



Reação no solo de granulometrias de calcários no cultivo da soja, feijão e milho

Anderson LANGE *^{1,2} , Ana Paula Carrara VINHA ^{3,4} , Carlos Guilherme Theodoro dos SANTOS ³ ,
Ciro Augusto de Souza MAGALHÃES ⁵ , Cassiano Spaziani PEREIRA ^{3,4} 

¹Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Mato Grosso, Sinop, MT, Brasil.

² Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais, Universidade Federal de Mato Grosso, Sinop, MT, Brasil.

³ Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, MT, Brasil.

⁴ Instituto Federal de Mato Grosso, Guarantã do Norte, MT, Brasil.

⁵ Embrapa Agrossilvipastoril, Sinop, MT, Brasil.

*E-mail: anderson.lange@ufmt.br

Submetido: 25/06/2025; Aceito: 29/12/2025; Publicado: 31/12/2025.

RESUMO: A correção do solo com calcário está relacionada às características químicas e físicas do corretivo. Objetivou-se avaliar o efeito da aplicação de granulometrias de dois calcários sobre os atributos químicos de um Latossolo. O experimento foi conduzido em vasos, incubando calcário calcítico (3% de MgO) e dolomítico (19% de MgO) em três granulometrias (fina: < 0,30 mm; média: 0,30-0,84 mm; e grossa: 0,84-2,0 mm), com doses equivalentes a 4,0 e 8,0 t ha⁻¹. O solo foi cultivado, sequencialmente, com soja, feijão e milho ao longo de 400 dias, e as amostragens de solo foram realizadas em quatro períodos distintos (90, 200, 300 e 400 dias após a aplicação dos tratamentos). O calcário dolomítico mostrou maior eficácia na manutenção da correção do pH ao longo do tempo, sugerindo um efeito mais prolongado. O calcário calcítico apresenta uma reação inicial mais rápida, porém com menor efeito residual. A granulometria fina proporcionou valores de saturação por bases aos 90 dias distintamente superiores aos da granulometria média e grossa; porém, ao final de 400 dias, não há diferenças entre as três granulometrias. Efeito similar foi observado para os teores de cálcio (Ca) e magnésio (Mg), porém, na dose de quatro toneladas de calcário dolomítico, o teor de Mg no solo foi maior quando o calcário foi utilizado com mais partículas grossas. O calcário de granulometria grossa elevou os valores de V% aos 90 dias, acima do estimado pelo Método da Saturação por Bases, já o calcário de granulometria fina não atingiu a saturação estimada.

Palavras-chave: eficiência relativa; efeito residual; partículas de calcário.

Soil reaction of limestone granulometric fractions in the cultivation of soybeans, beans and corn

ABSTRACT: Soil correction with limestone is linked to the chemical and physical characteristics of the corrective. The objective of this study was to evaluate the effect of applying two different limestone granulometries on the chemical properties of an Oxisol. The experiment was conducted in pots incubating calcitic limestone (3% MgO) and dolomitic limestone (19% MgO) in three granulometries (fine: <0.30 mm; medium: 0.30-0.84 mm; and coarse: 0.84-2.0 mm), with doses equivalent to 4.0 and 8.0 t ha⁻¹. The soil was cultivated sequentially with soybean, bean, and corn crops over 400 days, and soil samples were collected at four time points (90, 200, 300, and 400 days after application of the treatments). Dolomitic limestone showed greater effectiveness in maintaining pH correction over time, suggesting a longer-lasting effect. Calcitic limestone has a faster initial reaction but leaves a smaller residual effect. The fine granulometry provided base saturation values at 90 days that were distinctly higher than those of the medium and coarse granulometries. Still, by 400 days, there were no differences among the three granulometries. A similar effect was observed for the calcium (Ca) and magnesium (Mg) contents. Still, at a dose of 4 tons of dolomitic limestone, the soil Mg content was higher when the coarser-particle limestone was used. Coarse-grained limestone increased V% values at 90 days to levels above those estimated by the Base Saturation Method, whereas fine-grained limestone did not reach the estimated saturation.

Keywords: relative efficiency; residual effect; limestone particles.

1. INTRODUÇÃO

Os solos da região tropical têm como fatores limitantes a acidez, a baixa disponibilidade de macronutrientes e a alta saturação de alumínio, o que limita a produção em larga escala, além de limitações hídricas nos meses secos do ano (LOPES; GUILHERME, 2016). A correção do solo com calcário para tornar estas áreas produtivas é uma prática

indispensável. Após a aplicação de calcário, há aumento dos teores de Ca e Mg, na saturação por bases e no pH, além de neutralizar o alumínio tóxico, resultando em efeitos positivos na produtividade das plantas e no aproveitamento dos nutrientes (CAIRES, 2013; RODRIGHERO et al., 2015; AGUIAR, 2021; MORAES et al., 2023; SILVA, 2023; SANTOS et al., 2024).

As características químico-físicas do corretivo, relacionadas às percentagens de CaO e MgO, denominadas poder de neutralização (PN) e porcentagem da distribuição e do tamanho das partículas, denominada reatividade (RE), determinam sua reação, atuando na neutralização da acidez e na liberação de Ca e Mg (JONES; MALLARINO, 2018; RATKE et al., 2018; RHEINHEIMER et al., 2018). O efeito residual da calagem está relacionado à dose, às características do solo, ao manejo da adubação e, principalmente, à reatividade do calcário, pois, quanto maior a reatividade, menor será a duração do efeito residual do corretivo.

