

LAÍS LORENA QUEIROZ MOREIRA

**ALTERAÇÕES NO SISTEMA SOLO-PLANTA EM RESPOSTA A FONTES E
MODOS DE APLICAÇÃO DE CORRETIVOS DE ACIDEZ EM SISTEMA DE
SEMEADURA DIRETA**

Botucatu

2017

LAIS LORENA QUEIROZ MOREIRA

**ALTERAÇÕES NO SISTEMA SOLO-PLANTA EM RESPOSTA A FONTES E
MODOS DE APLICAÇÃO DE CORRETIVOS DE ACIDEZ EM SISTEMA DE
SEMEADURA DIRETA**

Tese apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da Unesp
Câmpus de Botucatu, para obtenção
do título de Doutor em Agronomia
(Agricultura).

Orientador: Prof. Dr. Leonardo Theodoro Büll

Coorientador: Prof. Dr. Thiago Assis Rodrigues Nogueira

Botucatu

2017

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - DIRETORIA TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

M838a Moreira, Laís Lorena Queiroz, 1988-
 Alterações no sistema solo-planta em resposta a fontes
 e modos de aplicação de corretivos de acidez em sistema
 de semeadura direta / Laís Lorena Queiroz Moreira. - Bo-
 tucatu: [s.n.], 2017
 91 p.: grafs. color. tabs.

 Tese (Doutorado)- Universidade Estadual Paulista
 Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2017
 Orientador: Leonardo Theodoro Büll
 Coorientador: Thiago Assis Rodrigues Nogueira
 Inclui bibliografia

 1. Escórias. 2. Acidez. 3. Calagem. 4. Sucessão de
 culturas. 5. Soja. 6. Aveia-preta. I. Büll, Leonardo
 Theodoro. II. Nogueira, Thiago Assis Rodrigues. III.
 Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"
 Câmpus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônomicas.
 IV. Título.

Elaborada por Ana Lucia G. Kempinas - CRB-8:7310

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte"



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Botucatu



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "ALTERAÇÕES NO SISTEMA SOLO-PLANTA EM RESPOSTA A FONTES E MODOS DE APLICAÇÃO DE CORRETIVOS DE ACIDEZ EM SISTEMA DE SEMEADURA DIRETA"

AUTORA: LAÍS LORENA QUEIROZ MOREIRA

ORIENTADOR: LEONARDO THEODORO BÜLL

COORIENTADOR: THIAGO ASSIS RODRIGUES NOGUEIRA

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em AGRONOMIA (AGRICULTURA), pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. LEONARDO THEODORO BÜLL
Dep de Solos e Recursos Ambientais / Faculdade de Ciências Agrômicas de Botucatu



Prof. Dr. DIRCEU MAXIMINO FERNANDES
Dep to de Solos e Recursos Ambientais / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu



Dr. GUSTAVO SPADOTTI AMARAL CASTRO
Grupo de Inteligência Territorial Estratégica (GITE) / EMBRAPA Monitoramento por Satélite



Profa. Dra. ROSEMARY MARQUES DE ALMEIDA BERTANI
Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios / APTA - Regional Bauru



Prof. Dr. RENATO DE MELLO PRADO
Departamento de Solos e Adubos / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Botucatu, 04 de agosto de 2017.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a DEUS pelo dom da vida, por sempre iluminar e abençoar o meu caminho.

Aos meus pais David de Araújo Moreira e Aurelina Maria Queiroz Lima e os meus irmãos Thiago, Leticia e David Júnior pelo amor, por sempre estarem ao meu lado e por acreditarem em mim.

A Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” pela oportunidade da realização do Doutorado e pela valiosa contribuição na minha formação profissional e pessoal.

Ao Instituto Federal do Norte de Minas Gerais (IFNMG) pelo afastamento e por me apoiar na continuidade do doutorado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa concedida.

Ao Prof. Dr. Leonardo Theodoro Büll pela valiosa orientação, amizade, incentivo e disponibilidade em sempre me ajudar, contribuindo muito para o meu aprendizado e crescimento, não só profissional, mas pessoal também. Minha eterna gratidão e admiração!!!

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Agricultura, especialmente ao Prof. Dr. Dirceu Maximino Fernandes e ao Prof. Dr. Carlos Alexandre Costa Crusciol pelo incentivo e ensinamentos transmitidos.

Aos membros da banca Dra. Rosemary Marques de Almeida Bertani, Prof. Dr. Renato de Mello Prado e ao Prof. Dr. Dirceu Maximino Fernandes por aceitarem o convite e pelas valorosas contribuições e sugestões neste trabalho.

A Angelica Cristina Fernandes Deus por toda ajuda, carinho e preciosa amizade.

Ao meu noivo Ronan Aparecido Valadares Santana pela ajuda, amizade, amor, compreensão e por estar sempre ao meu lado, com muito apoio e incentivo.

Aos meus amigos de Botucatu Franciana, Natália, Rafael, Aline, Mariângela e Silvia muito obrigada pela ajuda e pelos bons momentos de tanta alegria.

Aos funcionários do Departamento de Ciência do Solo e Recursos Ambientais, em especial o José Carlos, Silvinha, Neia, Drika, Adenir, Dorival, Emerson, Noel, Jair e Pedrinho.

Ao meu Coorientador Thiago Assis Rodrigues Nogueira pelos conhecimentos transmitidos.

A todos os funcionários da biblioteca e da Seção de Pós-Graduação pela atenção e pelo atendimento de altíssima qualidade, em especial a Ana Lúcia de Grava Kempinas, Nilson de Camargo, Airton Fioravante, Messias Victor Telles de Carvalho, Célia Regina Inoue, Edna Regina Prado e Taynan Ribeiro Moraes da Silva.

E a todos que, de alguma forma contribuíram para a conclusão deste trabalho.

RESUMO

No sistema semeadura direta, a correção da acidez do solo tem sido realizada principalmente por meio do uso de calcário, havendo ainda poucas informações em relação a aplicação de escórias de siderurgia. Nesse sentido, objetivou-se com este estudo, avaliar as alterações nos atributos químicos do solo, na absorção de nutrientes nas culturas de soja, aveia-preta e feijoeiro e a produtividade da soja e do feijoeiro em sucessão, em função da aplicação superficial e incorporada de materiais corretivos da acidez do solo e análise econômica dos silicatos em relação ao calcário. A presente pesquisa é a continuação de um experimento de campo instalado em 2010 na cidade de Botucatu-SP, em um Latossolo Vermelho Distrófico. Os tratamentos compreenderam duas formas de aplicação dos corretivos (incorporado e superficial) e seis fontes de materiais corretivos (escória de aciaria, escória de forno de panela, agrosilício®, wollastonita, calcário agrícola e calcário agrícola calcinado) visando a correção da acidez do solo, além de um tratamento controle (sem aplicação dos corretivos). A dose aplicada de cada material corretivo foi calculada para elevar a saturação por bases a 70%. O delineamento experimental foi em blocos casualizados com parcelas subdivididas e quatro repetições. A maior solubilidade do silicato em relação ao carbonato não tornou as escórias de siderurgia mais eficiente que o calcário na correção da acidez do solo. A aplicação superficial dos corretivos foram eficientes apenas na camada mais superficial do solo. A utilização da escória de aciaria foi mais eficiente na elevação dos teores de fósforo no solo. Os materiais corretivos não diferiram entre si quanto a produtividade da soja e feijoeiro. Dentre os silicatos, a escória de aciaria foi a mais viável economicamente.

Palavras-chave: escórias, acidez, calagem, sucessão de culturas, soja, aveia-preta

ABSTRACT

In no-tillage system, soil acidity correction has been carried out mainly through the use of limestone, with little information regarding the steel slag. In this regard, the aim of this study was to evaluate the chemical soil attributes, uptake of nutrients in soybean, black oats and beans and yield of soybean and beans in succession, due to the superficial and incorporated application of soil acidity corrective materials as well economic analysis. The present research is a continuation of an field experiment carried out since 2010 in the city of Botucatu-SP, in a Rhodic Hapludox. The treatments consisted of: two application forms of the material correctives (incorporated and without incorporation) and six sources of corrective materials (steel slag, ladle furnace slag, agrosilício®, wollastonite, agricultural limestone, and calcined agricultural limestone). A control treatment (no corrective materials addition) was included. An applied dose of each corrective material was calculated to raise the base saturation to 70%. The experimental design was a randomized blocks with split plots and four replicates. The higher solubility from the silicates compared to the carbonate did not make the steel slag more efficient than the limestones to correction the soil acidity. The correctives superficial application was efficient only in the soil superficial layer. The steel slag was more efficient to raise soil phosphorus level. The correctives materials did not differ to soybean and bean yield. Between silicates, the steel slag was the more economically viable.

Key words: slag, acidity, liming, succession crops, soybean, black oats

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Precipitação pluvial acumulada mensal (mm) e temperaturas máxima, média e mínima (°C) registradas durante o desenvolvimento do experimento, no período de outubro de 2013 a maio de 2016, Botucatu, SP	27
Figura 2 - Valores de pH em função do modo de aplicação (A1, B1, C1) e diferentes tipos de corretivos (A2, B2, C2) em diferentes épocas	41
Figura 3 - Valores de H+Al em função do modo de aplicação (A1, B1, C1) e diferentes tipos de corretivos (A2, B2, C2) em diferentes épocas.	43
Figura 4 - Valores de V% em função do modo de aplicação (A1, B1, C1) e diferentes tipos de corretivos (A2, B2, C2) em diferentes épocas	46
Figura 5 - Valores de Ca em função do modo de aplicação (A1, B1, C1) e diferentes tipos de corretivos (A2, B2, C2) em diferentes épocas	48
Figura 6 - Valores de Mg em função do modo de aplicação (A1, B1, C1) e diferentes tipos de corretivos (A2, B2, C2) em diferentes épocas	51
Figura 7- Valores de MO em função do modo de aplicação (A1, B1, C1) e diferentes tipos de corretivos (A2, B2, C2) em diferentes épocas	54
Figura 8 - Valores de P em função do modo de aplicação (A1, B1, C1) e diferentes tipos de corretivos (A2, B2, C2) em diferentes épocas	55
Figura 9 - Valores de K em função do modo de aplicação (A1, B1, C1) e diferentes tipos de corretivos (A2, B2, C2) em diferentes épocas	56
Figura 10 - Valores de CTC em função do modo de aplicação (A1, B1, C1) e diferentes tipos de corretivos (A2, B2, C2) em diferentes épocas	58
Figura 11 - Valores de B em função do modo de aplicação (A1, B1, C1) e diferentes tipos de corretivos (A2, B2, C2) em diferentes épocas	59
Figura 12 - Valores de Cu em função do modo de aplicação (A1, B1, C1) e diferentes tipos de corretivos (A2, B2, C2) em diferentes épocas	60
Figura 13 - Valores de Fe em função do modo de aplicação (A1, B1, C1) e diferentes tipos de corretivos (A2, B2, C2) em diferentes épocas	61
Figura 14 - Valores de Mn em função do modo de aplicação (A1, B1, C1) e diferentes tipos de corretivos (A2, B2, C2) em diferentes épocas	62
Figura 15 - Valores de Zn em função do modo de aplicação (A1, B1, C1) e diferentes tipos de corretivos (A2, B2, C2) em diferentes épocas	63
Figura 16 - Valores de Si em função do modo de aplicação (A1, B1, C1) e diferentes tipos de corretivos (A2, B2, C2) em diferentes épocas	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Atributos químicos antes da instalação do experimento (2010)	25
Tabela 2 - Atributos químicos do solo antes da reaplicação dos corretivos na camada 0-0,2m.....	28
Tabela 3 - Doses de corretivos em função da aplicação superficial e incorporada	29
Tabela 4 - Caracterização química e física dos corretivos de acidez do solo utilizados na reaplicação	30
Tabela 5 - Necessidade de calagem ($t\ ha^{-1}$) em função dos valores de V% utilizando	36
Tabela 6 - Teores de P_2O_5 , B, Cu, Mn e Zn presentes nos corretivos de acidez do solo	36
Tabela 7 - Desdobramento da interação modo de aplicação x materiais corretivos para valores de pH	40
Tabela 8 - Desdobramento da interação modo de aplicação x materiais corretivos para H+Al	42
Tabela 9 - Desdobramento da interação modo de aplicação x materiais corretivos para V%.....	45
Tabela 10 - Desdobramento da interação modo de aplicação x materiais corretivos para valores de pH	49
Tabela 11 - Desdobramento da interação aplicação x corretivos para Mg.....	50
Tabela 12 - Desdobramento da interação aplicação x corretivos para CTC	57
Tabela 13 - Teores médios foliares de N, P, K, Ca, Mg e Si em soja, safra 2013/14 em função da aplicação incorporada e superficial de materiais corretivos da acidez do solo.....	67
Tabela 14 - Teores médios foliares de N, P, K, Ca, Mg e Si em soja, safra 2014/15 em função da aplicação incorporada e superficial de materiais corretivos da acidez do solo.....	68
Tabela 15 - Teores médios foliares de B, Cu, Fe, Mn e Zn na soja, safra 2013/14 em função da aplicação incorporada e superficial de materiais corretivos da acidez do solo	69
Tabela 16 - Teores médios foliares de B, Cu, Fe, Mn e Zn na soja, safra 2014/15 em função da aplicação incorporada e superficial de materiais corretivos da acidez do solo	70
Tabela 17 - Componentes de produção e produtividade média de grãos de soja safra 2013/14 em função da aplicação incorporada e superficial de materiais corretivos da acidez do solo.....	71
Tabela 18 - Componentes de produção e produtividade média de grãos de soja safra 2014/15 em função da aplicação incorporada e superficial de materiais corretivos da acidez do solo.....	72
Tabela 19 - Teores médios foliares de N, P, K, Ca, Mg e Si em feijoeiro da safra 2016 em função da aplicação incorporada e superficial de materiais corretivos da acidez do solo.....	73
Tabela 20 - Teores médios foliares de B, Cu, Fe, Mn e Zn no feijoeiro da safra 2016 em função da aplicação incorporada e superficial de materiais corretivos da acidez do solo	74

Tabela 21 - Componentes de produção e produtividade média de grãos do feijoeiro safra 2016 em função da aplicação incorporada e superficial de materiais corretivos da acidez do solo	75
Tabela 22 - Produção de massa seca e teores médios de N, P, K, Ca, Mg e Si na parte aérea da aveia preta safra 2014 em função da aplicação incorporada e superficial de materiais corretivos da acidez do solo	76
Tabela 23 - Produção de massa seca e teores médios de N, P, K, Ca, Mg e Si na parte aérea da aveia preta safra 2015 em função da aplicação incorporada e superficial de materiais corretivos da acidez do solo	77
Tabela 24 - Teores médios de B, Cu, Fe, Mn e Zn na parte aérea da aveia preta da safra 2014 em função da aplicação incorporada e superficial de materiais corretivos da acidez do solo	77
Tabela 25 - Teores médios de B, Cu, Fe, Mn e Zn na parte aérea da aveia preta safra 2015 em função da aplicação incorporada e superficial de materiais corretivos da acidez do solo	78
Tabela 26 - Equivalente de fertilizante por tonelada de corretivos de acidez do solo	79
Tabela 27 - Equivalente em R\$ de fertilizantes nos corretivos de acidez do solo	79
Tabela 28 - Custos dos corretivos de acidez do solo por tonelada.....	80
Tabela 29 - Custos dos corretivos de acidez do solo em função da dose requerida para elevar a V% a 70	80
Tabela 30 - Custos dos corretivos de acidez do solo em função da dose requerida para elevar a V% a 70, considerando a economia com o fertilizante MAP	81
Tabela 31 - Comparativo do custo final da EA versus CA 2	81
Tabela 32 - Comparativo do custo final do EA versus CA 2 considerando a disponibilidade de P ₂ O ₅ pela EA.....	82

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
2	REVISÃO DE LITERATURA	18
2.1	ACIDEZ DO SOLO	18
2.2	SISTEMA SEMEADURA DIRETA	19
2.3	ACIDEZ DO SOLO NO SISTEMA SEMEADURA DIRETA	19
2.4	ESCÓRIAS DE SIDERURGIA NA CORREÇÃO DA ACIDEZ DO SOLO	21
3.	MATERIAL E MÉTODOS	25
3.1	LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA	25
3.2	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E DESCRIÇÃO DOS TRATAMENTOS	26
3.3	AMOSTRAGENS E AVALIAÇÕES REALIZADAS	32
3.3.1	ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO	32
3.3.2	AVALIAÇÕES NA CULTURA DA SOJA	33
3.3.2.1	DIAGNOSE FOLIAR	33
3.3.2.2	COMPONENTES DE PRODUÇÃO E PRODUTIVIDADE DE GRÃOS	33
3.3.3	AVALIAÇÕES NA CULTURA DO FEIJOEIRO	34
3.3.3.1	DIAGNOSE FOLIAR	34
3.3.3.2	COMPONENTES DA PRODUÇÃO E PRODUTIVIDADE DE GRÃOS	34
3.3.4	AVALIAÇÕES NA CULTURA DA AVEIA-PRETA	35
3.3.4.1	MATÉRIA SECA DA PARTE AÉREA E DIAGNOSE FOLIAR	35
3.4	ANÁLISE ESTATÍSTICA	35
3.5	ANÁLISE ECONÔMICA	35
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
4.1	ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO	38
4.2	METAIS PESADOS NO SOLO	66
4.3	DIAGNOSE FOLIAR, COMPONENTES DE PRODUÇÃO E PRODUTIVIDADE DA CULTURA DA SOJA (SAFRAS 2013/14 E 2014/15)	67
4.4	DIAGNOSE FOLIAR, COMPONENTES DE PRODUÇÃO E PRODUTIVIDADE DO FEIJOEIRO (SAFRA 2016)	72
4.5	PRODUÇÃO DE MASSA SECA E ESTADO NUTRICIONAL DA PARTE AÉREA DA AVEIA PRETA	75
4.6	ANÁLISE ECONÔMICA	78
5	CONCLUSÕES	83
	REFERÊNCIAS	84

1 INTRODUÇÃO

A calagem realizada no sistema semeadura direta (SSD) tem gerado muitos questionamentos, pois a não incorporação do calcário diminui o seu contato com o solo e como esse material apresenta baixa solubilidade, em regiões de inverno seco, sua ação fica restrita à camada superficial, tornando-se o ponto central da discussão quanto à eficiência de sua aplicação em superfície.

Dentre as fontes com potencial de correção de acidez do solo, existem as escórias, um subproduto da indústria siderúrgica, que pode possibilitar maior solubilidade, além de seus produtos da reação de dissociação possuir maior mobilidade no solo, permitindo assim, a correção da acidez do solo e o deslocamento da frente alcalinizante no perfil com menor intervalo de tempo em relação ao calcário.

No entanto, ainda existem divergências dos resultados com a utilização de silicatos na correção da acidez do solo, que pode ser atribuída à composição química da mesma. Embora os silicatos tenham maior solubilidade, o processo industrial promove a obtenção de vários tipos de escórias com recristalização diferente em função da quantidade de cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}) e do tempo de resfriamento, podendo reduzir sua solubilidade (PEREIRA et al., 2010).

A composição química das escórias é influenciada por diversos fatores, como a técnica de produção do aço, o tipo de aço a ser produzido, a qualidade da matéria prima utilizada e o tipo de refratário usado nas paredes do forno (PRADO et al., 2001). Diante disso, tornam importantes estudos e entendimento da reação dos diferentes tipos de escórias no solo. Pouco se sabe sobre a utilização de silicatos de diferentes origens, composição, granulometrias (reatividade) em aplicações superficiais, tornando-se importante conhecer as alterações no solo e na planta, visando o seu melhor aproveitamento, além de contribuir para a redução do acúmulo de escórias geradas pelas indústrias siderúrgicas (DEUS e BÜLL, 2013).

Neste contexto, objetivou-se com o presente trabalho avaliar as alterações nos atributos químicos do solo, na absorção de nutrientes pela aveia-preta, soja e feijoeiro e na produtividade da soja e do feijoeiro em resposta à aplicação superficial e incorporada de materiais corretivos da acidez do solo, além da viabilidade econômica do uso de silicatos em relação a aplicação do calcário.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Acidez do solo

Em muitas áreas do mundo, a acidez do solo limita a produtividade agrícola. A área total afetada pela acidez do solo no mundo é estimada em aproximadamente 4 bilhões de hectares, o que representa 30% da área total livre de gelo do mundo (SUMNER e NOBLE, 2003). No Brasil, cerca de 70% de todas as terras agrícolas consistem em solos ácidos.

A acidez de um solo se deve a presença de H^+ livres, gerados por componentes ácidos presentes no solo (ALCARDE e RODELLA, 2003). Os solos podem ser naturalmente ácidos devido a carência de bases no material de origem, ou por condições de pedogênese que favoreçam a remoção de elementos básicos como o potássio (K^+), o Ca^{+2} , o Mg^{+2} e sódio (Na^+). Além disso, os solos podem ter sua acidez aumentada em virtude da erosão, da extração e exportação de nutrientes pelas culturas agrícolas e florestais e, principalmente, por causa da lixiviação das bases trocáveis do solo (RAIJ, 2011).

Em condições de acidez do solo, a disponibilidade de Ca^{2+} e Mg^{2+} é reduzida, enquanto a disponibilidade de elementos tóxicos como alumínio (Al^{3+}) é aumentada (CAIRES et al. 2005). Sendo assim, a prática da calagem torna-se extremamente importante no manejo da fertilidade do solo.

Tradicionalmente, o calcário é o corretivo mais utilizado na neutralização da acidez do solo. Por ser um material corretivo de baixa solubilidade em água, sua ação neutralizante depende, além da umidade, do contato do corretivo com o solo. Por isso, recomenda-se que sua aplicação seja uniforme e bem incorporada ao solo (ALCARDE e RODELLA, 2003).

Os principais benefícios diretos às culturas mediante a correção da acidez do solo são a diminuição da toxidez por Al^{3+} e/ou Mn^{2+} e suprimento de Ca^{2+} e Mg^{2+} . Ademais, a calagem contribui para elevar a disponibilidade de nitrogênio (N), fósforo (P), enxofre (S) e molibdênio (Mo), além de promover efeitos positivos na fixação biológica do nitrogênio (SILVA et al. 2002; TANAKA; MASCARENHAS, 1992).

2.2 Sistema Semeadura Direta

O Sistema Semeadura Direta (SSD) tem se destacado como a melhor alternativa para a sustentabilidade da exploração agrícola em regiões tropicais e subtropicais, contribuindo para minimizar perdas de solo e nutrientes por erosão.

O crescimento da área sob plantio direto tem apresentado rápido crescimento na América do Sul, especialmente em alguns países, como Argentina, Brasil, Paraguai e Uruguai que estão usando este sistema em cerca de 70% da área agrícola total cultivada (DERPSCH et al. 2010). No Brasil, a área agrícola cultivada aumentou rapidamente, sendo atualmente 35 milhões de hectares (FEBRAPDP, 2017).

O SSD caracteriza-se pelo não revolvimento do solo, exceto nos sulcos de semeadura, rotação de culturas e uso de plantas de cobertura para manter a palhada sobre o solo. A adoção dessa prática favorece a menor perda de solo, água e nutrientes por erosão em relação ao sistema de cultivo convencional, já que neste sistema de manejo, há revolvimento constante do solo.

O uso do solo e das culturas no SSD provocam diferentes alterações no perfil do solo em relação ao cultivo convencional, sendo que, estes influenciam na dinâmica da acidez e na disponibilidade de nutrientes e por consequência, no manejo da fertilidade do solo (ANGHINONI, 2007).

Pela reduzida mobilização do solo neste sistema, ocorre acúmulo de resíduos vegetais e nutrientes na superfície, que promove modificações na quantidade de matéria orgânica, temperatura e umidade do solo em relação ao sistema convencional (SÁ, 1996). Essas alterações ocorrem de forma gradual e progressiva, a partir da superfície do solo e interferem tanto na disponibilidade de nutrientes quanto no processo de acidificação do solo (AMARAL e ANGHINONI, 2001).

Após alguns anos de cultivo no SSD, ocorre a diminuição do pH na camada superficial do solo e concomitantemente, o aparecimento de Al^{+3} em níveis tóxicos para as plantas, o que torna necessária a intervenção mediante à aplicação de corretivos para a viabilidade do sistema (ALLEONI et al. 2005).

2.3 Acidez do solo no sistema semeadura direta

Antes da instalação ou no início do SSD, a correção da acidez do solo é feita por meio da incorporação do calcário na camada arável (COSTA e ROSOLEM, 2007).

Com o sistema já estabelecido, a correção da acidez do solo é realizada por meio da aplicação do calcário na superfície do solo, sem incorporação.

No SSD os principais fatores que provocam a acidez do solo são: decomposição de resíduos das culturas (grupos carboxílicos e fenólicos), a reação dos adubos nitrogenados por meio do processo de nitrificação e exportação de bases pelos grãos na colheita. A dinâmica da acidez nesse sistema diferencia-se do sistema convencional de cultivo, por sua ação a partir da superfície do solo e pela deposição dos resíduos das culturas, formando uma frente de acidificação (ANGHINONI, 2007).

A utilização do calcário na correção da acidez do solo no SSD assume aspectos diferentes do sistema de manejo convencional devido a necessidade de aplicação na superfície do solo sem incorporação (SORATTO e CRUSCIOL, 2008). Em razão da baixa solubilidade do calcário e dos produtos de sua reação no solo, a calagem superficial normalmente não apresenta efeito rápido na redução da acidez em camadas do subsolo, particularmente em solos com cargas variáveis (AMARAL e ANGHINONI, 2001).

Existem vários estudos com calagem superficial demonstrando que a neutralização da acidez se restringe apenas aos primeiros 0,10 m (PÖTTKER e BEN, 1998; CAIRES et al. 2000; ALLEONI et al. 2005; CORRÊA et al. 2008; GONÇALVES et al. 2011). Nestas condições, o desenvolvimento do sistema radicular torna-se limitado às camadas superficiais, o que limita a produtividade das culturas, principalmente, em locais onde é frequente a ocorrência de veranicos. Por isso, torna-se importante o aprofundamento do sistema radicular conferindo às plantas maior tolerância a períodos de baixa precipitação pluvial e possibilita maior absorção de nutrientes, em função do maior volume de solo explorado (ERNANI e BARBER, 1993).

Em experimento de longo prazo conduzido no sudeste da Austrália, Conyers et al. (2003) verificaram que a aplicação superficial de calcário demorou de 2 a 4 anos para atingir a profundidade de 0,10 m e não foi efetivo na elevação do pH abaixo dessa profundidade por um período de 8 anos. Em outro estudo, Caires et al. (2015), avaliando a aplicação superficial de diferentes doses de calcário em um Latossolo Vermelho, verificaram aumento do pH, chegando até 5,1 (CaCl_2) na profundidade de 0,20 m, após 6 anos da aplicação de 12 Mg ha^{-1} de calcário.

Apesar dos calcários serem poucos solúveis e os produtos de sua reação com o solo terem mobilidade limitada, há resultados experimentais que comprovam a eficiência do calcário na correção da acidez em camadas subsuperficiais do solo no

SPD (OLIVEIRA e PAVAN, 1996; CAIRES et al. 2006). Soratto e Crusciol (2008) observaram aumento nos valores de pH na implantação do SSD, na camada de 0,20 a 0,40 m e nos teores de Ca e Mg até 0,60 m após 12 meses da aplicação superficial de calcário.

De acordo com Caires (2013) a aplicação de calcário na superfície sem incorporação induz uma frente de correção da acidez do solo em profundidade, proporcional à dose e ao tempo.

Diversos mecanismos podem estar envolvidos na melhoria das condições de acidez no subsolo por meio da calagem na superfície em sistema de plantio direto, sendo as diferentes hipóteses citadas a seguir (ANGHINONI, 2007):

- a) formação e migração de $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ e $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$, sendo importante a presença de ácidos orgânicos (OLIVEIRA e PAVAN, 1996);
- b) deslocamento de partículas finas de calcário nos canais, formados por raízes mortas e insetos, mantidos intactos (PAVAN, 1994) ou porosidade contínua no perfil (AMARAL et al. 2004);
- c) adição de fertilizantes nitrogenados, com a redução da acidez na rizosfera pela absorção de nitrato e exsudação de OH^- e HCO_3^- pelas raízes (RAIJ et al. 1988);
- d) produção contínua de ácidos orgânicos hidrossolúveis (de baixo peso molecular), que complexam os cátions divalentes (Ca e Mg) na forma neutra (CaL^0 ou MgL^0) ou negativa (CaL^- ou MgL^-). A alteração de carga, mediante a formação de pares iônicos, facilita a mobilidade do complexo até a camada subsuperficial, onde os cátions divalentes são deslocados pelo Al trocável, uma vez que formam complexos mais estáveis com o Al, diminuindo sua toxidez às raízes (PAVAN e ROTH, 1992; MIYAZAWA et al., 2000).

