solo foi acondicionado em frasco hermeticamente fechado para posterior análise.

Mediu-se o valor de pH em água na proporção 1:1. No mesmo extrato foi medido o valor do índice TSM (Toledo et al., 2012), utilizando-se potenciômetro de eletrodo combinado. Determinaram-se os teores de cálcio, magnésio e o alumínio extraíveis pela solução de KCl 1 mol L⁻¹. Os teores de cálcio e de magnésio foram quantificados por espectrofotometria de absorção atômica e o teor de alumínio por titulação com a solução de

NaOH 0,0125 mol L⁻¹ (Tedesco et al 1995). A partir do valor do índice TSM estimou o valor da acidez potencial (Toledo et al., 2012) e então foi possível calcular as saturações por alumínio e por bases.

Os dados de todos os atributos relacionados à acidez do solo foram submetidos à análise de variância assumindo sistema trifatorial com blocos casualizados e três repetições. As formas de aplicação foram consideradas as parcelas principais; os tipos de corretivos de acidez, as subparcelas e as camadas de solo amostradas as subsubparcelas, com restrições à camada amostrada. Quando os efeitos dos tratamentos foram significativos, as diferenças entre as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

1.3.1 Avaliações dos atributos químicos do solo

Antes da instalação do experimento, a área experimental era mantida com vegetação natural do bioma pampa e até então nunca recebera nenhum trato cultural. O solo da camada superficial tinha alta acidez ativa, alta saturação por alumínio e baixíssima disponibilidade de fósforo (CQFS-RS/SC, 2016) (Tabela 1), indicando solo bem intemperizado e inadequado a produção de espécies sensíveis ao alumínio.

O solo presente no tratamento testemunha teve a retirada da vegetação nativa foi realizada através da aplicação de herbicida e pela mobilização do solo com aração e gradagens. Após 141 meses, com cultivo de espécies de plantas exógenas e aplicação de nutrientes (tratamento testemunha sem aplicação de corretivo), seus parâmetros químicos relacionados a acidez do solo (pH, Ca, Mg, Al, saturação por alumínio e por base) não foram diferentes dos valores obtidos no momento inicial do experimento (Figura 2).

O modelo de distribuição dos atributos relacionados à acidez do solo no perfil é típico de solos ocorrentes em regiões subtropicais e sob biomas naturais. Os elevados teores de matéria orgânica presentes no solo das camadas extremamente superficiais (0-2 cm) contribuem para a complexação do Al e retenção de Ca e Mg (Alleoni et al., 2010), inclusive mantendo a acidez ativa em níveis mais baixos (Figura 2a). O solo abaixo dos 5 cm de profundidade tem em torno de 1,0 cmol_c dm⁻³ de Al e Ca (Figura 2b, c). Os teores de Mg²⁺ são mais bem distribuídos no perfil do solo (Figura 2d), demonstrando maior mobilidade em consequência da menor energia de ligação aos grupos funcionais, comparativamente aos dois cátions supracitados. A saturação por Al aumenta de 10% no solo do primeiro centímetro até 45% aos 30 cm e estabiliza-se em torno de 40% nas demais camadas (Figura 2e).

Inversamente, a saturação por bases parte de 55% no solo da camada 0-1 cm, estabilizando-se em valores inferiores a 20% no solo abaixo dos 10 cm (Figura 2f). Esses atributos caracterizam ambiente inadequado ao crescimento radicular para culturas como soja, milho e trigo que geralmente não toleram saturação por Al superior a 20%.

Houve efeito significativo da interação tripla entre tipo de corretivo, modo de aplicação e profundidade no pH do solo, teor de Al, Ca e Mg trocáveis, e saturação por bases e por Al, após 141 meses do início do experimento (Tabela 2).

Tabela 2- Efeito significativo dos fatores experimentais e suas interações nos atributos relacionados à acidez do solo. Resultado da análise de variância (ANOVA).

Variável	Tipo de corretivo (C)	Modo de aplicação (M)	Profundidade (P)	M x C	C x P	M x P	C x M x P
pH	**	NS	***	NS	***	***	**
Alumínio trocável	***	NS	***	NS	***	***	***
Cálcio trocável	***	NS	***	***	***	***	***
Magnésio trocável	***	NS	***	NS	***	***	***
Saturação por alumínio	***	NS	***	*	***	***	***
Saturação por bases	***	NS	***	***	***	***	***

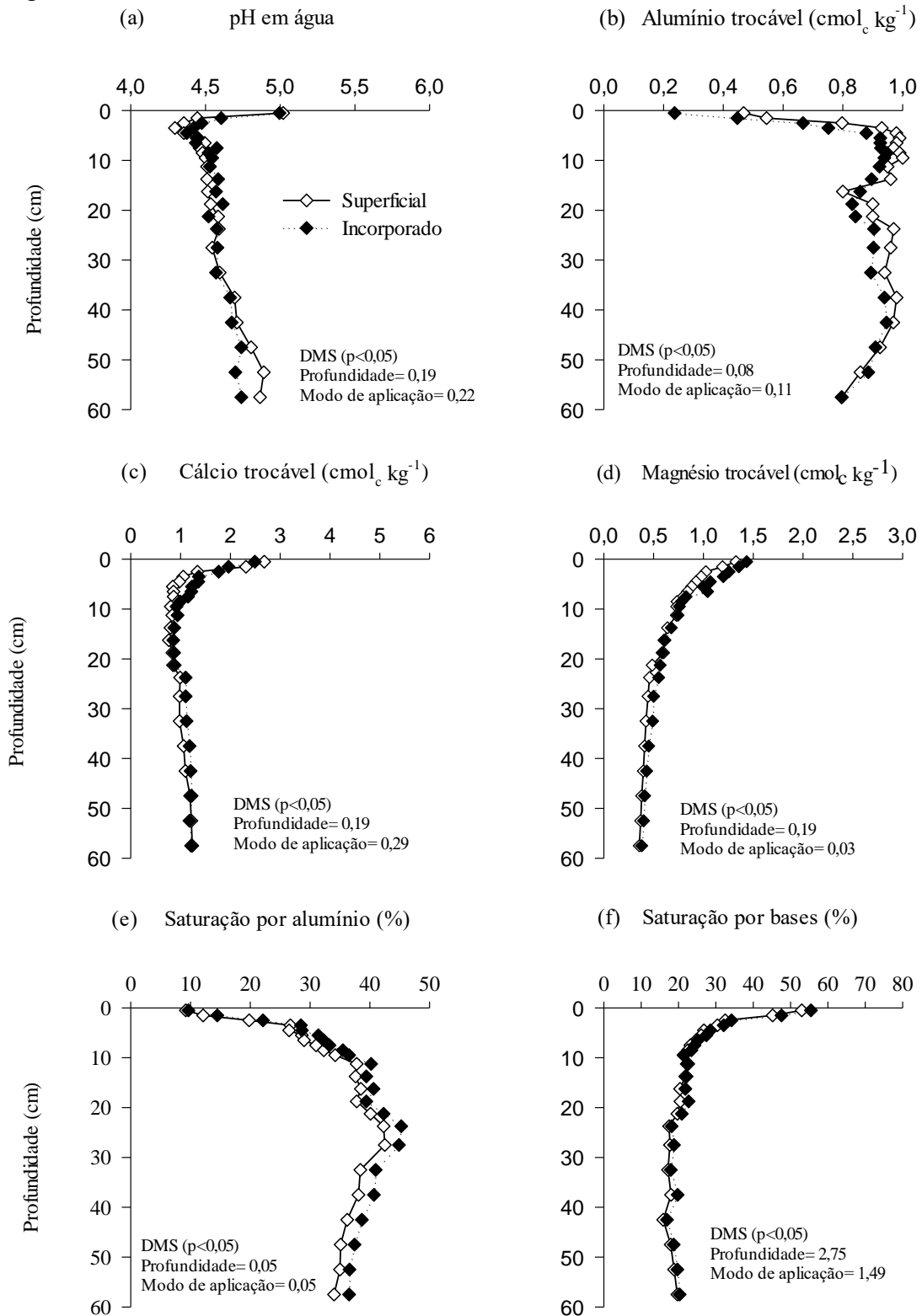
NS, não significativo

* significativo a $p < 0,05$

** significativo a $p < 0,01$

***significativo a $P < 0,001$

Figura 2- Valores de pH em água, alumínio, cálcio e magnésio trocáveis, saturação por alumínio e saturação por bases do solo de diferentes camadas sem aplicação do corretivo, seguido ou não de revolvimento do solo.



Fonte: Elaborada pela autora.

A aplicação do calcário dolomítico, seguindo as recomendações da CQFS-RS/SC (2016) em termos de dose (elevar pH em água a 6,0) e modo de aplicação (incorporação na camada 0-15 cm, com lavração seguida de duas gradagens), em comparação com o tratamento testemunha, alterou a acidez ativa (Figura 3a), os teores de Al^{+3} (Figura 3b), de Ca (Figura 3c) e saturação por bases (Figura 3f) até 20 cm de profundidade. Novamente, foi observado maior migração de Mg no perfil do solo, sendo o valor superior a testemunha em todo perfil do solo analisado (Figura 3d). A combinação matemática dos teores desses três cátions resultou numa menor saturação por Al no solo de todo perfil quando da incorporação do corretivo (Figura 3f). Os valores de saturação de Al se mantiveram abaixo de 10% no solo da camada revolvida (0-15 cm), aumentando linearmente dessa profundidade até os 30% nos 40 cm de profundidade.

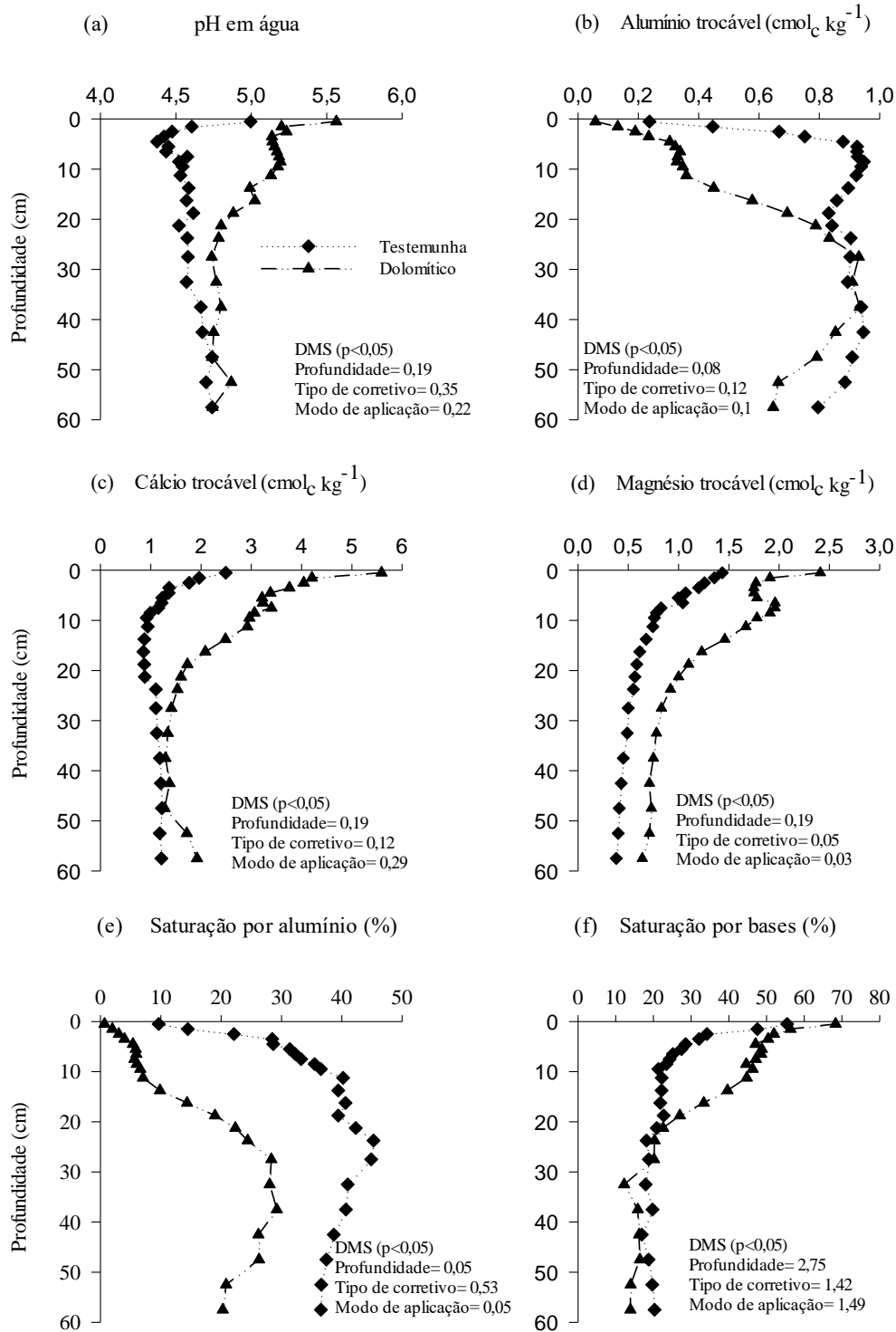
Os valores de pH se mantiveram superiores a 5,0 no solo da camada revolvida e próximos a 4,8, sendo em torno de 0,2 unidades superiores a testemunha, até 20 cm de profundidade. Houve diminuição dos teores de Al partindo-se dos teores do solo da camada 20,0-22,5 cm em relação ao solo da superfície, inclusive neutralizando completamente o Al no solo da camada 0-1 cm (Figura 3b). Consequentemente, houve diminuição linear nos teores de Ca e Mg de 4,0 a 2,0 e de 2,0 a 1,0 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, respectivamente (Figura 3c, d). Isso demonstra a dificuldade de homogeneização do corretivo da acidez pelo revolvimento do solo, embora ainda caracterize ambiente propício para o crescimento radicular, com conteúdos suficientes de cálcio e magnésio e baixa saturação por Al, que permitem as raízes a explorar maiores volumes de solo em busca de água e nutrientes. Visto que a presença do Al^{+3} no solo inibe o crescimento longitudinal das raízes, afetando espécies tolerantes e sensíveis em diferentes graus (Kochian, 1995), ainda que o sistema radicular de plantas de soja mostra alto poder de plasticidade (Lequeux *et al.*, 2010).

Caires *et al.* (2003), realizando estudo com Latossolo Vermelho de textura argilosa, encontraram maior reação do calcário aos 35 meses após a calagem, com aumento do pH até a profundidade de 40 cm. Os autores destacaram maior influência da correção em subsuperfície pela formação e a migração de $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ e $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$. No presente estudo, observou-se a mesma tendência, cujos teores de Ca e Mg foram incrementados até os 20 cm, mantendo-se valores superiores a 2 e 1 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, respectivamente. Assim, como a saturação de bases foi de 70% no primeiro centímetro de solo e decresceu para menos de 40% na camada abaixo dos 10 cm; esses valores se aproximaram aos obtidos no solo testemunha a partir dos 20 cm, estabilizando em quase 20% ao longo do perfil do solo.