A legislação brasileira regulamenta o uso dos corretivos de solo, conforme a Instrução Normativa SDA nº 35, de 4 de julho de 2006, que determina as percentagens de partículas que devem passar por peneiras de 10, 20 e 50 ABNT e, assim, regula a eficiência relativa (RE) do corretivo, que atua em até 90 dias (QUAGGIO; RAIJ, 2022).

A aplicação de granulometrias ao solo, em campo, mostra maior reação inicial das partículas finas; porém, após um período prolongado, as diferentes partículas tendem a reagir de forma semelhante, promovendo incrementos de igual magnitude nos atributos do solo (GONÇALVES et al., 2011; VIADÉ et al., 2011). Jones; Mallarino (2018) incubaram partículas de calcários de granulometrias variadas em solos de distintas texturas por 210 dias e verificaram diferenças significativas na variação do pH, com reação mais lenta até 70 dias e de grande magnitude ao final do estudo, com variações > que 1,5 unidades de pH para os extremos de granulometria, com destaque para o calcário calcítico em relação ao dolomítico.

A incorporação de calcário em profundidade, com doses maiores do que as usuais, buscando formar perfil, vem ganhando atenção, resultando em incrementos na produtividade de culturas, decorrentes da correção da acidez, da melhoria na disponibilidade de nutrientes no perfil e de maior crescimento radicular, com efeito residual (MOREIRA, 2019; BELLINASSO et al., 2021; MORAES et al., 2023; SILVA, 2023). Há, então, a possibilidade de incorporar calcário com efeito residual, decorrente do tamanho e da percentagem das partículas, em áreas onde se faça a reintrodução do plantio direto, o que formará o perfil do solo.

A fim de fornecer informações relevantes a produtores e pesquisadores, objetivou-se verificar, em ambiente controlado, o efeito da aplicação de três granulometrias distintas de dois calcários, com diferentes teores de MgO, nas doses de 4 e 8 toneladas, sobre os atributos químicos de um Latossolo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento teve início em 2016, sendo instalado em vasos de casa de vegetação da Universidade Federal do Mato Grosso (UFMT), no Campus de Sinop. O solo utilizado no experimento foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (LVAd), coletado na camada de 10 a 30 cm de profundidade, em uma área de mata nativa. As características químicas do solo, antes do início do experimento, eram as seguintes: $pH_{H_2O} = 4,37$; $P = 0,63 \text{ mg dm}^{-3}$, $K = 32,0 \text{ mg dm}^{-3}$; $Ca = 0,31 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $Mg = 0,27 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $Al^{3+} = 0,7 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $H+Al = 9,18 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $CTC = 9,83 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $V = 6,69\%$ e 513 g kg^{-1} de argila, 133 g kg^{-1} de silte e 353 g kg^{-1} de areia.

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado (DIC) em esquema fatorial ($2 \times 3 \times 4$), dois tipos de

calcário (calcítico: com 46% de CaO e 3% de MgO e dolomítico: com 29% de CaO e 19% de MgO), e três granulometrias (fina: < 0,30 mm; média: 0,30 à 0,84 mm; e grossa: 0,84 à 2,0 mm) e quatro amostragens épocas de avaliação, sendo a primeira após 90 dias e as demais após os cultivos (200, 300 e 400 dias após calagem), com quatro repetições.

Foram aplicadas doses equivalentes a quatro e oito toneladas, conforme o volume do vaso. As doses foram definidas previamente no planejamento de uma sequência de experimentos que estudou o comportamento da calagem tanto em vasos quanto no campo (CHAPLA, 2017; AGUIAR, 2021; LANGE et al., 2021; LANGE et al., 2022; SILVA, 2023).

As parcelas foram constituídas por vasos plásticos com capacidade de $10,0 \text{ dm}^3$, preenchidos com solo peneirado na peneira de 4,00 mm. A umidade do solo nos vasos foi mantida próxima à capacidade de campo ao longo do experimento, por meio de pesagens diárias do conjunto vasoplantas. Todas as adubações seguiram as recomendações propostas por Malavolta (1980) para vasos em casa de vegetação. Na correção inicial de P e micronutrientes, utilizou-se MAP (51% de P_2O_5 e 9% de N), visando atingir a concentração de 250 mg dm^{-3} de P. A aplicação dos micronutrientes foi realizada por meio de diluição em água, com posterior distribuição no solo nas seguintes concentrações: boro: $0,5 \text{ mg dm}^{-3}$; manganês: 4 mg dm^{-3} ; cobre: $1,5 \text{ mg dm}^{-3}$; e zinco: 5 mg dm^{-3} . Para garantir a homogeneização adequada, a mistura do solo, do calcário, do MAP e dos micronutrientes foi realizada em parcelas.