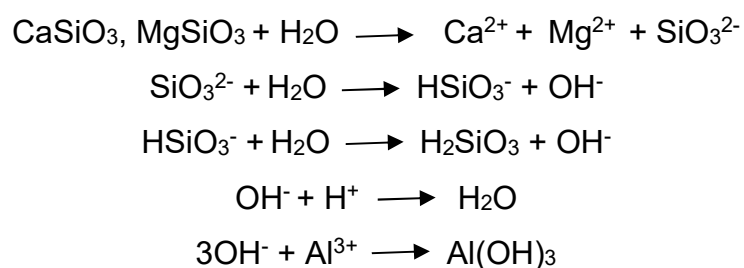
2.4 Escórias de siderurgia na correção da acidez do solo

Além do calcário, outros corretivos podem ser utilizados na correção da acidez do solo. Dentre as fontes com potencial na correção da acidez do solo, existem as escórias, que são subprodutos das indústrias siderúrgicas, que possuem como componente neutralizante o silicato de cálcio (CaSiO_3) e/ou o silicato de magnésio (MgSiO_3).

No Brasil, no ano de 2015 foi produzido cerca de 25,6 milhões de toneladas de ferro gusa, que corresponde à geração de cerca de 6,4 milhões de toneladas de

escória por ano (ANUÁRIO, 2015). Apesar de se tratar de um volume grande produzido, pouco se utiliza dessa escória na agricultura brasileira, ao contrário de outros países como Estados Unidos, Japão e China (PRADO et al. 2003).

Segundo Alcarde (1992), a escória de siderurgia apresenta ação neutralizante por meio da base SiO_3^{2-} que reage com a água, liberando íons OH^- , que neutralizam o H^+ e o Al^{3+} fitotóxico e conseqüentemente, ocorre elevação do pH e dos teores de Ca e Mg, e V%, além da diminuição da concentração da acidez potencial (PRADO et al. 2001). As reações de neutralização do H^+ e do Al^{3+} fitotóxico são descritas a seguir:



Estudos comprovam que o silicato de cálcio é 6,78 vezes mais solúvel que o carbonato de cálcio, presente nos calcários (ALCARDE e RODELLA, 2003). A maior solubilidade do silicato confere a vantagem de reduzir a acidez do solo mais rapidamente que o calcário, permitindo que os produtos da reação de dissociação apresentem maior mobilidade no solo, inclusive em profundidade (CORRÊA et al. 2007). Nesse sentido, Barbosa et al. (2003), observaram maior efeito do silicato em relação ao calcário na elevação do pH até 0,25 m de profundidade do solo.

Em SSD a aplicação superficial de escória de aciaria permitiu a correção da acidez do solo, deslocamento do Ca^{2+} , aumento da saturação por bases e redução do Al^{3+} até 0,40 m o que refletiu na maior produtividade da soja, enquanto o calcário atingiu apenas 0,20 m (CORRÊA et al. 2009).

Silva et al. (2009) em SSD já estabelecido verificaram que a aplicação de escória corrigiu a acidez do solo e elevou os teores de Ca trocável até a camada de 0,20 m aos 34 meses após aplicação, enquanto que a utilização de calcário limitou-se a correção á camada de 0,05 m.

Em alguns trabalhos, verifica-se a reação mais lenta da escória em relação ao calcário, como observado por Prado e Fernandes (2000). Estes autores verificaram que a eficiência da escória baseada no poder de neutralização adotado para o calcário

não apresentou comportamento satisfatório para estimar a necessidade de produto para correção da acidez.

A divergência dos resultados entre as escórias pode ser atribuída à composição química da mesma, embora os silicatos tenham maior solubilidade, o processo industrial promove a obtenção de vários tipos de escórias com recristalização diferente em função da quantidade de Ca, Mg e do tempo de resfriamento, podendo reduzir sua solubilidade (PEREIRA et al. 2010).

A composição química das escórias é influenciada ainda por diversos fatores, como pela técnica de produção do aço, pelo tipo de aço a ser produzido, pela qualidade da matéria prima utilizada e pelo tipo de refratário usado nas paredes do forno (PRADO et al. 2001).

As escórias de alto forno (subproduto da produção de ferro gusa), normalmente, possuem baixa solubilidade, já as escórias de aciarias (subproduto da produção de aço) normalmente apresentam maior solubilidade (KORNDÖRFER et al. 2003; PEREIRA et al. 2007).

O uso das escórias de siderurgia na agricultura além de promover a correção da acidez do solo, é fonte de Si. O Si é considerado como elemento benéfico para as plantas, pois é capaz de proteger as plantas contra estresses bióticos e abióticos (MA e YAMAJI 2006).

O ânion SiO_3^{2-} presente nas escórias pode ainda saturar os sítios de adsorção de P nos sesquióxidos de Fe e Al nos solos, tornando esse nutriente mais disponível às plantas (PRADO e FERNANDES, 2001). Crusciol et al. (2007) observaram que no tratamento com silicato de cálcio e magnésio o teor de P no solo foi mais elevado em relação ao tratamento com calcário.

Além disso, as escórias de siderurgia são fonte de micronutrientes. Sendo assim, haveria vantagem em relação ao calcário, uma vez que este não apresenta em sua composição a quantidade de micronutrientes que há na escória (VALADARES et al. 1974). Esse aspecto ficou comprovado no trabalho de Valadares et al. (1974), que analisaram duas escórias, observando teores superiores de micronutrientes comparado com dezesseis calcários de diferentes naturezas. Desta maneira, quando se opta pelo uso do calcário para a neutralização da acidez do solo, os teores já baixos dos micronutrientes, devido à pobreza original do solo, podem diminuir ainda mais pela elevação do pH. No entanto, quando se utiliza a escória como material corretivo,

esse aspecto da redução da disponibilidade dos micronutrientes no solo é minimizado, devido à presença desses elementos na constituição química das escórias.

As escórias de siderurgia também podem disponibilizar metais pesados, gerando motivo de grande preocupação, por isso seu uso na agricultura deve ser precedido de estudos para avaliar a potencialidade de contaminação ambiental, bem como sua eficiência agronômica.

Em estudo com o objetivo de avaliar a disposição final da escória de aciaria de forno elétrico e o fornecimento de Si, macronutrientes (Ca, Mg e P), micronutrientes (Cu, Fe, Mn e Zn) e metais pesados (Ni, Cd e Pb) para a cultura da cana-de-açúcar, Sobral et al. (2011) observaram que o material silicatado aumentou os teores de Ca, Mg, P, Si, Fe, Mn e Zn no solo e reduziu a acidez potencial, além de aumento na área foliar e na altura dos colmos. Não foi detectada a presença de Ni, Cd e Pb no solo e planta, indicando, desta forma, que a utilização dessa escória não causou danos ambientais ao sistema.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização e caracterização da área

Desde 2011, o solo da área experimental vem sendo cultivado no SSD. O presente experimento foi realizado entre outubro de 2013 à maio de 2016, em Botucatu, SP (22°51'15" S e 48°26'30" W, a 740 m de altitude).

O clima da região segundo a classificação de Köppen é temperado quente (mesotérmico) com chuvas no verão e seca no inverno, do tipo Cwa. O volume de precipitação pluvial é de aproximadamente de 1.600 mm por ano, distribuído de forma irregular.

O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho Distrófico de textura argilosa (EMBRAPA, 2013), cujos resultados químicos antes da instalação do experimento foram obtidos por meio da metodologia proposta por Raij et al. (2001) (Tabela 1).

A composição granulométrica do solo foi determinada conforme a metodologia da EMBRAPA (1997) até a profundidade de 0,20 m, obtendo-se 332 g kg⁻¹ de areia, 200 g kg⁻¹ de silte e 468 g kg⁻¹ de argila.

Tabela 1 - Atributos químicos antes da instalação do experimento (2010)

Atributos	Unidade	Profundidade (m)				
		0,00-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40	0,00-0,20
pH (CaCl ₂)	-	4,3	4,1	4,1	4,1	4,2
MO	g dm ⁻³	34	31	30	24	32
P _{resina}	mg dm ⁻³	8	7	4	4	6
K	mmolc dm ⁻³	1,8	1,2	1,1	0,6	1,4
Ca	mmolc dm ⁻³	11	9	10	10	10
Mg	mmolc dm ⁻³	9	6	5	3	7
H + Al	mmolc dm ⁻³	66	72	65	76	68
SB	mmolc dm ⁻³	22	16	16	14	18
CTC	mmolc dm ⁻³	88	88	81	90	86
V	%	25	18	19	15	21
B	mg dm ⁻³	0,29	0,34	0,32	0,3	0,32
Cu	mg dm ⁻³	6,6	7,1	7,1	7,5	6,9
Fe	mg dm ⁻³	46	50	44	34	47
Mn	mg dm ⁻³	14,4	15,8	16,1	8,2	15,4
Zn	mg dm ⁻³	1,0	0,9	0,8	0,6	0,9

Fonte: Adaptado de Deus (2014). MO= Matéria Orgânica; SB= Soma de Bases; CTC= Capacidade de troca de cátions; V%= Saturação por bases

Os dados meteorológicos referentes à precipitação pluvial, temperatura máxima e mínima durante a realização do experimento foram coletados na Estação Meteorológica da Fazenda Experimental Lageado, pertencente ao Departamento de Engenharia Rural - Setor de Climatologia (Figura 1).

3.2 Delineamento experimental e descrição dos tratamentos

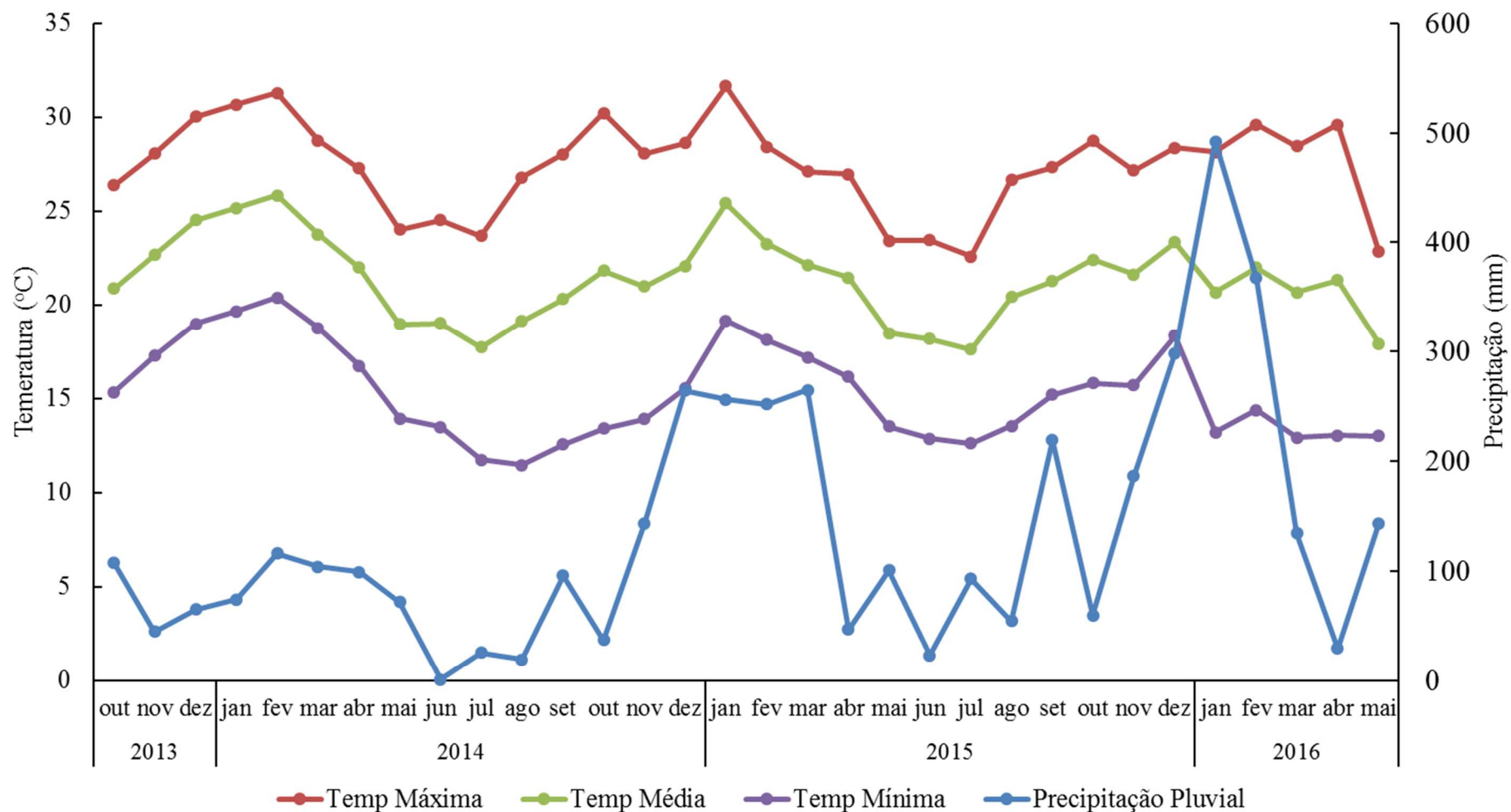
O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados dispostos em esquema de parcelas subdivididas. As parcelas foram constituídas por duas formas de aplicação dos materiais corretivos da acidez do solo (superficial e incorporado) e as subparcelas pelas fontes de materiais corretivos da acidez do solo (agrosilício® – AG, escória de aciaria – EA, escória forno de panela – EFP, wollastonita – W, calcário agrícola – CA e calcário agrícola calcinado – CAC), além da testemunha (T), totalizando 14 tratamentos com quatro repetições.

As subparcelas possuíam 6 m de largura e 7 m de comprimento, totalizando 42 m². A área útil foi constituída pelas linhas centrais, desprezando-se uma linha de cada lado das subparcelas e 1 m em ambas extremidades, além de 1 m de distância que haviam entre as subparcelas e 3 m entre as parcelas.

Em dezembro de 2010 foi realizada a aplicação dos materiais corretivos. Inicialmente, as parcelas referentes aos tratamentos com aplicação incorporada dos corretivos foram preparadas antes da sua aplicação, com uma aração e uma gradagem. Posteriormente, aplicou-se manualmente metade da dose de cada corretivo e procedeu-se à incorporação com enxada rotativa, em seguida aplicou-se a outra metade e incorporou novamente com enxada rotativa. Nos tratamentos com aplicação superficial, os corretivos foram distribuídos manualmente na superfície do solo.

Em fevereiro de 2011, foi semeado o feijão (*Phaseolus vulgaris*) v. Pérola, sendo o primeiro cultivo realizado na área experimental e em seguida o experimento foi realizado obedecendo um sistema de sucessão de culturas, sendo cultivado aveia-preta (*Avena strigosa* Schreb.) v. Comum no inverno e soja (*Glycine Max* L.) v. 5D688, no verão. Foram realizados três cultivos de aveia-preta, sendo semeadas respectivamente, nos meses de junho, maio e junho nos anos de 2011, 2012 e 2013 e dois cultivos de soja, semeadas em novembro, nos anos agrícolas de 2011/12 e 2012/13.

Figura 1- Precipitação pluvial acumulada mensal (mm) e temperaturas máxima, média e mínima (°C) registradas durante o desenvolvimento do experimento, no período de outubro de 2013 a maio de 2016, Botucatu, SP



Em 24 de outubro de 2013 foi realizada a reaplicação dos corretivos. Como critério para a reaplicação dos corretivos, foram considerados os valores de V% e de CTC de cada tratamento com base na amostragem de solo na camada 0-0,2 m, realizada em 05 de outubro de 2013 (Tabela 2).

Tabela 2 - Atributos químicos do solo antes da reaplicação dos corretivos na camada 0-0,2m

Atributos	Unidade	EA	AG	CAC	CA	EFP	W	T
		Superficial						
pH (CaCl ₂)	-	4,6	4,4	4,8	5,0	4,6	4,9	4,0
MO	g dm ⁻³	32	31	31	34	33	36	32
P _{resina}	mg dm ⁻³	28	16	12	12	9	19	10
H+Al	mmolc dm ⁻³	63	74	56	52	71	55	98
K	mmolc dm ⁻³	2,4	2,7	1,9	2,3	1,4	1,9	1,6
Ca	mmolc dm ⁻³	39	21	30	37	36	42	9
Mg	mmolc dm ⁻³	16	15	22	36	19	16	9
SB	mmolc dm ⁻³	58	39	55	76	56	60	20
CTC	mmolc dm ⁻³	120	113	111	128	127	115	117
V	%	47	35	48	56	42	51	18
B	mg dm ⁻³	0,37	0,35	0,31	0,33	0,33	0,35	0,37
Cu	mg dm ⁻³	6,2	6,2	6	5,9	5,8	5,9	6,4
Fe	mg dm ⁻³	41,5	39,5	33	33,5	37,3	36,1	43,9
Mn	mg dm ⁻³	19,2	20,2	15,3	14,3	19,4	16,3	21,9
Zn	mg dm ⁻³	1,5	1,3	0,9	2,3	1,5	1,3	1,4
Incorporado								
pH(CaCl ₂)	-	4,9	4,7	4,6	4,8	4,9	4,6	4,3
MO	g dm ⁻³	32	32	31	31	31	33	29
P _{resina}	mg dm ⁻³	23	18	15	15	10	18	14
H + Al	mmolc dm ⁻³	45	57	56	48	47	61	78
K	mmolc dm ⁻³	1,4	2,2	2,3	2,5	1,9	2	2
Ca	mmolc dm ⁻³	37	30	23	26	33	27	12
Mg	mmolc dm ⁻³	15	17	18	21	18	12	11
SB	mmolc dm ⁻³	53	49	43	50	53	41	25
CTC	mmolc dm ⁻³	98	107	99	97	100	102	103
V	%	54	46	44	51	53	42	26
B	mg dm ⁻³	0,34	0,38	0,34	0,33	0,33	0,34	0,34
Cu	mg dm ⁻³	6,0	6,1	5,9	5,7	5,8	6,1	6,2
Fe	mg dm ⁻³	35,8	35,8	32,2	30,8	29,7	33,3	34,5
Mn	mg dm ⁻³	24,7	21,5	19,7	17,8	20,3	19,5	16,7
Zn	mg dm ⁻³	2,0	1,7	1,2	1,5	1,1	1,2	1,1

EA= Escória de Aciaria, AG= Agrosilício®, CAC = Calcário Agrícola Calcinado, CA= Calcário Agrícola, EFP= Escória Forno de Panela e W= Wollastonita. MO= Matéria Orgânica; SB= Soma de Bases; CTC= Capacidade de troca de cátions; V%= Saturação por bases

Os corretivos foram aplicados manualmente sobre cobertura vegetal morta de aveia-preta em todas parcelas. Nas parcelas referentes aos tratamentos com aplicação incorporada, foi realizada aplicação manual dos corretivos, no qual foram posteriormente incorporados com arado e, em seguida, grade niveladora.

As doses dos corretivos utilizadas na reaplicação (Tabela 3) foram calculadas com base na saturação de bases (V%) do solo para elevá-la a 70% pelo método da saturação por bases, considerando a camada de 0-0,2 m de profundidade.

Tabela 3 - Doses de corretivos em função da aplicação superficial e incorporada

----- aplicação superficial -----						----- aplicação incorporada-----					
EA	AG	CAC	CA	EFP	W	EA	AG	CAC	CA	EFP	W
----- t ha ⁻¹ -----											
4,18	6,41	2,35	3,16	6,83	3,24	2,32	4,16	2,51	3,37	3,14	4,22

EA= Escória de Aciaria, AG= Agrosilício®, CAC = Calcário Agrícola Calcinado, CA= Calcário Agrícola, EFP= Escória Forno de Panela e W= Wollastonita.

A caracterização química e física dos corretivos utilizados na reaplicação (Tabela 4) foi realizada de acordo com a legislação brasileira de calcários (ALCARDE, 2009), o silício total foi determinado seguindo a metodologia proposta por Korndörfer et al. (2004).

Para continuidade deste trabalho, foram cultivados no verão dois ciclos de soja e um de feijão, nos anos agrícolas de 2013/14, 2014/15 e 2015/16, respectivamente. No inverno, foi cultivado aveia-preta, sendo realizado dois cultivos, semeadas nos meses de maio, nos anos de 2014 e 2015.

A soja cultivar BMX potência de ciclo semi precoce, crescimento determinado foi semeada em 28 e 25 de novembro de 2013 e 2014, respectivamente, com espaçamento entre linhas de 0,45 m. Foi utilizada uma densidade de semeadura de aproximadamente, 18 e 22 sementes por m, respectivamente. As sementes foram tratadas com fungicida carboxina (carboxanilida) + tiram (dimetilditiocarbamato) (60 g i.a. por 100 kg de sementes) e inseticida tiametoxam (105 g i.a. por 100 kg de sementes) e inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum* por meio de inoculante líquido. Foi utilizado 60 mL de inoculante por 50 kg de sementes. A operação de mistura entre o inoculante e as sementes deu-se no mesmo dia da semeadura.

Tabela 4 - Caracterização química e física dos corretivos de acidez do solo utilizados na reaplicação

Corretivos *	CaO	MgO	Peneiras (ABNT n°) ⁽¹⁾			RE ⁽²⁾	PN ⁽³⁾	PRNT	Mg	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca
	%	%	10	20	50	%	%ECaCO ₃	%	-----g kg ⁻¹ -----			
			% partículas passantes									
AG	40,59	11,22	89,3	73,7	49,8	67	90	61	16,4	3,5	0,3	254
EA	34,97	10,22	99,9	87,6	56,2	77	85	66	15,6	11,5	0,3	218
EFP	37,32	5,57	85,8	77,6	66,9	75	72	53	15,6	2,5	0,3	276
W	38,46	5,82	100,0	100,0	100,0	100	68	68	13,2	1,5	0,1	262
CAC	44,60	19,65	99,6	96,7	86,5	93	109	102	16,6	0,0	0,7	240
CA	25,92	18,16	97,3	78,7	47,8	70	79	56	16,0	0,0	0,2	279
	Si	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Cd	Ni	Pb	Cr	Hg	Umidade
	%		-----mg kg ⁻¹ -----									%
AG	18,5	300	20	38.000	5.300	50	3,1	53,6	12,6	990,0	< 0,1	2,40
EA	14,4	900	30	193.500	21.500	70	14,5	3,0	< 0,5	941,0	< 0,1	0,80
EFP	24,3	300	20	28.600	3.700	50	1,6	1,1	< 0,5	126,1	< 0,1	0,70
W	24,8	100	10	600	100	40	< 0,03	0,3	< 0,5	0,5	< 0,1	0,00
CAC	1,8	100	50	2.300	100	90	< 0,03	0,8	< 0,5	1,7	< 0,1	0,90
CA	6,7	200	30	34.000	3.600	60	3,1	48,0	13,1	996,0	< 0,1	2,50

* AG= grosilício®, EA= escória de aciaria, EFP= escória forno de panela, W= wollastonita, CAC= calcário agrícola calcinado e CA= calcário agrícola. ⁽¹⁾ABNT n° 10= fração superior a 2,00 mm; ABNT n° 20= fração de 2,00 - 0,84 mm; ABNT n° 50= fração de 0,84 - 0,30 mm; fundo (ABNT n° <50)= fração inferior a 0,30 mm; ⁽²⁾RE= reatividade, expressa o percentual do corretivo que reage em três meses; ⁽³⁾PN= poder neutralizante, expressa o potencial químico do corretivo, em equivalente de CaCO₃.

Na adubação de semeadura para o primeiro cultivo foram aplicados 300 kg ha⁻¹ do formulado 04-20-20 (N-P₂O₅-K₂O) e 44 kg ha⁻¹ de super triplo com 44% de P₂O₅ e no segundo cultivo 250 kg ha⁻¹ do formulado 00-20-20 (N-P₂O₅-K₂O) e 17 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio com 60% de K₂O de acordo com as recomendações descritas por Ambrosano & Wutke (1997) para a cultura da soja.

No primeiro cultivo da soja no ano agrícola de 2013/14 foram realizadas pulverizações aos 46 e 112 dias após a emergência das plântulas, com o inseticida tiametoxam + lambda cialotrina (21,5 + 15,9 g do i.a ha⁻¹). Para prevenção da ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*) realizaram-se pulverizações aos 80 e 112 dias após emergência das plântulas, aplicando-se o fungicida epoxiconazol + piraclostrobina (30 + 79,8 g do i.a ha⁻¹).

No segundo cultivo da soja, no ano agrícola 2014/15 foram realizadas aos 40 e 100 dias após a emergência das plântulas pulverizações com o inseticida tiametoxam + lambda cialotrina (21,5 + 15,9 g do i.a ha⁻¹). Para prevenção da ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*) realizou-se pulverizações, aos 85 e 100 dias após emergência das plântulas, aplicando-se o fungicida epoxiconazol + piraclostrobina (30 + 79,8 g do i.a ha⁻¹).

A colheita da soja foi realizada com colhedora mecânica de parcelas para experimento aos 135 e 121 dias, respectivamente, após a emergência das plântulas de soja.

Em janeiro de 2016 foi semeado o feijoeiro v. Pérola com espaçamento de 0,45 m e 14 sementes por metro. As sementes foram tratadas com fungicida carboxina (carboxanilida) + tiram (dimetilditiocarbamato) (60 g i.a. por 100 kg de sementes) e inseticida imidacloprid (neonicotinóide) (15 g i.a. por 100 kg de sementes).

Na adubação de semeadura foram aplicados 250 kg ha⁻¹ da fórmula 08-28-16 (N-P₂O₅-K₂O) e 40 kg ha⁻¹ de superfosfato triplo com 44% de P₂O₅ de acordo com as recomendações descritas por Ambrosano et al. (1997) para a cultura do feijoeiro. A adubação de cobertura foi realizada aos 27 dias após emergência das plântulas com aplicação a lanço de 90 kg ha⁻¹ de N, utilizando como fonte o sulfato de amônio.

Durante o desenvolvimento da cultura foram realizadas 2 pulverizações, aos 9 e 23 dias após emergência das plântulas, com inseticida sistêmico

imidacloprid (175 g ha^{-1} do i.a) para o controle de mosca branca (*Bemisia tabaci*). Devido à presença de vaquinha (*Diabrotica speciosa*) realizou-se uma pulverização, ao 36 dias após emergência das plântulas, com inseticida de contato/ingestão lambda- cialotrina (10 g ha^{-1} do i.a). Também foram realizadas duas pulverizações com fungicida sistêmico e de contato, aos 60 e 68 dias após emergência das plantas com clorotalonil + tiofanato metílico ($1.000 + 400 \text{ g ha}^{-1}$ do i.a) para o controle de mancha de alternaria (*Alternaria alternata*).

O controle das plantas daninhas que surgiram na área foi feito com aplicação do herbicida fluazifope-p-butílico + fomesafen ($160 + 200 \text{ g.ha}^{-1}$ do i.a.) aos 29 e 60 dias após emergência das plântulas de feijoeiro. Em maio de 2016 realizou-se a colheita do feijão.

A aveia preta cultivar Comum foi semeada com o espaçamento de 17 cm entre linhas, e 350 sementes por m^2 no mês de maio dos anos de 2014 e 2015 para cobertura do solo durante o período de inverno. Sempre antecedendo a sua semeadura realizou-se uma pulverização com herbicida a base de glifosato na dose de $792,5 \text{ g ha}^{-1}$ do i.a. para o controle de plantas daninhas invasoras na área.

A adubação de cobertura realizada aos 30 dias após emergência das plântulas constou da aplicação de 40 kg ha^{-1} de N, utilizando-se como fonte o sulfato de amônio.

Durante o cultivo das plantas de aveia-preta não foi necessário o controle de plantas daninhas, pragas e doenças. No final do ciclo da aveia preta, em outubro de 2014 e setembro de 2015 as plantas foram dessecadas com herbicida a base de glifosato na dose de $792,5 \text{ g ha}^{-1}$ do i.a. e em seguida passado o triturador horizontal na área.

3.3 Amostragens e avaliações realizadas

3.3.1 Atributos químicos do solo

Após 34 meses da aplicação e 12 e 24 meses da reaplicação dos corretivos foram feitas amostragens de terra, para realização das análises químicas. Para tanto, foram coletadas 5 sub amostras por subparcela para constituir uma amostra composta

nas camadas de 0,0-0,05, 0,05-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m, utilizando trados tipo sonda.