Pauletti *et al.* (2014), avaliando um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico típico, textura areia franca, aos 72 meses após a calagem, perceberam aumento do pH, diminuição do teor de Al e aumento do teor de Ca somente até a profundidade de 20 cm. O efeito menos pronunciado em profundidade pode estar relacionado com a dose aplicada, uma vez que os autores aplicaram uma dose pouco superior a $3,0 \text{ Mg ha}^{-1}$, enquanto nesse trabalho a dose foi de $6,1 \text{ Mg ha}^{-1}$. Além disso, o pouco tempo transcorrido após a avaliação, aos 72 meses, pois o efeito da calagem se propaga em profundidade de acordo com a dose e o tempo.

A incorporação promove mistura do corretivo com todo volume de solo, resultando numa reação mais rápida devido ao melhor contato entre corretivo e a solução do solo do entorno das partículas tamanho argila. Em solos altamente ácidos, a incorporação é recomendada para garantir um retorno mais rápido do investimento na aplicação de corretivo. No entanto, alguns autores, como Caires *et al.* (2006) defendem que a calagem superficial pode proporcionar um maior retorno econômico (e reduzir o risco de perdas de solo, o que é ainda mais importante em solos altamente degradados).

Figura 3- Valores de pH em água, alumínio, cálcio e magnésio trocáveis, saturação por alumínio e saturação por bases do solo de diferentes camadas decorrentes da aplicação ou não do corretivo dolomítico seguidas de revolvimento do solo.



Fonte: Elaborada pela autora.

A simples deposição do corretivo dolomítico na superfície do solo proporcionou aumento nos teores de Ca e Mg, aumento no valor de pH e diminuição de Al trocável em relação à condição original do solo (Figura 4). O pH do solo manteve-se nos primeiros 5 cm acima de 5,5 e maior que 5,0 até os 15 cm de profundidade (Figura 4a). Rodrighero, Barth e Caires (2015) e Crusciol *et al.* (2016), trabalhando em Latossolo com aplicação superficial de calcário dolomítico, obtiveram comportamento semelhante a aplicação superficial foi efetiva em diminuir o teor de Al no perfil do solo, mesmo após 141 meses de correção superficial, ficando os teores menores que $0,2 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ até os 10 cm e crescendo linearmente até os 25 cm, onde os valores se aproximam da condição original do solo (Figura 4b). O Al presente foi completamente neutralizado apenas na camada superficial do solo (0-5 cm), assim como os dados obtidos nesse estudo, onde o teor de Al começa a crescer a partir das camadas superficiais.

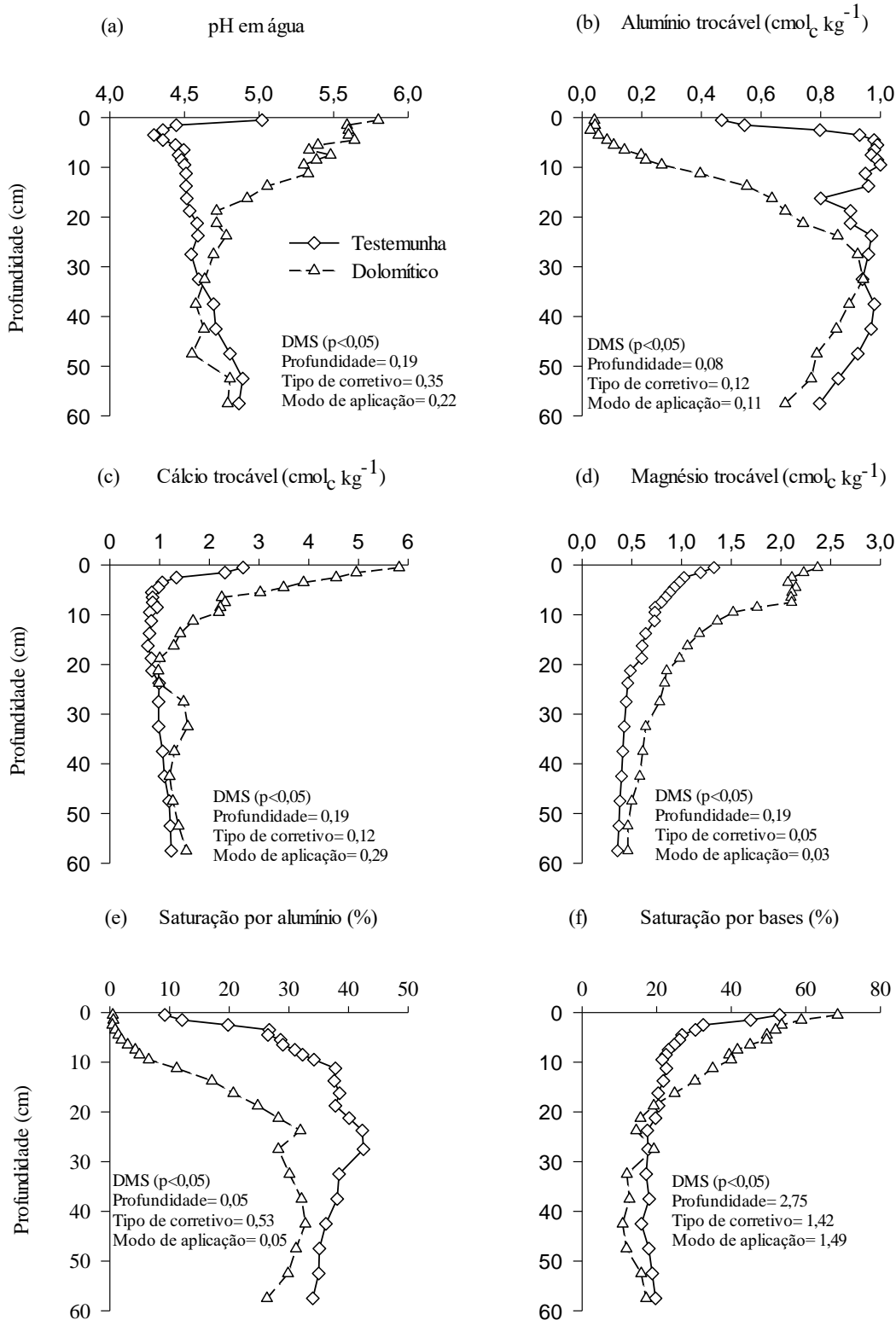
O teor de Ca do solo do primeiro centímetro do tratamento com aplicação de calcário dolomítico (0-1cm) apresenta valor inicial de $5,8 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ e decresce acentuadamente no perfil do solo, nivelando seu teor em torno de $1,0 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ em profundidade superior 20 cm (Figura 4c). Os teores de Mg permanecem mais elevados que a testemunha ao longo de todo o perfil do solo (Figura 4d), por causa da menor energia de ligação ao oxigênio dos grupos funcionais dos colóides do solo. Então, além de ter valores mais elevados na solução do solo, a dessorção é facilitada em relação aos demais cátions, inclusive ao potássio, tornando possível a maior movimentação no perfil do solo. Os teores de Ca e Mg têm maiores valores no solo das camadas superficiais (0-5 e 5-10 cm) e, em menor magnitude, no solo das camadas mais profundas. O gradiente de concentração de Ca e Mg, a partir da superfície do solo, apresenta comportamento semelhante para as duas formas de aplicação. No entanto, vários trabalhos conduzidos no sul do Brasil, sob sistema plantio direto, têm evidenciado que o gradiente de Ca e Mg é mais pronunciado quando da simples deposição do corretivo na superfície do solo em relação a sua incorporação com aração e gradagens (Rheinheimer *et al.*, 2000). Considerando que abaixo da camada revolvida, a quantidade de partículas de calcário disponível para a migração no perfil via macroporos é desprezível, a formação e a migração de $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ e de $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ para as camadas aquém daquela onde o corretivo foi incorporado consiste na hipótese mais provável.

Ciotta *et al.* (2004) estudaram a viabilidade da aplicação de calcário sobre a superfície de solos em sistema plantio direto e seu efeito na acidez em subsuperfície em um experimento de longa duração (21 anos). Os autores encontraram elevação do pH do solo da camada de 0 a 15 cm e a elevação dos teores de Ca e Mg trocáveis e da saturação por bases, bem como na

diminuição dos teores de Al trocável, na camada de 0 a 20 cm. A eficiência da correção foi atribuída ao cultivo sem revolvimento do solo por longo período, mantendo os canais abertos graças à decomposição das raízes e formação de galerias oriundas da atividade da meso e macrofauna do solo e favorecendo a ação do corretivo em subsuperfície.

Ainda no tratamento com corretivo dolomítico depositado sobre a superfície do solo, os valores da saturação por Al se aproximaram de zero no solo da camada superficial, mantendo-se menores que 20% até os 15 cm de solo, chegando a 33% a 45 cm (Figura 4e). A saturação por bases foi de 70% no primeiro centímetro do solo chegando a 20% aos 17,5 cm (Figura 4f). Portanto, a aplicação superficial do corretivo dolomítico foi eficiente na neutralização da acidez natural do solo quanto sua forma de aplicação incorporada, nos primeiros 10 cm de solo, promovendo a migração significativa da frente alcalinizante no perfil do solo (Figura 4). A correção do solo das camadas superficiais é importante para propiciar o adequado desenvolvimento e exploração do solo através das raízes de culturas comerciais. Essas culturas são pouco tolerantes ao alumínio e a acidez do solo e necessitam de correção para que haja máxima exploração do volume de solo com reservas de água e nutrientes.

Figura 4 - Valores de pH em água, alumínio, cálcio e magnésio trocáveis, saturação por alumínio e saturação por bases do solo de diferentes camadas decorrentes da simples deposição ou não do corretivo dolomítico na superfície do solo.



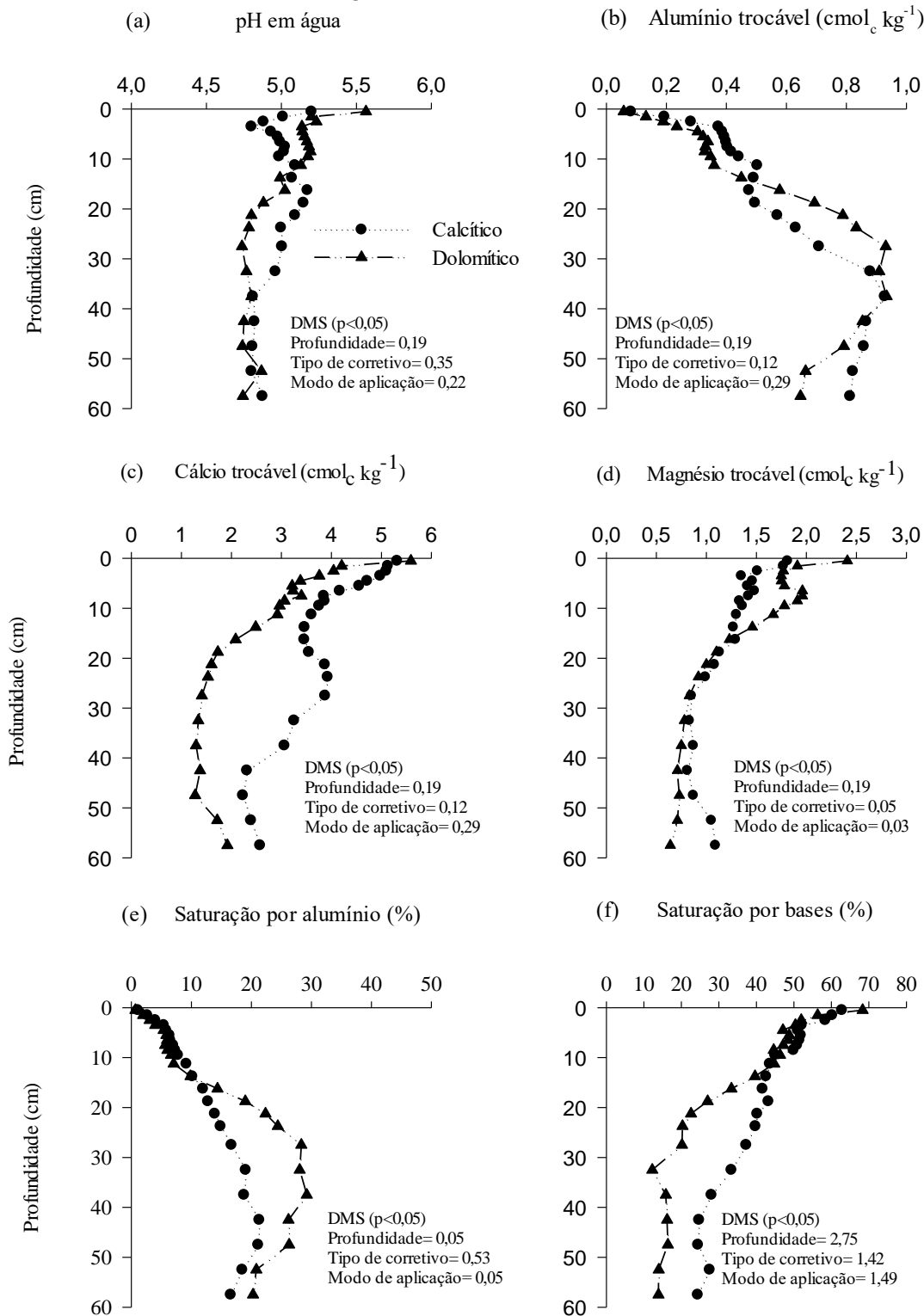
Fonte: Elaborada pela autora.

Os atributos do solo modificados pela aplicação de corretivo calcítico em comparação ao corretivo dolomítico estão apresentados na Figura 5. A incorporação do corretivo calcítico alterou a acidez ativa (Figura 5a) em maior magnitude em relação ao corretivo dolomítico no solo das camadas mais profundas. Os valores de pH do solo com aplicação do corretivo calcítico se mantiveram menores até a camada de 9 cm, variando de 5,2 no primeiro centímetro a 4,9 aos 9 cm, em relação a aplicação do corretivo dolomítico. Contrariamente, no solo da camada 10 a 37 cm, o corretivo calcítico proporcionou maiores valores de pH em água e menores teores de Al tóxico (Figura 5b)

O uso de corretivo calcítico incorporado no solo (até 0-15 cm de profundidade) proporcionou maiores teores de Ca no solo ao longo de todo perfil, comparativamente ao dolomítico (Figura 5c). Os teores chegaram a $5,3 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ no solo do primeiro centímetro, diminuindo para $3,7 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ aos 10 cm e atingindo um valor mínimo de $2,2 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ aos 50 cm. Os teores de Mg permanecem mais elevados no solo com a aplicação o corretivo dolomítico até os 17 cm; a partir dessa profundidade a migração de Mg apresenta comportamento semelhante para os dois corretivos com valores inferiores a $1 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ a partir dos 22 cm (Figura 5d).