Após 90 dias da aplicação do calcário, foi realizada a 1ª amostragem do solo, retirando-se quatro amostras (furos com a sonda) por vaso, a fim de compor uma amostra composta, e determinaram-se as seguintes características químicas: pH_{H_2O} , K, Ca, Mg, H+Al, CTC e V%. Após a 1ª amostragem, os vasos foram cultivados com três plantas de soja (*Glycine max* L. cultivar TMG 132 RR), após colheita, foi realizada a 2ª amostragem de solo (200 dias), em seguida houve o cultivo de feijão, com 2 plantas por vaso (*Phaseolus vulgaris* L. Jalo Precoce), sendo a 3ª amostragem de solo (300 dias) realizada após a colheita do feijão. Por fim, ocorreu o cultivo de milho, com apenas uma planta por vaso (*Zea mays* L. híbrido DKB290), e, após a colheita, a 4ª e última amostragem de solo (400 dias).

As adubações de pós-semeadura foram realizadas com cloreto de potássio e ureia, aplicados em cobertura, diluídos em água e parcelados em três aplicações até os 45 dias, com o fornecimento de 250 mg dm^{-3} de potássio e de nitrogênio. Antes do cultivo do milho, o solo foi fertilizado novamente com MAP para atingir 250 mg dm^{-3} de P e, para isso, o adubo foi misturado ao solo de cada vaso e incorporado, com nova movimentação de solo. As plantas de soja, feijão e milho foram colhidas próximas do ponto de maturidade fisiológica, secas e determinadas a massa seca da planta, a produção de grãos por planta e as concentrações de cálcio e magnésio na massa seca, sendo que, para o milho, a análise de cálcio e magnésio não foi realizada; porém, foi determinada sua massa radicular. As análises químicas de solo e de planta seguiram os métodos preconizados (EMBRAPA, 1997).

Com as características químicas dos corretivos, determinou-se o PN, RE e o PRNT (Tabela 1) e a saturação por bases que cada tratamento deveria alcançar, conforme método da saturação por bases $NC = (V_2 - V_1) * T / PRNT$], em que: NC é a necessidade de corretivo aplicada, V2 é a

saturação pretendida, V1 é a saturação de bases antes da calagem, T é a capacidade de troca de cátions à pH 7 (cmolc dm⁻³), PRNT com base na granulometria e reatividade. Compararam-se os valores obtidos com os obtidos após a calagem e a incubação (Tabela 1). Os dados obtidos foram

submetidos à análise de variância pelo teste F a 5% de significância, e os efeitos dos calcários e das granulometrias foram comparados pelo teste de SNK (p < 0,05). Também foi realizada uma análise de regressão da reação das partículas em função do tempo de incubação.

Tabela 1. Características dos corretivos e saturação de bases pretendida e observada após 90 dias de incubação.
Table 1. Characteristics of the correctives and intended and observed base saturation after 90 days of incubation.

Corretivo	Granulometria	RE (%)	PN (%)	PRNT (%)	V%-pret.	V%-90 dias	VR
4 t ha ⁻¹							
Calcítico	F	100	89.78	89.78	43.19	36.02	83.4
Calcítico	M	60	89.78	53.87	28.59	28.96	101.3
Calcítico	G	20	89.78	17.96	13.99	19.04	136.1
Dolomítico	F	100	99.03	99.03	46.95	31.03	66.1
Dolomítico	M	60	99.03	59.42	30.84	20.81	67.5
Dolomítico	G	20	99.03	19.81	14.74	10.48	71.1
8 t ha ⁻¹							
Calcítico	F	100	89.78	89.78	79.68	58.21	73.1
Calcítico	M	60	89.78	53.87	50.49	46.67	92.4
Calcítico	G	20	89.78	17.96	21.29	30.95	145.4
Dolomítico	F	100	99.03	99.03	87.20	57.04	65.4
Dolomítico	M	60	99.03	59.42	55.00	36.43	66.2
Dolomítico	G	20	99.03	19.81	22.79	17.18	75.4

Granulometria: F-fina: < 0,30 mm; M-média: 0,30 a 0,84 mm; G-grossa: 0,84 a 2,0 mm; RE: reatividade dos corretivos em função da granulometria; PN: poder de neutralização; PRNT: poder relativo de neutralização total; V% pret. (NC=((V2-V1)*T/PRNT)) - Saturação de bases pretendida; V% 90 dias: saturação por bases alcançada após 90 dias de aplicação dos corretivos; VR - valor relativo % em relação ao pretendido.

3. RESULTADOS

Os resultados relativos às alterações de pH promovidas pelos tratamentos estão apresentados na Figura 1. Quando se aplicaram quatro toneladas de calcário, tanto nos corretivos quanto nas granulometrias, houve variação significativa apenas aos 400 dias, com valores maiores na incubação das granulometrias grossas e médias na presença do calcário dolomítico (Figura 1a). Na dose de oito toneladas, a aplicação de calcário dolomítico resultou em valores de pH mais elevados em todas as amostragens após a incubação, exceto aos 90 dias, em todas as granulometrias avaliadas (Figura 1c). Aos 300 dias, o menor pH foi observado nas partículas mais grossas, independentemente do corretivo utilizado (Figura 1c). A evolução temporal do pH mostrou comportamento semelhante entre os tratamentos, com redução dos valores de 6,0-6,2 para 4,5-5,0 até os 300 dias, seguida de aumento para 4,9-5,3 aos 400 dias. Destacou-se o calcário dolomítico, na dose de 8 toneladas, que manteve o pH acima de 5,0 (Figura 1d).