Foram determinadas nestas amostras os valores de pH em CaCl_2 , MO, P, H^+Al , Ca, Mg, K, Cu, Fe, Mn e Zn e a partir dos resultados obtidos foram calculados os valores de SB, CTC e V% conforme os protocolos analíticos descritos em Raij et al. (2001).

O teor de silício no solo foi determinado com o extrator CaCl_2 0,01 mol L^{-1} seguindo a metodologia descrita por Korndörfer et al. (2004).

3.3.2 Avaliações na cultura da soja

3.3.2.1 Diagnose foliar

Foram coletadas 20 folhas por subparcela no período de florescimento pleno, correspondente ao estágio R2 da soja, amostrando-se a terceira ou quarta folha com pecíolo, a partir do ápice da planta, que correspondem a folhas bem desenvolvidas, sem deformações ou ataques de pragas e doenças.

Foram determinados os teores de N, P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn, segundo a metodologia descrita por Malavolta et al. (1997) e o teor de Si foi determinado de acordo com a metodologia descrita por Korndörfer et al. (2004).

3.3.2.2 Componentes de produção e produtividade de grãos

O número de vagens por planta foi determinado mediante a contagem do número total de vagens com pelo menos um grão por planta, em 10 plantas coletadas dentro da área útil de cada área experimental.

O número de grãos por vagem foi determinado através da relação entre número total de grãos e o número total de vagens.

A massa de 100 grãos foi determinada pesando-se quatro amostras, de 100 grãos cada uma, em cada unidade experimental. Os dados obtidos foram corrigidos para 13% de umidade (base úmida).

A determinação da população final de plantas foi realizada no dia da colheita, considerando duas fileiras dentro da área útil com comprimento de 2 m em cada unidade experimental, sendo os resultados convertidos em plantas por ha. A colheita

foi realizada com colhedora mecânica de parcelas para experimento, coletando-se três linhas com 7 m de comprimento. As sementes foram pesadas e posteriormente calculada a produtividade em Mg por ha, sendo a umidade corrigida para 13% (base úmida).

3.3.3 Avaliações na cultura do feijoeiro

3.3.3.1 Diagnose foliar

No florescimento pleno, foram coletadas as 3^{as} folhas com pecíolos do feijoeiro, tomadas no terço médio de 10 plantas por unidade experimental, para determinação dos teores de N, P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn, segundo a metodologia descrita por Malavolta et al. (1997) e do teor de silício conforme a metodologia descrita por Korndörfer et al. (2004).

3.3.3.2 Componentes da produção e produtividade de grãos

A determinação da população final de plantas foi realizada no dia da colheita, 78 dias após a emergência das plântulas. Considerou-se duas fileiras dentro da área útil de cada subparcela, com comprimento de 5 m, sendo os resultados estimados em plantas por ha.

O número de vagens por planta foi determinado mediante a contagem do número total de vagens com pelo menos um grão por planta, avaliado em 10 plantas coletadas dentro da área útil de cada subparcela. O número de grãos por vagem foi determinado por meio da relação entre número total de grãos e o número total de vagens.

Determinou-se a massa de 100 grãos mediante a pesagem de quatro amostras, de 100 grãos cada uma, em cada unidade experimental. Os dados obtidos foram corrigidos para 13% de umidade (base úmida).

Para determinação da produtividade de grãos, foi realizada colheita manual das plantas contidas em duas fileiras de 5 m de comprimento na área útil de cada unidade experimental. Os grãos foram pesados e posteriormente foi calculada a produtividade em Mg por ha, corrigida para 13% de umidade (base úmida).

3.3.4 Avaliações na cultura da aveia-preta

3.3.4.1 Matéria seca da parte aérea e diagnose foliar

Ao final do ciclo da aveia-preta, foram coletadas a parte aérea de todas as plantas presentes em uma área de 0,250 m² em cada subparcela. As plantas coletadas foram lavadas com água destilada e, posteriormente, colocadas para secagem em estufa com ventilação forçada de ar, mantida a 65°C por 72 h. Após seco, todo o material foi pesado, para obtenção da massa da matéria seca, moído em moinho tipo Willey, dotado de peneira de 40 mesh, e posteriormente, foram determinados os teores de N, P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn, segundo a metodologia descrita por Malavolta et al. (1997). O silício foi determinado de acordo com a metodologia descrita por Korndörfer et al. (2004).

3.4 Análise estatística

Os resultados foram submetidos à análise de variância e quando significativos, foram comparados pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. A análise estatística foi realizada utilizando o programa SISVAR.

3.5 Análise econômica

Para análise econômica foi realizada simulação utilizando os corretivos agrosilício® com PRNT 61, escória de aciaria com PRNT 66, escória de forno de panela com PRNT 53, wollastonita com PRNT 68, calcário agrícola com PRNT 56, calcário agrícola calcinado com PRNT 102 e incluído o calcário agrícola com PRNT 90 por ser utilizado com maior frequência na agricultura.

A dose de cada corretivo foi determinada pelo método da saturação por bases, considerando o solo original do trabalho com CTC 88 mmol_c dm⁻³ e simulando os valores de V% de 10 a 60% (Tabela 5).

Tabela 5 - Necessidade de calagem (t ha^{-1}) em função dos valores de V% utilizando diferentes corretivos de acidez do solo

V%	AG	EA	EFP	W	CA 1	CA 2	CAC
	----- t ha^{-1} -----						
10	8,46	7,82	9,74	7,59	9,21	5,73	5,06
20	7,05	6,52	8,11	6,32	7,68	4,78	4,22
30	5,64	5,21	6,49	5,06	6,14	3,82	3,37
40	4,23	3,91	4,87	3,79	4,61	2,87	2,53
50	2,82	2,61	3,25	2,53	3,07	1,91	1,69
60	1,41	1,30	1,62	1,26	1,54	0,96	0,84

AG= agrosilício®, EA= escória de aciaria, EFP= escória forno de panela, W= wollastonita, CA1= calcário agrícola – PRNT 56, CA2= calcário agrícola 2 – PRNT 90 e CAC=calcário agrícola calcinado.

A partir dos resultados de análise dos corretivos (Tabela 6), foi considerado os teores de P_2O_5 , B, Cu, Mn e Zn e estimado o valor econômico destes materiais transformando-os em possíveis fontes de fertilizantes. Para tanto foi utilizado, os preços médios para estes nutrientes a partir de pesquisa de mercado no Estado de São Paulo, referente ao mês de maio de 2017.

Tabela 6 - Teores de P_2O_5 , B, Cu, Mn e Zn presentes nos corretivos de acidez do solo

Nutriente	Corretivos						
	AG	EA	EFP	W	CA 1	CA 2	CAC
	----- kg t^{-1} -----						
P_2O_5	3,5	11,5	2,5	1,5	0,0	0,0	0,0
B	0,3	0,9	0,3	0,1	0,1	0,15	0,4
Cu	0,02	0,03	0,02	0,01	0,05	0,05	0,02
Mn	5,3	21,5	3,7	0,1	0,1	0,3	4,8
Zn	0,05	0,07	0,05	0,04	0,09	0,10	0,05

AG= agrosilício®, EA= escória de aciaria, EFP= escória forno de panela, W= wollastonita, CA1= calcário agrícola – PRNT 56, CA2= calcário agrícola 2 – PRNT 90 e CAC=calcário agrícola calcinado.

O preço CIF (*cost, insurance and freight*) que inclui a mercadoria e os custos de seguro e frete foi determinado mediante pesquisa de mercado do preço FOB (*Free on board*) ou seja, o preço de venda antes da aplicação de impostos, somado a pesquisa de mercado do valor do seguro, frete e impostos. Assim, foi considerado preço médio R\$ $0,20 \text{ t}^{-1} \text{ km}^{-1}$ e distância de 200 km para o calcário e 400 km para escórias, agrosilício® e wollastonita. A distância do frete simulado para o calcário foi menor que escórias, agrosilício® e wollastonita devido ter considerado a sua maior disponibilidade em menores distâncias.

O custo final por tonelada de corretivo foi determinado pela soma do preço CIF dos corretivos e o custo de distribuição. Conforme o AGRIANUAL (2017), o custo de distribuição por tonelada de um trator de 125cv + distribuidora de calcário $2,3\text{m}^{-3}$ foi de R\$ 12,66.

O custo do corretivo por unidade de PRNT foi determinado pela relação do custo final do corretivo pelo PRNT.

O custo final dos corretivos, considerando a dose a ser aplicada de cada corretivo foi obtido pela dose (t ha^{-1}) versus o custo final por tonelada de cada corretivo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Atributos químicos do solo

Em todas as épocas avaliadas, houve diferença para os valores de pH do solo em função do modo de aplicação dos corretivos. Na camada mais superficial (0,0-0,05 m), o modo de aplicação superficial foi superior ao incorporado (Figura 2 A1, B1, C1). Resultados semelhantes foram encontrados por Mello et al. (2003) e Rodrighero et al. (2015) que verificaram maior elevação do pH na camada de 0,05 m no tratamento em que o calcário não foi incorporado, 12 meses após a calagem.

O modo de aplicação incorporado foi superior ao superficial nas camadas de 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m em 34 meses após a aplicação dos corretivos e na camada de 0,05-0,10 m em 12 meses após a reaplicação dos corretivos (Figura 2 A1, B1). Resultados semelhantes foram encontrados por Alleoni et al. (2005) que, estudando o efeito da aplicação superficial e incorporada de calcário com diferentes doses, 18 e 30 meses após a calagem verificaram maior eficiência da aplicação incorporada até 0,2 m de profundidade, enquanto a aplicação superficial se restringiu aos primeiros 0,10 m.

O fato do pH na camada mais superficial ter sido maior com a aplicação superficial e inferior nas demais camadas é porque com a incorporação o calcário misturou com um maior volume de terra, havendo diluição do seu efeito na camada superficial, enquanto que na aplicação superficial os efeitos da calagem só irão ocorrer em profundidade após o pH da zona de dissolução do calcário atingir valores de 5,2 a 5,5. Enquanto existirem cátions ácidos, a reação de neutralização da acidez ficará limitada à camada superficial, retardando o efeito na subsuperfície (RHEINHEIMER et al., 2000).

Com relação aos corretivos, todos foram capazes de elevar o pH do solo até a camada 0,2 m em 34 meses após a aplicação dos corretivos e em 0,40 m após 12 e 24 meses da reaplicação dos corretivos quando comparado a testemunha (Figura 2 A2, B2, C2).

Em 34 meses após a aplicação dos corretivos na camada de 0,0-0,05 m o CA foi superior ao AG e semelhante a EA, EFP, W e CAC (Figura 2 A2). No entanto, em 12 meses após a reaplicação dos corretivos, nas camadas de 0,0-0,05 e 0,05-0,10 m o CAC foi superior ao CA, W, EFP e EA e semelhante ao AG. Já na camada de 0,10-

0,20 m o CAC e AG foram superiores a EA e na camada de 0,20-0,40 m o CAC, W e AG foram superiores a EA (Figura 2 B2). Na amostragem de 24 meses após a reaplicação dos corretivos até a camada de 0,10 m, todos os corretivos foram superiores a EA (Figura 2 C2).

Estes resultados podem estar associados a reatividade dos materiais corretivos. Como o AG apresenta menor reatividade (Tabela 4), maior é o seu efeito residual ao longo do tempo, por isso foi observado na amostragem de 34 meses após a aplicação dos corretivos pouca reação desse corretivo e em 12 meses após a reaplicação dos corretivos até a camada de 0,10 m, sua reação no solo foi maior, não havendo diferença com o CAC, que apresenta maior reatividade.

Apesar dos silicatos terem solubilidade 6,78 vezes maior que o carbonato, conforme descrito por Alcarde & Rodella (2003), não foi observado superioridade das escórias em relação ao calcário na neutralização da acidez do solo. Estes resultados corroboram com os obtidos por Prado & Fernandes (2001) e Fonseca et al. (2007), que observaram similaridade entre silicato e calcário na correção do pH do solo.

No entanto, Corrêa et al. (2009) evidenciaram efeitos positivos na aplicação superficial de escória de aciaria em sistema de semeadura direta. A neutralização da acidez do solo após 27 meses de reação foi observada até a camada de 0,4 m com a aplicação da escória, o que refletiu na maior produtividade da soja, enquanto o calcário proporcionou efeito corretivo até a camada de 0,2 m. Da mesma forma, Castro & Crusciol (2013) verificaram após 12 meses da aplicação dos corretivos que, o calcário aumentou o pH até 0,05 m, enquanto o silicato aumentou até 0,20 m de profundidade.

A divergência dos resultados obtidos pode ser atribuída à composição química das escórias, pois apesar dos silicatos apresentarem maior solubilidade, o processo industrial promove a obtenção de vários tipos de escórias com recristalização diferente em função da quantidade de Ca, Mg e do tempo de resfriamento, podendo reduzir sua solubilidade (PEREIRA et al., 2010). Além disso, a presença de impurezas nas escórias pode influenciar a determinação do poder de neutralização (PN), superestimando-o, com consequente erro na determinação da dose a ser aplicada para corrigir a acidez do solo (PRADO & FERNANDES, 2000). Possivelmente o PN da EA pode ter sido superestimado devido seu efeito na elevação do pH do solo ter sido pouco observado em todas as épocas avaliadas.

Houve interação entre o modo de aplicação x materiais corretivos para os valores de pH na camada 0-0,05 m em 12 e 24 meses e na camada 0,20-0,40 m em 12 meses após a reaplicação dos corretivos (Tabela 7).

Em 12 meses, na camada de 0,0-0,05 m o modo de aplicação superficial foi superior ao incorporado para EA, EFP e CAC, já em 24 meses após a reaplicação dos corretivos, os valores de pH foram superiores na aplicação superficial para todos os corretivos estudados. Na camada de 0,20-0,40 m, em função ao modo de aplicação, houve diferença apenas para a W que foi superior com a aplicação incorporada.

Dentre os corretivos, na camada de 0,20-0,40 m, a W foi superior ao CAC, EFP e EA e semelhante ao CA e AG na aplicação incorporada e na aplicação superficial o AG foi superior a EA e W e semelhante a EFP, CAC e CA.

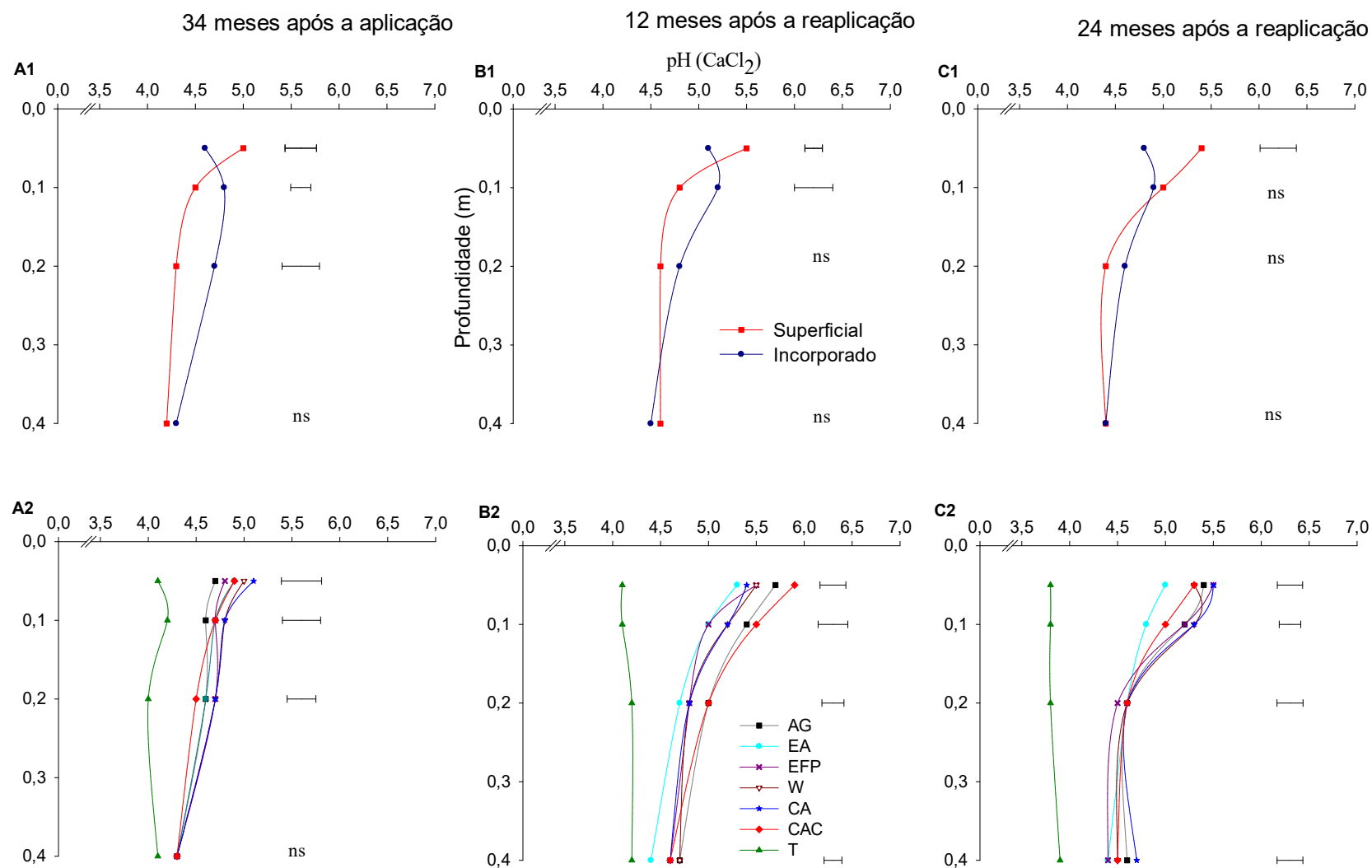
Tabela 7- Desdobramento da interação modo de aplicação x materiais corretivos para valores de pH

Corretivos	pH CaCl ₂					
	0-0,5 m (12meses)		0,20-0,40 m (12		0-0,5 m (24 meses)	
	----- Aplicação -----					
	I	S	I	S	I	S
AG	5,5 aAB	5,9 aAB	4,6 aABC	4,7 aA	5,0 bBC	5,9 aA
EA	5,0 bC	5,5 aBC	4,4 aCD	4,4 aBC	4,6 bC	5,3 aC
EFP	4,9 bC	6,0 aA	4,5 aBC	4,6 aAB	5,3 bA	5,7 aAB
W	5,5 aAB	5,4 aC	4,8 aA	4,4 bBC	5,1 bAB	5,5 aBC
CA	5,1 aBC	5,5 aBC	4,7 aAB	4,5 aAB	5,1 bAB	5,8 aAB
CAC	5,7 bA	6,0 aA	4,5 aBC	4,6 aAB	4,9 bBC	5,7 aAB
T	4,2 aD	4,2 aD	4,1 aD	4,2 aC	3,9 aD	3,9 aD

AG= agrosilício®, EA= escória de aciaria, EFP= escória de forno de panela, W= wollastonita, CA= calcário agrícola, CAC= calcário agrícola calcinado e T= testemunha. Letras minúsculas nas linhas correspondem às comparações entre o modo de aplicação (Superficial – S) e (Incorporado – I) para o mesmo corretivo e letras maiúsculas nas colunas correspondem a comparação entre corretivos pelo teste T $p > 0,05$.

Houve diferença para a acidez potencial (H+Al) em função do modo de aplicação dos corretivos. Na camada 0,0-0,05 m após 34 e 24 meses da aplicação e reaplicação dos corretivos, a acidez potencial foi maior nos tratamentos com aplicação incorporada. Já nas outras camadas quando houveram diferenças, a acidez potencial foi maior nos tratamentos com aplicação superficial, fato justificado pelo menor aumento do pH nestas camadas quando comparado à aplicação incorporada (Figura 3 A1, B1, C1).

Figura 2 - Valores de pH em função do modo de aplicação (A1, B1, C1) e diferentes tipos de corretivos (A2, B2, C2) em diferentes épocas



AG= agrosilício®, EA= escória de aciaria, EFP= escória de forno de panela, W= wollastonita, CA= calcário agrícola, CAC= calcário agrícola calcinado e T= testemunha. ns – não significativo. Barras horizontais referem-se a Diferença Mínima Significativa - DMS pelo teste T a 5%.

Com relação aos corretivos, carbonatos e silicatos foram capazes de reduzir a acidez potencial até a profundidade de 0,40 m quando comparado a testemunha, exceto aos 34 meses após a aplicação dos corretivos, que foi até a camada 0,20 m. Resultados semelhantes foram encontrados por Prado et al. (2003) em estudo para avaliar o efeito residual de escória siderúrgica e calcário calcítico em cana-de-açúcar, nas profundidades de 0,0-0,20 e 0,20-0,40 m.

Na camada de 0,0-0,05 m o AG foi inferior a EFP, W, CA e CAC e semelhante a EA em 34 meses após a aplicação dos corretivos. Já em 12 meses após a reaplicação dos corretivos, AG e CAC foram superiores até 0,10 m de profundidade, na redução da acidez potencial, quando comparados aos demais tratamentos.

Houve interação entre o modo de aplicação x materiais corretivos para os valores de acidez potencial apenas nas camadas de 0-0,05 m em todas as épocas avaliadas e na camada 0,10-0,20 m em 12 meses após a reaplicação dos corretivos (Tabela 8).

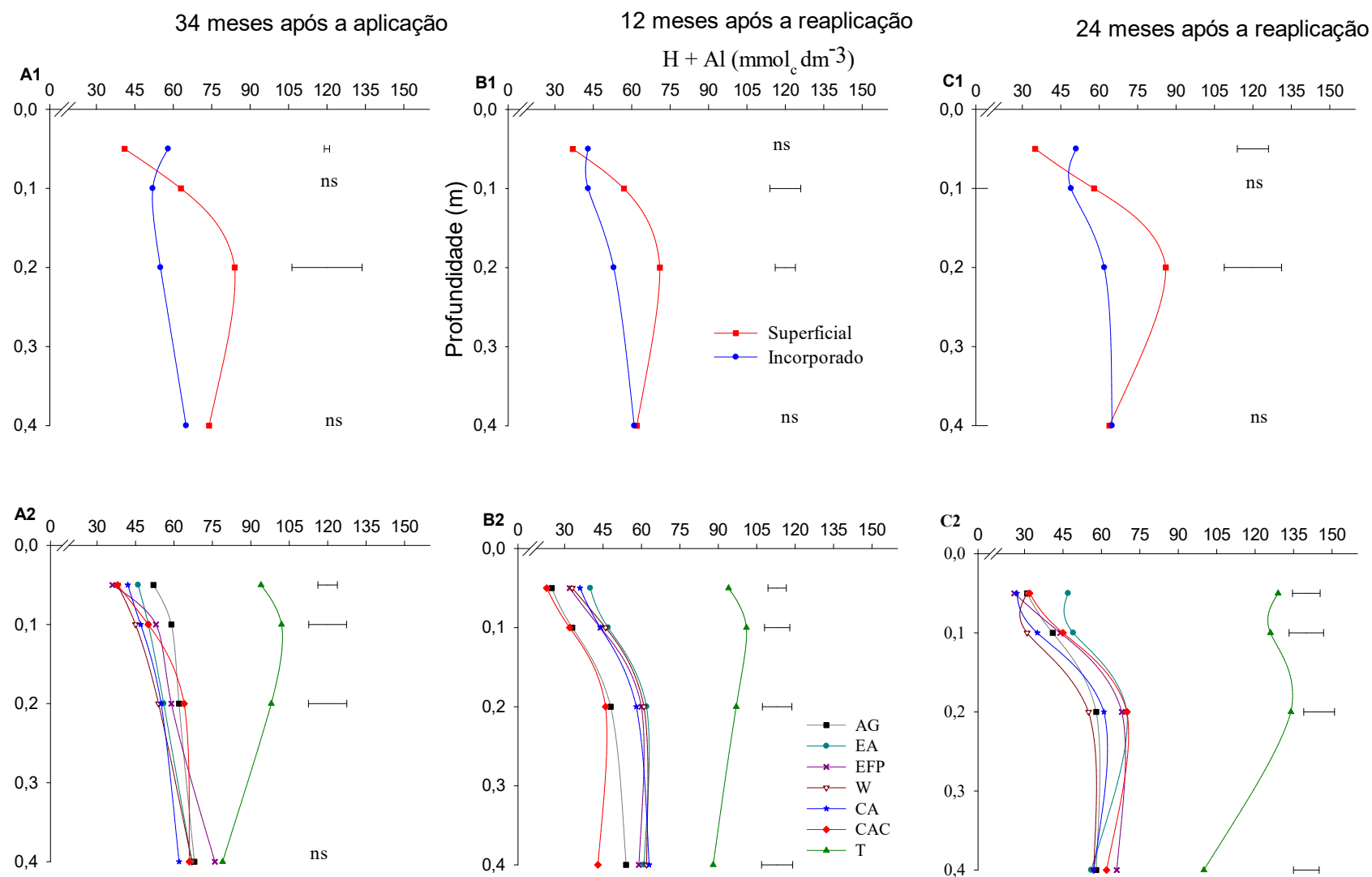
Na camada mais superficial (0-0,05 m), em 34 meses após a aplicação dos corretivos, a aplicação superficial foi superior a incorporada na redução da acidez potencial para todos os corretivos. Já na segunda amostragem, 12 meses após a reaplicação houve diferença apenas para EA e EFP e em 24 meses após a reaplicação dos corretivos, para AG, EA e CAC. Na profundidade de 0,10-0,20 m houve diferença para a EFP, W e CA, sendo a acidez potencial menor com a aplicação incorporada.

Tabela 8 - Desdobramento da interação modo de aplicação x materiais corretivos para H+Al

Corretivos	H+Al (mmol _c dm ⁻³)							
	0-0,05 m (34 meses)		0-0,05 m (12 meses)		0-0,05 m (34 meses)		0,1-0,2 m (12 meses)	
	----- Aplicação -----							
	I	S	I	S	I	S	I	S
AG	62 aB	42 bB	29 aCD	20 aD	40 aC	18 bB	42 aB	54 aCD
EA	52 aBC	40 bB	48 aB	31 bBC	58 aB	19 bB	54 aB	70 aBC
EFP	48 aC	23 bC	45 aB	19 bD	24 aD	18 aB	48 bB	72 aB
W	49 aC	27 bC	28 aCD	37 aB	36 aCD	23 aB	40 bB	82 aB
CA	57 aBC	26 bC	38 aBC	34 aB	28 aCD	21 aB	47 bB	69 aBC
CAC	49 aC	27 bC	24 aD	22 aCD	40 aC	20 bB	48 aB	44 aD
T	90 bA	103 aA	93 aA	95 aA	133 aA	124 aA	90 aA	103 aA

AG= agrosilício®, EA= escória de aciaria, EFP= escória de forno de panela, W= wollastonita, CA= calcário agrícola, CAC= calcário agrícola calcinado e T= testemunha. Letras minúsculas nas linhas correspondem às comparações entre o modo de aplicação (Superficial – S) e (Incorporado – I) para o mesmo corretivo e letras maiúsculas nas colunas correspondem a comparação entre corretivos pelo teste T p> 0,05.

Figura 3 - Valores de H+Al em função do modo de aplicação (A1, B1, C1) e diferentes tipos de corretivos (A2, B2, C2) em diferentes épocas.



AG= agrosilício®, EA= escória de aciaria, EFP= escória de forno de panela, W= wollastonita, CA= calcário agrícola, CAC= calcário agrícola calcinado e T= testemunha. ns – não significativo. Barras horizontais referem-se a Diferença Mínima Significativa - DMS pelo teste T a 5%.

A V% em função ao modo de aplicação dos corretivos teve comportamento similar ao pH do solo, com valores superiores para a aplicação sem incorporação na camada mais superficial (0,0-0,05 m) em todas as épocas avaliadas (Figura 4 A1, B1, C1). Em 12 meses após a reaplicação dos corretivos, na camada 0,05-0,10 m foi possível observar maior aumento da V% quando a aplicação foi incorporada (Figura 4 B1).

É possível observar que a saturação por bases está intimamente ligada ao pH, a justificativa para tal fato é que em solos intemperizados, com predomínio de minerais 1:1 e sesquióxidos de ferro e alumínio (gibbsite e goethita), as cargas negativas do solo são em grande parte dependentes de pH e com seu aumento há maior disponibilidade de adsorção de Ca, Mg e K aos colóides de argila, principalmente orgânicos, fazendo com que os valores de V% aumentem consecutivamente (QUAGGIO, 2000).