A saturação por Al e a saturação por base no solo da camada revolvida foram similares entre os dois corretivos. No entanto, o uso do corretivo calcítico proporcionou maior neutralização do Al e maior saturação por base no solo das camadas inferiores (Figura 5e). A saturação de Al máxima não ultrapassou os 20% com uso do calcítico e atingiu 30% com o dolomítico; contrariamente, a saturação por base atingiu mínimo de 15 e 30%, respectivamente, para os dois tipos de corretivos.

Figura 5 - Valores de pH em água, alumínio, cálcio e magnésio trocáveis, saturação por alumínio e saturação por bases do solo de diferentes camadas decorrentes da aplicação do corretivo calcítico ou dolomítico seguidas de revolvimento do solo.



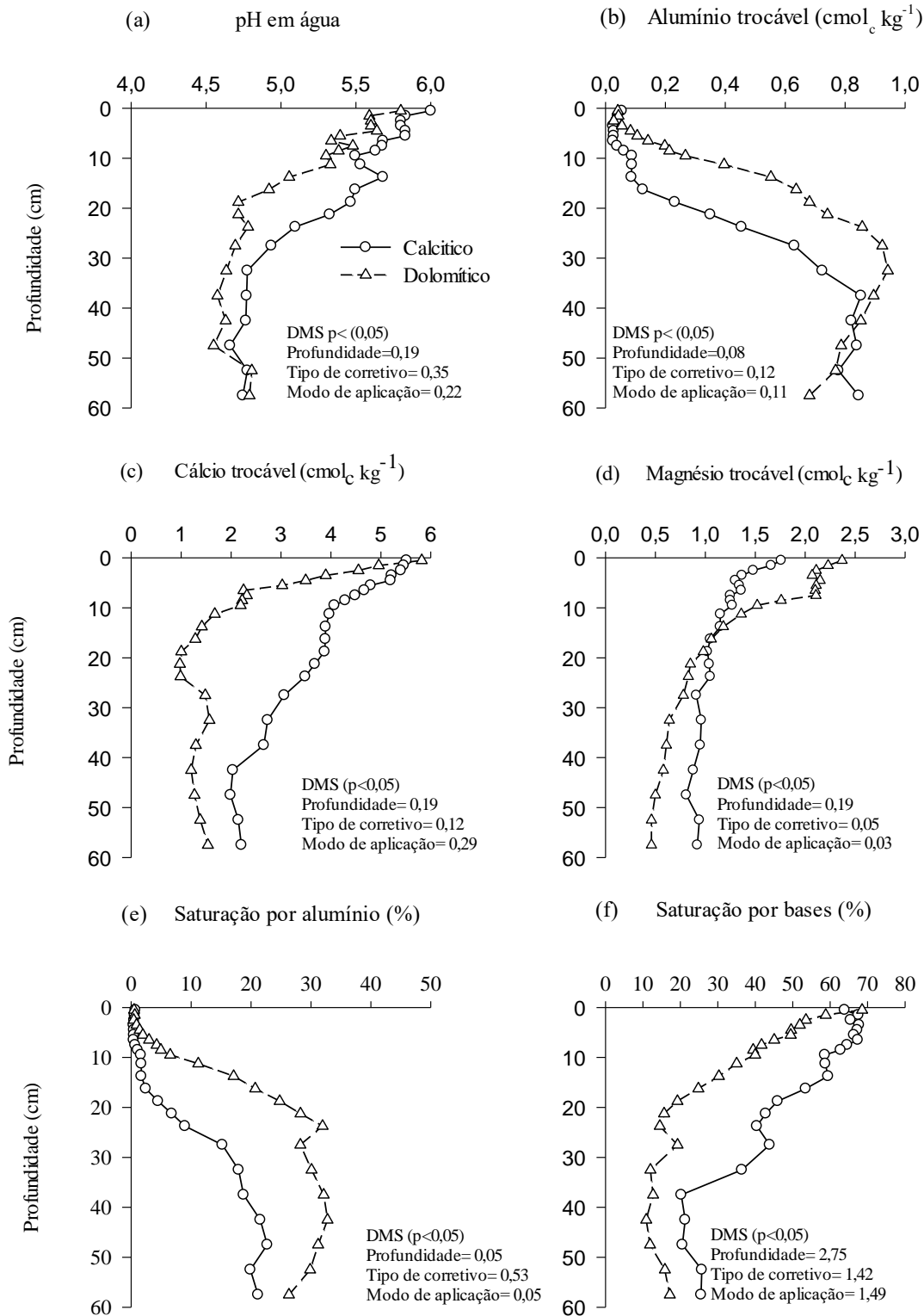
Fonte: Elaborada pela autora.

A simples deposição do corretivo calcítico manteve todos os atributos relacionados a acidez do solo mais favoráveis ao crescimento radicular, comparativamente ao uso do dolomítico (Figura 6). As diferenças entre os dois tipos de corretivo se expressaram, de forma favorável ao calcítico, no solo das camadas mais profundas, exceto os teores de Mg (Figura 6d).

Os valores de pH do solo se mantiveram acima de 5,5 até os 15 cm e superiores a 5,0 até os 25 cm, quando da utilização do corretivo calcítico (Figura 6a). Similarmente houve maior neutralização do Al ao longo do perfil, cujos valores se mantiveram inferiores a 0,1 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de Al trocável até os 15 cm de profundidade (Figura 6b). As concentrações de Ca variaram de 5,5 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ no primeiro centímetro a 3,8 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ aos 20 cm (Figura 6c). Até a profundidade de 17 cm os teores de Mg no solo são superiores quando do uso de corretivo dolomítico, situação que se inverte em profundidade, em decorrência de sua maior mobilidade em relação ao íon Ca. O uso do corretivo calcítico manteve os valores de saturação por Al inferiores a 5% até os 20 cm e inferiores a 25% até os 60 cm de profundidade, enquanto que quando da utilização do dolomítico os valores foram 25% e 30%, respectivamente (Figura 6e). Mesmo que os valores iniciais de saturação por bases fossem similares no solo de superfície (0-1 cm), a utilização do corretivo calcítico mantém os valores superiores a 50% nos primeiros 20 cm, comparativamente a apenas 20% quando da utilização do dolomítico (Figura 6f).

Esses resultados corroboram com os obtidos por Rodrighero Barth e Caires (2015), os quais observaram que a solubilidade dos calcários contendo alto teor de Ca era mais elevada que a solubilidade dos calcários dolomíticos de igual granulometria. Assim, o calcário dolomítico, apesar de apresentar maior poder de neutralização, reage mais lentamente do que o calcário calcítico em decorrência da maior estabilidade da dolomita comparada à calcita (Barber, 1967). As camadas alternadas de íons Ca e Mg da rocha dolomita resultam em uma estrutura estável, com ângulos cristalográficos ligeiramente diferentes daqueles da calcita e com uma simetria distinta, devido ao menor tamanho do íon Mg em relação ao do Ca. O grau de desordem na estrutura cristalina afeta a dimensão dos retículos cristalinos, e conseqüentemente a solubilidade da dolomita. Driscoll (2014), trabalhando com a dissolução de calcário calcíticos e dolomítico em colunas de solo em condições controladas, comprovou que com uma mesma intensidade de chuva, o material dolomítico necessita de aproximadamente duas vezes mais tempo para se dissolver que o calcário calcítico.

Figura 6 - Valores de pH em água, alumínio, cálcio e magnésio trocáveis, saturação por alumínio e saturação por bases do solo de diferentes camadas decorrentes da simples deposição de corretivos calcítico e dolomítico na superfície do solo.



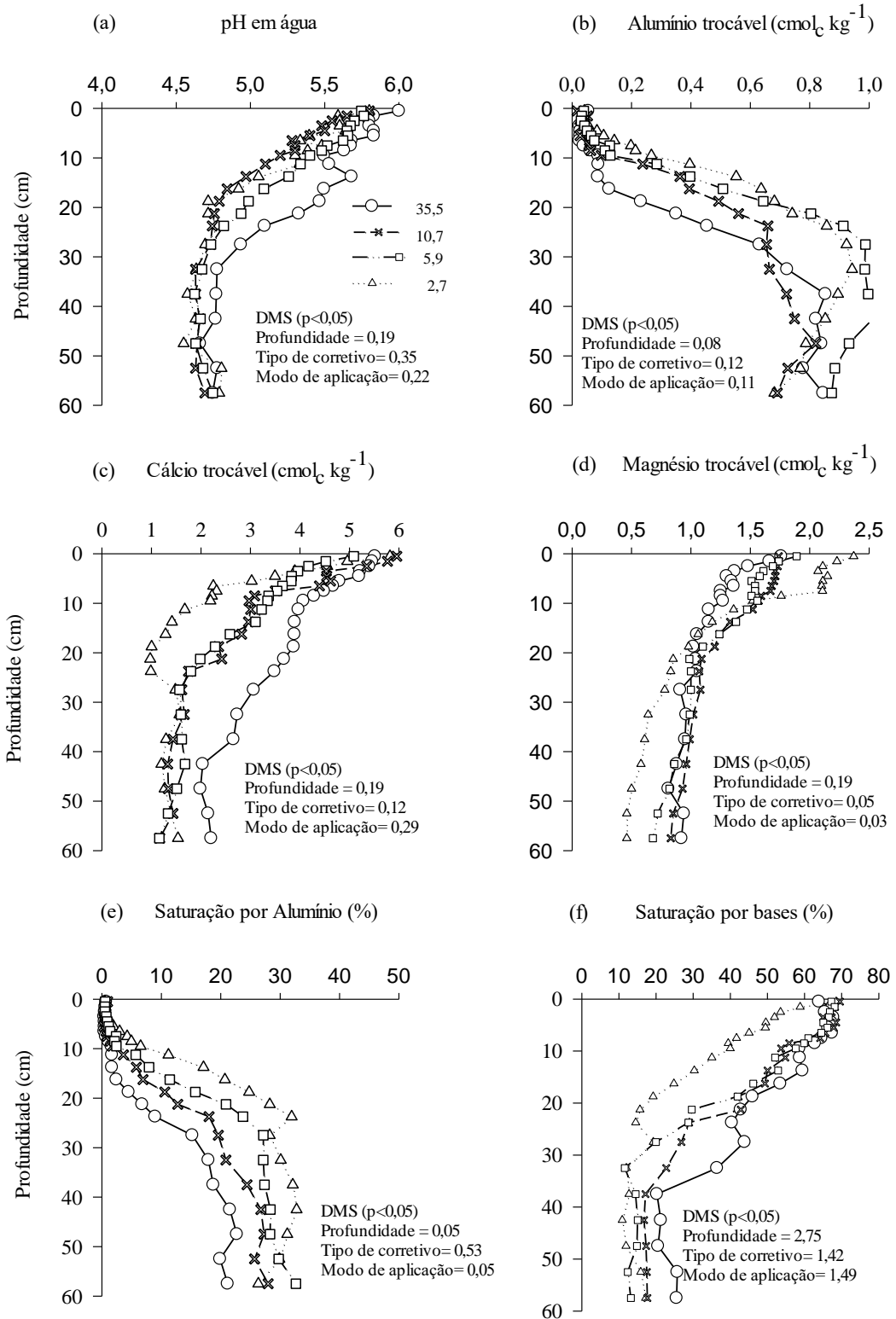
Fonte: Elaborada pela autora.

A partir dos corretivos disponíveis no mercado (calcítico e dolomítico) foram formulados e avaliados duas misturas de ambos corretivos resultando em relações molares de Ca:Mg de 10,7 e 5,9. Esses corretivos tiveram comportamento intermediários, em relação ao dolomítico e calcítico, quando eles foram simplesmente depositados na superfície do solo (Figura 8). As alterações nos diferentes atributos relacionados à acidez do solo seguem o grau de solubilidade diferencial entre a calcita e a dolomita e, obviamente, as quantidades de íons Ca e Mg adicionados. À medida que o corretivo formulado se aproxima do dolomítico, os efeitos em profundidade são minimizados, mas o teor de Mg no solo das camadas mais profundas é maior. Então, tecnicamente é possível formular um corretivo que seja tão eficaz como o calcítico em correção em profundidade, mas que fornece um pouco mais de Mg no solo das camadas mais profundas; ou então, um corretivo um pouco mais eficaz que o dolomítico, sem que apresente restrições ao aporte de Mg no solo.

Por outro lado, a incorporação desses corretivos “formulados” no solo da camada 0-15 cm dificultou a expressão das diferentes capacidades de correção de cada formulação. No entanto, os teores de Ca no solo seguiram a lógica esperada para cada tipo de corretivo com seus respectivos teores desse íon em sua composição, assim como os teores de Mg^{2+} no solo na camada superficial. A partir dos 15 cm do solo, camada onde houve revolvimento, os valores de saturação por alumínio foram menores e saturação por bases maiores em corretivos com maiores concentrações de Ca^{2+} (Figura 8e, f).