A saturação por bases (V%), na dose de quatro toneladas, foi significativamente diferente entre os corretivos e as granulometrias aos 90 dias da incubação, com valor maior para o calcário calcítico na granulometria fina (Figura 2a), sem diferenças nas demais épocas de amostragem. Quando se incubaram oito toneladas, houve interação entre os corretivos e as granulometrias nas amostragens aos 90, 200 e 300 dias (Figura 2c). Aos 90 dias, há igualdade entre os dois corretivos no aumento do V% na granulometria fina (~57-58%); já os resultados da reação das partículas médias e grossas mostram que o calcário calcítico apresenta valores superiores aos do dolomítico (Figura 2c). Aos 200 dias, o V% foi superior com as partículas mais finas do que com as mais grossas, elevando a saturação a uma proporção próxima de 60%. Aos 400 dias, não houve diferença no V% entre as granulometrias utilizadas e, quanto aos corretivos, o calcítico apresentou valores significativamente menores (< 40-45%),

em comparação ao dolomítico, que atingiu valores de V% próximos de 55% (Figura 2c).

Ao longo das observações, percebeu-se que, na dose de quatro toneladas, apenas o calcário dolomítico, na granulometria grossa, elevou a V% de forma linear, enquanto o restante dos tratamentos ajustou-se ao modelo quadrático (Figura 2b). Na dose de oito toneladas, o V% de ambos os corretivos, em todas as granulometrias, ajustou-se ao modelo quadrático (Figura 2d).

O alumínio (Al) foi detectado antes da incubação (0,7 cmolc dm⁻³) e, após 90 dias, não foi detectado (0,0 cmolc dm⁻³), o que condiz com os valores de pH do solo, que também foram corrigidos para valores acima de 6,0 (Figuras 3a e 3c). Nas demais amostragens houve interação entre os calcários e entre as granulometrias para o Al. Na dose de 4 toneladas, aos 300 dias, o valor de Al é maior quando se utiliza calcário dolomítico fino (> 2,0 cmolc dm⁻³); já quando se utiliza calcário calcítico, o calcário calcítico se sobressaiu ao dolomítico e, na presença de partículas grossas, não houve diferença. Aos 400 dias, ainda na dose de quatro toneladas, observaram-se valores mais elevados de Al na incubação das partículas médias e finas do calcário calcítico. Ainda aos 400 dias, a partícula fina de calcário calcítico apresentou teores mais elevados de Al no solo do que as demais partículas finas.

Aos 200 e 300 dias de incubação, com a aplicação de 8 toneladas por hectare, observaram-se maiores teores de alumínio trocável no solo tratado com calcário calcítico. Na última amostragem (400 dias), os teores de Al foram estatisticamente semelhantes entre os corretivos e as granulometrias avaliadas. Em relação ao tamanho das partículas, aos 300 dias, o maior teor de Al foi observado na partícula grossa do calcário dolomítico, o que não foi observado no calcário calcítico. De modo geral, a tendência dos teores de alumínio acompanhou, de forma inversa, as variações do pH do solo (Figura 3).