Todos os corretivos de acidez do solo foram capazes de elevar os valores V% (Figura 4). No entanto, a dose calculada para elevar a V% a 70% até a camada de 0-0,2 m não foi alcançada nas épocas avaliadas. Os valores de V% igual ou acima de 70, só foram alcançados após a reaplicação dos corretivos na camada mais superficial (0-0,05 m) para o AG e CAC em 12 meses após a reaplicação e AG, EFP e CA 24 meses após a reaplicação dos corretivos.

Apesar do método da necessidade de calagem com base na elevação da saturação por bases do solo ter fundamento científico adequado, freqüentemente há relatos na literatura de resultados cujos valores de saturação por bases, determinados após a calagem, foram inferiores aos estimados pelo método (CAIRES & ROSOLEM, 1993; OLIVEIRA et al., 2003; ALLEONI et al., 2005).

Este fato é observado devido diversos fatores ligados ao solo, material corretivo e manejo, como o modo de incorporação do corretivo no solo (BRASSIOLI et al., 2009).

Em função do efeito tampão em solo argiloso, normalmente verifica-se que, as doses estimadas pelo método de saturação por bases não tem atingido os valores desejados (SILVA et al., 2008). Prado & Natale (2004) verificaram que a aplicação de até duas vezes a dose necessária para elevar a saturação por bases a 80% de escória de siderurgia ferrocromo, resultou no valor de 66%. O mesmo também foi observado para o calcário. Araújo et al. (2009) estudando calcários de diferentes graus de reatividade obtiveram valores de saturação por bases até 60% quando a calagem foi calculada para atingir 80%.

Houve interação entre o modo de aplicação x materiais corretivos para V% na camada de 0,0-0,05 m em 12 meses após a reaplicação dos corretivos e até a profundidade de 0,2 m em 24 meses após a reaplicação dos corretivos (Tabela 9).

Tabela 9 - Desdobramento da interação modo de aplicação x materiais corretivos para V%

Corretivos	V%							
	0,0-0,05 m		0,0-0,05 m		0,05-0,10 m		0,10-0,20 m	
	(12 meses)		(24 meses)		(24 meses)		(24 meses)	
	-----Aplicação-----							
	I	S	I	S	I	S	I	S
AG	75 aA	75 aABC	56 bB	88 aA	58 bA	76 aA	41 bB	57 aA
EA	55 bB	74 aBC	44 bC	85 aAB	57 aA	63 aBC	45 aAB	43 aBC
EFP	53 bB	81 aAB	70 aA	79 aAB	67 aA	65 aABC	40 bA	57 aA
W	71 aA	66 aC	61 bAB	75 aB	66 aA	66 aABC	49 aAB	38 aBC
CA	60 aB	70 aBC	67 bAB	85 aAB	63 aA	73 aAB	55 aA	49 aAB
CAC	75 aA	85 aA	57 bB	77 aAB	57 aA	60 aC	48 aAB	34 bC
T	24 aC	24 aD	21 aD	15 aC	19 aB	14 aD	17 aC	14 aD

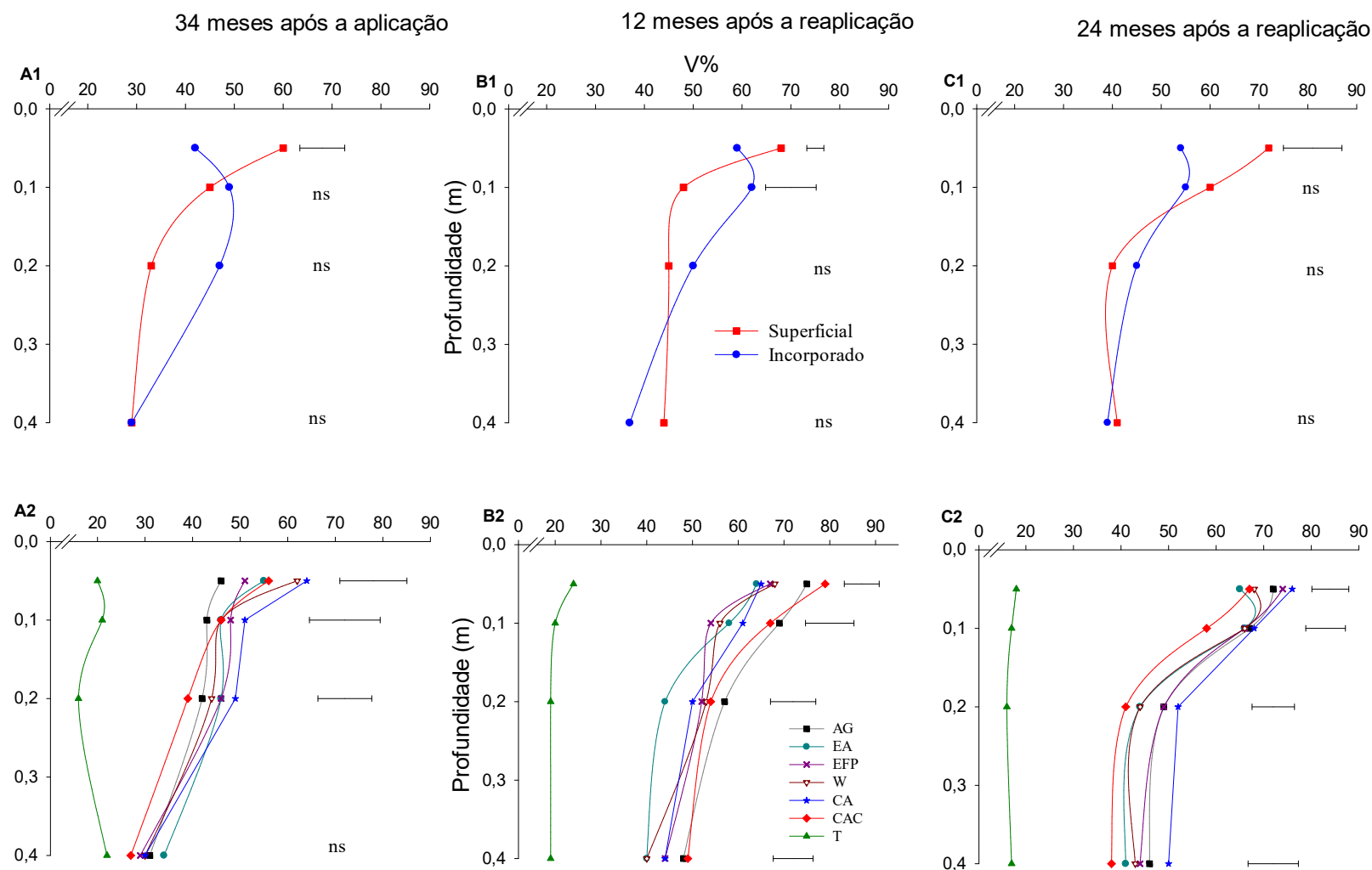
AG= agrosilício®, EA= escória de aciaria, EFP= escória de forno de panela, W= wollastonita, CA= calcário agrícola, CAC= calcário agrícola calcinado e T= testemunha. Letras minúsculas nas linhas correspondem às comparações entre o modo de aplicação (Superficial – S) e (Incorporado – I) para o mesmo corretivo e letras maiúsculas nas colunas correspondem a comparação entre corretivos pelo teste T $p > 0,05$.

Nas camadas de 0,0-0,05 e 0,05-0,10 m quando houve diferença entre corretivos, o modo de aplicação superficial foi superior ao incorporado na elevação da V%. Na camada 0,10-0,20 m a aplicação superficial de AG e EFP foi superior a aplicação incorporada, enquanto que para o CAC ocorreu o inverso.

O modo de aplicação superficial foi superior ao incorporado na camada de 0,0-0,05 m para o Ca em todas as épocas avaliadas (Figura 5 A1, B1, C1). Em 34 meses após a aplicação dos corretivos nas camadas 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m o modo de aplicação incorporado foi superior ao superficial. No entanto, em 12 meses após a reaplicação dos corretivos o modo de aplicação superficial foi superior ao incorporado na camada de 0,20-0,40 m e nas camadas 0,05-0,10 e 0,20-0,40, 24 meses após a reaplicação dos corretivos.

A justificativa para o deslocamento Ca^{2+} até 0,40 m de profundidade, além da sua alta concentração na composição química dos materiais corretivos se deve ao fato da lixiviação de cátions estar relacionado ao teor do nutriente na solução e da quantidade de água percolada através do perfil do solo. Este processo é favorecido quando cargas negativas dos ácidos húmicos e das argilas nas camadas superficiais

Figura 4 - Valores de V% em função do modo de aplicação (A1, B1, C1) e diferentes tipos de corretivos (A2, B2, C2) em diferentes épocas



AG= agrosilício®, EA= escória de aciaria, EFP= escória de forno de panela, W= wollastonita, CA= calcário agrícola, CAC= calcário agrícola calcinado e T= testemunha. ns – não significativo. Barras horizontais referem-se a Diferença Mínima Significativa - DMS pelo teste T a 5%.

já estiverem sido ocupadas, permitindo que haja ligação com ânions solúveis como Cl^- , NO_3^- , NO_2^- , SO_4^{2-} , OAc^- , e HCO_3^- (ROSOLEM et al., 2006).

É importante ressaltar que, o corretivo aplicado na superfície do solo associados a cátions-ligantes, podem alcançar maiores profundidades em razão do deslocamento mecânico através de canais radiculares, bioporos, fissuras e pela lixiviação da água de chuva nestas passagens naturais do solo, mantidas intactas em razão da ausência de movimentação do solo (OLIVEIRA & PAVAN, 1996; PETRERE & ANGHINONI, 2001; AMARAL et al., 2004).

Em relação aos corretivos, houve diferença em todas profundidades e épocas avaliadas (Figura 5 A2, B2, C2). Em 34 meses após a aplicação dos corretivos, na camada de 0,0-0,05 m a W foi superior ao CAC, CA, EFP e AG e semelhante a EA. Na camada de 0,05-0,10 m a W e EA foram superiores aos demais corretivos. Na camada de 0,10-0,20 m a W e EA foram superior ao CAC, CA e AG e semelhantes a EFP e na camada de 0,20-0,40 m a W foi superior a todos corretivos (Figura 5 A2).

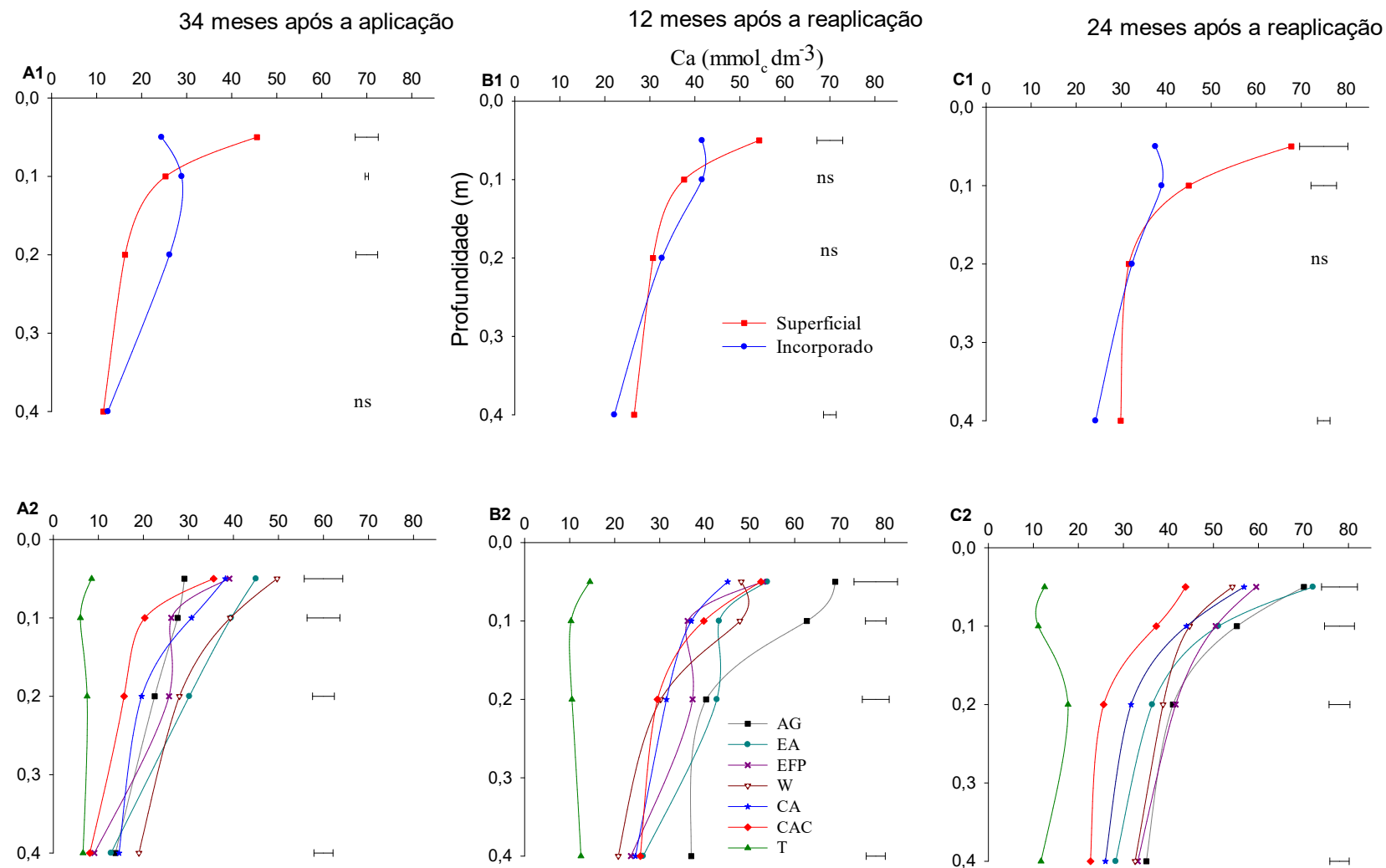
Em 12 meses após a reaplicação dos corretivos nas camadas de 0,0-0,05, 0,05-0,10 e 0,20-0,40 m o AG foi superior a todos corretivos e na camada 0,10-0,20 o AG e EA foram superiores ao CAC, CA, W e semelhantes a EFP (Figura 5 B2). Já em 24 meses após a reaplicação dos corretivos na camada de 0,0-0,05 m o AG e EA foram superiores ao CAC, CA, W e EFP. Na camada de 0,05-0,10 m o AG foi superior ao CAC, CA e W e semelhante a EA e EFP. Já nas camadas de 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m o AG, EFP e W foram superiores ao CAC, CA e EA (Figura 5 C2).

Houve interação entre o modo de aplicação x materiais corretivos para os valores de Ca em todas épocas e profundidades avaliadas (Tabela 10).

Nos teores de Mg no solo, o modo de aplicação superficial foi superior ao incorporado na camada mais superficial (0,0-0,05 m) em 34 após a aplicação e 24 meses após a reaplicação dos corretivos até a profundidade de 0,10 m (Figura 6). Esse fato foi observado em função do acúmulo dos materiais corretivos na superfície do solo e consequentemente maior foi a disponibilidade de Mg na camada mais superficial. Já na camada de 0,10-0,20 m, em 34 meses após a aplicação dos corretivos foi possível observar maiores teores de Mg com a aplicação incorporada.

Em 34 meses após a aplicação dos corretivos, o CA foi superior aos demais corretivos na camada de 0,0-0,05 e semelhante aos demais corretivos na 0,05-0,10 m, com exceção da W. Na camada de 0,10-0,20 m o CA foi superior a EA, W e T e

Figura 5 - Valores de Ca em função do modo de aplicação (A1, B1, C1) e diferentes tipos de corretivos (A2, B2, C2) em diferentes épocas



AG= agrosilício®, EA= escória de aciaria, EFP= escória de forno de panela, W= wollastonita, CA= calcário agrícola, CAC= calcário agrícola calcinado e T= testemunha. ns – não significativo. Barras horizontais referem-se a Diferença Mínima Significativa - DMS pelo teste T a 5%.

Tabela 10 - Desdobramento da interação modo de aplicação x materiais corretivos para valores de pH

Ca (mmol _c dm ⁻³)								
Camada	34 meses após a aplicação dos corretivos							
	0,0-0,05 m		0,05-0,10 m		0,10-0,20 m		0,20-0,40 m	
	Aplicação							
Corretivos	I	S	I	S	I	S	I	S
AG	24,2 aA	34,0 aC	31,0 aBCD	24,2 aB	33,2 aA	11,2 bCD	17,0 aAB	10,7 bB
EA	31,0 bA	59,0 aAB	43,7 aA	35,2 aA	36,0 aA	24,5 bA	12,0 aBC	13,7 aB
EFP	26,5 bA	51,7 aB	33,7 aABC	18,7 bB	33,2 aA	18,2 bAB	13,7 aAB	4,5 bC
W	34,2 bA	62,2 aA	38,2 a AB	40,5 aA	31,0 aA	25,0 aA	15,0 bAB	23,0 aA
CA	26,5 bA	50,0 aB	25,7 aCD	35,7 aA	23,0 aB	16,2 aBC	19,2 aA	10,0 bBC
CAC	23,0 bA	48,2 aB	23,2 aD	17,5 aB	20,7 aB	10,7 bCD	6,7 aCD	9,5 aBC
T	5,7 aB	11,2 aD	6,7 aC	5,2 aC	6,5 aC	8,5 aD	4,0 aD	9,2 aBC
12 meses após a reaplicação dos corretivos								
AG	60,5 bA	77,5 aA	59,2 bA	66,2 aA	46,0 aA	34,7 aBC	24,7 bABC	49,2 aA
EA	44,0 bBC	63,7 aBC	40,5 aB	46,0 aB	33,7 bB	51,7 aA	20,7 bBC	32,0 aB
EFP	37,0 bC	69,0 aAB	41,2 aB	31,2 bD	33,7 aB	41,0 aB	26,2 aAB	21,0 aC
W	56,0 aAB	40,2 bD	59,0 aA	36,7 bCD	44,2 aA	16,2 bD	27,0 aA	14,7 bD
CA	36,0 bC	54,2 aC	41,2 aB	32,7 bD	32,7 aB	30,2 aC	27,0 Aa	22,2 aC
CAC	44,0 bC	61,0 aBC	39,2 aB	40,5 aBC	28,0 aB	31,0 aC	18,7 bC	32,7 aB
T	14,0 aD	15,0 aE	11,0 aC	9,7 aE	10,7 aB	10,2 aD	10,7 aD	13,7 aD
24 meses após a reaplicação dos corretivos								
AG	37,7 bB	102,5 aA	38,5 bCD	72,0 aA	30,0 bC	52,0 aA	25,2 bAB	45,0 aA
EA	40,0 bAB	104,2 aA	45,2 bBC	57,0 aB	34,2 aBC	35,0 aBC	27,5 aAB	29,2 aC
EFP	50,7 bA	68,2 aB	58,2 aA	42,7 bC	50,0 aA	33,2 bBC	28,7 bA	37,7 aB
W	43,7 aAB	64,7 aB	50,2 aAB	39,2 bC	38,7 aB	38,0 aB	29,5 bA	35,7 aB
CA	40,0 aAB	73,7 aB	34,0 bD	54,0 aB	32,5 aBC	31,0 aC	25,5 aAB	26,5 aC
CAC	37,0 bB	50,7 aC	34,7 aD	40,0 aC	28,0 aC	23,2 aD	22,2 aB	23,2 aC
T	14,2 aC	10,7 aD	12,0 aE	10,2 aE	13,7 aD	9,7 aE	11,2 aC	12,2 aD

EA = escória de aciaria, EFP = escória de forno de panela, W = wollastonita, CA = calcário agrícola, CAC = calcário agrícola calcinado e T = testemunha. Letras minúsculas nas linhas correspondem às comparações entre o modo de aplicação (Superficial – S) e (Incorporado – I) para o mesmo corretivo e letras maiúsculas nas colunas correspondem a comparação entre corretivos pelo teste de T $p > 0,05$.

semelhante ao AG, EFP e CAC. Em 12 meses após a reaplicação dos corretivos, na camada de 0,0-0,05 m o CAC foi superior ao AG, EA, EFP, W e T e semelhante ao CA. Na camada de 0,05-0,10 m o CAC, CA e AG foram superiores a EA, EFP, W e T. Nas camadas de 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m o CA foi superior a EA, EFP, W e T e semelhante ao CAC e AG. Já em 24 meses após a reaplicação, o CA foi superior aos demais corretivos e ao tratamento T em todas as camadas avaliadas (Figura 6).

Deus e Büll (2013), para este mesmo experimento, 60 dias após a aplicação dos corretivos, verificaram que somente o CAC e CA foram capazes de alterar o teor de Mg na camada de 0,05-0,10 m e apenas o CA proporcionou incremento em relação a testemunha na camada de 0,2-0,4 m.

Ramos et al. (2006), ao comparar o efeito do silicato de Ca e Mg com o calcário, ambos incubados no solo por 40 dias, verificaram que esses corretivos apresentaram capacidade semelhante em aumentar o teor de Ca trocável no solo, e maior capacidade do silicato em disponibilizar Mg.

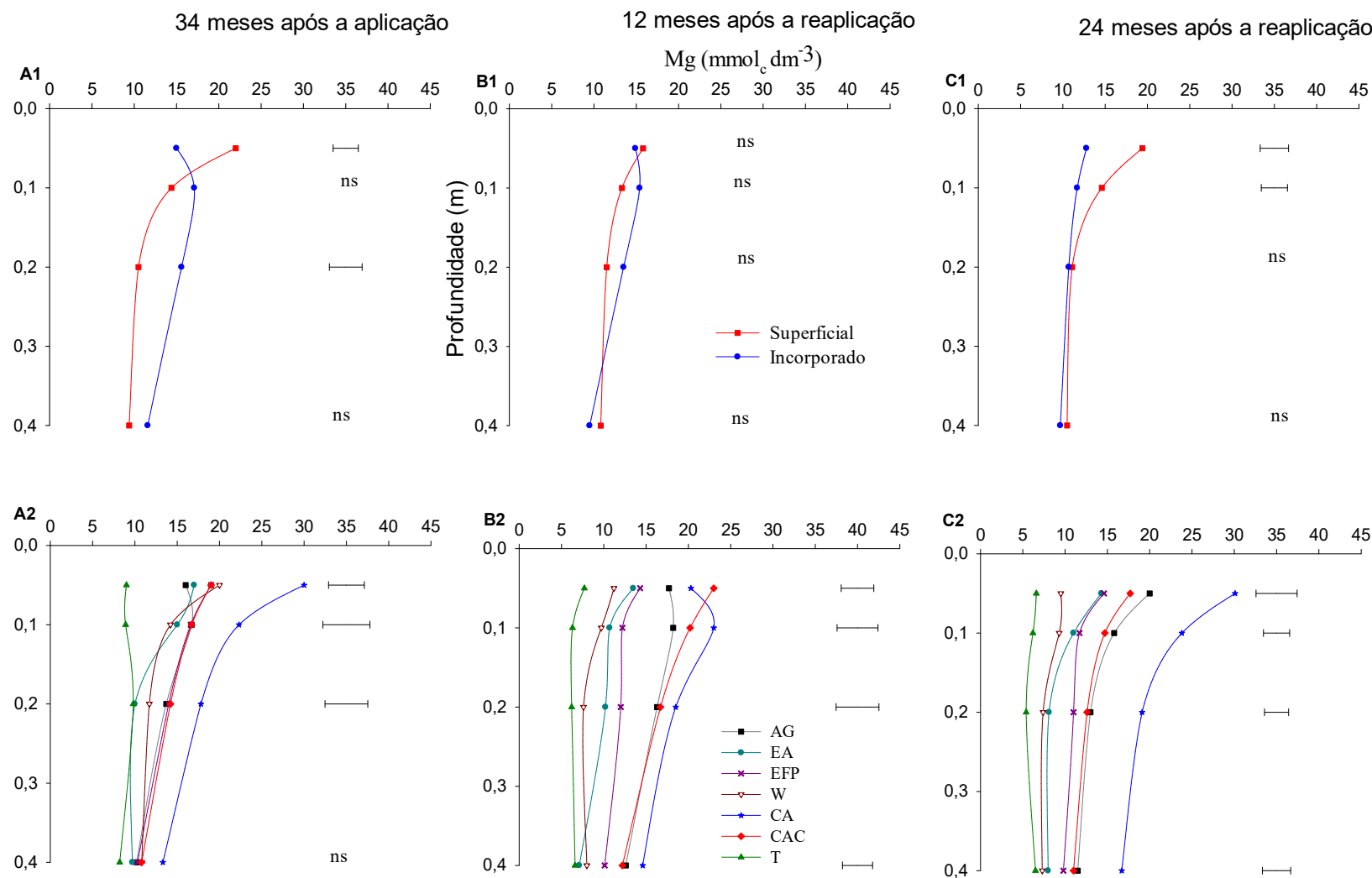
Houve interação entre o modo de aplicação x materiais corretivos para o Mg na camada 0,0-0,05 m em 34 meses após a aplicação dos corretivos. O modo de aplicação não diferiu apenas para o AG e CAC. Já em 24 meses após a reaplicação dos corretivos, na camada 0,0-0,05 m o AG, EA e CA proporcionaram maiores teores de Mg na aplicação superficial e na camada de 0,05-0,10 m apenas o AG e CA (Tabela 11).

Tabela 11 - Desdobramento da interação aplicação x corretivos para Mg

Corretivos	Mg (mmol _c dm ⁻³)					
	0,0-0,05 m		0,0-0,05 m		0,05-0,10 m	
	(34 meses)		(24 meses)		(24 meses)	
	----- Aplicação -----					
	I	S	I	S	I	S
AG	14,7 aBC	17,7 aC	13,2 bAB	26,7 aB	13,0 bAB	18,7 aB
EA	11,5 bC	23,2 aAB	10,0 bAB	18,7 aC	9,5 aCD	13,5 aC
EFP	14,2 bBC	23,2 aAB	13,2 aAB	16,0 aCD	12,5 aAB	12,2 aCD
W	14,2 bBC	25,2 aB	9,2 aC	9,7 aDE	9,0 aCD	9,0 aDE
CA	23,0 bA	36,7 aA	20,5 bA	39,7 aA	16,7 bA	31,0 aA
CAC	17,7 aAB	21,0 aAB	16,2 aAB	19,2 aC	14,5 aA	15,0 aBC
T	9,5 aD	8,7 aD	7,5 aC	5,7 aE	6,2 aD	5,0 aE

AG= agrosilício®, EA= escória de aciaria, EFP= escória de forno de panela, W= wollastonita, CA= calcário agrícola, CAC= calcário agrícola calcinado e T= testemunha. Letras minúsculas nas linhas correspondem às comparações entre o modo de aplicação (Superficial – S) e (Incorporado – I) para o mesmo corretivo e letras maiúsculas nas colunas correspondem a comparação entre corretivos pelo teste T $p > 0,05$.

Figura 6 - Valores de Mg em função do modo de aplicação (A1, B1, C1) e diferentes tipos de corretivos (A2, B2, C2) em diferentes épocas



AG= agrosilício®, EA= escória de aciaria, EFP= escória de forno de panela, W= wollastonita, CA= calcário agrícola, CAC= calcário agrícola calcinado e T= testemunha. ns – não significativo. Barras horizontais referem-se a Diferença Mínima Significativa - DMS pelo teste T a 5%.

Para matéria orgânica (MO) em função ao modo de aplicação dos corretivos, houve diferença apenas na camada mais superficial (0-0,05 m) em 34 meses após a aplicação e 12 meses após a reaplicação dos corretivos. Nessa camada a aplicação superficial foi superior a incorporada (Figura 7).

A aplicação superficial apresentou maiores valores de MO devido a manutenção dos restos da cultura anterior na superfície e do pouco revolvimento do solo, facilitando o acúmulo da matéria orgânica pela decomposição da palhada, reciclando nutrientes. Solos manejados com cultivo mínimo e plantio direto, podem ao longo do tempo, aumentar o teor de matéria orgânica do solo (THUNG & OLIVEIRA, 1998). Já Fuentes et al. (2006) observaram que poderia haver diminuição nos teores de MO em função da elevação do pH acarretar aumento da atividade microbiana, o que promoveria a mineralização da MO.

Com relação aos corretivos, houve diferença na camada superficial (0,0-0,05 m) apenas 34 meses após a aplicação dos corretivos (Figura 7). Vale destacar que nenhum dos materiais corretivos são fonte de MO. Sua maior contribuição pode ter ocorrido devido os materiais corretivos terem proporcionado melhores condições para o crescimento das culturas, resultando em maior deposição da palhada.