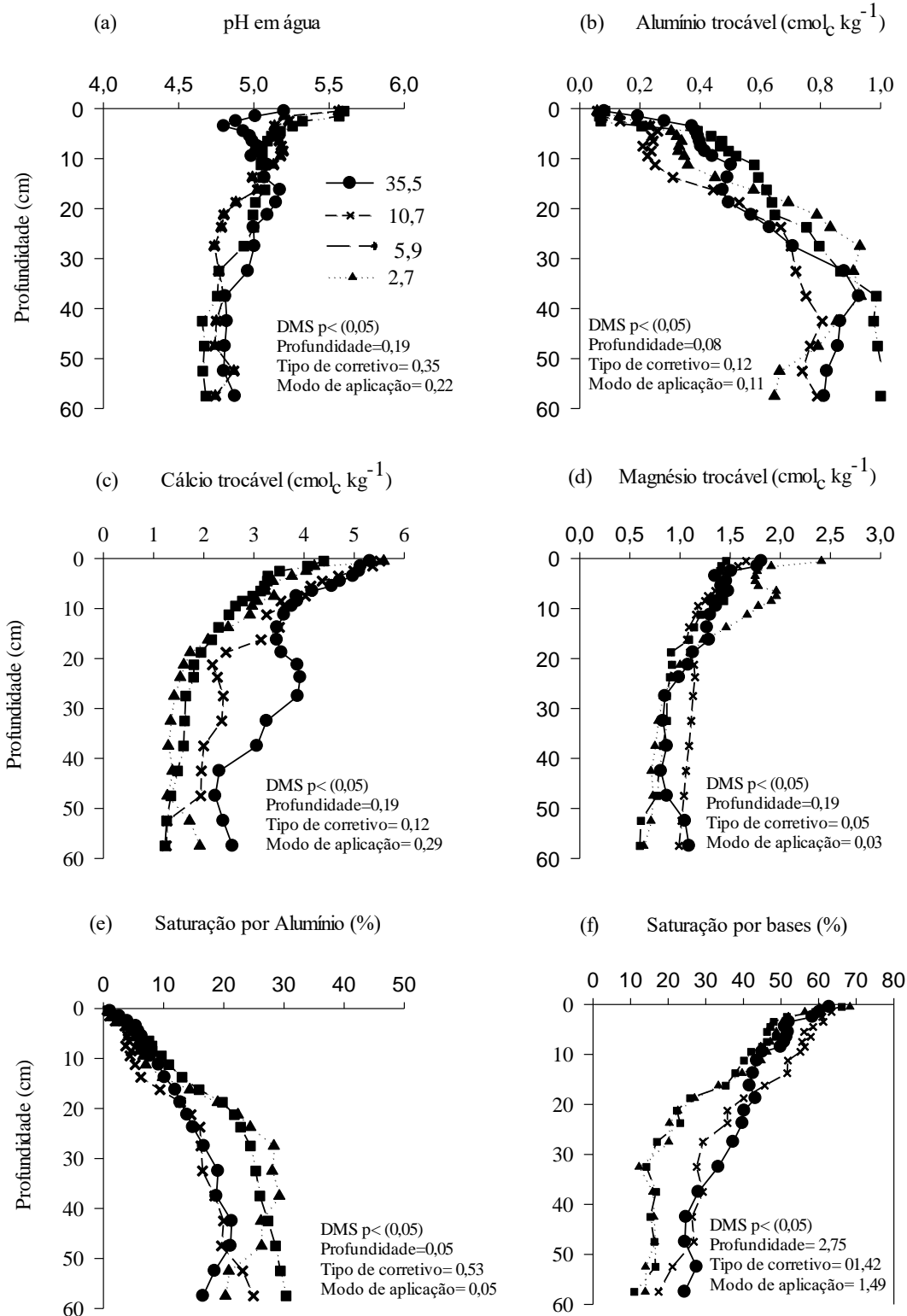
Medeiros *et al.* (2008) adicionaram corretivo com relações Ca:Mg variando de 1:1 a 32:1 em amostras de um Cambissolo em casa de vegetação. Após 3 meses de aplicação e incorporação do corretivo ao solo, diferente do que foi encontrado nesse estudo, os autores não encontraram diferença para os valores de pH entre os tratamentos. Contudo, foi observado que, à medida que se aumentou a relação Ca:Mg do corretivo, aumentou os teores de Ca no solo, e o inverso foi observado para o Mg. Os autores explicam que quando o cálculo da dose de corretivo é feito com base nas quantidades molares de hidroxilas a serem geradas pela reação, a capacidade de correção da acidez do solo pelos materiais é semelhante, independente de suas proporções de Ca e Mg.

Figura 7- Valores de pH em água, alumínio, cálcio e magnésio trocáveis, saturação por alumínio e saturação por bases do solo de diferentes camadas decorrentes da simples deposição de corretivos com relação molar Ca:Mg de 35,5 (calcítico), 2,7 (dolomítico); 10,7 e 5,9.



Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 8- Valores de pH em água, alumínio, cálcio e magnésio trocáveis, saturação por alumínio e saturação por bases do solo de diferentes camadas decorrentes da aplicação seguidas de revolvimento do solo de corretivos com relação molar Ca:Mg de 35,5 (calcítico), 2,7 (dolomítico); 10,9 e 5,9.



Fonte: Elaborada pela autora.

A avaliação da eficiência da correção da acidez do solo em profundidade é, geralmente, feita por métodos estatísticos. Quando se utiliza tal forma de análise, assume-se que as diferenças significativas encontradas entre o parâmetro observado nos tratamentos em relação ao tratamento controle representam os efeitos da calagem no solo. Neste caso, pequenas alterações, como variações de 0,1 unidades de pH ou $\pm 5\%$ na saturação por alumínio e saturação por bases, podem ser significativas, mas sob ponto de vista agrônomo não representam relevância (Kaminski et al., 2005). No presente trabalho, aos 141 meses da aplicação dos tratamentos, foram observados efeitos significativos estatisticamente até profundidades de 17,5 a 55,0 cm, dependendo corretivo e do atributo considerado (Tabela 3).

Mesmo quase doze anos após a aplicação da dose de corretivo da acidez recomendada pela CQFS-RS/SC (2004) (manual utilizado na época de implantação do experimento), a saturação por alumínio se manteve baixa e a saturação de bases alta no solo (CQFS-RS/SC, 2016), onde se concentram as raízes (0-20 cm). Assim, a aplicação do corretivo da acidez no momento de destruição do bioma natural para transformá-lo num agroecossistema proporcionando valores de atributos químicos de acidez do solo adequados para o cultivo de plantas de interesse comercial. As alterações provocadas pela reação do corretivo na solução e, especialmente, na superfície dos colóides do solo são tão intensas que praticamente é impossível de retornar aos valores originais de acidez ativa e de acidez potencial, do reaparecimento do Al trocáveis e da percolação ao lençol freático todo cálcio e magnésio aportado pelos corretivos (Barrow, 1999). Ainda, têm-se até observadas modificações na mineralogia do solo em decorrência da aplicação de corretivos da acidez, em curto prazo (Azevedo et al., 1996; Silva Neto *et al.*, 2008).

Tabela 3 - Profundidade do solo modificada pela aplicação de calcário aplicado na superfície, avaliada pela análise estatística convencional ($p < 0,05$).

Atributo	Incorporado				Superficial			
	35,5	10,7	5,9	2,7	30,0	9,0	5,0	3,2
<i>Interpretação estatística</i>	cm							
pH em água	35,0	35,0	25,0	17,5	25,0	17,5	22,5	17,5
Alumínio trocável	30,0	40,0	30,0	30,0	22,5	25,0	15,0	15,0
Cálcio trocável	60,0	50,0	50,0	60,0	60,0	55,0	55,0	20,0
Magnésio trocável	60,0	60,0	50,0	60,0	60,0	60,0	60,0	30,0
Saturação por alumínio	60,0	60,0	55,0	60,0	60,0	60,0	55,0	60,0
Saturação por bases	60,0	50,0	17,5	20,0	60,0	35,0	25,0	25,0

Usando-se os resultados analíticos de solo amostrados aos 12 e 42 meses após a instalação do experimento (Holzschuh, 2007; Miotto, 2009), comparativamente aos dados da coleta realizada aos 141 meses após a aplicação do corretivo (Tabelas 4 e 5), pode-se mensurar o efeito temporal. É possível verificar que ao depositar o corretivo na superfície do solo, o pH do solo nos primeiros 12 meses, assim como o Al tóxico foi corrigido apenas no solo da camada 0-5 cm; aos 42 meses, esse efeito havia se propagado em maiores profundidades, alterando os valores até os 10 cm. Por outro lado, quando feita a incorporação do corretivo, as alterações se propagaram de forma mais rápida no perfil do solo, podendo ser significativas já aos 12 meses, por promover maior contato do corretivo com os colóides.

Aos 141 meses os valores de pH apresentam ligeiro decréscimo quando comparado com o valores encontrados aos 42 meses após a aplicação do corretivo. Entretanto, os teores de Al nos primeiros 20 cm do solo não se elevaram significativamente. A simples presença de maior concentração de prótons na solução do solo pelo processo de reacidificação não significa solubilização dos precipitados de alumínio formados com a primeira aplicação do corretivo. Há necessidade de grande tempo de contato do próton para que seja novamente liberado Al tóxico à solução do solo. Os teores de Ca e Mg migraram relativamente em grandes profundidades entre 42 e 141 meses. Após quase 12 anos, a aplicação superficial sem incorporação promoveu migração significativa da frente de alcalinização no perfil do solo. Os valores de Al trocável são inferiores e aumento no pH e Ca e Mg trocáveis são maiores aos presentes na condição original do solo.

Com relação aos teores de alumínio, mesmo após quase 12 anos da única aplicação da correção da acidez do solo, os valores originais de Al não foram retomados. Isso indica que o processo de acidificação do solo é extremamente lento e, embora a sua intensidade dependa das características intrínsecas do solo, do ambiente e das perturbações a que o agroecossistema está sujeito, não se espera alterações na acidez potencial ou na saturação por alumínio em curtos períodos.

Em condições naturais, a acidez ativa dos solos é causada pela reação do dióxido de carbono com água e sua reação subsequente com as rochas e seus minerais (Johnston et al., 1986). A diminuição do pH a valores inferiores a 5,5 provoca liberação de Al^{+3} para a solução do solo. No entanto, a maioria dele é polimerizada e retida na camada intermediária de minerais de argila 2:1, reorganizada para formar óxidos e /ou complexada por matéria orgânica do solo com alta energia de ligação e dificilmente retorna a solução do solo por equilíbrio químico. Em sistemas de cultivo como o SPD, a adição e a manutenção dos restos culturais na superfície do solo aumentam os teores de carbono no solo da camada superficial.

Assim, uma vez corrigida a acidez natural, a reacidificação do solo é muito lenta, o aparecimento do Al^{+3} é mais lenta ainda e o pouco Al^{+3} liberado à solução do solo é rápida e fortemente adsorvido à matéria orgânica. Há também forte interação dos grupos funcionais dos compostos carbonados hidrossolúveis que formam complexos de alumínio estáveis e não tóxicos ao sistema radicular (Baldotto *et al.*, 2015). A manutenção de menor acidez do solo nos primeiros centímetros permite que as primeiras raízes das plantas cresçam em ambiente menos tóxico, amenizando o efeito da toxidez de Al no rendimento das culturas. Têm se observado que raízes que crescem inicialmente em ambiente sem presença do Al tóxico, ao serem expostas a alta concentração desse elemento continuam crescendo quase que normalmente (Rheinheimer *et al.*, 1994). Por outro lado quando raízes têm contato com altos teores de Al na fase inicial, mesmo que atinjam zonas sem a presença de elemento tóxico, elas não recuperam mais sua capacidade de expansão e, portanto, a produtividade das plantas é afetada severamente (Petry *et al.*, 1994).

Tabela 4.- Valores dos atributos químicos do solo 12, 42 e 141 meses após a aplicação dos corretivos de acidez de forma superficial

Tratamento	Camada	12 meses					42 meses						141 meses					
		Ca	Mg	Al	pH	V	Ca	Mg	Al	pH	m	V	Ca	Mg	Al	pH	m	V
		cmol _c dm ⁻³					cmol _c dm ⁻³					cmol _c dm ⁻³						
Testemunha	0-5	2,0	1,2	0,6	4,6	15,8	2,0	0,9	1,2	4,3	30,0	30,0	1,7	1,1	0,8	4,5	20,0	37,6
	5-10	1,2	0,7	1,2	4,5	38,7	0,5	0,5	2,5	4,7	60,0	10,0	0,9	0,8	1,0	4,5	31,0	23,6
	10-15	1,0	0,6	1,5	4,5	47,5	0,5	0,5	2,0	4,2	60,0	10,0	0,8	0,7	1,0	4,5	38,0	22,2
	15-20	1,1	0,6	1,5	4,5	47,8	0,5	0,5	2,0	4,2	60,0	10,0	0,8	0,6	0,9	4,5	38,2	20,5
Calcítico	0-5	6,8	1,3	0,0	5,7	0,0	9,0	1,0	0,0	6,2	0,0	80,0	5,4	1,5	0,0	5,9	0,5	66,4
	5-10	2,2	1,0	0,8	4,7	19,8	3,0	0,5	0,5	5,0	16,0	40,0	4,6	1,3	0,0	5,7	0,8	64,5
	10-15	1,6	0,9	1,1	4,5	31,4	0,8	0,5	1,5	4,8	40,0	30,0	4,0	1,2	0,1	5,6	1,7	59,1
	15-20	1,4	0,8	1,1	4,5	33,8	0,8	0,5	1,5	4,8	45,0	30,0	3,9	1,1	0,2	5,5	3,4	49,7
10,7 ¹	0-5	4,9	1,4	0,0	5,3	0,0	9,0	1,5	0,0	6,2	0,0	80,0	5,0	1,7	0,0	5,5	0,5	67,3
	5-10	1,1	0,7	1,3	4,4	41,0	3,0	0,6	0,5	5,4	8,0	60,0	3,7	1,6	0,1	5,3	1,0	61,5
	10-15	0,9	0,7	1,5	4,4	48,7	0,8	0,5	1,5	4,8	40,0	30,0	3,0	1,4	0,3	5,0	4,7	52,4
	15-20	0,9	0,6	1,5	4,4	50,8	0,8	0,5	1,5	4,8	50,0	15,0	2,6	1,2	0,5	4,8	8,7	45,8
5,9 ²	0-5	4,9	1,6	0,0	5,4	0,0	7,0	1,5	0,0	6,2	0,0	80,0	5,7	0,0	0,0	5,7	0,6	66,7
	5-10	2,0	0,9	1,1	4,7	27,8	2,0	0,5	1,0	5,0	25,0	40,0	5,5	0,1	0,1	5,5	1,9	61,8
	10-15	0,8	0,6	1,6	4,4	53,5	1,0	0,5	1,8	4,8	50,0	20,0	5,3	0,3	0,4	5,3	6,8	52,5
	15-20	0,8	0,6	1,6	4,4	53,5	1,0	0,5	2,1	4,8	60,0	15,0	5,0	0,6	0,6	5,0	13,6	44,1
Dolomítico	0-5	4,6	2,3	0,0	5,4	0,0	6,0	2,5	0,0	6,1	0,0	80,0	4,5	2,2	0,1	5,6	0,7	56,5
	5-10	1,1	0,9	1,2	4,5	37,6	2,0	1,0	1,0	5,0	20,0	40,0	2,4	1,9	0,2	5,4	4,1	43,1
	10-15	0,9	0,7	1,5	4,4	48,9	1,0	0,5	1,5	4,8	50,0	20,0	1,5	1,3	0,5	5,2	14,1	32,7
	15-20	0,9	0,6	1,6	4,4	52,5	1,0	0,5	2,0	4,8	60,0	15,0	1,1	1,0	0,7	4,8	22,7	22,0

*Valores retirados da dissertação de Holzschuh (2007) e Miotto (2009). ¹e²Relação molar cálcio:magnésio do corretivo aplicado ao solo.

Tabela 5- Valores dos atributos químicos do solo 12, 42 e 141 meses após a aplicação dos corretivos de acidez de forma incorporada.