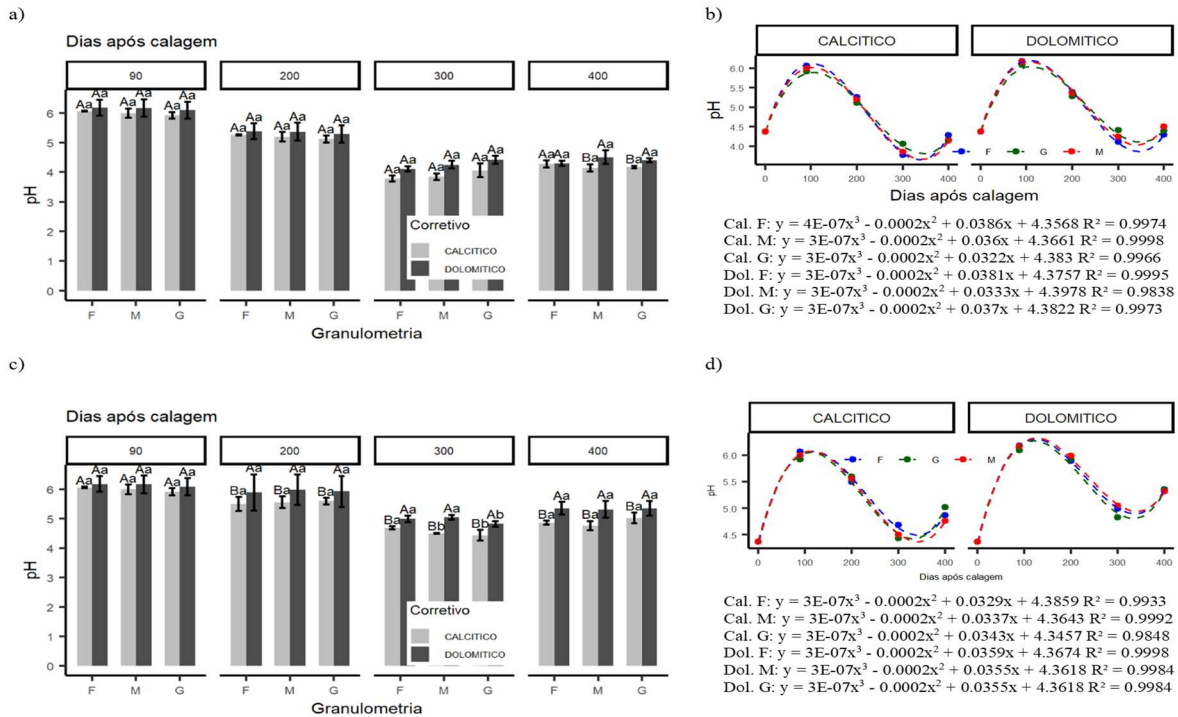


Figura 1. Potencial Hidrogeniônico (pH) após calagem com dois tipos de calcário em três granulometrias; a-b) pH após aplicação de 4 toneladas dos corretivos; c-d) pH após aplicação de 8 toneladas dos corretivos; médias seguidas de letras distintas diferem entre si pelo teste de SNK, maiúsculas entre corretivos e minúsculas entre granulometrias; Corretivos= CALCITICO: 46% de CaO e 3% de MgO, DOLOMITICO: 29% de CaO e 19% de MgO. Granulometrias: F-fina (< 0,30 mm), M-média (0,84 a 0,30 mm) e G-grossa (> 0,84 mm). Figure 1. Hydrogen ion potential (pH) after liming with two types of limestone in three particle sizes; a-b) pH after application of 4 tons of correctives; c-d) pH after application of 8 tons of correctives; means followed by different letters differ from each other by the SNK test, uppercase letters between correctives and lowercase letters between particle sizes; Correctives = CALCITICO: 46% CaO and 3% MgO, DOLOMITICO: 29% CaO and 19% MgO. Particle sizes: F-fine (< 0.30 mm), M-medium (0.84 to 0.30 mm) and G-coarse (> 0.84 mm).

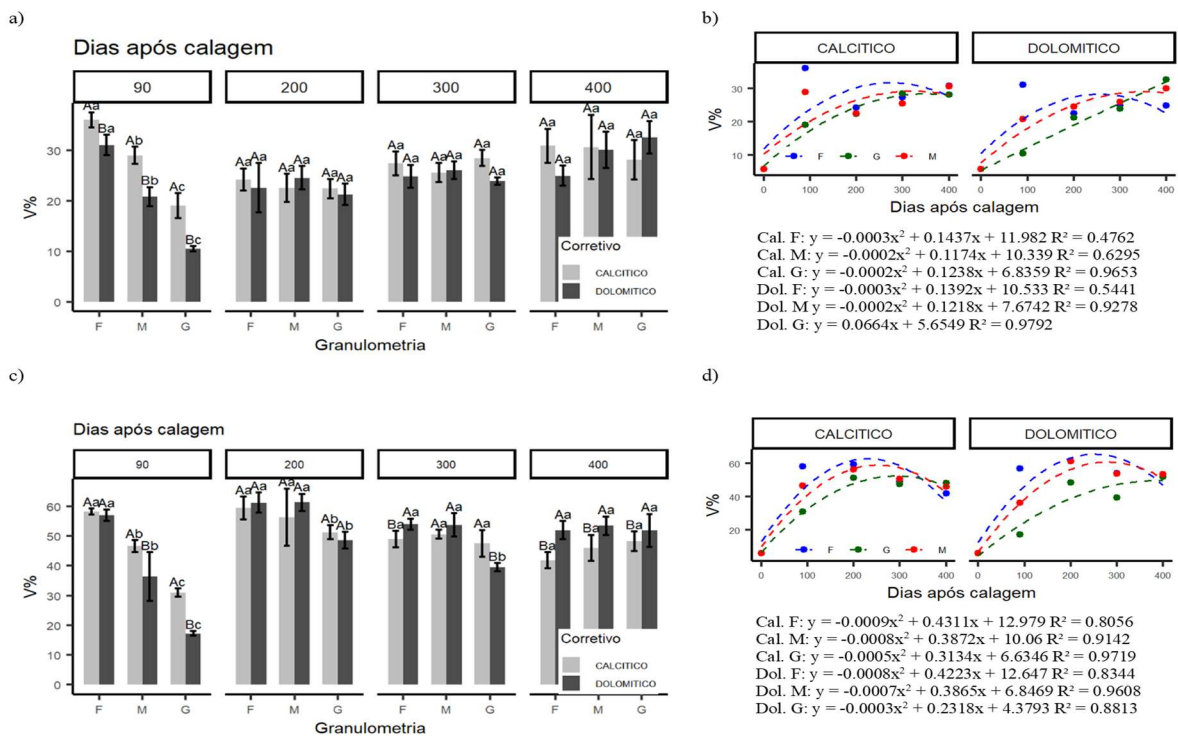


Figura 2. Saturação por bases (V%) após calagem com dois tipos de calcário em três granulometrias; a-b) V% após aplicação de 4 toneladas dos corretivos; c-d) V% após aplicação de 8 toneladas dos corretivos; médias seguidas de letras distintas diferem entre si pelo teste de SNK, maiúsculas entre corretivos e minúsculas entre granulometrias; Corretivos= CALCITICO: 46% de CaO e 3% de MgO, DOLOMITICO: 29% de CaO e 19% de MgO. Granulometrias: F-fina (< 0,30 mm), M-média (0,84 a 0,30 mm) e G-grossa (> 0,84 mm). Figure 2. Base saturation (V%) after liming with two types of limestone in three particle sizes; a-b) V% after application of 4 tons of correctives; c-d) V% after application of 8 tons of correctives; means followed by different letters differ from each other by the SNK test, uppercase letters between correctives and lowercase letters between particle sizes; Correctives = CALCITICO: 46% CaO and 3% MgO, DOLOMITICO: 29% CaO and 19% MgO. Particle sizes: F-fine (< 0.30 mm), M-medium (0.84 to 0.30 mm) and G-coarse (> 0.84 mm).