Houve diferença no modo de aplicação dos corretivos para os teores de P no solo. A aplicação superficial foi superior a incorporada nas camadas de 0,05-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m em 12 meses após a reaplicação dos corretivos e na camada 0,0-0,05 m em 24 meses após a reaplicação dos corretivos (Figura 8 B1, C1).

Com relação aos corretivos, houve diferença significativa entre eles nas diferentes épocas avaliadas. O maior incremento foi observado na EA.

Em muitos trabalhos é possível verificar o aumento na disponibilidade de P no solo com aplicação de escórias de siderurgia (CARVALHO et al, 2000; PRADO & FERNANDES, 2001; CRUSCIOL et al, 2007; CORRÊA et al, 2008; DEUS & BÜLL, 2013), tal fato é explicado devido a competição do ânion SiO_4^{3-} com PO_4^{3-} pelos mesmos sítios de adsorção (KATO & OWA, 1997). Neste estudo, onde foram utilizadas diferentes fontes de silicatos e conforme os resultados obtidos, é possível verificar que além da competição entre Si x P pelos mesmos sítios de adsorção nos solos, a EA é fonte de P, devido esse material apresentar em sua composição teores mais elevados de P (11 g kg^{-1} de P_2O_5) quando comparado as demais escórias.

Houve diferença para os teores de K trocável apenas na camada 0,0-0,05 m em 34 meses após a aplicação dos corretivos. Nesta camada, o modo de aplicação superficial foi superior ao incorporado (Figura 9 A1).

Com relação aos corretivos houve diferença para o K apenas na camada mais superficial (0,0-0,05 m) em 34 meses após a aplicação dos corretivos. O CAC foi superior ao AG, EA, EFP e T e semelhante ao CA e W (Figura 9 A2).

A maior disponibilidade de K na camada mais superficial do solo pode ter ocorrido devido a elevação do pH com a aplicação dos corretivos. Com o aumento do pH, ocorre a liberação de cargas negativas dependentes de pH, fazendo com que aumentem os sítios de retenção de íons K^+ , nas camadas mais superficiais do solo.

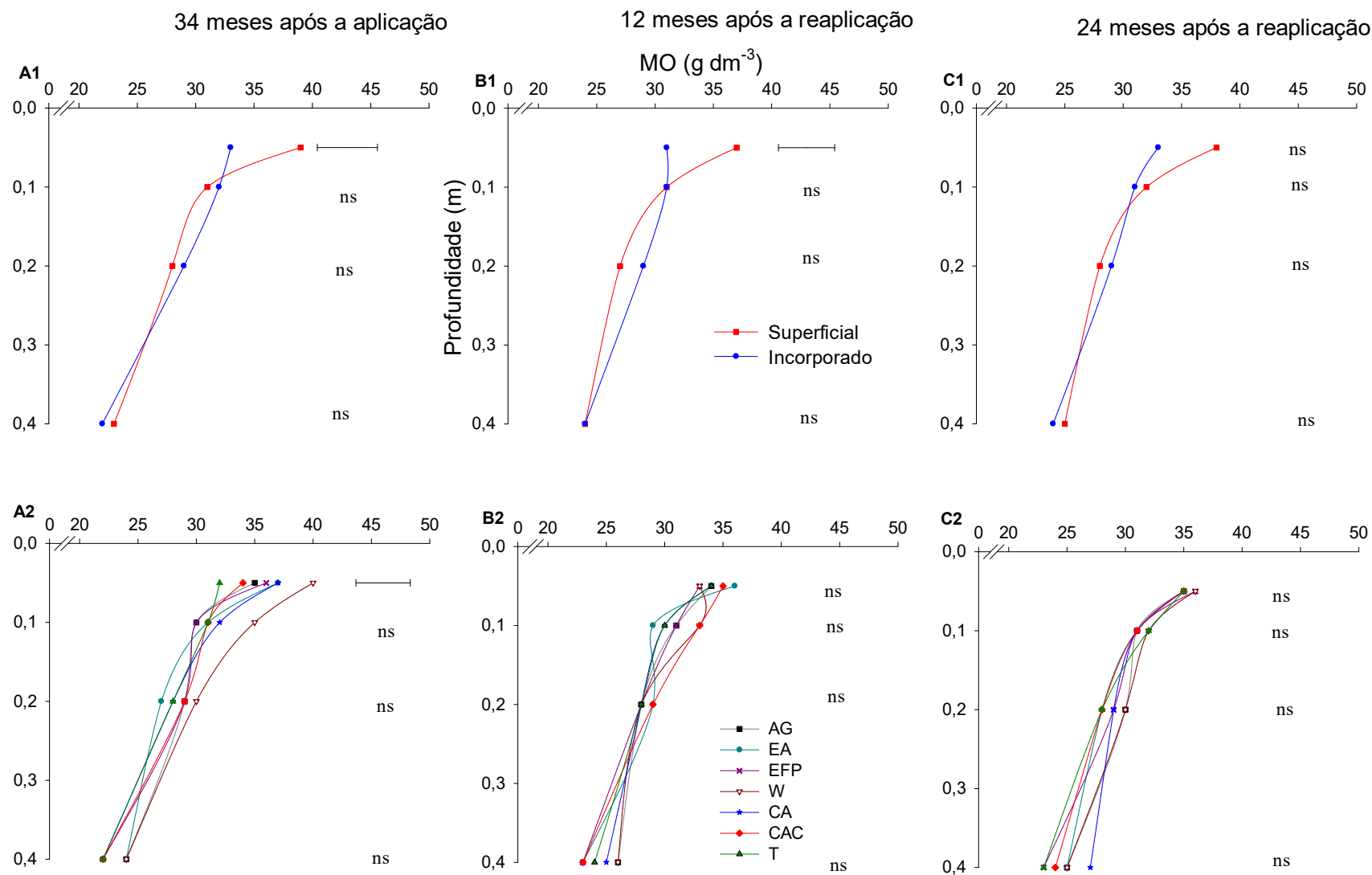
Quanto ao modo de aplicação dos corretivos, a CTC da aplicação superficial foi superior a incorporada até 0,20 m de profundidade em 34 meses após a aplicação dos corretivos e até 0,10 m em 24 meses após a reaplicação dos corretivos (Figura 10 A1, C1). Isso pode ser explicado em função dos maiores teores de Ca e Mg acumulados na aplicação superficial contribuindo para o aumento da CTC.

Com relação aos corretivos, 34 meses após sua aplicação houve diferença apenas na camada 0,10-0,20 m, sendo a T superior a EA, W e CAC e semelhante ao CA, EFP e AG.

Em 12 meses após a reaplicação, na camada de 0,05-0,10 o CAC e na camada 0,2-0,4 m a W e CAC, se mostraram diferentes dos demais corretivos, com valores mais baixos de CTC. Na terceira amostragem, 24 meses após a reaplicação dos corretivos houve diferença significativa nos valores de CTC em todas as camadas avaliadas, sendo as maiores diferenças observadas no tratamento testemunha que apresentaram maiores valores de CTC. Isso é justificado pelo fato do H+Al participarem do cálculo da CTC, onde esses valores foram maiores no tratamento testemunha.

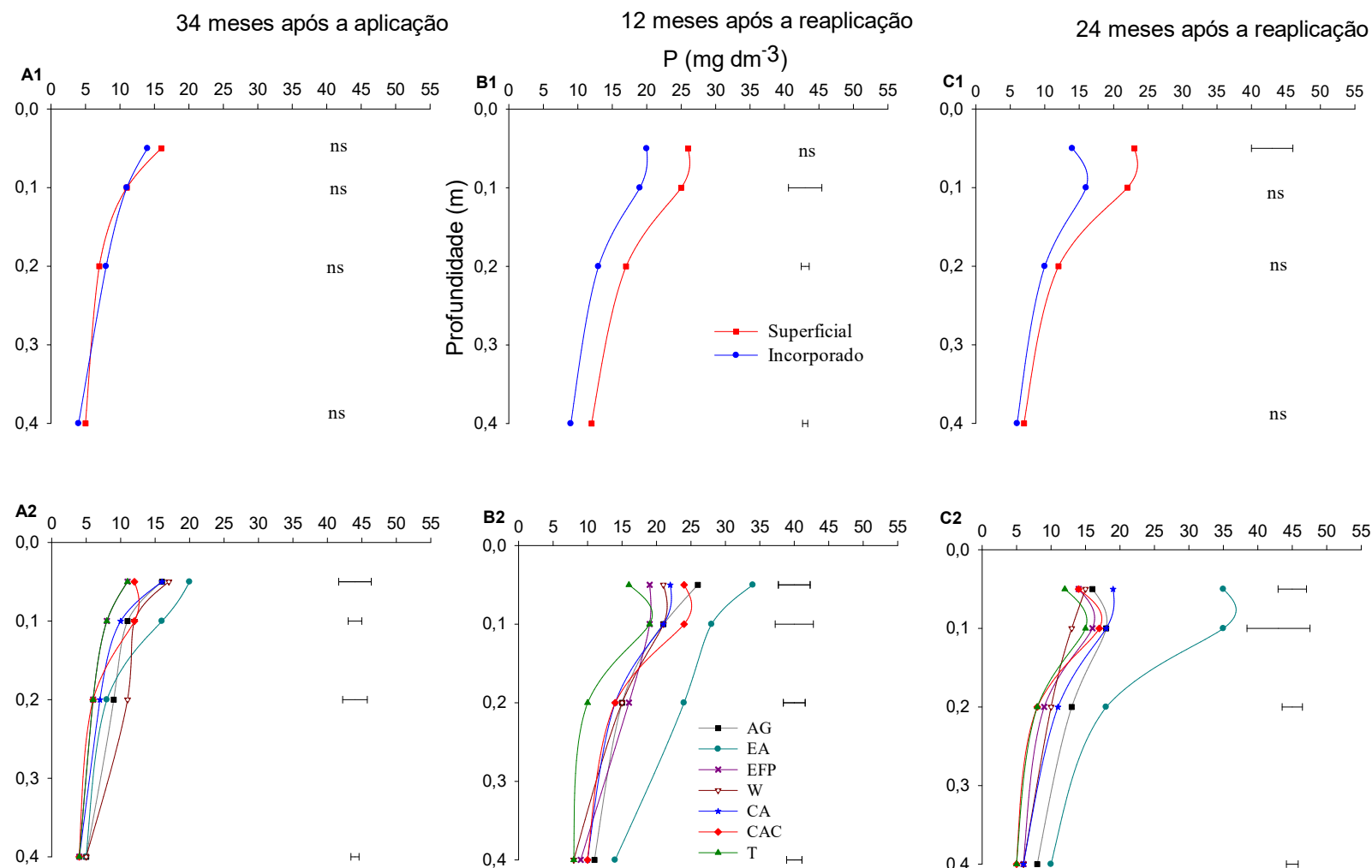
Houve interação aplicação x corretivos para CTC na camada 0,0-0,05 m em 34 meses após a aplicação dos corretivos (Tabela 12). A CTC da aplicação superficial de EFP, W e CA foi superior aos tratamentos com aplicação incorporada. Já em 24 meses após a reaplicação dos corretivos, na camada 0,0-0,05 m de profundidade a aplicação superficial de AG e CA proporcionaram maiores valores da CTC e na camada de 0,05-0,10 m o AG, EA e CA.

Figura 7- Valores de MO em função do modo de aplicação (A1, B1, C1) e diferentes tipos de corretivos (A2, B2, C2) em diferentes épocas



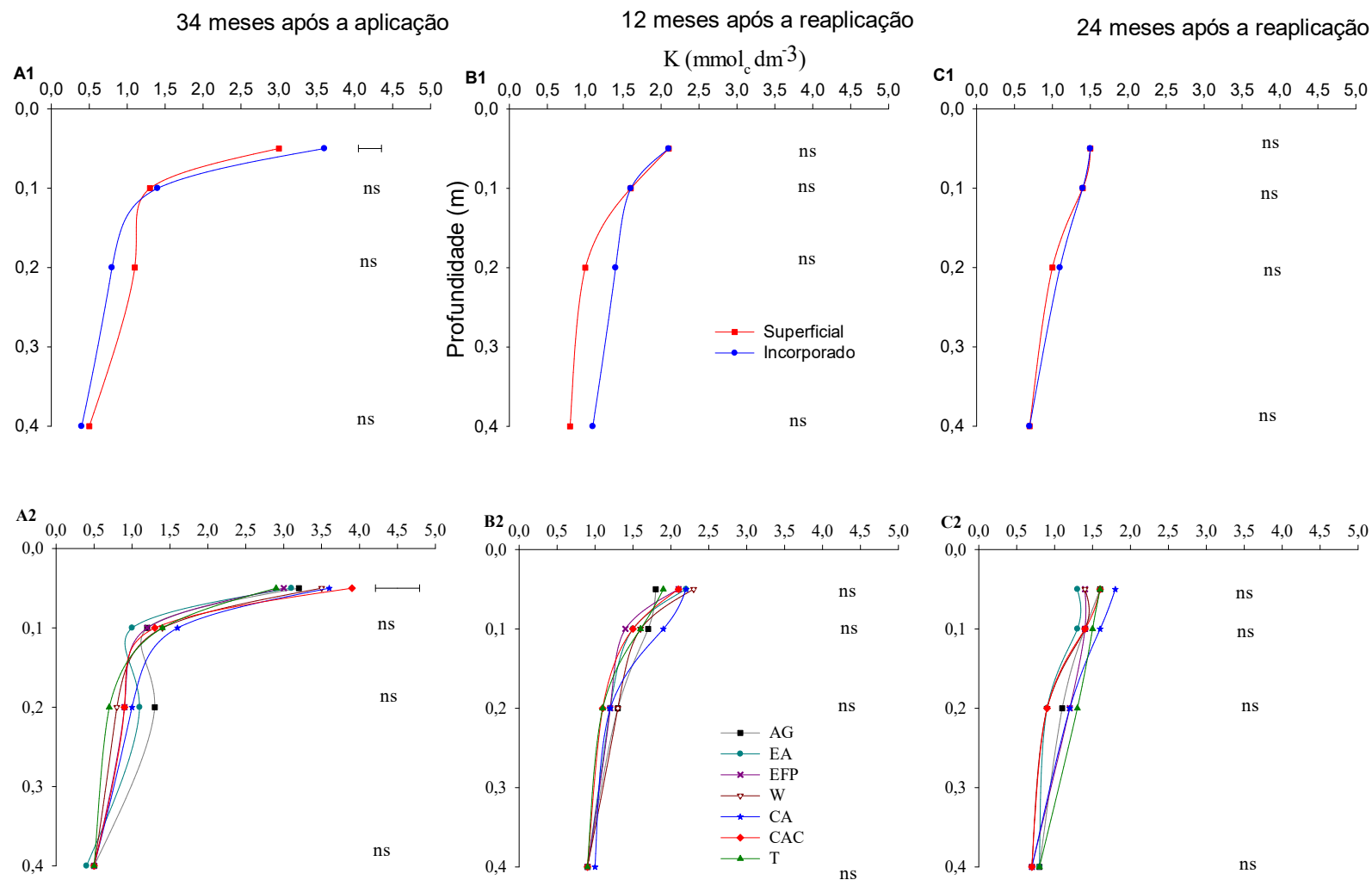
AG= agrosilício®, EA= escória de aciaria, EFP= escória de forno de panela, W= wollastonita, CA= calcário agrícola, CAC= calcário agrícola calcinado e T= testemunha. ns – não significativo. Barras horizontais referem-se a Diferença Mínima Significativa - DMS pelo teste T a 5%.

Figura 8 - Valores de P em função do modo de aplicação (A1, B1, C1) e diferentes tipos de corretivos (A2, B2, C2) em diferentes épocas



AG= agrosilício®, EA= escória de aciaria, EFP= escória de forno de panela, W= wollastonita, CA= calcário agrícola, CAC= calcário agrícola calcinado e T= testemunha. ns – não significativo. Barras horizontais referem-se a Diferença Mínima Significativa - DMS pelo teste T a 5%.

Figura 9 - Valores de K em função do modo de aplicação (A1, B1, C1) e diferentes tipos de corretivos (A2, B2, C2) em diferentes épocas



AG= agrosilício®, EA= escória de aciaria, EFP= escória de forno de panela, W= wollastonita, CA= calcário agrícola, CAC= calcário agrícola calcinado e T= testemunha. ns – não significativo. Barras horizontais referem-se a Diferença Mínima Significativa - DMS pelo teste T a 5%.

Tabela 12 - Desdobramento da interação aplicação x corretivos para CTC

Corretivos	CTC (mmol _c dm ⁻³)					
	0,0-0,05 m		0,0-0,05 m		0,05-0,10 m	
	(34 meses)		(24 meses)		(24 meses)	
	----- Aplicação -----					
	I	S	I	S	I	S
AG	112 aA	109 aC	98 bBC	166 aA	95 bB	136 aAB
EA	104 aA	133 aAB	124 aAB	152 aA	100 bB	129 aAB
EFP	98 bA	118 aBC	102 aBC	117 aBC	100 aB	101 aCD
W	99 bA	138 aA	91 aC	106 aC	93 aB	93 aD
CA	100 aA	111 aC	101 bBC	138 aAB	85 bB	122 aBC
CAC	104 aA	105 aC	97 aBC	97 aC	86 aB	98 aD
T	105 aA	116 aC	143 aA	137 aAB	130 aA	145 aA

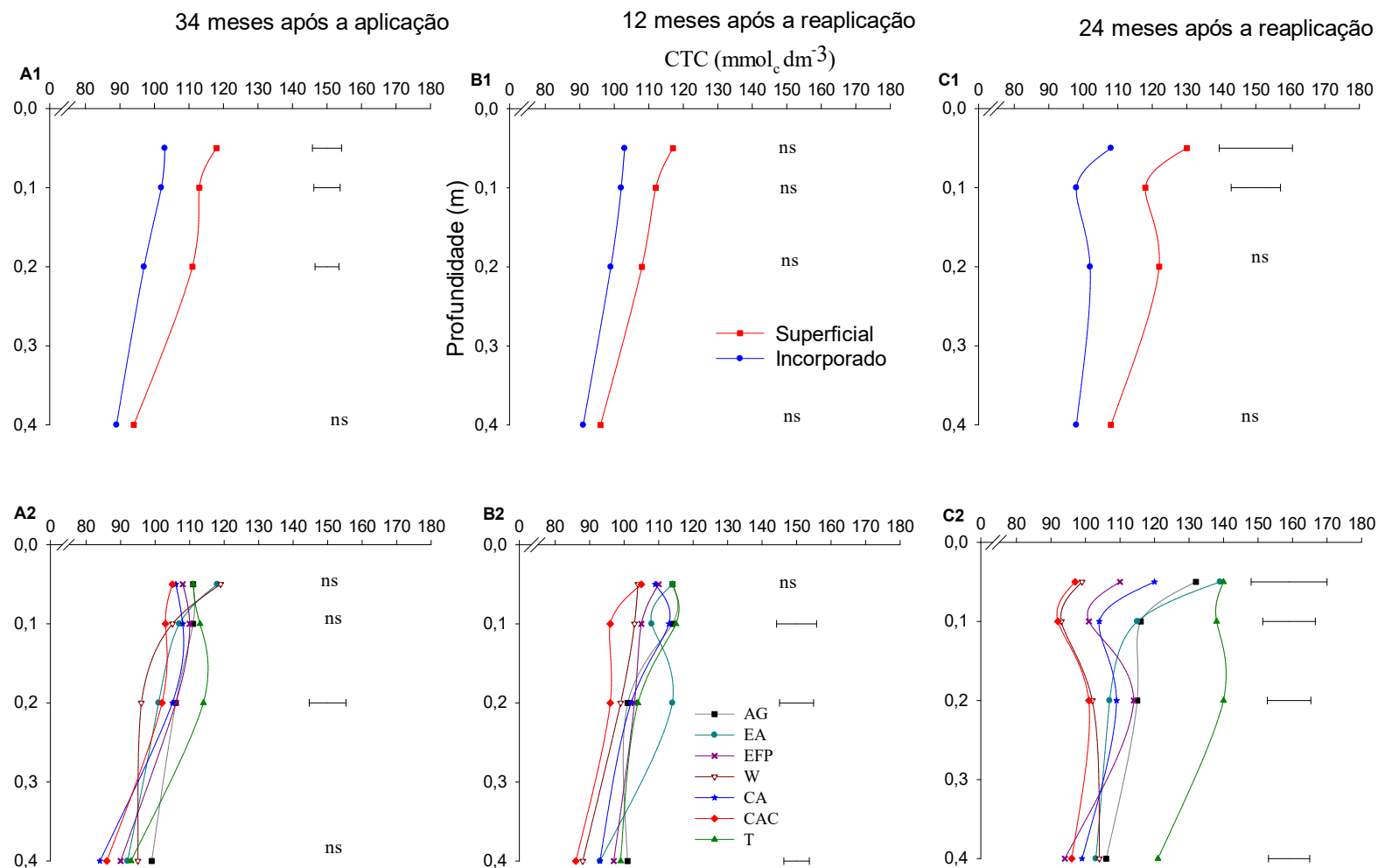
AG= agrosilício®, EA= escória de aciaria, EFP= escória de forno de panela, W= wollastonita, CA= calcário agrícola, CAC= calcário agrícola calcinado e T= testemunha. Letras minúsculas nas linhas correspondem às comparações entre o modo de aplicação (Superficial – S) e (Incorporado – I) para o mesmo corretivo e letras maiúsculas nas colunas correspondem a comparação entre corretivos pelo teste T $p > 0,05$.

O modo de aplicação dos corretivos alterou os teores dos micronutrientes do solo (Figuras 11, 12, 13, 14 e 15). Quando houve diferença significativa na camada 0,0-0,05 m, os teores de B, Cu e Mn foram maiores quando a aplicação foi incorporada. Para as demais camadas, quando houve diferença significativa, os maiores teores foram observados nos tratamentos com aplicação superficial.

Com relação aos corretivos, de modo geral, os teores de B, Cu, Fe, Mn e Zn foram maiores no tratamento testemunha, onde não houve alteração do pH do solo, permanecendo em torno de 3,8-4,2 e conseqüentemente, nessa faixa de pH, maior é a disponibilidade de micronutrientes. A maior disponibilidade dos micronutrientes também foi observada nos tratamentos com AG, EA e EFP por apresentarem micronutrientes em sua composição, tornando-os disponíveis quando aplicados ao solo.

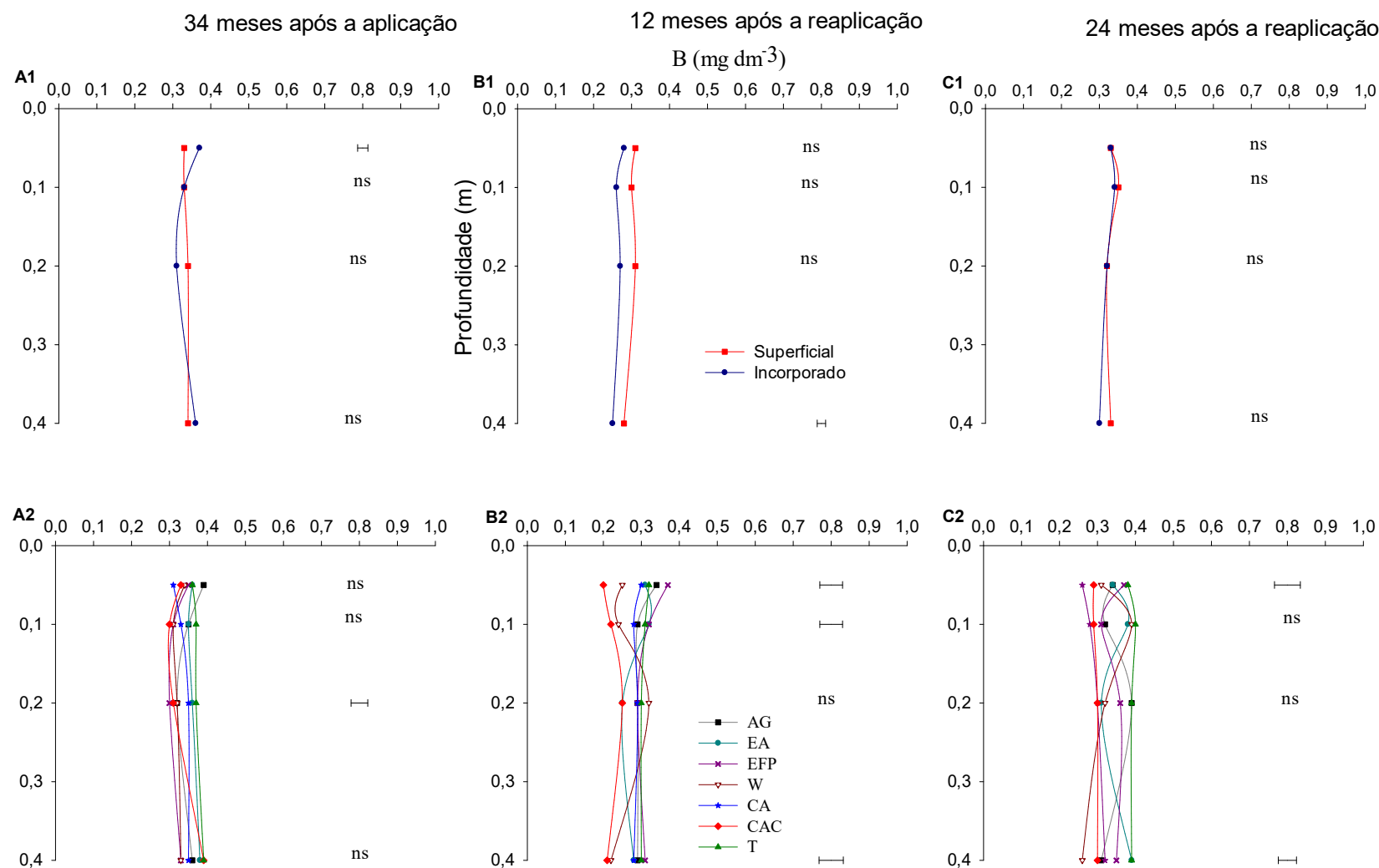
Prado et al. (2001), aplicando quatro doses crescentes de escória em pré-plantio de cana-de-açúcar, observaram que a aplicação da escória de siderurgia promoveu efeito residual favorável na disponibilidade de Fe, Cu e Zn disponível no solo. Da mesma forma, Prado et al (2002) verificaram aumento na disponibilidade de B, Cu, Mn e Zn em função de diferentes doses de escória de aciaria em um Argissolo Vermelho-Amarelo.