Tratamento	Camada	12 meses					42 meses						141 meses					
		Ca	Mg	Al	pH	m	Ca	Mg	Al	pH	m	V	Ca	Mg	Al	pH	m	V
		cmol _c dm ⁻³					cmol _c dm ⁻³					cmol _c dm ⁻³						
		%					%					%						
Testemunha	0-5	2,3	0,8	0,6	4,6	16,1	2,0	0,9	1,2	4,3	30,0	30,0	1,8	1,3	0,6	4,6	20,7	39,6
	5-10	1,6	0,8	1,2	4,4	33,1	1,0	0,5	2,2	4,2	60,0	20,0	1,1	0,9	0,9	4,5	33,8	24,3
	10-15	1,2	0,8	1,3	4,4	40,1	1,0	0,5	2,0	4,3	60,0	20,0	0,9	0,7	0,9	4,6	39,8	22,2
	15-20	1,0	0,7	1,5	4,4	47,3	1,0	0,5	2,0	4,3	60,0	20,0	0,9	0,6	0,8	4,6	40,0	22,3
Calcítico	0-5	4,7	1,0	0,0	5,4	0,0	6,0	1,3	0,0	5,9	0,0	75,0	5,0	1,6	0,3	5,0	3,8	56,9
	5-10	3,4	0,8	0,1	5,0	2,3	6,0	0,5	0,0	6,1	0,0	80,0	4,0	1,4	0,4	5,0	7,0	49,8
	10-15	4,3	0,8	0,5	5,2	9,0	4,0	0,4	0,2	5,4	9,0	60,0	3,5	1,3	0,5	5,1	9,6	43,1
	15-20	2,9	0,6	1,3	4,6	27,0	2,0	0,4	0,6	5,0	20,0	40,0	3,5	1,2	0,5	5,2	12,3	42,4
10,7 ¹	0-5	5,7	1,2	0,0	6,0	0,0	7,0	1,5	0,0	6,2	0,0	80,0	5,0	1,5	0,2	5,1	2,3	61,0
	5-10	4,8	1,1	0,0	5,5	0,0	6,0	1,0	0,0	6,1	0,0	80,0	3,9	1,3	0,2	5,1	4,2	56,2
	10-15	3,2	1,0	0,5	4,7	10,8	4,0	0,5	0,1	5,4	5,0	60,0	3,4	1,1	0,3	5,2	5,7	51,8
	15-20	1,8	0,7	1,0	4,7	28,6	2,0	0,5	0,5	5,0	20,0	40,0	2,8	1,1	0,5	5,1	11,1	42,9
5,9 ²	0-5	4,7	1,5	0,0	5,7	0,0	7,0	1,7	0,0	6,1	0,0	80,0	3,7	1,4	0,2	5,4	2,7	54,4
	5-10	4,0	1,4	0,1	5,5	1,8	6,0	1,4	0,0	6,2	0,0	80,0	2,9	1,4	0,5	5,1	7,8	45,6
	10-15	2,6	1,1	0,5	5,0	12,2	4,0	0,9	0,1	5,6	5,0	65,0	2,4	1,2	0,6	5,1	11,9	39,0
	15-20	1,2	0,7	1,2	4,4	38,7	2,0	0,6	0,6	5,0	20,0	40,0	2,1	1,0	0,6	5,0	17,8	30,6
Dolomítico	0-5	4,5	2,1	0,0	5,9	0,0	6,0	2,0	0,0	6,2	0,0	80,0	4,2	1,9	0,2	5,3	3,0	54,8
	5-10	4,0	2,0	0,4	5,2	6,3	4,0	2,0	0,0	5,9	0,0	70,0	3,2	1,9	0,3	5,2	6,0	47,1
	10-15	2,7	1,6	0,2	5,0	4,4	2,0	1,4	0,5	5,4	15,0	40,0	2,7	1,6	0,4	5,1	8,5	42,2
	15-20	2,2	1,1	0,7	4,8	17,3	2,0	1,0	1,0	4,4	35,0	30,0	1,9	1,2	0,6	5,0	16,7	30,2

*Valores retirados da dissertação de Holzschuh (2007) e Miotto (2009). ¹e ²Relação molar cálcio:magnésio do corretivo aplicado ao solo.

1.4 CONCLUSÕES

Usando-se a recomendação da Comissão de Química e Fertilidade do Solo/RS-SC (2016), incorporação do corretivo dolomítico em dose suficiente para elevar o pH do solo a 6,0, manteve a saturação por alumínio no solo inferior a 10% até 15 cm e menor que 30% até 40 cm, mesmo após quase doze anos da aplicação do corretivo. Todavia, a simples deposição do corretivo dolomítico na superfície do solo, quase doze anos após a aplicação, propiciou alterações nos atributos relacionados a acidez do solo no perfil similares à incorporação.

O uso do corretivo calcítico proporcionou alterações mais significativas nos atributos relacionados a acidez do solo no perfil comparativamente ao dolomítico, seguindo sua maior solubilidade em relação a dolomita.

Com as formulações obtidas entre os corretivos calcítico e dolomítico, foi possível obter um corretivo para reaplicação superficial com eficiência similar em alterar positivamente os atributos relacionados a acidez do solo no perfil, mas que forneça quantidades superiores de magnésio, comparado ao calcítico, no solo das camadas mais profundas.

Quase doze anos após a correção da acidez natural do solo seguindo as recomendações da CQFS-RS/SC (2016), incorporação do corretivo em dose suficiente para elevar o pH do solo a 6,0, percebe-se leve reacidificação do solo da camada 0-5 cm, cuja saturação por alumínio ainda é inferior a 5%. Quando os corretivos foram simplesmente distribuídos na superfície do solo, os valores de todos os atributos ainda permanecem similares àqueles medidos um ano após a aplicação.

Mesmo quase doze anos após a aplicação de corretivos, superficial ou incorporado, ainda se percebe migração significativa da frente alcalinizante no perfil do solo.

2 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse estudo serviu para esclarecer que, ao contrário do que muitos técnicos recomendam, a reaplicação do calcário somente deve ser feita quando do reaparecimento do alumínio tóxico no solo da camada 0-10 cm. Isso leva, em média, muito mais do que uma década. Além disso, uma vez corrigida a acidez potencial, ela jamais retornará a sua magnitude original, necessitando a cada vez, de menores aportes de corretivo.

Muitos técnicos vendem a ideia da aplicação recorrente do corretivo por ser um insumo de baixo custo e recomendam sua utilização em larga escala. Poucos estão preocupados com as reações que ocorrem no solo e as consequências dessa agricultura intensiva, que visa apenas o lucro.

A grande oportunidade de realizar esse estudo contribuiu para quebrar mitos sobre a aplicação superficial do corretivo que se mostra eficaz, e da importância de adotar manejos conservacionistas que preservem qualidade física, química e biológica do solo, apesar de que um único revolvimento para corrigir o solo em profundidade não deve ser confundido com constantes arações e gradagens feitas a cada cultivo.

2.1 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEONI, L. R. F.; CAMBRI, M. A.; CAIRES, E. F. Atributos químicos de um Latossolo de cerrado sob plantio direto, de acordo com doses e formas de aplicação de calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 6, p. 923–934, 2005.

AMARAL, A. DO; ANGHINONI, I. Alteração de parâmetros químicos do solo pela reaplicação superficial de calcário no sistema plantio direto. **Pesq. Agropec. Bras**, v. 36, p. 695–702, 2001.

AMARAL, A.S.; ANGHINONI, I. & DESCHAMPS, F.C. Resíduos de plantas de cobertura e mobilidade dos produtos da dissolução do calcário aplicado na superfície do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, 28:115-123, 2004.

ARSHAD, M.A.; LOWERY, B. & GROSSMAN, B. Physical tests for monitoring soil quality. In: DORAN, J.W. & JONES, A.J., eds. *Methods for assessing soil quality*. Madison, **Soil Science Society of America**. 1996. p. 123-141 (SSSA Special publication 49).

BALDOTTO, M. A.; VIEIRA, E. M.; SOUZA, D. DE O.; BALDOTTO, L. E. B. Estoque e frações de carbono orgânico e fertilidade de solo sob floresta, agricultura e pecuária. **Revista Ceres**, v. 62, n. 3, p. 301–309, jun. 2015.

BARBER, S.A. Lime material and practices. In: Pearson RW, Adams F, editors. *Soil acidity and liming*. Madison: **American Society of Agronomy**; 1967. p.125-60.

BARROW, N.J. The four laws of soil chemistry: The Leeper lecture 1998. **Australian Journal of Soil Research**, 37: 787-829, 1999.

BEAR, F. E. Relation between Fineness of Limestone Particles and Their Rates of Solution. **American Cyanamid Company**. Vol. 24, ed. 32. 1932.

BILIBIO, W. D.; CORRÊA, G. F.; BORGES, E. N. Physical and chemical attributes of a typical acrustox soil under different systems of cultivation. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, n. 4, p. 817–822, 2010.

BORTOLANZA, D. R.; KLEIN, V. A. Soil Chemical and Physical Properties on an Inceptisol after Liming (Surface and Incorporated) Associated with Gypsum Application. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 40, n. 0, 2016.

CAIRES, E. F.; BANZATTO, D. A.; FONSECA, A. F. Calagem na superfície em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, n. 1, p. 161–169, mar. 2000.

CAIRES, E. F.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J. Lime application in the establishment of a no-till system for grain crop production in Southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 89, n. 1, p. 3–12, ago. 2006.

CAIRES, E. F.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J.; KUSMAN, M. T. Influence of surface lime application in a no-tillage system on soil acidity, corn root growth and nutrition. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 4, p. 1011–1022, 2002.

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**, v. 27, n. 2, p. 275–286, 2003.

CASSIOLATO, M. E.; MEDA, A. R.; PAVAN, M. A.; MIYAZAWA, M.; OLIVEIRA, J. C. DE. Evaluation of oat extracts on the efficiency of lime in soil. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 43, n. 5, p. 533–536, 2000.

CASTRO, G.S.A. CRUSCIOL, C.A.C. Effects of superficial liming and silicate application on soil fertility and crop yield under rotation. **Geoderma** 195–196 (2013) 234–242.

CIOTTA, M. N.; BAYER, C.; ERNANI, P. R.; FONTOURA, S. M. V.; WOBETO, C.; ALBUQUERQUE, J. A. Manejo da calagem e os componentes da acidez de Latossolo Bruno em plantio direto. **Revista brasileira de ciencia do solo. Campinas. Vol. 28, n. 2 (2004), p. 317-326.** 2004.

CLARK, R. B. et al. Maize growth and mineral acquisition on acid soil amended with flue gas desulfurization byproducts and magnesium. **Communi. SoilSci. Plant Anal**, v. 28, p. 1441-1459, 1997.

COLEMAN, N.T. & G.W. THOMAS, 1967. The Basic Chemistry of Soil Acidity. Em: Soil Acidity and Liming. Editado por R.W. Pearson & F. Adams. **American Soc. of Agronomy Inc. Publishers. Madison. Wisconsin. USA.** pp. 1-41.

CORREA, D.M. PETINELLI, A. VENTURINI, W. R. FREIRE, E. S. Ensaio com calcário, adubação verde e adubação mineral. **Bragantia**, Campinas. Vol. 20 n. 22. 1961.

COSTA, C. H. M. DA; CRUSCIOL, C. A. C.; FERRARI NETO, J.; CASTRO, G. S. A. Residual effects of superficial liming on tropical soil under no-tillage system. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1633–1642, set. 2016.

CRUSCIOL, C. A.C. MARQUESA, R. R. FILHO, A. C. A. CARMEIS A, SORATTO, R. P. COSTA C. H.M. NETO, J. F. CASTRO, G. S.A. PARIZC, DE CASTILHOS, C. A. M. Annual crop rotation of tropical pastures with no-till soil as affected by lime surface application. **Europ. J. Agronomy** 80 (2016) 88–104.

CQFS-RS/SC – Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC. Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**. 2016. 376p.

DE OLIVEIRA, E. L.; PAVAN, M. A. Control of soil acidity in no-tillage system for soybean production. **Soil and Tillage Research**, v. 38, n. 1–2, p. 47–57, 1996.

DRISCOLL, K. **Fate of limestone dissolution products in acidic metalcontaminated soil mesocosms**. [s.l.] Laurentian University of Sudbury, 2014.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2 ed. Rio de Janeiro: **Embrapa Solos**, 2006.

FAGERIA, N.K., BALIGAR, V.C. 2008. Ameliorating soil acidity of tropical oxisols by liming for sustainable crop production. **Advances in Agronomy**. 99:345-399.

FELLER, C.; BEARE, M. H. Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. **Geoderma**, v. 79, n. 1-4, p. 69-116, 1997.

FRANCHINI, J. C.; MEDA, A. R.; CASSIOLATO, M. E.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A. Potencial de extratos de resíduos vegetais na mobilização do calcário no solo por método biológico. **Sci. Agric**, v. 58, n. 2, p. 357-360, 2001.

GALLO, J.R. CATANI, R. A. Solubilidade de alguns tipos de Calcários. **Bragantia**, Campinas. Vol. 13 n 5. 1954.

GARGANTINI, H. GOMES, A. G. BLANCO, G. Modos de aplicação ao solo de materiais corretivos da acidez. **Bragantia**, **Campinas**. Vol.24, n. 31. 1965.

GASSEN, D.N., KOCHHANN, R.A. Benefícios de insetos de solo sob plantio direto. In: NUERNBERG, N.J. (ed.). Conceitos e fundamentos do sistema plantio direto. Lages: **SBCS - Núcleo Regional Sul**, 1998. cap.9, p. 151-160.

GREGORY, P.J. Crecimiento y funcionamiento de las raíces. In: WILD, A. (Coord.). Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russel. Madrid: **Mundi-Prensa**, 1992. p.121-175.

GRUNWALDT, H. S.; ZIMINA, A.; GÖTTLICHER, J.; STEININGER, R.; GRUNWALDT, J.-D. Study of the relation between Mg content and dissolution kinetics of natural lime stone using μ XRF, μ XRD and μ XAS. **Journal of Physics: Conference Series**, v. 712, n. 1, p. 012144, 2016.

HERNANDEZ, R. J.; SILVEIRA, R. I. Efeitos da saturação por bases, relações Ca:Mg no solo e níveis de fósforo sobre a produção de material seco e nutrição mineral do milho (*Zeamays L.*). **ScientiaAgricola**, v. 55, n. 1, p. 79-85, 1998.

JOHNSTON, C.T. AOCHI, Y.O. Fourier transform infrared and raman spectroscopy. In: SPARKS, D.L., ed. Methods of soil analysis. Chemical methods. 2.ed. Madison, **American Society of Agronomy**. 1996. p. 269-321.

JONES, R.; HELEN OUGHAM; THOMAS, H.; SUSAN WAALAND. **The molecular Life of Plants**. [s.l: s.n.].

JORIS, H. A. W.; CAIRES, E. F.; SCHARR, D. A.; BINI, Â. R.; HALISKI, A. Liming in the conversion from degraded pastureland to a no-till cropping system in Southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 162, p. 68-77, set. 2016.

KAMINSKI, J. S. RHEINHEIMER D. S, GATIBONI, L. C. BRUNETTO, G. SOUZA, L. S. (2005). Eficiência da calagem superficial e incorporada precedendo o sistema plantio direto em um argissolo sob pastagem natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 29(4), 573-580.

KOCHIAN, L.V. Cellular mechanisms of aluminum toxicity and resistance in plants. *Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol* 46: 237-260. 1995. AZEVEDO, A. C.; KÄMPF, N.; BOHNEN, H. Alterações na dinâmica evolutiva de Latossolo Bruno pela calagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 20, n. 2, p. 191-198, 1996.