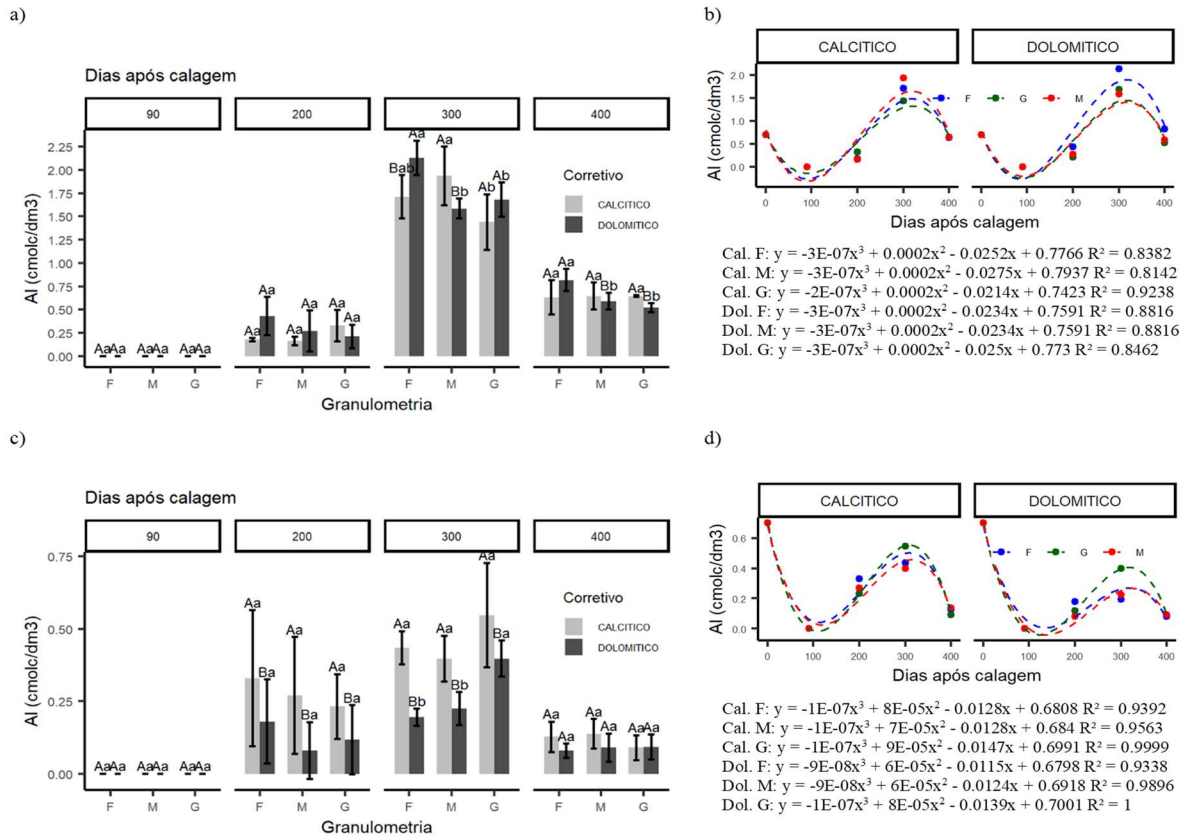


Figura 3. Alumínio (Al) no solo após calagem com dois tipos de calcário em três granulometrias; a-b) Al após aplicação de 4 toneladas dos corretivos; c-d) Al após aplicação de 8 toneladas dos corretivos; médias seguidas de letras distintas diferem entre si pelo teste de SNK, maiúsculas entre corretivos e minúsculas entre granulometrias; Corretivos= CALCITICO: 46% de CaO e 3% de MgO, DOLOMITICO: 29% de CaO e 19% de MgO. Granulometrias: F-fina (< 0,30 mm), M-média (0,84 a 0,30 mm) e G-grossa (> 0,84 mm).
 Figure 3. Aluminum (Al) in the soil after liming with two types of limestone in three particle sizes; a-b) Al after application of 4 tons of correctives; c-d) Al after application of 8 tons of correctives; means followed by different letters differ from each other by the SNK test, uppercase letters between correctives and lowercase letters between particle sizes; Correctives = CALCITICO: 46% CaO and 3% MgO, DOLOMITICO: 29% CaO and 19% MgO. Particle sizes: F-fine (< 0.30 mm), M-medium (0.84 to 0.30 mm) and G-coarse (> 0.84 mm).