Figura 10 - Valores de CTC em função do modo de aplicação (A1, B1, C1) e diferentes tipos de corretivos (A2, B2, C2) em diferentes épocas



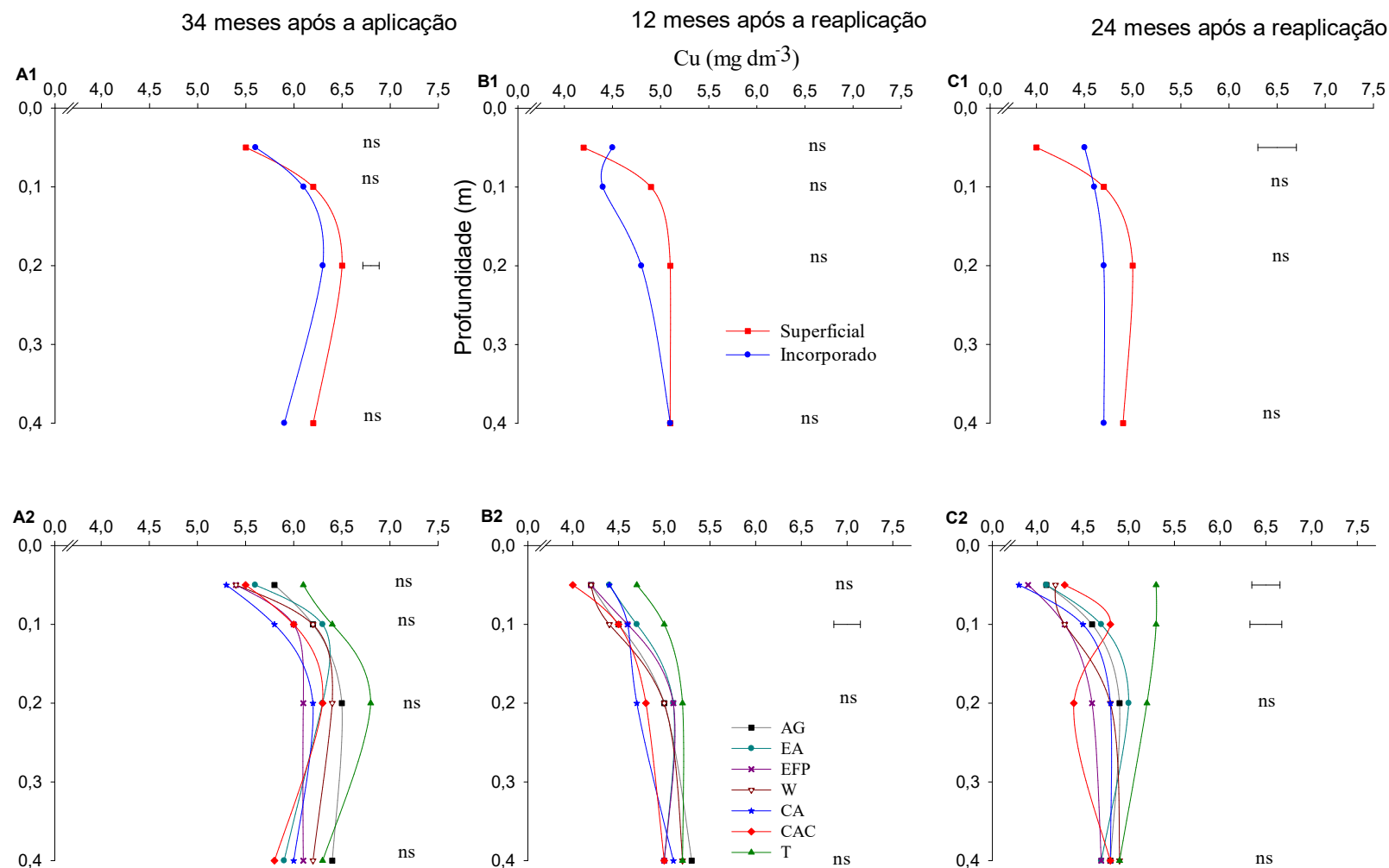
AG= agrosilício®, EA= escória de aciaria, EFP= escória de forno de panela, W= wollastonita, CA= calcário agrícola, CAC= calcário agrícola calcinado e T= testemunha. ns – não significativo. Barras horizontais referem-se a Diferença Mínima Significativa - DMS pelo teste T a 5%.

Figura 11 - Valores de B em função do modo de aplicação (A1, B1, C1) e diferentes tipos de corretivos (A2, B2, C2) em diferentes épocas



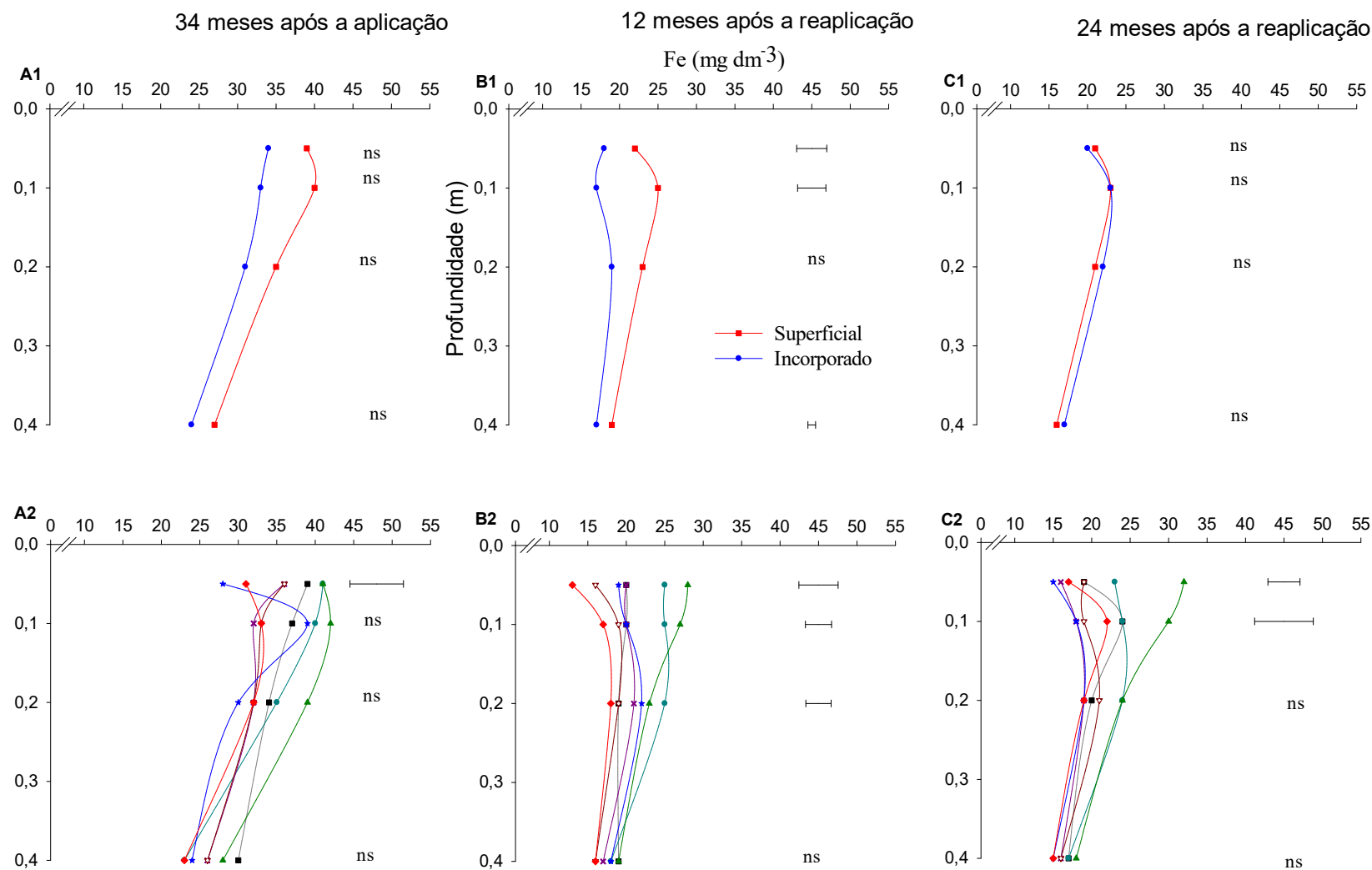
AG= agrosilício®, EA= escória de aciaria, EFP= escória de forno de panela, W= wollastonita, CA= calcário agrícola, CAC= calcário agrícola calcinado e T= testemunha. ns – não significativo. Barras horizontais referem-se a Diferença Mínima Significativa - DMS pelo teste T a 5%.

Figura 12 - Valores de Cu em função do modo de aplicação (A1, B1, C1) e diferentes tipos de corretivos (A2, B2, C2) em diferentes épocas



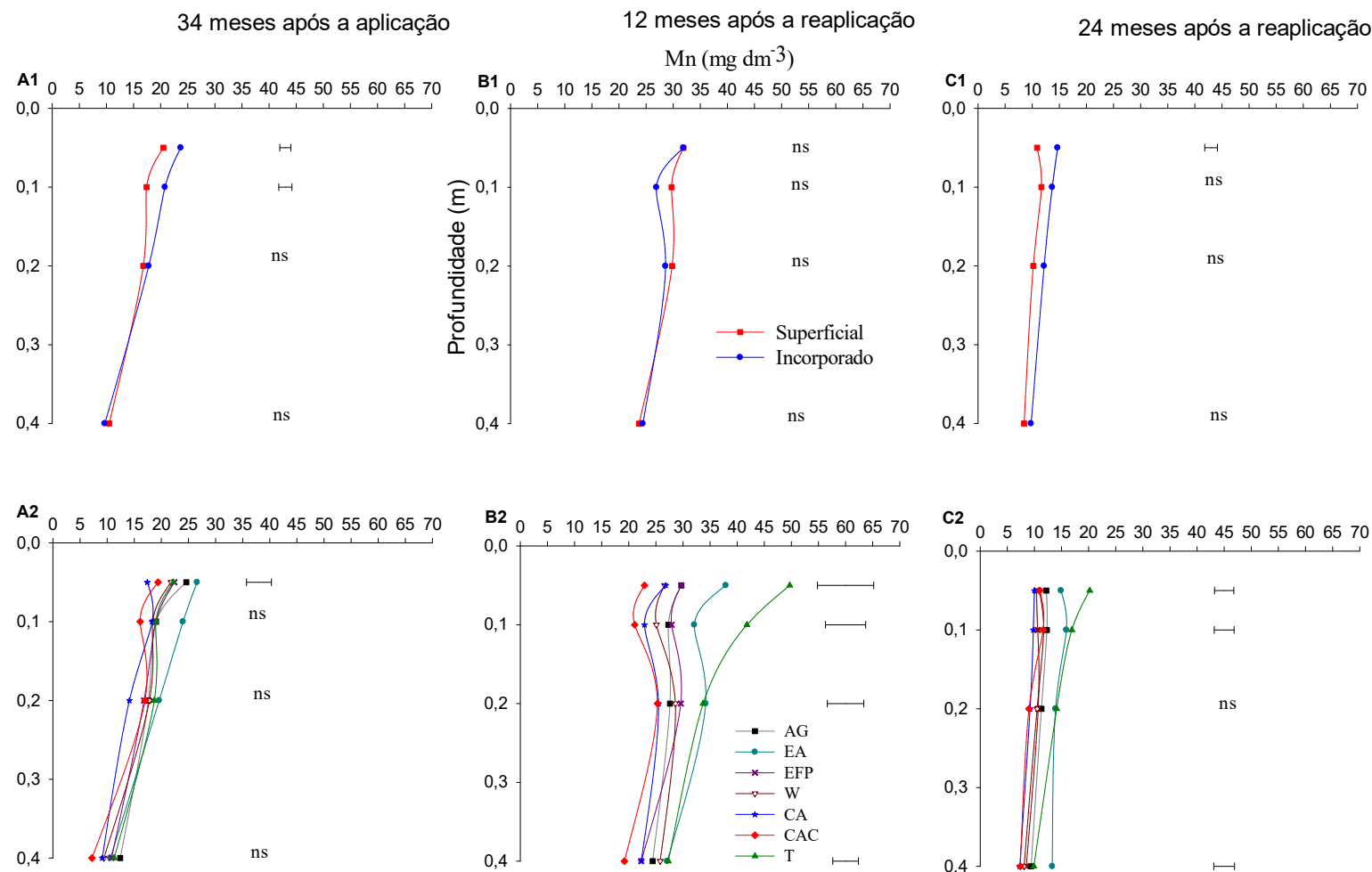
AG= agrosilício®, EA= escória de aciaria, EFP= escória de forno de panela, W= wollastonita, CA= calcário agrícola, CAC= calcário agrícola calcinado e T= testemunha. ns – não significativo. Barras horizontais referem-se a Diferença Mínima Significativa - DMS pelo teste T a 5%

Figura 13 - Valores de Fe em função do modo de aplicação (A1, B1, C1) e diferentes tipos de corretivos (A2, B2, C2) em diferentes épocas



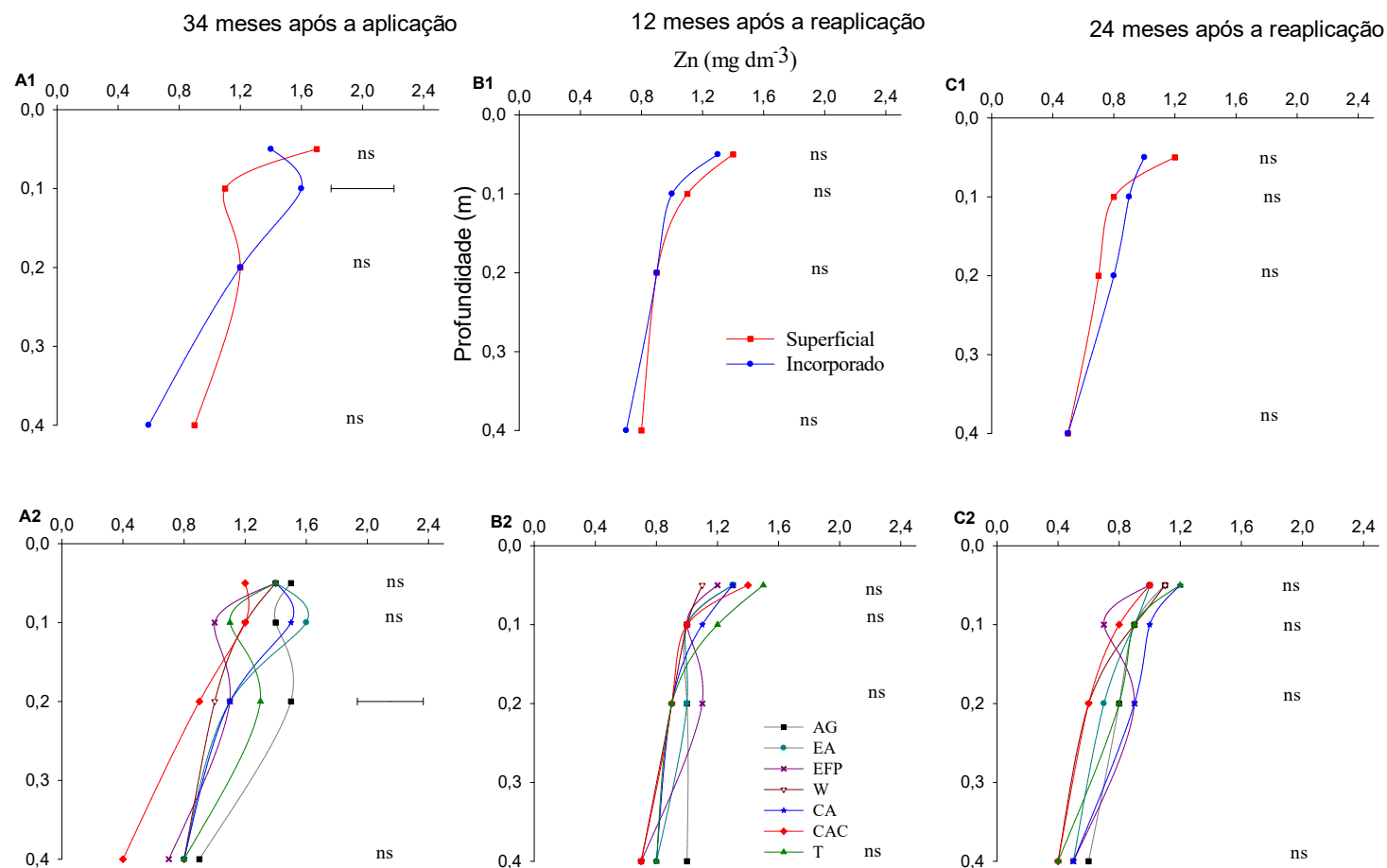
AG= agrosilício®, EA= escória de aciaria, EFP= escória de forno de panela, W= wollastonita, CA= calcário agrícola, CAC= calcário agrícola calcinado e T= testemunha. ns – não significativo. Barras horizontais referem-se a Diferença Mínima Significativa - DMS pelo teste T a 5%.

Figura 14 - Valores de Mn em função do modo de aplicação (A1, B1, C1) e diferentes tipos de corretivos (A2, B2, C2) em diferentes épocas



AG= agrosilício®, EA= escória de aciaria, EFP= escória de forno de panela, W= wollastonita, CA= calcário agrícola, CAC= calcário agrícola calcinado e T= testemunha. ns – não significativo. Barras horizontais referem-se a Diferença Mínima Significativa - DMS pelo teste T a 5%.

Figura 15 - Valores de Zn em função do modo de aplicação (A1, B1, C1) e diferentes tipos de corretivos (A2, B2, C2) em diferentes épocas



AG= agrosilício®, EA= escória de aciaria, EFP= escória de forno de panela, W= wollastonita, CA= calcário agrícola, CAC= calcário agrícola calcinado e T= testemunha. ns – não significativo. Barras horizontais referem-se a Diferença Mínima Significativa - DMS pelo teste T a 5%.

Para o Si, em 34 meses após a aplicação dos corretivos, o modo de aplicação superficial foi maior na camada de 0-0,05 m de profundidade, enquanto que, nas camadas de 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m foram maiores com a aplicação incorporada. Após 12 e 24 meses da reaplicação dos corretivos, a diferença foi observada apenas na camada mais superficial (0-0,05 m) com maiores valores para a aplicação superficial (Figura 16).

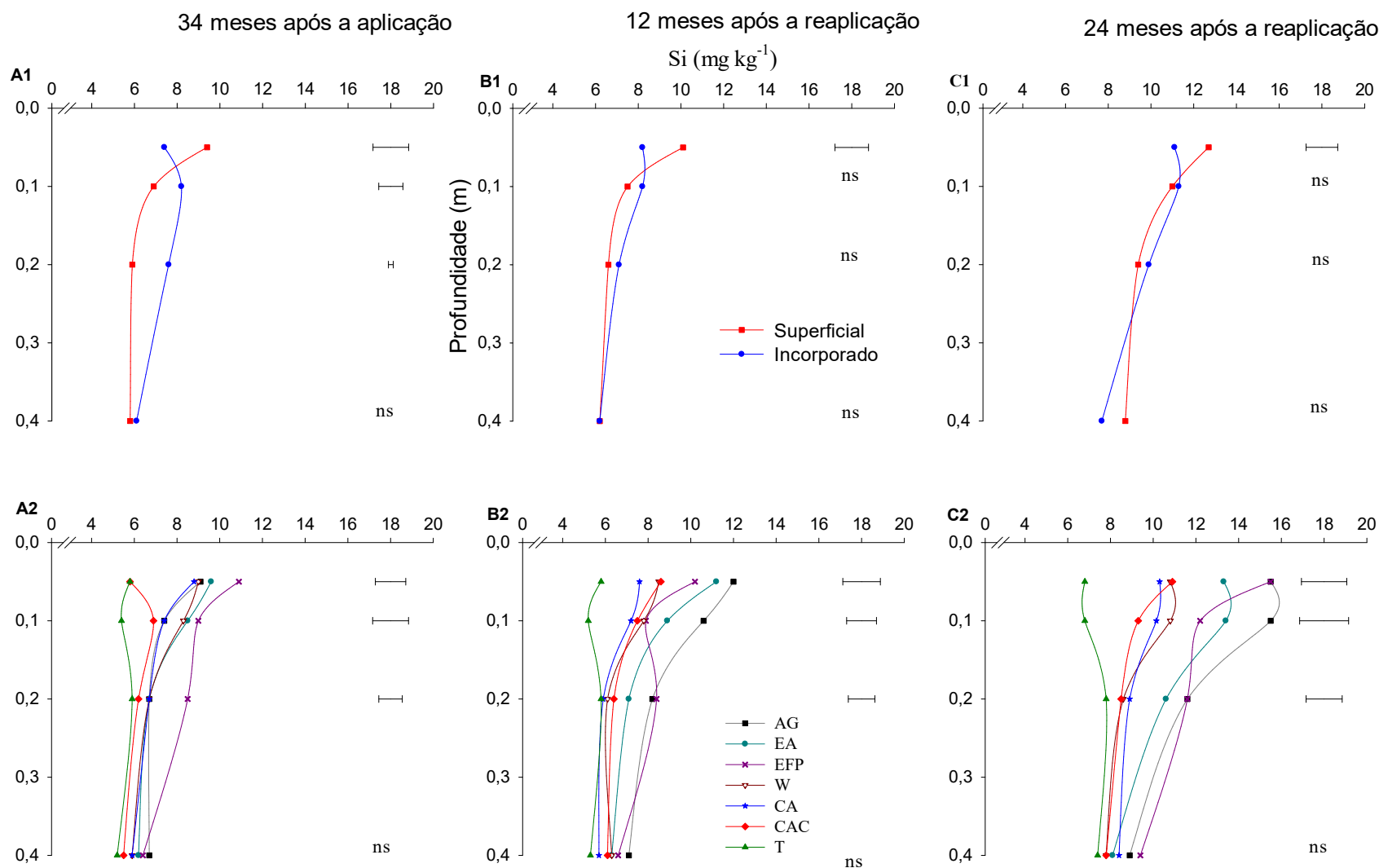
Quanto às fontes de material corretivo analisadas, em 34 meses após a aplicação dos corretivos, foi possível observar maior disponibilidade de Si no solo para todas as fontes de silicatos e CA até 0,10 m e para EFP até a camada 0,10-0,2 m de profundidade. Após 12 e 24 meses da reaplicação dos corretivos, o AG, EA e EFP foram capazes de elevar os teores de Si no solo, quando comparado aos demais corretivos até a profundidade de 0,20 m (Figura 16).

Muitos trabalhos mostram que há grande variação na composição e disponibilidade de Si nas escórias. Takahashi (1981) mostrou que a disponibilidade de Si era maior em escórias com lento resfriamento ao ar, em relação àquelas resfriadas em água. Constatou também que, a disponibilidade de Si aumentou com a redução no tamanho das partículas. No entanto, para este trabalho o mesmo não foi observado, pois dentre os materiais corretivos utilizados, a wollastonita apresenta menor granulometria e isso não refletiu na maior disponibilidade de Si no solo.

O aumento observado da concentração de Si disponível no solo devido à aplicação do calcário, provavelmente ocorreu em decorrência da elevação do pH. O aumento nos teores de Si com a aplicação do calcário pode ser atribuído ao aumento do pH, reduzindo assim, a capacidade dos sítios de adsorção de silício no solo e aumentando a sua concentração na solução e, ou devido à solubilização de compostos de sílica com o aumento do pH (PULZ et al., 2008).

Em estudo conduzido por OLIVEIRA et al. (2007) para avaliar o acúmulo de Si em arroz em diferentes condições de pH da rizosfera, verificaram que quanto maior foi o pH obtido, maior foi a disponibilidade do Si no solo e maior o seu teor na planta de arroz. Da mesma forma, Camargo et al. (2007) verificaram maior disponibilidade de silício no solo, após a aplicação de doses de calcário, em solos com textura variando de média a arenosa e atribuiu este comportamento à menor adsorção de Si na superfície do solo, por efeito do aumento do pH.

Figura 16 - Valores de Si em função do modo de aplicação (A1, B1, C1) e diferentes tipos de corretivos (A2, B2, C2) em diferentes épocas



AG= agrosilício®, EA= escória de aciaria, EFP= escória de forno de panela, W= wollastonita, CA= calcário agrícola, CAC= calcário agrícola calcinado e T= testemunha. ns – não significativo. Barras horizontais referem-se a Diferença Mínima Significativa - DMS pelo teste T a 5%.

4.2 Metais pesados no solo

No presente estudo não foram avaliados os teores de metais pesados no solo devido os teores de metais pesados tóxicos encontrados nos materiais corretivos (Tabela 4) estarem abaixo dos limites máximos admitidos em corretivos de acidez (BRASIL, 2016). Além disso, neste presente trabalho, Deus (2014) avaliou os teores de metais pesados no solo e verificou que os valores encontrados estavam muito abaixo do limite dos valores de referência de qualidade estabelecidos pela CETESB (2016) não havendo portanto, problemas de contaminação do solo após a aplicação dos corretivos.

Como os corretivos utilizados na reaplicação foram do mesmo lote da aplicação, exceto para o CA e as doses utilizadas na reaplicação foram menores que na aplicação, ou seja foi adicionado uma menor quantidade de metal pesado no solo, não houve portanto, a necessidade de avaliação no momento. No entanto, vale destacar a importância do monitoramento dos teores de metais pesados disponíveis no solo após sucessivas aplicações no solo, em função da dose dos corretivos e quantidade de metais pesados presentes na composição da escória aplicada no solo.

Sabe-se ainda que nem todo metal pesado adicionado ao solo estará disponível para absorção das plantas devido estes elementos apresentaram elevada afinidade com os colóides do solo e serem adsorvidos através de ligações covalentes, em razão da presença de cargas negativas do solo (MARQUES et al., 2001; BORGES & COUTINHO, 2004).

Vários trabalhos demonstram que a aplicação de escórias não elevaram os teores de metais pesados no solo a níveis significativos. Sobral et al. (2011) estudando o efeito da aplicação de escória de aciaria verificaram que não houve problemas de poluição ambiental, considerando-se que não foi detectada a presença de metais pesados Cd, Pb e Ni no solo e planta. Prezotti & Martins (2012) verificaram que mesmo em doses elevadas de escória de aciaria, com 40 t ha⁻¹ não foi observado elevação importante dos teores disponíveis de Cd, Ni e Pb no solo. Corrêa et al. (2008) avaliando a aplicação superficial de escória de aciaria em Latossolo Vermelho distrófico, até a dose de 8 t ha⁻¹, verificaram que não houve aumento na disponibilidade dos metais pesados Cd, Cr, Hg, Pb, Ni e As no solo.

4.3 Diagnóstico foliar, componentes de produção e produtividade da cultura da soja (safras 2013/14 e 2014/15)

Na safra 2013/14 em função do modo de aplicação dos corretivos, houve diferença apenas nos teores foliares de Ca, sendo maiores no tratamento com aplicação incorporada. Esse fato pode ser explicado pela maior disponibilidade de Ca em maiores profundidades, promovida pela incorporação dos corretivos, favorecendo maior absorção pelo sistema radicular da soja (Tabela 13).

Em relação aos tipos de corretivos aplicados, na safra de 2013/14 houve diferença nos teores foliares de K e Ca. Quanto ao K, o CA foi superior aos tratamentos AG, EFP e T e semelhante ao CAC, W e EA. Com relação aos teores de Ca, os tratamentos com aplicação de W e AG foram superiores ao CA e CAC e semelhantes a EA e EFP (Tabela 13).

Tabela 13 - Teores médios foliares de N, P, K, Ca, Mg e Si em soja, safra 2013/14 em função da aplicação incorporada e superficial de materiais corretivos da acidez do solo

Aplicação (A)	N	P	K	Ca	Mg	Si
	-----g kg ⁻¹ -----					
Incorporada	49	3,0	23	7,9 a	4,1	2,4
Superfície	50	3,1	24	7,2 b	4,1	2,8
F	0,34 ^{ns}	1,07 ^{ns}	1,44 ^{ns}	10,93*	0,021 ^{ns}	3,65 ^{ns}
Corretivos (C)	-----g kg ⁻¹ -----					
AG	51	3,2	23 b	8,0 ab	4,1	2,3
EA	50	3,0	24 ab	7,9 abc	3,9	2,6
EFP	50	3,0	23 b	7,9 abc	4,2	3,0
W	51	3,0	24 ab	8,5 a	3,8	3,0
CAC	49	2,9	24 ab	7,2 c	4,5	2,5
CA	49	3,3	25 a	7,2 c	4,0	2,3
T	49	2,9	23 b	6,5 d	3,9	2,2
F	1,54 ^{ns}	1,99 ^{ns}	2,99*	6,94**	0,83 ^{ns}	2,22 ^{ns}
Interação AxC	1,48 ^{ns}	2,11 ^{ns}	2,33 ^{ns}	1,61 ^{ns}	1,20 ^{ns}	0,43 ^{ns}
CVparcela (%)	10,95	20,84	15,34	10,11	20,65	31,10
CVsubparcela (%)	4,14	9,50	6,63	9,17	10,19	26,05

AG= agrosilício, EA= escória de aciaria, EFP= escória forno de panela, W= wollastonita, CAC= calcário agrícola calcinado, CA= calcário agrícola e T= testemunha. Médias seguidas por letras distintas dentro das colunas diferem entre si, pelo teste T ao nível de 5% (*) e 1% (**) de probabilidade. ns- não significativo.

Na safra 2014/15 houve diferença nos teores foliares de Ca em função do modo de aplicação dos corretivos, sendo maior no tratamento com aplicação superficial, diferindo do ocorrido na safra anterior (Tabela 14). Essa inversão de resultados ocorreu devido o segundo cultivo da soja ser após 12 meses da reaplicação dos

corretivos e o Ca que estava na superfície foi carreado para maiores profundidades (Figura 5), favorecendo maior absorção pelo sistema radicular da soja.

Com relação aos corretivos houve diferença nos teores foliares de Mg. Observa-se que a W foi inferior aos demais corretivos, com teores semelhantes ao tratamento T (Tabela 14). Este fato é explicado pela menor contribuição da W no fornecimento de Mg ao solo (Figura 5).

Para os teores foliares de Si, os tratamentos com aplicação de AG e EA foram superiores ao CA, CAC e T e semelhantes a EFP e W.

Os teores foliares de N, P, K, Ca e Mg mantiveram-se nas 2 safras avaliadas, dentro da faixa considerada adequada para a soja, que conforme Ambrosano et al. (1997), dever ser de 40 a 54 g kg⁻¹ de N, 2,5 a 5,0 g kg⁻¹ de P, 17 a 25 g kg⁻¹ de K, 4 a 20 g kg⁻¹ de Ca e 3 a 10 g kg⁻¹ de Mg.