KLEBER, M.; SOLLINS, P.; SUTTON, R. A conceptual model of organo-mineral interactions in soils: self-assembly of organic molecular fragments into zonal structures on mineral surfaces. **Biogeochemistry**, v. 85, n. 1, p. 9–24, 1 ago. 2007.

LEQUEUX, H.; HERMANS, C.; LUTTS, S.; VERBRUGGEN, N. Response to copper excess in *Arabidopsis thaliana*: Impact on the root system architecture, hormone distribution, lignin accumulation and mineral profile. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 48, n. 8, p. 673–682, 1 ago. 2010.

LIU, Z.; YUAN, D.; DREYBRODT, W. Comparative study of dissolution rate-determining mechanisms of limestone and dolomite. **Environmental Geology**, v. 49, n. 2, p. 274–279, 1 dez. 2005.

HOLZSCHUH, M.J. . Eficiência de calcário calcítico e dolomítico na correção da acidez de solos sob plantio direto. 2007. 85 folhas. Dissertação – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 23 de fevereiro de 2007.

MARSCHNER, H.; MARSCHNER, P. (EDS.). **Marschner’s mineral nutrition of higher plants**. 3rd ed ed. London ; Waltham, MA: Elsevier/Academic Press, 2012.

MEDEIROS, J. C.; ALBUQUERQUE, J. A.; MAFRA, Á. L.; DALLA ROSA, J.; COLPO GATIBONI, L. Relação cálcio:magnésio do corretivo da acidez do solo na nutrição e no desenvolvimento inicial de plantas de milho em um Cambissolo Húmico Álico. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 29, n. 4, 2008.

MIOTTO, A. Calcários calcítico e dolomítico e alterações nos atributos de solos e plantas sob sistema de plantio direto. 2009. 79 folhas. Dissertação – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 27 de fevereiro de 2009.

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**, v. 45, n. 3, p. 251–256, set. 2002.

MIYASAKA, S. FREIRE, E. S. ABRAMIDES, E. Estudo preliminar sobre maneiras de efetuar calagem com calcário dolomítico e cal extinta. **Bragantia**, Campinas. Vol.25, n. 19. 1966.

MIELNICZUK, J. Manejo do solo no Rio Grande do Sul: uma síntese histórica. R. **Agronomia**, 12: 11-22, 1999.

MOHR, W. A influencia da acidez sobre a fertilidade dos solos.. In: CONGRESSO NACIONAL DE CONSERVACAO DOS SOLOS, 1., 1960, Porto Alegre. Anais. Porto Alegre: **Companhia Riograndense de Adubos**, 1960, p.61-76.

MOLOPE, M. B.; GRIEVE, I. C.; PAGE, E. R. Contributions by fungi and bacteria to aggregate stability of cultivated soils. **Journal of Soil Science**, v. 38, n. 1, p. 71–77, 1 mar. 1987.

MORSE, J. W.; ARVIDSON, R. S. The dissolution kinetics of major sedimentary carbonate minerals. **Earth-Science Reviews**, v. 58, n. 1, p. 51–84, 1 jul. 2002.

PANDOLFO, C. M.; VEIGA, M. DA. Atributos químicos de um Nitossolo Vermelho e rendimento de culturas após uma única aplicação de doses de calcário na superfície. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 10, n. 1, p. 62–74, 26 set. 2014.

PAULETTI, V.; PIERRI, L. DE; RANZAN, T.; BARTH, G.; VARGAS MOTTA, A. C. EFEITOS EM LONGO PRAZO DA APLICAÇÃO DE GESSO E CALCÁRIO NO SISTEMA DE PLANTIO DIRETO. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 2, 2014.

RHEINHEIMER, D.S. KAMINSKI, J. Resposta do capim pensacola à adubação fosfatada e à micorrização em solo com diferentes valores de pH. **R. Bras. Ci. Solo**. 18:201-205, 1994.

RHEINHEIMER, D.S., KAMINSKI, J., LUPATINI, G. C., SANTOS, E. J. S. Modificações em atributos químicos de solo arenoso sob sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 22:713-721, 1998.

RHEINHEIMER, D.S., KAMINSKI, J., SANTOS, E.J.S., GATIBONI, L.C., BORTOLUZZI, E.C. Alterações de atributos do solo pela calagem superficial e incorporada a partir de pastagem natural. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 24:797-805, 2000.

GATIBONI, L.C., SAGGIN, A., BRUNETTO, G., HORN, D., FLORES, J.P.C., RHEINHEIMER, D.S., KAMINSKI, J. Alterações nos atributos químicos de solo arenoso pela calagem superficial no sistema plantio direto consolidado. *Ciência Rural*, 33:283-290, 2003.

KAMINSKI, J., RHEINHEIMER, D.S., GATIBONI, L.C., BRUNETTO, G., SILVA, L.S. Eficiência da calagem superficial e incorporada precedendo o sistema plantio direto em um Argissolo sob pastagem natural. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 29:573-580, 2005.

RHEINHEIMER, D.S., PETRY, C., KAMINSKI, J., PESSOA, A.C.S., Cassol, L.C. Influência do estresse de alumínio em plantas de fumo virginia. II: Efeito nos parâmetros cinéticos de absorção de fósforo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 18:69-72, 1994.

PETRY, C., RHEINHEIMER, D.S., KAMINSKI, J., BARTZ, H.R. Influência do estresse de alumínio em plantas de fumo virginia. I: Efeito no sistema radicular, absorção de fósforo e cálcio e na produção de matéria seca. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 18:63-68, 1994.

RHEINHEIMER, D. DOS; SANTOS, E. J. S.; KAMINSKI, J.; BORTOLUZZI, E. C.; GATIBONI, L. C. Alterações de atributos do solo pela calagem superficial e incorporada a partir de pastagem natural. **Bras. Ci. Solo**, v. 24, p. 797–805, 2000.

RODRIGHERO, M. B.; BARTH, G.; CAIRES, E. F. APLICAÇÃO SUPERFICIAL DE CALCÁRIO COM DIFERENTES TEORES DE MAGNÉSIO E GRANULOMETRIAS EM SISTEMA PLANTIO DIRETO. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 6, p. 1723–1736, dez. 2015.

SILVA NETO, L. DE F. DA; VASCONCELLOS INDA, A.; BAYER, C.; PINHEIRO DICK, D.; TIAGO TONIN, A. Óxidos de ferro em latossolos tropicais e subtropicais brasileiros em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 5, 2008.

TEDESCO, M. J. GIANELLO, C. BISSANI, C. A. BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. Análises de solo, plantas e outros materiais. Porto Alegre: UFRGS , 1995. 174 p. (Boletim Técnico, 5).

TOLEDO, J. A.; KAMINSKI J.; SANTANNA M. A.; RHEINHEIMER D. S. ;Tampão Santa Maria (TSM) como alternativa ao tampão SMP para medição da acidez potencial de solos ácidos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 2012, 36 (2).

VERONESE, M.; FRANCISCO, E. A. B.; ZANCANARO, L.; ROSOLEM, C. A. Plantas de cobertura e calagem na implantação do sistema plantio direto. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 47, n. 8, p. 1158–1165, 2012.

WEIRICH NETO; EDUARDO FÁVERO CAIRES; ALTAIR JUSTINO; JEFERSON DIAS. Correção da acidez do solo em função de modos de incorporação de calcário. **Ciência Rural**, v. 30, n. 2, 2000.

ALCARDE, J.C. Corretivos da acidez dos solos: características e interpretações. São Paulo, ANDA, 1992. (**Boletim Técnico**, 6).

AMARAL, A.S. & ANGHINONI, I. Alteração de parâmetros químicos do solo pela reaplicação superficial de calcário no sistema plantio direto. **Pesq. Agropec. Bras.**, 36:695-702,2001.

AMARAL, A.S.; ANGHINONI, I. & DESCHAMPS, F.C. Resíduos de plantas de cobertura e mobilidade dos produtos da dissolução do calcário aplicado na superfície do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, 28:115-123, 2004.

ALCARDE, J. C. Corretivo de acidez dos solos: características e interpretações técnicas. São Paulo: **Associação Nacional para Difusão de Adubos** (ANDA), 2005. 24 p. (Boletim técnico, v.6).

ALLEONI, L. R. F.; CAMBRI, M. A.; CAIRES, E. F. Atributos químicos de um Latossolo de cerrado sob plantio direto, de acordo com doses e formas de aplicação de calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 6, p. 923–934, 2005.

AMARAL, A. DO; ANGHINONI, I. Alteração de parâmetros químicos do solo pela reaplicação superficial de calcário no sistema plantio direto. **Pesq. Agropec. Bras.**, v. 36, p. 695–702, 2001.

ANUÁRIO MINERAL BRASILEIRO 2010, Brasília, **Departamento Nacional de Mineração. Brasil**, 2010. Disponível em < http://www.dnpm.gov.br/assuntos/ao-publico/anuario-mineral/arquivos/ANUARIO_MINERAL_2010.pdf > acessado em 02.

BERNARDI, A.C.C.; CARMO, C.A.F.S.; MACHADO, P.L.O.; SILVA, C.A.; VALENCIA, L.I.O. & MEIRELLES, M.S. Variabilidade espacial de teores de nutrientes em folhas de soja como ferramenta para agricultura de precisão. Rio de Janeiro, **Embrapa Solos**, 2002. 5p. (Comunicado Técnico 17).

BOGGS Jr., S. 1998. Dolomites. In: Boggs Jr., S. (ed.). **Petrology of sedimentary rocks**. New York, Macmillan Publishing Company, p 484-513.

CAIRES, E. F.; BANZATTO, D. A.; FONSECA, A. F. Calagem na superfície em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, n. 1, p. 161–169, mar. 2000.

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**, v. 27, n. 2, p. 275–286, 2003.

CQFS-RS/SC- Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC. **Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2016. 376p.

DE OLIVEIRA, E. L.; PAVAN, M. A. Control of soil acidity in no-tillage system for soybean production. **Soil and Tillage Research**, v. 38, n. 1–2, p. 47–57, 1996.

FRANCHINI, J. C.; MEDA, A. R.; CASSIOLATO, M. E.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A. Potencial de extratos de resíduos vegetais na mobilização do calcário no solo por método biológico. **Sci. Agric**, v. 58, n. 2, p. 357–360, 2001.

KAMINSKI, J., CERETTA, C.A., SILVA, L.S., RHEINHEIMER, D.S. Acidez e calagem em solos do Sul do Brasil: aspectos históricos e perspectivas futura. **Tópicos em Ciência do Solo**, 5:307-322, 2007.

KÄMPF, N.; CURI, N. & MARQUES, J.J. Óxidos de alumínio, silício, manganês e titânio. In: MELO, V.F. & ALLEONI, L.R.F., eds. **Química e mineralogia do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. p.573-610

KLEIN, CARLA; MIZUSAKI, ANA MARIA PIMENTEL. Cimentação Carbonática em Reservatórios Siliciclásticos - O Papel da Dolomita -. **Pesquisas em Geociências**, [S.l.], v. 34, n. 1, p. 91-108, ago. 2011. ISSN 1807-9806.

- MOTTA, A.C.V. & MELO, V.F. Química dos solos ácidos. In: MELO, V.F. & ALLEONI, L.R.F., eds. **Química e mineralogia do solo: Aplicações**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. Parte 2. p.313-380.
- PETRERE, C. & ANGHINONI, I. Alterações de atributos químicos no perfil do solo pela calagem superficial em campo nativo. **R. Bras. Ci. Solo**, 25:885-895, 2001.
- QUAGGIO JA. Acidez e calagem em solos tropicais. Campinas: **Instituto Agronômico de Campinas**;2000.
- RHEINHEIMER, D.S.; ANGHINONI, I. & CONTE, E. Fósforo da biomassa microbiana em solos sob diferentes sistemas de manejo. **R. Bras. Ci. Solo**, 24:589-597, 2000.
- REEDER, R.J., 1983, Carbonates: mineralogy and chemistry reviews in mineralogy. v.11, **Mineralogical Society of America**, Printed by Bookcrafters, Inc Chelsea, Michigan, 394 pp.
- Boggs Jr., S. 1998. Dolomites. In: Boggs Jr., S. (ed.). *Petrology of sedimentary rocks*. New York, Macmillan Publishing Company, p 484-513.
- SHERMAN, L. A. BARAK, P. 2000. Solubility and Dissolution Kinetics of Dolomite in Ca-Mg-HCO₃/CO₃ Solutions at 25°C and 0.1 MPa Carbon Dioxide. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 64:1959-1968.
- SOUZA, Z.M.; BARBIERI, D.M.; JÚNIOR, J.M.; PEREIRA, G.T.; CAMPOS, M.C.C. Influência da variabilidade espacial de atributos químicos de um latossolo na aplicação de insumos para cultura de cana-de-açúcar. **Ciênc. agrotec.** Lavras, v. 31, n. 2, p. 371-377, mar./abr., 2007
- SANTOS Jr., U.M. 2003. Ecofisiologia de espécies arbóreas plantadas sobre áreas degradadas por atividade petrolífera na Amazônia Central. Master's Thesis, **Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia / Fundação Universidade do Amazonas**, Manaus, Amazonas. 134pp
- SCOFFIN, T.P., 1987. **Introduction to carbonate sediments and rocks**. Blackie, Chapman and Hall, New York, 274 pp
- SILVA NETO, L. DE F. DA; VASCONCELLOS INDA, A.; BAYER, C.; PINHEIRO DICK, D.; TIAGO TONIN, A. Óxidos de ferro em latossolos tropicais e subtropicais brasileiros em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 5, 2015.
- TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C. Escolha do corretivo de acidez do solo. In: KAMINSKI, J. (coord.). *Uso de corretivos da acidez do solo no plantio direto*. Pelotas: NRS/SBCS, 200.p.95-144. (**Boletim Técnico**, 4).
- VERONESE, M.; FRANCISCO, E. A. B.; ZANCANARO, L.; ROSOLEM, C. A. Plantas de cobertura e calagem na implantação do sistema plantio direto. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 47, n. 8, p. 1158–1165, 2012.

VILELA, C. L. SANTOS, A. C. BARRETO, P. M. BRITO, S. S. SILVA, J. E. C. OLIVEIRA, L. B. Propriedades químicas de Latossolo Vermelho em função da aplicação de gessagem e calagem. **Rev. Acad.**, Ciênc. Agrár. Ambient., Curitiba, v. 8, n. 1, p. 19-27, jan./mar. 2010.

APÊNDICES

Apêndice A - Resultado estatístico da aplicação de corretivo superficial e incorporado, para 5 tipos de corretivos até 60 cm de perfil do solo, para variável pH.