Na primeira amostragem (90 dias), o alumínio foi completamente neutralizado, refletindo a elevação inicial do pH para valores $\geq 6,0$. Com o avanço da incubação e a consequente acidificação natural do solo, observou-se o reaparecimento do alumínio, com destaque para os 300 dias, quando os teores superaram $2,0 \text{ cmolc dm}^{-3}$ na dose de quatro toneladas. Após o revolvimento do solo, simulado pelo cultivo do feijão, houve novo estímulo à reação dos corretivos, resultando em elevação do pH e, consequentemente, na redução do alumínio para valores de $0,5$ e $0,1 \text{ cmolc dm}^{-3}$, nas doses de quatro e oito toneladas, respectivamente, aos 400 dias (Figuras 3b e 3d).

O comportamento do Al no solo é condizente com a variação de pH e, obviamente, inverso a esta, sendo nulo em $\text{pH} \geq 6,0$ e tóxico ($2,0 \text{ cmolc dm}^{-3}$) a pH próximo de $4,0$. A movimentação do solo após o cultivo do feijão, aos 300 dias, estimulou a reação dos calcários, reduzindo o Al a $0,1 \text{ cmolc dm}^{-3}$ na dose de oito toneladas e a $0,5 \text{ cmolc dm}^{-3}$ na dose de quatro toneladas, com destaque para a reação das partículas mais grosseiras de calcário dolomítico na menor dose aplicada. A acidificação do sistema elevou o teor de Al no solo, o que se refletiu diretamente na produção de feijão.

Os teores de cálcio (Ca) no solo foram sempre superiores com o uso de calcário calcítico, em relação ao calcário dolomítico, nas duas doses aplicadas (Figuras 4a e 4c). Para as diferentes granulometrias, aos 90 dias, na dose de quatro toneladas, a granulometria fina apresenta o maior valor de Ca

no solo, próximo de $4,0 \text{ cmolc dm}^{-3}$, e, nas demais avaliações, não foram observadas diferenças entre as granulometrias (Figura 4a).

Ao incubar oito toneladas, aos 90 dias, o comportamento é similar ao da dose de quatro toneladas quanto ao teor de Ca no solo, com o maior valor observado durante a condução do estudo ($\sim 6,0 \text{ cmolc dm}^{-3}$). Aos 300 dias de incubação, as partículas finas e médias resultam em maior teor de Ca no solo, independentemente do corretivo, superando a reação das partículas grossas. Na última avaliação, aos 400 dias, os teores de Ca são superiores para a incubação das partículas médias e grossas do calcário calcítico (Figura 4c). Os valores de Ca, inicialmente $0,31 \text{ cmolc dm}^{-3}$ (tempo zero), atingiram $3,69$ e $5,62 \text{ cmolc dm}^{-3}$ na incubação da granulometria fina, nas doses de quatro e oito toneladas, respectivamente, com incremento superior a $5,0 \text{ cmolc dm}^{-3}$ na maior dose (Figuras 4a e 4c) aos 90 dias. No comportamento ao longo do tempo, percebe-se que as granulometrias fina e média resultaram na redução dos teores de Ca nas observações aos 200 e 300 dias, voltando a elevar-se aos 400 dias, com destaque para a dose de oito toneladas e para as partículas médias e grossas. Ainda se observa que o calcário dolomítico eleva linearmente os níveis de Ca ao longo das observações na granulometria grossa (Figuras 4b e 4d). A elevação nos teores de Ca no solo na última avaliação deve-se ao revolvimento do solo entre o cultivo do feijão e do milho, o que aumenta o contato solo-correctivo. O calcário dolomítico apresenta os maiores valores

de Mg em relação ao calcário calcítico em todas as amostragens. Não houve diferenças nos teores entre as granulometrias do calcário calcítico, exceto aos 90 dias, na dose de quatro toneladas, quando houve menor valor na granulometria grossa (Figuras 5a e 5c). Quando se utilizou quatro toneladas de calcário dolomítico, aos 90 dias a granulometria fina resultou em maior teor de Mg, seguida

pela média e grossa, elevando o teor de Mg no solo para 2,0 cmol_c dm⁻³, valor este igual ao obtido quando da reação da partícula grossa aos 400 dias, mostrando o efeito residual que granulometria grosseira de calcário pode atingir no solo, após longo período. Esse resultado também foi observado para o Ca no solo quando o calcário calcítico foi utilizado na dose de 8 toneladas (Figura 4).