Tabela 14 - Teores médios foliares de N, P, K, Ca, Mg e Si em soja, safra 2014/15 em função da aplicação incorporada e superficial de materiais corretivos da acidez do solo

Aplicação (A)	N	P	K	Ca	Mg	Si
	-----g kg ⁻¹ -----					
Incorporada	46	2,8	21	11,7 b	4,4	4,9
Superfície	46	2,7	21	12,6 a	4,4	4,9
F	1,12 ^{ns}	1,73 ^{ns}	0,06 ^{ns}	43,6**	0,00 ^{ns}	0,02 ^{ns}
Corretivos (C)	-----g kg ⁻¹ -----					
AG	47	2,7	21	12,6	4,6 a	5,5 a
EA	49	2,9	21	11,8	4,5 a	5,4 a
EFP	46	2,2	21	12,7	4,6 a	5,1 ab
W	45	2,6	21	13,0	4,0 b	5,1 ab
CAC	45	2,7	22	11,7	4,7 a	4,5 b
CA	46	2,7	21	12,2	4,7 a	4,4 b
T	45	2,7	23	11,2	4,0 b	4,5 b
F	1,13 ^{ns}	1,18 ^{ns}	0,53 ^{ns}	1,75 ^{ns}	3,69**	3,10*
Interação Ax C	1,26 ^{ns}	0,71 ^{ns}	0,51 ^{ns}	0,58 ^{ns}	0,42 ^{ns}	1,41 ^{ns}
CVparcela (%)	1,91	10,26	15,12	4,15	17,42	23,59
CVsubparcela (%)	8,37	10,99	14,15	10,93	10,15	14,61

AG= agrosilício, EA= escória de aciaria, EFP= escória forno de panela, W= wollastonita, CAC= calcário agrícola calcinado, CA= calcário agrícola e T= testemunha. Médias seguidas por letras distintas dentro das colunas diferem entre si, pelo teste T ao nível de 5% (*) e 1% (**) de probabilidade. ns- não significativo.

Em função do modo de aplicação dos corretivos, a aplicação superficial promoveu maiores teores de Mn nas 2 safras avaliadas. Já para os teores foliares de Cu e Fe, estes foram superiores com a incorporação dos corretivos na safra de 2013/14 (Tabela 15).

Com relação aos corretivos, os teores foliares de Cu diferiram apenas na safra de 2013/14 com maiores teores nos tratamentos com aplicação de AG e CA (Tabela 15).

Os teores de Mn diferiram em função dos tipos de corretivos aplicados nas 2 safras avaliadas. Na safra de 2013/14 os tratamentos AG, EFP e W foram semelhantes a T e na safra 2014/15 o tratamento T foi superior a todos corretivos.

Os teores foliares de Zn diferiram nas 2 safras avaliadas. Na safra de 2013/14 houve diferença entre o tratamento T e os tratamentos com aplicação de CAC e EA. Na safra de 2014/15 o tratamento T diferiu dos tratamentos com aplicação de CAC, CA e AG. Para essas diferenças, os maiores teores foliares de Zn foram observados no tratamento T nas 2 safras avaliadas (Tabelas 15 e 16).

Os teores de B, Cu, Fe, Mn e Zn ficaram na faixa considerada adequada para o desenvolvimento da cultura da soja nas 2 safras avaliadas, exceto para o Mn, que ficaram na faixa considerada alta para todos os corretivos. Conforme Ambrosano et al. (1997), os teores adequados dever ser 21 a 55 mg kg⁻¹ de B, 10 a 30 mg kg⁻¹ de Cu, 50-350 mg kg⁻¹ de Fe, 20 a 100 mg kg⁻¹ de Mn e 20 a 50 mg kg⁻¹ de Zn.

Tabela 15 - Teores médios foliares de B, Cu, Fe, Mn e Zn na soja, safra 2013/14 em função da aplicação incorporada e superficial de materiais corretivos da acidez do solo

Aplicação (A)	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	-----mg kg ⁻¹ -----				
Incorporada	50	12 a	253 a	106 b	48
Superfície	52	11 b	205 b	190 a	47
F	0,39 ^{ns}	10,80*	26,94*	116,51*	1,95 ^{ns}
Corretivos (C)	-----mg kg ⁻¹ -----				
AG	52	12 a	223	145 ab	48 abc
EA	49	11 b	197	166 b	46 bc
EFP	54	11 b	270	126 ab	49 ab
W	51	11 b	243	143 ab	48 abc
CAC	51	11 b	219	118 c	44 c
CA	52	12 a	216	110 c	47 abc
T	49	11 b	233	225 a	51 a
F	1,53 ^{ns}	2,83*	0,44 ^{ns}	6,31*	2,47*
Interação AxC	1,77 ^{ns}	5,00**	1,32 ^{ns}	1,58 ^{ns}	0,57 ^{ns}
CVparcela (%)	15,84	12,93	15,19	19,78	7,62
CVsubparcela (%)	8,55	8,89	42,99	29,54	8,16

AG= agrosilício, EA= escória de aciaria, EFP= escória forno de panela, W= wollastonita, CAC= calcário agrícola calcinado, CA= calcário agrícola e T= testemunha. Médias seguidas por letras distintas dentro das colunas diferem entre si, pelo teste T ao nível de 5% (*) e 1% (**) de probabilidade. ns- não significativo.

Tabela 16 - Teores médios foliares de B, Cu, Fe, Mn e Zn na soja, safra 2014/15 em função da aplicação incorporada e superficial de materiais corretivos da acidez do solo

Aplicação (A)	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	-----mg kg ⁻¹ -----				
Incorporada	32	10	125	118 b	40
Superfície	35	10	129	160 a	41
F	4,44 ^{ns}	2,25 ^{ns}	0,25 ^{ns}	21,58 [*]	0,49 ^{ns}
Corretivos (C)	-----mg kg ⁻¹ -----				
AG	35	10	135	133 b	37 b
EA	35	11	131	147 b	42 ab
EFP	34	10	123	129 b	40 ab
W	32	10	125	112 b	40 ab
CAC	34	11	119	123 b	38 b
CA	35	10	126	130 b	38 b
T	33	10	132	200 a	47 a
F	0,83 ^{ns}	1,86 ^{ns}	0,40 ^{ns}	4,62 [*]	3,24 [*]
Interação AxC	0,69 ^{ns}	0,85 ^{ns}	1,52 ^{ns}	3,39 ^{**}	0,71 ^{ns}
CVparcela (%)	15,11	13,51	22,64	23,95	11,80
CVsubparcela (%)	8,93	16,31	19,00	27,16	14,23

AG= agrosilício, EA= escória de aciaria, EFP= escória forno de panela, W= wollastonita, CAC= calcário agrícola calcinado, CA= calcário agrícola e T= testemunha. Médias seguidas por letras distintas dentro das colunas diferem entre si, pelo teste T ao nível de 5% (*) e 1% (**) de probabilidade. ns- não significativo.

Em função do modo de aplicação dos corretivos, houve diferença apenas no número de plantas por ha na safra de 2013/14, sendo a aplicação incorporada superior a aplicação superficial.

Com relação aos corretivos, na safra 2013/14 houve diferença para massa de 100 grãos e produtividade (Tabela 17). Os tratamentos CAC e T obtiveram menor massa de 100 grãos quando comparado aos tratamentos EA, EFP e W e foram semelhantes ao AG e CA. Já na produtividade, a EA e EFP foram superiores aos tratamentos W e T e semelhantes ao AG, CAC e CA.

Vale destacar ainda que, independentemente da aplicação dos corretivos, houve redução considerável da produtividade de grãos, que ocorreu irrefutavelmente devido ao déficit hídrico ocorrido durante o desenvolvimento da cultura (Figura 1).

Tabela 17 - Componentes de produção e produtividade média de grãos de soja safra 2013/14 em função da aplicação incorporada e superficial de materiais corretivos da acidez do solo.

Tratamentos	Nº plantas ha ⁻¹	Nº vagens/ planta	Nº grãos/ vagem	Massa 100 grãos (g)	Produtividade (kg ha)
Aplicação (A)					
Incorporada	264285 a	35	2	21,2	2,4
Superfície	237037 b	38	2	21,2	2,3
F	11,74*	0,98 ^{ns}	3,00 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,64 ^{ns}
Corretivos (C)					
AG	253240	36	2	21,3 abc	2.454 ab
EA	247119	43	2	21,4 a	2.568 a
EFP	247685	33	2	21,5 a	2.527 a
W	247685	34	2	21,8 a	2.247 bc
CAC	270370	37	2	20,7 bc	2.380 abc
CA	253703	37	2	21,2 abc	2.418 abc
T	241203	35	2	20,5 c	2.185 c
F	0,90 ^{ns}	1,78 ^{ns}	0,78 ^{ns}	2,69*	2,51*
Interação Ax C	1,49 ^{ns}	1,74 ^{ns}	0,78 ^{ns}	1,84 ^{ns}	0,94 ^{ns}
CVparcela (%)	11,87	28,70	7,58	9,71	14,25
CVsubparcela (%)	11,98	18,96	9,54	3,55	10,43

AG= agrosílico, EA= escória de aciaria, EFP= escória forno de panela, W= wollastonita, CAC= calcário agrícola calcinado, CA= calcário agrícola e T= testemunha. Médias seguidas por letras distintas dentro das colunas diferem entre si, pelo teste T ao nível de 5% (*) e 1% (**) de probabilidade. ns- não significativo.

Na safra 2014/15 houve diferença em função dos corretivos aplicados no número de plantas por ha, número de vagens por planta, massa de 100 grãos e produtividade (Tabela 18). No número de plantas por ha e massa de 100 grãos não houve diferença entre os corretivos aplicados. No número de vagens por planta, os tratamentos AG e CAC foram superiores ao CA e semelhantes a EA, EFP e W. Na produtividade o AG e EA foram superiores ao CA e semelhantes a EFP, W e CAC. Com a aplicação do AG houve um incremento de aproximadamente 13 sacas de soja/ha quando comparado ao CA.

Tabela 18 - Componentes de produção e produtividade média de grãos de soja safra 2014/15 em função da aplicação incorporada e superficial de materiais corretivos da acidez do solo

Tratamentos	Nº de plantas ha	Nº vagens/planta	Nº grãos/vagem	Massa 100 grãos (g)	Produtividade (kg ha)
Aplicação (A)					
Incorporada	310714	30	2	18,5	3.747
Superfície	296031	29	2	17,9	3.566
F	1,18 ^{ns}	0,09 ^{ns}	0,05 ^{ns}	1,40 ^{ns}	0,17 ^{ns}
Corretivos (C)					
AG	320833 a	34 a	2	18,3 a	4.228 a
EA	319444 a	30 ab	2	19,7 a	4.028 a
EFP	311111 a	31 ab	2	18,1 a	3.718 ab
W	293055 ab	29 ab	2	18,2 a	3.818 ab
CAC	295833 ab	32 a	2	18,3 a	3.745 ab
CA	315277 a	26 b	2	18,3 a	3.426 b
T	268055 b	26 b	2	16,3 b	2.769 c
F	2,99*	2,59*	0,49 ^{ns}	2,75*	5,86**
Interação AxC	0,90 ^{ns}	0,67 ^{ns}	0,41 ^{ns}	0,68 ^{ns}	1,89 ^{ns}
CVparcela (%)	16,64	47,43	29,96	9,04	32,64
Cvsubparcela (%)	10,26	16,03	20,69	9,31	15,01

AG= agrosilício, EA= escória de aciaria, EFP= escória forno de panela, W= wollastonita, CAC= calcário agrícola calcinado, CA= calcário agrícola e T= testemunha. Médias seguidas por letras distintas dentro das colunas diferem entre si, pelo teste T ao nível de 5% (*) e 1% (**) de probabilidade. ns- não significativo.

4.4 Diagnóstico foliar, componentes de produção e produtividade do feijoeiro (safra 2016)

Em função do modo de aplicação dos corretivos, os teores foliares de N foram superiores nos tratamentos com aplicação incorporada. Com relação aos corretivos, não houve diferença entre eles, inclusive quando comparado ao tratamento testemunha e todos valores encontrados estão na faixa considerada adequada para o feijoeiro, ou seja, entre 30-50 g kg⁻¹ (AMBROSANO et al., 1997).

Conforme a recomendação feita por Ambrosano et al. (1997), os teores foliares de fósforo encontrados no feijoeiro para todos os tratamentos estão dentro da faixa considerada adequada (2,5-4,0 g kg⁻¹).

Não foi observado diferença nos teores foliares de K e os valores encontrados para todos os tratamentos encontram-se abaixo faixa considerada adequada, ou seja, entre 20 e 24 g kg⁻¹. Esse resultado pode ter sido decorrente da redução da disponibilidade de K proporcionada pela elevação dos teores, principalmente de Ca, afetando a absorção de potássio pelo processo de inibição competitiva.

Houve diferença nos teores foliares de Ca onde os tratamentos com aplicação de AG, EA e W promoveram maiores incrementos quando comparado aos tratamentos com aplicação de CAC e T. Somente nestes tratamentos os teores foliares de Ca se mantiveram dentro da faixa considerada adequada para o feijoeiro, entre 10-25 g kg⁻¹ (AMBROSANO et al., 1997).

Não foi observado diferença nos teores foliares de Mg e os valores observados encontram-se dentro da faixa considerada adequada para o feijoeiro (2,5-5,0 g kg⁻¹) conforme a recomendação de AMBROSANO et al. (1997) (Tabela 19).

Com relação aos teores foliares de Si, apenas o CAC não diferiu do tratamento T, com menores teores foliares de Si.

Tabela 19 - Teores médios foliares de N, P, K, Ca, Mg e Si em feijoeiro da safra 2016 em função da aplicação incorporada e superficial de materiais corretivos da acidez do solo

Aplicação (A)	N	P	K	Ca	Mg	Si
-----g kg ⁻¹ -----						
Incorporada	51 a	3,3	19	10,5	3,7	3,2
Superfície	46 b	3,4	18	9,5	3,6	3,4
F	187,52**	0,01 ^{ns}	0,51 ^{ns}	2,80 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,52 ^{ns}
-----g kg ⁻¹ -----						
Corretivos (C)						
AG	50	3,3	18	11,0 ab	3,4	3,7 a
EA	47	3,4	19	12,3 a	3,5	3,9 a
EFP	48	3,5	18	9,3 bc	3,4	3,5 a
W	48	3,1	18	11,6 a	3,5	3,5 a
CAC	49	3,4	18	9,1 c	3,9	2,6 b
CA	47	3,4	18	9,5 bc	4,0	3,5 a
T	50	3,4	19	7,2 d	3,3	2,5 b
F	1,26 ^{ns}	0,85 ^{ns}	0,87 ^{ns}	7,48**	3,26 ^{ns}	5,27**
Interação AxC	1,27 ^{ns}	1,62 ^{ns}	1,33 ^{ns}	1,22 ^{ns}	1,48 ^{ns}	0,95 ^{ns}
CVparcela (%)	2,35	20,25	34,58	23,87	28,87	18,85
CVsubparcela (%)	5,98	12,19	13,55	17,96	12,57	20,73

AG= agrosílico, EA= escória de aciaria, EFP= escória forno de panela, W= wollastonita, CAC= calcário agrícola calcinado, CA= calcário agrícola e T= testemunha. Médias seguidas por letras distintas dentro das colunas diferem entre si, pelo teste T ao nível de 5% (*) e 1% (**) de probabilidade. ns- não significativo.

Em função do modo de aplicação dos corretivos, os teores foliares de Mn foram superiores no tratamento com aplicação incorporada dos corretivos. Para o B, Cu, Fe e Zn não houveram diferenças.

Os teores foliares de B, Mn e Zn diferiram em função dos corretivos aplicados (Tabela 22). Os teores foliares de B estão acima dos teores considerados adequados para o feijoeiro, B (15-26 mg kg⁻¹) conforme Ambrosano et al. (1997) para todos os

tratamentos. Os teores foliares de Mn e Zn encontram-se dentro da faixa considerada adequada, sendo o Mn (15-100 mg kg⁻¹) e Zn (18-50 mg kg⁻¹) (AMBROSANO et al., 1997). Somente no tratamento T os teores foliares de Mn encontram-se acima da faixa considerada adequada.

Para os teores foliares de B apenas o CA diferiu do tratamento T, com menores teores de B.

Os maiores teores foliares de Mn foram observados no tratamento T.

Nos teores foliares de Zn apenas o AG, EA e W diferiram do tratamento T, sendo observado menores teores foliares de Zn nestes tratamentos.

Tabela 20 - Teores médios foliares de B, Cu, Fe, Mn e Zn no feijoeiro da safra 2016 em função da aplicação incorporada e superficial de materiais corretivos da acidez do solo

Aplicação (A)	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	-----mg kg ⁻¹ -----				
Incorporada	51	26	173	115 a	41
Superfície	48	29	190	90 b	40
F	0,69 ^{ns}	6,44 ^{ns}	2,24 ^{ns}	20,6*	4,55 ^{ns}
Corretivos (C)	-----mg kg ⁻¹ -----				
AG	51 ab	25	192	80 bc	38 b
EA	49 ab	25	172	84 bc	38 b
EFP	53 ab	25	147	74 c	41 ab
W	49 ab	25	174	99 b	38 b
CAC	51 ab	25	162	76 c	41 ab
CA	42 b	24	196	69 c	40 ab
T	54 a	26	229	239 a	47 a
F	2,41*	1,11 ^{ns}	1,39 ^{ns}	79,68**	2,81*
Interação Ax C	0,77 ^{ns}	0,25 ^{ns}	0,95 ^{ns}	3,04*	1,50 ^{ns}
CVparcela (%)	26,24	10,73	24,22	20,15	6,29
CVsubparcela (%)	13,91	7,57	35,31	18,69	12,23

AG= agrosilício, EA= escória de aciaria, EFP= escória forno de panela, W= wollastonita, CAC= calcário agrícola calcinado, CA= calcário agrícola e T= testemunha. Médias seguidas por letras distintas dentro das colunas diferem entre si, pelo teste T ao nível de 5% (*) e 1% (**) de probabilidade. ns- não significativo.

Não houve diferença nos componentes de produção do feijoeiro, no entanto, houve diferença na produtividade, onde todos os corretivos responderam de forma semelhante quando comparado à testemunha, com produtividade de até 1,5 Mg ha⁻¹ superior à testemunha (Tabela 21).

Deus & Büll (2013) utilizando os mesmos corretivos na cultura do feijoeiro também verificaram que não houve diferença entre os corretivos na produtividade, 2 meses após a aplicação dos corretivos.

Tabela 21 - Componentes de produção e produtividade média de grãos do feijoeiro safra 2016 em função da aplicação incorporada e superficial de materiais corretivos da acidez do solo

Tratamentos	Nº de plantas ha	Nº vagens/planta	Nº grãos/vagem	Massa 100 grãos (g)	Produtividade (kg ha)
Aplicação (A)					
Incorporada	161111	14	5	28,6	3.318
Superfície	167460	14	5	28,2	3.389
F	1,49 ^{ns}	0,18 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,13 ^{ns}	0,72 ^{ns}
Corretivos (C)					
AG	169444	15	5	27,7	3.567 a
EA	161805	14	5	28,2	3.474 a
EFP	167361	15	5	27,1	3.425 a
W	170833	14	5	28,6	3.611 a
CDC	157638	14	5	30,6	3.558 a
CD	167361	14	5	28,9	3.820 a
T	155555	11	4	27,6	2.021 b
F	0,65 ^{ns}	1,41 ^{ns}	1,20 ^{ns}	0,94 ^{ns}	15,76*
Interação Ax C	0,86 ^{ns}	0,37 ^{ns}	0,29 ^{ns}	1,70 ^{ns}	1,41 ^{ns}
CV parcela (%)	11,83	20,39	27,68	14,08	9,33
Cv subparcela (%)	12,73	21,04	23,40	11,77	12,76

AG= agrosilício, EA= escória de aciaria, EFP= escória forno de panela, W= wollastonita, CAC= calcário agrícola calcinado, CA= calcário agrícola e T= testemunha. Médias seguidas por letras distintas dentro das colunas diferem entre si, pelo teste T ao nível de 5% (*) e 1% (**) de probabilidade. ns- não significativo.

4.5 Produção de massa seca e estado nutricional da parte aérea da aveia preta

Não houve diferença para massa seca da parte aérea da aveia preta no cultivo de 2014 (Tabela 22). Entretanto, no segundo cultivo em 2015 houve diferença quanto a forma de aplicação dos corretivos, sendo a aplicação incorporada superior à aplicação superficial (Tabela 23). Esses resultados podem ser atribuídos à redução dos teores de H+Al até a profundidade 0,20 m e aumento da V% até 0,10 m com a aplicação incorporada, favorecendo um maior desenvolvimento do sistema radicular e parte aérea. Quanto aos corretivos, no cultivo de 2015, não houve diferença entre silicatos e carbonatos.

Nas duas épocas avaliadas houve diferença entre os corretivos para os teores de P, Ca e Mg. No cultivo de 2014 não houve diferença entre silicatos e carbonatos nos teores foliares de P. Já no cultivo de 2015 os teores foliares de P foram superiores no tratamento com aplicação de EA.

Os teores foliares de Ca, nas 2 safras avaliadas foram superiores nos tratamentos com aplicação de W, EA e AG quando comparado aos tratamentos com aplicação de CAC, CA e T.

No cultivo de 2014, dentre os corretivos avaliados a W que menos contribuiu na elevação dos teores foliares de Mg. Já no cultivo de 2015, não houve diferença entre os corretivos.

Tabela 22 - Produção de massa seca e teores médios de N, P, K, Ca, Mg e Si na parte aérea da aveia preta safra 2014 em função da aplicação incorporada e superficial de materiais corretivos da acidez do solo

Aplicação (A)	MS Mg ha ⁻¹	N	P	K	Ca	Mg	Si
Incorporada	5,4	14	1,0	9,6	2,9	1,2	4,3
Superfície	4,9	15	1,0	10,9	2,9	1,2	4,5
F	3,39 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,04 ^{ns}	2,74 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,15 ^{ns}
Corretivos (C)							
AG	5,2	14	0,9 a	10,2	3,2 ab	1,3 a	4,7
EA	5,6	15	1,0 a	11,2	3,3 ab	1,2 ab	4,7
EFP	5,2	14	1,0 a	9,2	3,0 bc	1,2 ab	4,5
W	5,2	14	1,0 a	9,8	3,4 a	1,1 bc	4,5
CAC	4,9	15	1,0 a	9,9	2,7 d	1,3 a	4,0
CA	5,0	14	0,9 a	9,9	2,8 cd	1,2 ab	4,3
T	4,9	13	0,8 b	11,6	2,4 e	1,0 c	3,9
F	0,65 ^{ns}	1,15 ^{ns}	4,16 ^{**}	1,51 ^{ns}	11,87 ^{**}	5,14 ^{**}	0,59 ^{ns}
Interação Ax C	4,64 ^{ns}	0,50 ^{ns}	1,24 ^{ns}	1,29 ^{ns}	2,26 ^{ns}	1,47 ^{ns}	0,66 ^{ns}
CVparcela (%)	21,13	24,32	24,22	29,09	17,63	25,18	41,88
CVsubparcela (%)	15,25	9,93	10,73	19,03	9,67	10,69	25,97

AG= agrosilício, EA= escória de aciaria, EFP= escória forno de panela, W= wollastonita, CAC= calcário agrícola calcinado, CA= calcário agrícola e T= testemunha. Médias seguidas por letras distintas dentro das colunas diferem entre si, pelo teste T ao nível de 5% (*) e 1% (**) de probabilidade. ns- não significativo.

Tabela 23- Produção de massa seca e teores médios de N, P, K, Ca, Mg e Si na parte aérea da aveia preta safra 2015 em função da aplicação incorporada e superficial de materiais corretivos da acidez do solo

Aplicação (A)	MS Mg ha ⁻¹	N	P	K	Ca	Mg	Si
		-----g kg ⁻¹ -----					
Incorporada	5,4 a	19	1,1	17,4	2,2	1,40	3,8
Superfície	4,6 b	20	1,1	16,4	2,3	1,40	4,3
F	41,57*	0,20 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,64 ^{ns}	1,57 ^{ns}	0,91 ^{ns}	1,70 ^{ns}
Corretivos (C)	Mg ha ⁻¹						
		-----g kg ⁻¹ -----					
AG	5,1 a	20	1,1 b	16,7	2,5 a	1,4 ab	4,0
EA	5,6 a	20	1,3 a	16,8	2,7 a	1,4 ab	4,2
EFP	4,6 ab	19	1,0 b	15,9	2,3 bc	1,4 ab	4,0
W	5,5 a	19	1,1 b	16,8	2,8 a	1,4 ab	4,0
CAC	5,2 a	19	1,1 b	17,2	1,9 de	1,6 a	3,6
CA	4,9 ab	19	1,0 b	16,0	2,0 cd	1,6 a	3,9
T	4,0 b	20	1,0 b	18,8	1,7 e	1,2 b	3,6
F	4,95*	1,3 ^{ns}	2,95*	0,98 ^{ns}	13,55**	3,69**	0,32 ^{ns}
Interação Ax C	1,07 ^{ns}	0,70 ^{ns}	0,14 ^{ns}	0,73 ^{ns}	2,70 *	0,53 ^{ns}	0,61 ^{ns}
CVparcela (%)	8,88	9,02	13,69	27,50	19,21	15,61	34,17
CVsubparcela (%)	13,78	7,06	11,95	16,69	13,11	13,91	28,33

AG= agrosilício, EA= escória de aciaria, EFP= escória forno de panela, W= wollastonita, CAC= calcário agrícola calcinado, CA= calcário agrícola e T= testemunha. Médias seguidas por letras distintas dentro das colunas diferem entre si, pelo teste T ao nível de 5% (*) e 1% (**) de probabilidade. ns- não significativo.

Nas 2 épocas avaliadas houve diferença nos teores foliares de Fe e Mn, para o Zn houve diferença apenas no cultivo de 2015 (Tabelas 24 e 25).

Tabela 24 - Teores médios de B, Cu, Fe, Mn e Zn na parte aérea da aveia preta da safra 2014 em função da aplicação incorporada e superficial de materiais corretivos da acidez do solo

Aplicação	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	-----mg kg ⁻¹ -----				
Incorporada	17	10	387	150	31
Superfície	18	11	435	177	29
F	1,04 ^{ns}	0,331 ^{ns}	9,88 ^{ns}	9,98 ^{ns}	0,29 ^{ns}
Coretivos (C)					
	-----mg kg ⁻¹ -----				
AG	17	10	334 b	129 b	30
EA	18	12	412 b	160 b	33
EFP	16	10	324 b	135 b	29
W	19	10	406 b	154 b	30
CAC	18	10	342 b	154 b	30
CA	16	11	330 b	151 b	28
T	18	11	733 a	260 a	29
F	0,94 ^{ns}	2,07 ^{ns}	14,06*	14,57 *	1,62 ^{ns}
Interação Ax C	0,50 ^{ns}	1,33 ^{ns}	3,32 ^{ns}	0,92 ^{ns}	1,05 ^{ns}
CVparcela (%)	34,46	36,00	13,86	19,72	38,18
CVsubparcela (%)	15,70	15,08	26,83	19,97	11,51

AG= agrosilício, EA= escória de aciaria, EFP= escória forno de panela, W= wollastonita, CAC= calcário agrícola calcinado, CA= calcário agrícola e T= testemunha. Médias seguidas por letras distintas dentro das colunas diferem entre si, pelo teste T ao nível de 5% (*) e 1% (**) de probabilidade. ns- não significativo.

Para o Fe no cultivo de 2014, houve diferença entre os corretivos aplicados e testemunha, com maiores teores no tratamento sem aplicação dos corretivos e em 2015 a W foi superior aos demais tratamentos na disponibilidade de Fe.

Os maiores teores de Mn foram observados no tratamento T no cultivo de 2014. Já no cultivo de 2015, apenas o AG diferiu do tratamento T.

Houve diferença nos teores foliares de Zn no cultivo de 2015 apenas, nos tratamentos com aplicação de AG e EFP quando comparado aos tratamentos com aplicação de EA e W (Tabela 25).