Modo de aplicação	Camada	Tratamento					
		35,5 ¹	10,7	5,9	2,7	Testemunha	
Incorporado	*	0,5	5,20 bc	5,56 abc	5,60 a	5,56 ab	4,99 c
Incorporado	*	1,5	5,01 b	5,20 ab	5,57 a	5,20 b	4,60 c
Incorporado	*	2,5	4,88 b	5,23 ab	5,32 a	5,23 ab	4,50 c
Incorporado	*	3,5	4,80 b	5,14 ab	5,26 a	5,14 ab	4,40 c
Incorporado	*	4,5	4,93 a	5,14 a	5,18 a	5,14 b	4,40 b
Incorporado	*	5,5	4,97 a	5,15 a	5,12 a	5,15 ab	4,50 b
Incorporado	*	6,5	4,99 a	5,17 a	5,09 a	5,17 a	4,40 b
Incorporado	*	7,5	5,02 b	5,18 a	5,06 ab	5,18 ab	4,60 c
Incorporado	*	8,5	5,02 b	5,19 a	5,05 a	5,19 a	4,50 b
Incorporado	*	9,5	4,98 a	5,18 a	5,06 a	5,18 a	4,50 b
Incorporado	*	11,25	5,09 a	5,13 a	5,05 a	5,13 a	4,50 b
Incorporado	*	13,75	5,07 a	4,99 a	5,06 a	4,99 a	4,60 b
Incorporado	*	16,25	5,17 a	5,02 a	5,07 a	5,02 a	4,60 b
Incorporado	*	18,75	5,15 a	4,88 a	5,01 a	4,88 ab	4,60 b
Incorporado	*	21,25	5,09 a	4,80 a	4,99 a	4,80 ab	4,50 b
Incorporado	*	23,75	5,00 a	4,78 a	5,00 a	4,78 ab	4,60 b
Incorporado	*	27,5	5,00 a	4,74 a	4,93 ab	4,74 ab	4,60 b
Incorporado	*	32,5	4,96 a	4,77 a	4,77 ab	4,77 ab	4,60 b
Incorporado	*	37,5	4,81 a	4,80 a	4,76 a	4,80 a	4,70 a
Incorporado	*	42,5	4,82 a	4,75 a	4,66 a	4,75 a	4,70 a
Incorporado	*	47,5	4,81 a	4,74 a	4,67 a	4,74 a	4,70 a
Incorporado	*	52,5	4,80 a	4,87 a	4,66 a	4,87 a	4,70 a
Incorporado	*	55,5	4,87 a	4,74 a	4,68 a	4,74 a	4,70 a
Superficial	*	0,5	6,00 a	5,80 a	5,75 a	5,80 a	5,02 b
Superficial	*	1,5	5,83 a	5,65 a	5,76 a	5,59 a	4,44 b
Superficial	*	2,5	5,80 a	5,55 b	5,70 ab	5,60 ab	4,35 b
Superficial	*	3,5	5,80 a	5,48 b	5,67 ab	5,60 ab	4,29 c
Superficial	*	4,5	5,83 a	5,50 b	5,65 ab	5,64 ab	4,35 c
Superficial	*	5,5	5,83 a	5,40 b	5,66 ab	5,40 b	4,44 c
Superficial	*	6,5	5,68 a	5,28 b	5,62 ab	5,34 bc	4,49 c
Superficial	*	7,5	5,68 a	5,30 b	5,52 ab	5,48 ab	4,46 c
Superficial	*	8,5	5,63 a	5,30 b	5,48 a	5,39 a	4,48 c
Superficial	*	9,5	5,50 a	5,20 b	5,40 a	5,30 ab	4,50 c
Superficial	*	11,25	5,53 a	5,10 b	5,34 ab	5,33 ab	4,51 c
Superficial	*	13,75	5,68 a	4,97 b	5,26 b	5,06 b	4,51 c
Superficial	*	16,25	5,50 a	4,84 b	5,09 b	4,92 b	4,51 c
Superficial	*	18,75	5,47 a	4,79 bc	4,99 b	4,72 bc	4,53 c
Superficial	*	21,25	5,33 a	4,76 bc	4,94 ab	4,72 bc	4,58 c
Superficial	*	23,75	5,10 a	4,74 b	4,82 ab	4,78 ab	4,59 b
Superficial	*	27,5	4,94 a	4,73 a	4,73 a	4,70 a	4,54 a
Superficial	*	32,5	4,78 a	4,63 a	4,67 a	4,64 a	4,59 a
Superficial	*	37,5	4,77 a	4,63 a	4,62 a	4,58 a	4,69 a
Superficial	*	42,5	4,77 a	4,66 a	4,66 a	4,63 a	4,71 a
Superficial	*	47,5	4,66 a	4,64 a	4,63 a	4,55 a	4,80 a
Superficial	*	52,5	4,78 a	4,63 a	4,68 a	4,81 a	4,89 a
Superficial	*	55,5	4,75 a	4,69 a	4,75 a	4,79 a	4,86 a
DMS	0,37						
Erro padrão	0,09						

¹Relação molar dos corretivos.

Apêndice B - Resultado estatístico da aplicação de corretivo superficial e incorporado, para 5 tipos de corretivos até 60 cm de perfil do solo, para variável Al³⁺.

Modo de aplicação	Camada	Tratamento					
		35,5 ¹	10,7	5,9	2,7	Testemunha	
Incorporado	*	0,5	0,08 b	0,06 b	0,08 b	0,06 b	0,47 a
Incorporado	*	1,5	0,19 b	0,08 b	0,07 b	0,13 a	0,55 b
Incorporado	*	2,5	0,28 b	0,13 b	0,07 b	0,19 b	0,80 b
Incorporado	*	3,5	0,37 b	0,23 b	0,21 b	0,23 b	0,93 a
Incorporado	*	4,5	0,39 b	0,26 b	0,39 b	0,30 b	0,98 a
Incorporado	*	5,5	0,39 b	0,24 b	0,44 b	0,32 b	1,02 a
Incorporado	*	6,5	0,40 b	0,24 b	0,47 b	0,34 b	1,05 a
Incorporado	*	7,5	0,40 b	0,21 b	0,47 b	0,33 b	1,03 a
Incorporado	*	8,5	0,42 b	0,24 b	0,49 b	0,33 b	1,02 a
Incorporado	*	9,5	0,44 b	0,23 c	0,52 b	0,35 bc	1,04 a
Incorporado	*	11,25	0,50 b	0,25 c	0,58 b	0,36 c	1,18 a
Incorporado	*	13,75	0,49 b	0,31 c	0,59 b	0,45 bc	1,06 a
Incorporado	*	16,25	0,48 b	0,44 c	0,62 b	0,58 bc	1,05 a
Incorporado	*	18,75	0,50 b	0,53 b	0,64 b	0,69 b	0,97 a
Incorporado	*	21,25	0,57 b	0,58 c	0,65 b	0,79 b	1,08 a
Incorporado	*	23,75	0,63 b	0,67 c	0,75 bc	0,83 bc	1,24 a
Incorporado	*	27,5	0,71 b	0,70 c	0,80 bc	0,93 b	1,19 a
Incorporado	*	32,5	0,88 a	0,72 b	0,87 ab	0,91 ab	1,27 a
Incorporado	*	37,5	0,93 ab	0,75 b	0,99 ab	0,93 ab	1,03 a
Incorporado	*	42,5	0,87 a	0,81 a	0,98 a	0,85 a	0,97 a
Incorporado	*	47,5	0,86 a	0,77 a	0,99 a	0,79 a	0,92 a
Incorporado	*	52,5	0,82 a	0,74 a	1,01 a	0,66 a	0,86 a
Incorporado	*	55,5	0,81 a	0,79 a	1,00 a	0,65 a	0,79 a
Superficial	*	0,5	0,05 b	0,02 b	0,04 b	0,04 b	0,31 a
Superficial	*	1,5	0,04 b	0,05 b	0,03 b	0,04 b	0,45 a
Superficial	*	2,5	0,04 b	0,04 b	0,03 b	0,03 b	0,66 a
Superficial	*	3,5	0,02 b	0,04 b	0,04 b	0,05 b	0,75 a
Superficial	*	4,5	0,03 b	0,04 b	0,05 b	0,08 b	0,88 a
Superficial	*	5,5	0,03 b	0,03 b	0,06 b	0,11 b	0,92 a
Superficial	*	6,5	0,02 b	0,06 b	0,07 b	0,14 b	0,92 a
Superficial	*	7,5	0,04 b	0,06 b	0,13 b	0,20 b	0,93 a
Superficial	*	8,5	0,06 b	0,06 b	0,11 b	0,21 b	0,95 a
Superficial	*	9,5	0,09 c	0,10 b	0,13 c	0,27 b	0,94 a
Superficial	*	11,25	0,09 c	0,24 c	0,29 bc	0,40 b	0,92 a
Superficial	*	13,75	0,09 c	0,36 bc	0,40 ab	0,55 b	0,90 a
Superficial	*	16,25	0,12 d	0,39 cd	0,51 bc	0,64 b	0,86 a
Superficial	*	18,75	0,23 b	0,49 b	0,64 a	0,68 a	0,83 a
Superficial	*	21,25	0,35 b	0,56 b	0,80 a	0,74 a	0,84 a
Superficial	*	23,75	0,45 b	0,66 b	0,91 a	0,86 a	0,90 a
Superficial	*	27,5	0,63 bc	0,65 c	0,99 c	0,92 ab	0,90 ab
Superficial	*	32,5	0,72 ab	0,66 b	0,99 a	0,94 a	0,94 ab
Superficial	*	37,5	0,85 a	0,72 a	1,00 a	0,90 a	0,94 a
Superficial	*	42,5	0,82 a	0,75 a	1,01 a	0,85 a	0,91 a
Superficial	*	47,5	0,84 a	0,82 a	0,93 a	0,79 a	0,91 a
Superficial	*	42,5	0,78 a	0,73 a	0,88 a	0,77 a	0,88 a
Superficial	*	57,5	0,85 a	0,69 a	0,87 a	0,68 a	0,80 a
DMS			0,2				
Erro padrão			0,05				

¹Relação molar dos corretivos.

Apêndice C - Resultado estatístico da aplicação de corretivo superficial e incorporado, para 5 tipos de corretivos até 60 cm de perfil do solo, para variável Ca.

Modo de aplicação	Camada	Tratamento					
		35,5 ¹	10,7	5,9	2,7	Testemunha	
Incorporado	*	0,5	5,31 a	5,52 a	4,39 b	5,59 a	2,49 c
Incorporado	*	1,5	5,13 a	5,37 a	4,07 b	4,21 b	1,96 c
Incorporado	*	2,5	5,10 a	4,99 a	3,51 c	4,04 b	1,77 c
Incorporado	*	3,5	4,98 a	4,69 a	3,28 c	3,76 b	1,37 c
Incorporado	*	4,5	4,71 a	4,36 a	3,27 b	3,38 b	1,35 c
Incorporado	*	5,5	4,55 a	4,14 b	3,21 c	3,21 c	1,23 d
Incorporado	*	6,5	4,17 a	4,11 a	3,13 b	3,23 b	1,22 c
Incorporado	*	7,5	3,85 a	4,03 a	2,97 c	3,40 b	1,15 c
Incorporado	*	8,5	3,86 a	3,54 a	2,77 b	3,06 b	0,98 c
Incorporado	*	9,5	3,75 a	3,59 a	2,63 b	2,96 b	0,96 c
Incorporado	*	11,25	3,60 a	3,25 ab	2,50 b	2,92 bc	0,94 d
Incorporado	*	13,75	3,46 a	3,51 a	2,30 b	2,49 b	0,88 c
Incorporado	*	16,25	3,45 a	3,14 a	2,16 b	2,08 b	0,86 c
Incorporado	*	18,75	3,55 a	2,44 a	1,94 c	1,73 c	0,80 d
Incorporado	*	21,25	3,87 a	2,17 b	1,80 bc	1,60 c	0,90 d
Incorporado	*	23,75	3,92 a	2,27 b	1,80 c	1,53 c	0,91 d
Incorporado	*	27,5	3,87 a	2,39 b	1,64 c	1,41 c	1,92 d
Incorporado	*	32,5	3,25 a	2,36 b	1,62 c	1,34 c	0,96 d
Incorporado	*	37,5	3,06 a	2,00 b	1,60 c	1,29 cd	1,00 d
Incorporado	*	42,5	2,31 a	1,95 a	1,48 b	1,37 cd	1,05 d
Incorporado	*	47,5	2,23 a	1,94 a	1,34 b	1,27 b	1,15 b
Incorporado	*	52,5	2,39 a	1,27 c	1,26 c	1,72 b	1,18 c
Incorporado	*	55,5	2,57 a	1,25 c	1,22 c	1,92 b	1,15 c
Superficial	*	0,5	5,51 b	5,96 a	5,09 c	5,82 ab	2,67 d
Superficial	*	1,5	5,46 a	5,77 a	4,52 b	4,96 b	2,31 c
Superficial	*	2,5	5,40 a	5,35 a	4,17 c	4,55 b	1,33 d
Superficial	*	3,5	5,21 a	4,53 b	3,96 c	3,90 c	1,05 d
Superficial	*	4,5	5,19 a	4,54 a	3,83 b	3,49 b	0,97 c
Superficial	*	5,5	4,79 a	4,62 a	3,82 b	3,02 c	0,84 d
Superficial	*	6,5	4,67 a	4,39 a	3,65 b	2,25 c	0,85 d
Superficial	*	7,5	4,48 a	3,50 b	3,54 b	2,32 c	0,85 d
Superficial	*	8,5	4,29 a	3,08 b	3,37 b	2,22 c	0,94 d
Superficial	*	9,5	4,07 a	2,97 b	3,34 b	2,19 c	0,80 d
Superficial	*	11,25	3,97 a	3,00 b	3,22 b	1,67 c	0,83 d
Superficial	*	13,75	3,89 a	2,96 b	3,10 b	1,41 c	0,79 d
Superficial	*	16,25	3,89 a	2,82 b	2,58 b	1,28 c	0,76 d
Superficial	*	18,75	3,87 a	2,36 b	2,28 b	1,00 c	0,83 d
Superficial	*	21,25	3,68 a	2,42 b	1,98 c	0,97 d	0,84 d
Superficial	*	23,75	3,48 a	1,75 b	1,80 b	0,99 c	0,99 c
Superficial	*	27,5	3,06 a	1,61 b	1,57 b	1,48 b	0,98 c
Superficial	*	32,5	2,73 a	1,66 b	1,59 b	1,57 b	0,98 c
Superficial	*	37,5	2,66 a	1,43 b	1,61 b	1,30 bc	1,06 c
Superficial	*	42,5	2,04 a	1,33 bc	1,68 ab	1,20 c	1,09 c
Superficial	*	47,5	1,99 a	1,34 b	1,51 b	1,27 b	1,19 b
Superficial	*	52,5	2,15 a	1,44 b	1,34 b	1,38 b	1,18 b
Superficial	*	55,5	2,21 a	1,17 bc	1,16 bc	1,53 b	1,21 c
DMS			0,37				
Erro padrão			0,09				

¹Relação molar dos corretivos.

Apêndice D - Resultado estatístico da aplicação de corretivo superficial e incorporado, para 5 tipos de corretivos até 60 cm de perfil do solo, para variável Mg.

Modo de aplicação	Camada	Tratamento					Testemunha
		35,5 ¹	10,7	5,9	2,7		
Incorporado	*	0,5	1,81 b	1,66 b	1,46 b	2,41 a	1,43 c
Incorporado	*	1,5	1,77 b	1,58 b	1,41 b	1,91 a	1,35 c
Incorporado	*	2,5	1,51 b	1,48 b	1,40 b	1,77 a	1,25 c
Incorporado	*	3,5	1,35 c	1,47 c	1,37 b	1,75 a	1,19 d
Incorporado	*	4,5	1,46 b	1,45 b	1,41 ab	1,75 a	1,06 c
Incorporado	*	5,5	1,41 b	1,41 b	1,40 b	1,78 a	0,99 c
Incorporado	*	6,5	1,48 b	1,35 b	1,41 b	1,96 a	1,04 c
Incorporado	*	7,5	1,42 bc	1,28 c	1,41 b	1,96 a	0,82 d
Incorporado	*	8,5	1,33 b	1,25 b	1,44 a	1,91 a	0,77 c
Incorporado	*	9,5	1,36 bc	1,18 c	1,33 ab	1,78 a	0,75 d
Incorporado	*	11,25	1,30 bc	1,16 c	1,20 ab	1,67 a	0,74 d
Incorporado	*	13,75	1,27 ab	1,09 b	1,14 ab	1,46 a	0,67 c
Incorporado	*	16,25	1,29 a	1,07 a	1,09 a	1,23 a	0,61 b
Incorporado	*	18,75	1,13 a	1,10 a	0,91 a	1,10 a	0,58 b
Incorporado	*	21,25	1,08 a	1,14 a	0,92 a	1,00 a	0,56 b
Incorporado	*	23,75	0,99 a	1,15 a	0,90 a	0,92 a	0,55 b
Incorporado	*	27,5	0,85 b	1,13 a	0,87 b	0,83 b	0,50 c
Incorporado	*	32,5	0,83 b	1,11 a	0,87 b	0,78 b	0,49 c
Incorporado	*	37,5	0,87 b	1,09 a	0,83 b	0,75 b	0,45 c
Incorporado	*	42,5	0,81 b	1,06 a	0,79 b	0,71 b	0,43 c
Incorporado	*	47,5	0,87 ab	1,04 a	0,77 b	0,73 b	0,41 c
Incorporado	*	52,5	1,05 a	1,02 a	0,61 bc	0,71 b	0,40 c
Incorporado	*	55,5	1,09 a	0,99 a	0,60 bc	0,64 b	0,38 c
Superficial	*	0,5	1,76 c	1,74 c	1,89 b	2,37 a	1,33 d
Superficial	*	1,5	1,66 b	1,74 b	1,74 b	2,23 a	1,19 c
Superficial	*	2,5	1,48 c	1,73 bc	1,69 b	2,11 a	1,02 d
Superficial	*	3,5	1,37 c	1,71 b	1,61 b	2,07 a	0,98 d
Superficial	*	4,5	1,30 c	1,71 b	1,58 b	2,15 a	0,92 d
Superficial	*	5,5	1,34 c	1,70 b	1,51 b	2,11 a	0,88 c
Superficial	*	6,5	1,36 c	1,68 c	1,54 b	2,10 a	0,84 d
Superficial	*	7,5	1,25 b	1,67 a	1,54 a	2,11 a	0,80 c
Superficial	*	8,5	1,25 b	1,59 a	1,51 a	1,76 a	0,74 c
Superficial	*	9,5	1,27 b	1,57 a	1,56 a	1,52 ab	0,73 c
Superficial	*	11,25	1,15 c	1,52 ab	1,47 a	1,36 bc	0,73 d
Superficial	*	13,75	1,15 b	1,33 ab	1,38 a	1,18 b	0,64 c
Superficial	*	16,25	1,05 b	1,24 ab	1,24 a	1,06 b	0,60 c
Superficial	*	18,75	1,02 b	1,20 ab	1,10 a	0,98 b	0,60 c
Superficial	*	21,25	1,04 a	1,09 a	0,99 a	0,85 a	0,49 b
Superficial	*	23,75	1,05 a	1,07 a	1,00 a	0,83 a	0,46 b
Superficial	*	27,5	0,91 ab	1,08 a	1,00 ab	0,78 b	0,44 c
Superficial	*	32,5	0,96 a	1,02 a	0,99 a	0,64 b	0,42 b
Superficial	*	37,5	0,95 a	0,99 a	0,96 a	0,61 b	0,41 b
Superficial	*	42,5	0,88 a	0,96 a	0,86 a	0,58 b	0,40 b
Superficial	*	47,5	0,81 a	0,93 a	0,82 a	0,50 b	0,38 b
Superficial	*	52,5	0,94 a	0,85 a	0,72 a	0,46 b	0,38 b
Superficial	*	55,5	0,92 a	0,83 a	0,68 a	0,46 b	0,37 b
DMS			0,27				
Erro padrão			0,07				

¹Relação molar dos corretivos.

Apêndice E - Resultado estatístico da aplicação de corretivo superficial e incorporado, para 5 tipos de corretivos até 60 cm de perfil do solo, para variável saturação por alumínio.

Modo de aplicação	Camada	Tratamento					
		35,5 ¹	10,7	5,9	2,7	Testemunha	
Incorporado	*	0,5	1,07 b	0,75 b	0,97 b	0,67 b	9,25 a
Incorporado	*	1,5	2,63 b	1,01 b	1,43 b	1,96 b	13,74 a
Incorporado	*	2,5	3,97 b	1,97 b	2,27 b	3,03 b	20,95 a
Incorporado	*	3,5	5,40 b	3,57 b	3,90 b	3,98 b	26,83 a
Incorporado	*	4,5	5,79 b	4,09 b	5,07 b	5,37 b	28,63 b
Incorporado	*	5,5	6,33 b	4,01 b	5,60 b	5,84 b	31,38 a
Incorporado	*	6,5	6,46 b	4,20 b	7,54 b	5,93 b	32,28 a
Incorporado	*	7,5	6,96 b	3,70 b	8,06 b	5,61 b	33,25 a
Incorporado	*	8,5	7,27 b	4,61 b	8,07 b	5,99 b	35,49 a
Incorporado	*	9,5	7,77 bc	4,41 c	9,62 b	6,59 bc	36,52 a
Incorporado	*	11,25	9,15 bc	5,27 c	10,85 b	7,04 bc	40,22 a
Incorporado	*	13,75	10,14 bc	6,19 c	13,05 b	9,86 bc	39,40 a
Incorporado	*	16,25	11,92 bc	9,38 c	15,89 b	14,33 b	40,60 a
Incorporado	*	18,75	12,75 c	12,81 c	19,77 b	18,97 b	39,41 a
Incorporado	*	21,25	13,90 c	14,54 c	21,75 b	22,34 b	42,31 a
Incorporado	*	23,75	14,85 c	16,03 c	22,79 b	24,39 b	45,25 a
Incorporado	*	27,5	16,67 c	16,21 c	24,41 b	28,32 b	44,87 a
Incorporado	*	32,5	19,04 c	16,47 c	25,31 b	28,03 b	40,97 a
Incorporado	*	37,5	18,77 c	18,49 c	25,99 b	29,23 b	40,67 a
Incorporado	*	42,5	21,30 c	19,95 c	27,34 b	26,17 b	38,67 a
Incorporado	*	47,5	21,11 c	19,62 c	28,59 b	26,27 b	36,44 a
Incorporado	*	52,5	18,46 c	23,12 c	29,40 b	20,82 c	34,59 a
Incorporado	*	55,5	16,53 c	24,93 b	30,34 a	20,27 bc	33,53 a
Superficial	*	0,5	0,69 b	0,94 b	0,53 b	0,47 b	6,58 a
Superficial	*	1,5	0,55 b	0,66 b	0,50 b	0,58 b	11,41 a
Superficial	*	2,5	0,47 b	0,40 b	0,49 b	0,41 b	17,93 a
Superficial	*	3,5	0,37 b	0,46 b	0,73 b	0,88 b	22,82 a
Superficial	*	4,5	0,44 b	0,46 b	0,88 b	1,41 b	26,52 a
Superficial	*	5,5	0,43 b	0,36 b	1,14 b	1,94 b	29,22 a
Superficial	*	6,5	0,40 b	0,70 b	1,37 b	2,98 b	29,66 a
Superficial	*	7,5	0,65 b	0,85 b	2,38 b	4,24 b	31,00 a
Superficial	*	8,5	1,06 b	1,43 b	2,10 b	4,94 b	34,09 a
Superficial	*	9,5	1,61 d	1,79 b	2,43 cd	6,51 bc	34,48 a
Superficial	*	11,25	1,67 c	3,62 c	5,67 c	11,19 b	34,44 a
Superficial	*	13,75	1,67 d	5,80 cd	7,94 c	17,10 b	35,50 a
Superficial	*	16,25	2,41 d	6,91 cd	11,42 c	20,69 b	35,64 a
Superficial	*	18,75	4,47 d	10,57 c	15,71 c	24,78 b	35,70 a
Superficial	*	21,25	6,76 e	12,75 d	20,87 c	28,24 b	36,08 a
Superficial	*	23,75	8,97 e	18,04 d	23,73 c	31,93 b	38,01 a
Superficial	*	27,5	15,20 c	19,59 c	27,18 b	28,23 b	38,31 a
Superficial	*	32,5	17,92 c	20,86 c	27,16 b	30,10 b	39,94 a
Superficial	*	37,5	18,75 d	24,41 c	27,36 c	32,12 b	38,76 a
Superficial	*	42,5	21,55 d	26,75 c	28,36 bc	32,75 b	38,44 a
Superficial	*	47,5	22,70 c	27,28 bc	28,29 b	31,20 b	36,46 a
Superficial	*	52,5	19,90 c	25,70 b	29,75 b	29,87 b	95,45 a
Superficial	*	55,5	21,17 c	27,97 b	32,66 a	26,32 b	33,60 a
DMS	4,67						
Erro padrão	1,20						

¹Relação molar dos corretivos.

Apêndice F - Resultado estatístico da aplicação de corretivo superficial e incorporado, para 5 tipos de corretivos até 60 cm de perfil do solo, para variável saturação por bases.

Modo de aplicação	Camada	Tratamento					Testemunha
		35,5 ¹	10,7	5,9	2,7		
Incorporado	*	0,5	62,83 bc	60,93 c	66,15 ab	68,32 a	55,46 d
Incorporado	*	1,5	60,22 bc	63,46 a	59,14 bc	56,35 c	47,55 d
Incorporado	*	2,5	58,39 a	60,97 a	51,58 bc	51,99 b	34,17 c
Incorporado	*	3,5	52,06 bc	61,28 a	48,07 c	50,40 bc	32,09 d
Incorporado	*	4,5	51,03 b	58,55 a	47,15 b	47,08 b	28,52 c
Incorporado	*	5,5	51,84 b	56,13 a	46,27 c	48,76 bc	27,45 d
Incorporado	*	6,5	51,47 b	57,93 a	48,64 b	48,58 b	25,19 c
Incorporado	*	7,5	50,86 b	55,61 a	46,24 c	47,16 bc	24,28 d
Incorporado	*	8,5	49,90 b	56,34 a	44,97 c	44,62 c	23,46 d
Incorporado	*	9,5	45,00 b	55,16 a	42,06 c	46,32 b	21,33 d
Incorporado	*	11,25	43,56 b	51,85 a	40,17 c	44,77 b	22,19 d
Incorporado	*	13,75	42,55 b	51,68 a	37,84 c	39,64 bc	22,15 d
Incorporado	*	16,25	41,64 b	45,68 a	35,30 c	33,34 c	21,82 d
Incorporado	*	18,75	43,20 a	40,07 a	25,81 b	27,02 b	22,69 bc
Incorporado	*	21,25	40,22 a	35,74 b	22,29 c	22,59 c	20,86 c
Incorporado	*	23,75	39,75 a	35,78 b	23,23 c	20,30 c	18,17 cd
Incorporado	*	27,5	37,29 a	29,24 b	17,04 c	20,17 c	18,79 c
Incorporado	*	32,5	33,34 a	27,57 b	14,21 d	12,23 d	17,94 c
Incorporado	*	37,5	28,02 a	29,25 a	16,79 b	15,87 b	19,77 b
Incorporado	*	42,5	24,72 a	26,36 a	15,26 b	16,20 b	16,92 b
Incorporado	*	47,5	24,43 a	26,83 a	16,35 b	16,40 b	18,70 b
Incorporado	*	52,5	27,55 a	21,17 bc	16,65 d	13,97 d	19,68 cd
Incorporado	*	55,5	24,38 a	17,44 b	10,98 d	13,89 d	20,28 c
Superficial	*	0,5	63,86 b	69,56 a	67,21 a	68,53 a	53,00 c
Superficial	*	1,5	67,52 b	68,21 a	68,09 b	58,82 b	55,20 c
Superficial	*	2,5	65,45 a	67,30 a	66,81 a	53,52 b	32,50 c
Superficial	*	3,5	67,71 a	64,98 a	66,54 a	51,89 b	30,40 a
Superficial	*	4,5	67,26 a	68,53 a	65,05 a	49,57 b	26,80 c
Superficial	*	5,5	66,34 a	67,86 a	66,17 a	49,45 b	26,10 c
Superficial	*	6,5	67,38 a	65,62 a	64,51 a	45,06 b	24,70 c
Superficial	*	7,5	64,55 a	64,21 ab	61,02 b	41,69 c	23,20 c
Superficial	*	8,5	62,76 a	55,86 b	59,86 ab	39,43 c	22,50 d
Superficial	*	9,5	58,57 a	53,71 c	57,65 a	39,98 c	21,50 d
Superficial	*	11,25	58,72 a	54,81 b	52,08 b	35,05 c	22,60 d
Superficial	*	13,75	59,43 a	50,06 b	52,89 b	30,30 c	21,80 d
Superficial	*	16,25	53,45 a	49,34 b	46,19 b	24,79 c	20,40 c
Superficial	*	18,75	45,97 a	42,27 b	41,95 b	19,23 d	20,50 c
Superficial	*	21,25	42,78 a	42,84 a	29,61 b	15,67 d	19,70 c
Superficial	*	23,75	40,43 a	28,92 b	28,69 b	14,50 d	17,50 c
Superficial	*	27,5	43,83 a	26,85 b	19,96 c	19,25 c	10,70 c
Superficial	*	32,5	36,42 a	22,75 b	11,57 d	12,00 d	17,20 c
Superficial	*	37,5	20,23 a	17,15 b	14,51 c	12,72 c	18,01 ab
Superficial	*	42,5	21,30 a	16,78 b	15,05 c	10,90 d	15,90 b
Superficial	*	47,5	20,56 a	17,32 ab	14,86 b	11,90 bc	17,90 a
Superficial	*	52,5	25,71 a	17,54 c	12,39 d	15,87 d	18,80 c
Superficial	*	55,5	25,51 a	17,67 c	13,24 d	17,19 c	19,70 c
DMS			3,53				
Erro padrão			0,90				

¹Relação molar dos corretivos.