Tabela 25 - Teores médios de B, Cu, Fe, Mn e Zn na parte aérea da aveia preta safra 2015 em função da aplicação incorporada e superficial de materiais corretivos da acidez do solo

Aplicação	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	-----mg kg ⁻¹ -----				
Incorporada	11	7	95	148	22
Superfície	11	7	91	168	21
F	0,03 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,77 ^{ns}	3,99 ^{ns}	0,51 ^{ns}
Corretivos (C)	-----mg kg ⁻¹ -----				
AG	11	7	83 cd	129 b	19 b
EA	11	7	97 bc	147 ab	24 a
EFP	12	7	80 d	139 ab	19 b
W	11	7	122 a	167 ab	24 a
CAC	11	7	84 cd	151 ab	21 ab
CA	11	7	84 cd	137 ab	21 ab
T	11	7	103 b	235 a	21 ab
F	0,257 ^{ns}	0,896 ^{ns}	6,77**	9,69*	4,14**
Interação AxC	0,462 ^{ns}	0,627 ^{ns}	7,86**	1,06 ^{ns}	0,71 ^{ns}
CVparcela (%)	27,90	6,66	15,97	22,94	11,36
CVsubparcela (%)	15,92	4,98	18,08	20,67	12,80

AG= agrosilício, EA= escória de aciaria, EFP= escória forno de panela, W= wollastonita, CAC= calcário agrícola calcinado, CA= calcário agrícola e T= testemunha. Médias seguidas por letras distintas dentro das colunas diferem entre si, pelo teste T ao nível de 5% (*) e 1% (**) de probabilidade. ns- não significativo.

4.6 Análise econômica

A EA foi o corretivo que apresentou maior quantidade de P₂O₅ em sua composição, o que foi equivalente a cerca de 23 kg do fertilizante MAP por tonelada de corretivo aplicado ao solo.

Para os micronutrientes, a maior contribuição foi para o Mn sendo a EA o corretivo com maior quantidade equivalente de MnSO₄, seguido do CAC, AG, EFP, CA 2, W e CA 1 (Tabela 26).

Tabela 26 - Equivalente de fertilizante por tonelada de corretivos de acidez do solo

Nutriente	Fertilizante	Corretivos						
		AG	EA	EFP	W	CA 1	CA 2	CAC
		----- Kg t ⁻¹ -----						
P ₂ O ₅	MAP	7,00	23,00	5,00	3,00	0,00	0,00	0,00
B	Ácido Bórico	1,76	5,29	1,76	0,59	0,59	0,88	2,35
Cu	CuSO ₄	0,08	0,12	0,08	0,04	0,20	0,20	0,08
Mn	MnSO ₄	17,10	69,35	11,94	0,32	0,32	0,97	15,48
Zn	ZnSO ₄	0,25	0,35	0,25	0,20	0,45	0,50	0,25

AG= agrosilício®, EA= escória de aciaria, EFP= escória forno de panela, W= wollastonita, CA1= calcário agrícola – PRNT 56, CA2= calcário agrícola 2 – PRNT 90 e CAC=calcário agrícola calcinado

Considerando o equivalente em R\$ de fertilizantes presente nos corretivos, a EA apresenta maior valor, chegando a R\$ 446,81 por tonelada de corretivo aplicado. Desse total, aproximadamente 85% do valor é proveniente do MnSO₄ (Tabela 27). No entanto, para solos deficientes em Mn (até 1,5 mg/dm⁻³) recomenda-se aplicar 5 kg/ha de Mn, que equivale a 16 kg de MnSO₄. Diante disso, observa-se que a EA apresenta em sua composição 4,33 vezes a quantidade de Mn requerida por solos deficientes em Mn e o custo pago pelo produtor utilizando como fonte o MnSO₄ seria de R\$87,68/ha.

Tabela 27 - Equivalente em R\$ de fertilizantes nos corretivos de acidez do solo

		Corretivos						
Nutriente	Fertilizante	AG	EA	EFP	W	CA 1	CA 2	CAC
		----- R\$ t ⁻¹ -----						
P ₂ O ₅	MAP	11,34	37,26	8,10	4,86	0,00	0,00	0,00
B	Ácido bórico	8,82	26,47	8,82	2,94	2,94	2,94	11,76
Cu	CuSO ₄	1,20	1,80	1,20	0,60	3,00	3,00	1,20
Mn	MnSO ₄	93,69	380,06	65,41	1,77	1,77	1,77	84,85
Zn	ZnSO ₄	0,87	1,22	0,87	0,70	1,57	1,57	0,87
Total		115,92	446,81	84,40	10,86	9,27	9,27	98,69

AG= agrosilício®, EA= escória de aciaria, EFP= escória forno de panela, W= wollastonita, CA1= calcário agrícola – PRNT 56, CA2= calcário agrícola 2 – PRNT 90 e CAC=calcário agrícola calcinado

A EA e EFP apresentaram menor custo final por tonelada para uma distância de 400 km, enquanto que o CA 1 para distância de 200 km o custo final foi R\$ 9,00 mais caro (Tabela 28).

Tabela 28 - Custos dos corretivos de acidez do solo por tonelada

Corretivo	Preço FOB	Frete ¹	Preço CIF	Custo distribuição ²	Custo Final	Custo / unid PRNT
----- R\$/t -----						
AG (Granel)	54,00	80,00	134,00	12,66	146,66	2,40
AG (ensacado)	95,00	80,00	175,00	12,66	187,66	3,08
EA	3,00	80,00	83,00	12,66	95,66	1,45
EFP	3,00	80,00	83,00	12,66	95,66	1,80
W	3.000,00	80,00	3.080,00	12,66	3.092,66	45,48
CAC	250,00	40,00	290,00	12,66	302,66	2,97
CA 1	52,00	40,00	92,00	12,66	104,66	1,87
CA 2	75,00	40,00	115,00	12,66	127,66	1,42

AG= agrosilício®, EA= escória de aciaria, EFP= escória forno de panela, W= wollastonita, CA1= calcário agrícola – PRNT 56, CA2= calcário agrícola 2 – PRNT 90 e CAC=calcário agrícola calcinado

¹Considerando impostos, seguro e frete. ²Trator de 125 cv mais distribuidor de 2,3m³.

Observando os custos finais dos corretivos de acidez do solo, observa-se que a aquisição da W para correção da acidez do solo é economicamente inviável para o produtor quando comparado aos demais corretivos.

Em função da dose requerida para elevar V% a 70, observa-se que o CA 2 apresentou menor custo, seguido da EA, EFP, CA 1, AG (granel), CAC, AG (ensacado) e por último a W (Tabela 29).

Tabela 29 - Custos dos corretivos de acidez do solo em função da dose requerida para elevar a V% a 70

V% Solo	AG (granel)	AG (ensacado)	EA	EFP	W	CA 1	CA 2	CAC
----- R\$ -----								
10%	1.240,60	1.587,42	747,89	931,33	23.467,83	964,37	731,92	1.531,10
20%	1.033,83	1.322,85	623,24	776,11	19.556,53	803,64	609,93	1.275,92
30%	827,07	1.058,28	498,59	620,89	15.645,22	642,91	487,94	1.020,74
40%	620,30	793,71	373,94	465,67	11.733,92	482,18	365,96	765,55
50%	413,53	529,14	249,30	310,44	7.822,61	321,46	243,97	510,37
60%	206,77	264,57	124,65	155,22	3.911,31	160,73	121,99	255,18

AG= agrosilício®, EA= escória de aciaria, EFP= escória forno de panela, W= wollastonita, CA1= calcário agrícola – PRNT 56, CA2= calcário agrícola 2 – PRNT 90 e CAC=calcário agrícola calcinado.

Levando em consideração o custo com fertilizante fosfatado, observa-se que o custo da EA foi menor quando comparado aos demais corretivos. Quando comparado ao CA 2, a economia foi de até R\$ 275,34 para um solo com V% 10 e de R\$ 91,78 para um solo com V% 60 (Tabela 30).

Tabela 30 - Custos dos corretivos de acidez do solo em função da dose requerida para elevar a V% a 70, considerando a economia com o fertilizante MAP

V% Solo	AG (granel)	AG (ensacado)	EA	EFP	W	CA 1	CA 2	CAC
----- R\$ -----								
10%	1.144,67	1.491,49	456,58	852,47	23.430,95	964,37	731,92	1.531,10
20%	953,90	1.242,91	380,48	710,39	19.525,79	803,64	609,93	1.275,92
30%	763,12	994,33	304,39	568,31	15.620,64	642,91	487,94	1.020,74
40%	572,34	745,75	228,29	426,24	11.715,48	482,18	365,96	765,55
50%	381,56	497,16	152,19	284,16	7.810,32	321,46	243,97	510,37
60%	190,78	248,58	76,10	142,08	3.905,16	160,73	121,99	255,18

AG= agrosilício®, EA= escória de aciaria, EFP= escória forno de panela, W= wollastonita, CA1= calcário agrícola – PRNT 56, CA2= calcário agrícola 2 – PRNT 90 e CAC=calcário agrícola calcinado

Dentre as fontes de silicatos, a EA apresentou menor custo final. Sendo assim, verificou-se até qual porcentagem do custo final do CA 2 para EA é economicamente viável.

Considerando um solo com V% 30 e o custo final da EA for 40% o custo final do CA 2 é possível observar que existe uma economia de R\$ 221,81, no entanto se o custo da EA representar 80% do custo final do CA 2 haverá um gasto maior de R\$ 44,37 (Tabela 31).

Entre 60 e 80% existe um ponto de equilíbrio igual a 73,30%, ou seja, se a EA for até 73,3% o custo do CA 2, tanto faz optar pelo CA 2 ou EA, que em termos econômicos, não haverá diferença entre eles.

Tabela 31 - Comparativo do custo final da EA versus CA 2

V% Solo	20%	40%	60%	80%	100%	120%	160%	200%
----- R\$/ha -----								
10%	532,32	332,72	133,04	- 66,55	- 266,15	- 465,75	- 865,02	1.264,22
20%	443,60	277,27	110,87	- 55,46	- 221,79	- 388,12	- 720,85	1.053,52
30%	354,88	221,81	88,70	- 44,37	- 177,43	- 310,50	- 576,68	- 842,81
40%	266,16	166,36	66,52	- 33,28	- 133,08	- 232,87	- 432,51	- 632,11
50%	177,44	110,91	44,35	- 22,18	- 88,72	- 155,25	- 288,34	- 421,41
60%	88,72	55,45	22,17	- 11,09	- 44,36	- 77,62	- 144,17	- 210,70

EA= escória de aciaria, CA2= calcário agrícola 2 – PRNT 90.

Contabilizando a economia do fertilizante MAP proporcionada pela EA verifica-se que o ponto de equilíbrio será igual 102,5% ou seja, o preço final da EA pode custar

2,5% a mais que o valor final do CA 2 que ainda será economicamente viável (Tabela 32).

Tabela 32 - Comparativo do custo final do EA versus CA 2 considerando a disponibilidade de P_2O_5 pela EA

V% Solo	20%	40%	60%	80%	100%	120%	160%	200%
----- R\$ -----								
10%	823,62	624,03	424,35	224,75	25,15	-174,44	- 573,72	- 972,92
20%	686,35	520,02	353,63	187,29	20,96	-145,37	- 478,10	- 810,76
30%	549,08	416,02	282,90	149,83	16,77	-116,30	- 382,48	- 648,61
40%	411,81	312,01	212,18	112,38	12,58	-87,22	- 286,86	- 486,46
50%	274,54	208,01	141,45	74,92	8,38	-58,15	- 191,24	- 324,31
60%	137,27	104,00	70,73	37,46	4,19	-29,07	- 95,62	- 162,15

EA= escória de aciaria, CA2= calcário agrícola 2 – PRNT 90.

5 CONCLUSÕES

A maior solubilidade do silicato em relação ao carbonato não tornou as escórias de siderurgia mais eficiente que o calcário na correção da acidez do solo.

A aplicação superficial dos corretivos foram eficientes apenas na camada mais superficial do solo.

A utilização da escória de aciaria foi mais eficiente na elevação dos teores de fósforo no solo.

Os corretivos não diferiram entre si quanto a produtividade da soja e feijoeiro.

Dentre os silicatos, a escória de aciaria foi a mais viável economicamente.

REFERÊNCIAS

AGRIANUAL 2017. Agribusiness intelligence IEG/FNP. p. 392, 2016.

ALCARDE, J.C. **Corretivos da acidez do solo: Características e interpretações técnicas**. ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS E CORRETIVOS(ANDA), São Paulo - SP, 1992, 62p. (Boletim Técnico 6).

ALCARDE, J.A.; RODELLA, A.A. Qualidade e legislação de fertilizantes e corretivos. In: CURI, N.; MARQUES, J.J.; GUILHERME, L.R.G.; LIMA, J.M.; LOPES, A. S.; ALVARES V., V.H. **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.291-334, 2003.

ALCARDE, J. C. **Metodologia oficial de Análise de Corretivos de Acidez**. Porto Alegre-RS, 2009, 58p.

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, p.923-934, 2005.

AMARAL, A.S.; ANGHINONI, I. Alteração de parâmetros químicos do solo pela reaplicação superficial de calcário no sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, 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. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.115-123, 2004.

AMBROSANO, E. J.; TANAKA, R. T.; MASCARENHAS, H. A. A.; RAIJ, B. van; QUAGGIO, J. A.; CANTARELLA, H. Leguminosas e oleaginosas. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Eds.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2 ed. Campinas: Instituto Agrônomo, 1997, p.187-202 (Boletim Técnico 100).

ANGHINONI, I. **Fertilidade do solo e seu manejo em sistema plantio direto**. In: Novais RF, Alvarez VHV, Barros NF, Fontes RFF, Cantarutti RB & Neves JCL (Eds.) Fertilidade do solo. Viçosa, Sociedade Brasileira da Sociedade do Solo. p. 873-928, 2007.

ANUÁRIO 2015. SINDIFER – Sindicato da indústria do ferro no Estado de Minas Gerais. 26 p, 2015. Disponível em: <
http://www.sindifer.com.br/institucional/anuario/anuario_2015.pdf> Acesso em :
10/05/2017

ARAÚJO, S.R.; DEMATTÊ, J.A.M.; GARBUIO, F.J. Aplicação de calcário com diferentes graus de reatividade: Alterações químicas no solo cultivado com milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p.1755-1764, 2009.

BORGES, M.R.; COUTINHO, E.L.M. Metais pesados do solo após aplicação de bio sólido: II - Disponibilidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.557-568, 2004.

BARBOSA, D.S.; CAMARGO, M.S.; RAMOS, L.A.; RESENDE, R.H.; ARRUDA, D.; KORNDÖRFER, G.H.; PEREIRA, H.S. Comparação entre silicato e calcário na correção do solo e no fornecimento de silício em profundidade. In: 29º Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Ribeirão Preto. **Anais...** Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. CD-ROM.

BRASIL (2016) Ministério da Agricultura. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. INSTRUÇÃO NORMATIVA SDA Nº 27, 05 DE JUNHO DE 2006 (Alterada pela IN SDA nº 7, de 12/04/2016, republicada em 02/05/2016).

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

CAIRES, E.F.; ROSOLEM, C.A. Calagem em genótipos de amendoim. **Revista Brasileira de Ciência do**, v.17, p.193-202, 1993.

CAIRES, E.F.; CHUEIRI, W.A.; MADRUGA, E.F.; FIGUEIREDO, A. Alterações de características químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na superfície em sistema de cultivo sem preparo de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p.27-34, 1998.

CAIRES, E.F.; BANZATTO, D.A. & FONSECA, A.F. Calagem na superfície em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 24:161-169, 2000.

CAIRES, E.F.; ALLEONI, L.R.F.; CAMBRI, M.A. & BARTH, G. Surface application of lime for crop grain production under a no-till system. **Agron. J.**, 97:791-798, 2005.

CAIRES, E.F.; KUSMAN, M.T.; BARTH, G.; GARBUIO, F.J.; PADILHA, J.M. Aplicação de corretivos superficial e cobertura de aveia preta antecedendo os cultivos de milho e soja em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 1, p. 87-98, 2006.

CAIRES, E.F. Correção da acidez do solo em sistema de plantio direto. **International Plant Nutrition Institute**. Informações Agronômicas, nº141, março 2013.

CAIRES, E. F.; HALISKI, A.; BINI, A. R.; SCHARR, D. A. Surface liming and nitrogen fertilization for crop grain production under no-till management in Brazil. **European Journal of Agronomy**. v. 66, p. 41–53, 2015.

CAMARGO, M. S. de; KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S. Solubilidade do silício em solos: influência do calcário e ácido silícico aplicados. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 4, p. 637-647, 2007.

CARVALHO, R; FURTINI NETO, A. E.; CURTI, N.; FERNANDES, L. A.; OLIVEIRA JR, A. C. Dessorção de fósforo por silício em solos cultivados com eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 1, p. 69-74, 2000.

CASTRO, G. S. A. **Atributos do solo decorrentes dos sistemas de produção e da aplicação superficial de corretivos**. Botucatu, 2012, 172 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho.

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

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Referente DECISÃO DE DIRETORIA Nº 256/2016/E, DE 22/11/2016. Dispõe sobre a aprovação dos Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo – 2016 e dá outras providências. São Paulo, 2016, 4p.

Conyers, M.K.; Heenan, D.P.; McGhie, W.J.; Poile, G.P. Amelioration of acidity with time by limestone under contrasting tillage. **Soil and Tillage Research**. V.72, p. 85–94. 2003.

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

CORRÊA, J.C.; BÜLL, L.T.; CRUSCIOL, C.A.C, TECCHIO, M. C. Aplicação superficial de escória, lama cal, lodos de esgoto e calcário na cultura da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.43, n.9, p.1209-1219, 2008.

CORRÊA, J.C.; FREITAG, E.E.; BÜLL, L. T.; CRUSCIOL, C. A. C.; FERNANDES, D. M.; MARCELINO, R. Aplicação superficial de calcário e diferentes resíduos em soja cultivada no sistema plantio direto. **Bragantia**, v.68, p.1059-1068, 2009.

COSTA A.; ROSOLEM C.A. Liming in the transition to no-till under a wheat-soybean rotation. **Soil Till Research**.v.97, p. 207-217, 2007.

CRUSCIOL, C. A. C.; PULZ, A.L.; LEMOS, L.B.; SORATTO, R. P. Adubação silicatada e estresse hídrico em batata. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE SILÍCIO NA AGRICULTURA, 4., 2007, Botucatu. **anais...** Botucatu: Unesp, 2007. p. 218-221.

DEUS, A. C. F.; BÜLL, L. T. Eficiência de escórias de siderurgia na cultura do feijoeiro em sistema de semeadura direta. **Ciência Rural**, v. 4, n. 10, p. 1783-1789, 2013.

DEUS, A. C. F. **Aplicação de corretivos de acidez do solo na implantação do sistema plantio direto**. Botucatu, 2014. 112f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho.

DERPSCH, R.; FRIEDRICH, T.; KASSAM, A.; HONGWEN, L. Current status of adoption of No-till farming in the world and some of its main benefits. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v.3, p.1–25, 2010.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análises de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa/CNPSO, 1997. 212p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Brasília, 2013. 353p.

ERNANI, P. R.; BARBER, S. A. Composição da solução do solo e lixiviação de cátions afetadas pela aplicação de cloreto e sulfato de cálcio em um solo ácido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.17, p.41-46, 1993.

FEBRAPDP. FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE PLANTIO DIRETO NA PALHA. Novo método monitora qualidade do Plantio Direto. Disponível em < <http://febrapdp.org.br/noticias/244/1/novo-metodo-monitora-qualidade-do-plantio-direto>>. Acesso em: 05 Junho 2017

FONSECA, I. M.; PRADO, R. M.; VIDAL, A. A.; NOGUEIRA, T. A. R. Efeito da escória de siderurgia e do calcário na disponibilidade de silício no solo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE SILÍCIO NA AGRICULTURA, 4., 2007, Botucatu. **Anais...** Botucatu: Faculdade de Ciências Agronômicas, UNESP, 2007. p.26-28.

FUENTES, J.P.; BEZDICEK, D.F.; FLURY, M.; ALBRECHT, S.; SMITH, J.L. Microbial activity affected by lime in a long-term no-till soil. **Soil Tillage & Research**, Amsterdam, v.88, n.1-2, p.123-131, 2006.

GONÇALVES, J.R.P.; MOREIRA A.; BÜLL, L.T.; CRUSCIOL, C.A.C.; BOAS, R.L.V. Granulometria e doses de calcário em diferentes sistemas de manejo. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 33, n. 2, p. 369-375, 2011.

KATO, N.; OWA, N. Dissolution of slag fertilizers in a paddy soil and Si uptake by rice plant. **Soil Science Plant Nutrition**, v.43, p.329-341, 1997.

KORNDÖRFER, G. H., PEREIRA, H. S., CAMARGO, M. S. de. **Silicatos de cálcio e magnésio na agricultura**. Uberlândia: GPSi, 2003. 15p. (Boletim Técnico nº 1).

KORNDÖRFER, G. H., PEREIRA, H. S., NOLLA, A. **Análise de silício no solo, planta efertilizante**. Uberlândia: GPSi, 2004. 50p. (Boletim Técnico nº 02).

MA, J. F.; YAMAJI, N. Silicon uptake and accumulation in higher plants. **Trends in Plant Science**, v. 11, n. 8, p. 392-397, 2006.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2.ed. ver. e atual. Piracicaba: Potafos, 1997. p.319.métodos de análises de solo. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa/CNPSo, 1997. 212p.

MARQUES, M.O.; MELO, W.J.; MARQUES, T.A. **Metais pesados e o uso de biossólidos na agricultura**. In: TSUTIYA, M.T.; CAMPARINI, J.B.; ALEM SOBRINHO, P.; HESPANHOL, I.; CARVALHO, P.C.T.; MELFI, A.J.; MELO, W.J.; MARQUES, M.O. (Ed.). Biossólidos na agricultura. São Paulo: Sabesp, 2001. p.365-404.

MELLO, J.C.A.; VILLAS-BOAS, R.L.; LIMA, E.V.; CRUSCIOL, C.A.C. & BÜLL, L.T. Alterações nos atributos químicos de um Latossolo Distroférico decorrentes da granulometria e doses de calcário em sistemas plantio direto e convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 27:553-561, 2003

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A.; SANTOS, J.C.F. Effects of addition of crop residues on the leaching of Ca and Mg in Oxisols. In: International symposium on plant soil interactions at low pH, 4., Belo Horizonte, 1996. **Anais...** Belo Horizonte, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/ EMBRAPA-CPAC, 1996. p.8.

MIYAZAWA, M., PAVAN, M.A., FRACHINI, C.F. **Neutralização da acidez do perfil do solo por resíduos vegetais**. Potafos, Encarte Técnico, Informações agronômicas, nº 92. dezembro de 2000.15p.

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

OLIVEIRA, P.P.A.; BOARETTO, A.E.; TRIVELIN, P.C.O.; OLIVEIRA, W.S.; CORSI, M. Liming and fertilization to restore degraded *Brachiaria decumbens* pastures grown on an Entisol. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.60,p.125-131, 2003.

OLIVEIRA, L.A.; KORNDÖRFER, G.H.; PEREIRA, A.C. Acumulação de silício em arroz em diferentes condições de pH da rizosfera. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, n.4, p.685-690, 2007.

PAVAN, M.; ROTH, C. H. Effect of lime and gypsum on chemical composition of runoff and leachate from samples of Brazilian Oxisol. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v.44, p.391-394, 1992.

PAVAN, M.A. Movimentação de calcário no solo através de técnicas de manejo da cobertura vegetal em pomares de macieira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.16, p.86-91, 1994.

PEREIRA, H.S.; BARBOSA, N.C.; CARNEIRO, M.A.C.; KORNDÖRFER, G.H. Avaliação de fontes e extratores de silício no solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, n.2, p.239-247, 2007.

PEREIRA, H.S.; GAMA, A. J. M.; CAMARGO, M. S.; KORNDORFER, G. H. Reatividade de escórias silicatadas da indústria siderúrgica. **Ciência e agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 2, p. 382- 390, 2010.

PETREIRE, C.; ANGHINONI, I. Alterações de atributos químicos no perfil do solo pela calagem superficial em campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.885-895, 2001.

PÖTTKER, D.; BEN, J.R. Calagem para uma sucessão de culturas no plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, n.4, p.675-684, 1998.

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

PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M. Efeito da escória de siderurgia e calcário na disponibilidade de fósforo de um Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, p.1199-1204, 2001.

PRADO, R.M.; FERNANDES, F.M.; NATALE, W. **Uso agrícola da escória de siderurgia no Brasil** – Estudos na cultura da cana-de-açúcar. Jaboticabal, Funep, 2001. 68p.

PRADO, R. M.; CORRÊA, M. C. M.; CINTRA, A. C. O.; NATALE, W.; SILVA, M. A. C. Liberação de micronutrientes de uma escória aplicada em um Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com mudas de goiabeira (*Psidiumguajava* L.). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.24, p.536-542, 2002.

PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M.; NATALE, W. Efeito residual da escória de siderurgia como corretivo de acidez do solo na soqueira de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.287-296, 2003.

PRADO, R.M.; NATALE, W. Efeitos da aplicação da escória de siderurgia ferrocromo no solo, no estado nutricional e na produção de matéria seca de mudas de maracujazeiro. **Revista Brasileira Fruticultura**, v. 26, p.140-144, 2004.

PREZOTTI, L. C.; MARTINS, A. G. Efeito da escória de siderurgia na química do solo e na absorção de nutrientes e metais pesados pela cana-de-açúcar. **Revista Ceres**, v.59, p.530-536, 2012.

PULZ, A.L.; CRUSCIOL, C.A.C.; LEMOS, L.B.; SORATTO, R.P. Influência de silicato e calcário na nutrição, produtividade e qualidade de batata sob deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.1651-1659, 2008.

QUAGGIO, J.A. **Acidez e calagem em solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2000. 111p.

RAMOS, L.A.; NOLLA, A.; KORNDÖRFER, G.H.; PEREIRA, H.S.; CAMARGO, M.S. DE Reatividade de corretivos da acidez e condicionadores de solo em colunas de lixiviação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n.5, p.849-857, 2006.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; FURLANI, P. R. Efeito, na reação do solo, da absorção de amônio e nitrato pelo sorgo, na presença e na ausência de gesso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 12, p. 131-136, 1988.

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

RAIJ, B. van; SILVA, N. M.; BATAGLIA, O. C.; QUAGGIO, J. A.; HIROCE, R.; CATARELLA, H.; BELLINAZZI JR., R.; DECHEN, A. R.; TRANI, P. E. **Recomendação de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: IAC, 1997. 285p. (Boletim técnico, 100).

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

RHEINHEIMER, D.S., SANTOS, E.J.S., KAMINSK, J., BORTOLUZZI, E.C., GATIBONI, L.C. Alterações de atributos do solo pela calagem superficial e incorporada a partir de pastagem natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p.794-805, 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, p.1723-1736, 2015.

ROSOLEM, C.A.; GARCIA, R.A.; FOLONI, J.S.S.; CALONEGO, J.C. Lixiviação de potássio no solo de acordo com suas doses aplicadas sobre palha de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p.813-819, 2006.

SÁ, J. C. M. Calagem em solos sob plantio direto na região dos Campos Gerais, Centro - Sul do Paraná. In: SÁ, J. M. C. (Ed.). **Manejo do solo em plantio direto**. Ponta Grossa: Fundação ABC, 1996. p. 73-107.

SILVA, V.; MOTTA, A.C.V.; MELO, V.F.; LIMA, V.C. Variáveis de acidez em função da mineralogia da fração argila do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 551-559, 2008.

SILVA, M.G. **Avaliação de sistemas de produção e aplicação superficial de corretivos em plantio direto**. Ilha Solteira, 2009. 146f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista.

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

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

SUMNER, M. E.; NOBLE, A. D. **Soil acidification: the world story**. In Z. Rengel (Ed.), Handbook of soil acidity. New York: Marcel Dekker, p.1-28, 2003.

TANAKA, R.T.; MASCARENHAS, H.A.A. **Soja**: nutrição, correção do solo e adubação. Campinas: Fundação Cargill. 1992. 60p.

TAKAHASHI, K. Effect of slags on growth and silicon uptake by rice plants and the available silicates in paddy soils. **Bulletin of the Shikoku Agricultural Experiment Station**, Kagawa, n.38, p.75-114, 1981.

THUNG, M. D. T.; OLIVEIRA, I. P. de. **Problemas abióticos que afetam a produção do feijoeiro e seus métodos de controle**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa-CNPAP, 1998. 172 p.

VALADARES, J.M.A.S. BATAGLIA, O.C.; FURLANI, P.R. Estudos de materiais calcários usados como corretivos do solo no Estado de São Paulo. Determinação de Mo, Co, Cu, Zn e Fe. **Bragantia**, Campinas, v.33, p.147-152, 1974.