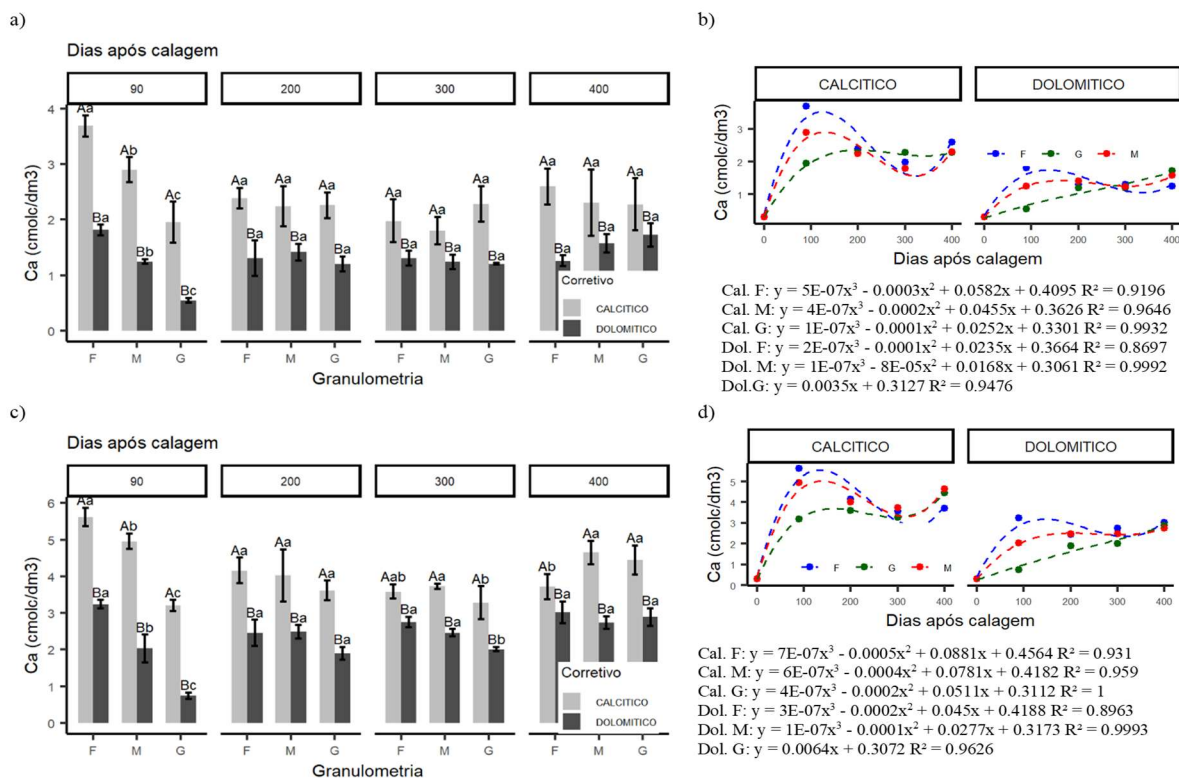


Figura 4. Cálcio (Ca) no solo após calagem com dois tipos de calcário em três granulometrias; a-b) Ca após aplicação de 4 toneladas dos corretivos; c-d) Ca após aplicação de 8 toneladas dos corretivos; médias seguidas de letras distintas diferem entre si pelo teste de SNK à 5% de significância, maiúsculas entre corretivos e minúsculas entre granulometrias; Corretivos= CALCITICO: 46% de CaO e 3% de MgO, DOLOMITICO: 29% de CaO e 19% de MgO. Granulometrias: F-fina (< 0,30 mm), M-média (0,84 a 0,30 mm) e G-grossa (> 0,84 mm). Figure 4. Calcium (Ca) in the soil after liming with two types of limestone in three particle sizes; a-b) Ca after application of 4 tons of the amendments; c-d) Ca after application of 8 tons of the amendments; means followed by different letters differ from each other by the SNK test at 5% significance, uppercase letters between amendments and lowercase letters between particle sizes; Amendments = CALCITICO: 46% CaO and 3% MgO, DOLOMITICO: 29% CaO and 19% MgO. Particle sizes: F-fine (< 0.30 mm), M-medium (0.84 to 0.30 mm) and G-coarse (> 0.84 mm).

Para a aplicação de oito toneladas de calcário dolomítico, até aos 300 dias iniciais, destaque para a incubação da granulometria fina no aumento dos teores de Mg no solo, seguida da média e grossa, e ao final de 400 dias, igualdade nos teores de Mg no solo, com valores próximos a 3,0 cmol_c dm⁻³, valor este igual ao obtido na incubação da partícula fina aos 90 dias, novamente mostrando a reação das partículas grossas e seu efeito residual. Ao longo do tempo, a incubação da granulometria fina do calcário dolomítico elevou rapidamente os teores de Mg, independentemente da dose, diminuindo aos 200 e 300 dias e voltando a aumentar aos 400 dias (Figuras 5b e 5d), após o revolvimento realizado antes do cultivo do milho. As granulometrias média e grossa do calcário dolomítico aumentam os valores de Mg entre 90 e 200 dias, com valores menores entre 300 e 400 dias e uma nova elevação aos 400 dias, devido ao revolvimento do solo.

Observa-se que, após 90 dias de incubação no solo de calcário calcítico com granulometria grossa, os valores de saturação por bases (V%) ficaram acima dos valores previstos pelo Método de Saturação por Bases (19,04% e 30,95%) para quatro e oito toneladas, respectivamente, o que não ocorreu

no solo de calcário dolomítico. A granulometria média do calcário calcítico foi a que apresentou os valores de V% mais próximos dos pretendidos. O calcário dolomítico apresentou os menores valores de V% em relação ao pretendido, especialmente na granulometria fina.

A reação mais rápida do calcário calcítico é nítida, atingindo para as partículas de granulometria grossa cerca de 40% a mais que o estimado pelo método, e esta reação acontece com maior magnitude ao longo do tempo, como discutido, chegando ao final de 400 dias, com as partículas grossas na dose de quatro toneladas a elevar o V% para 30%, sem distinção dos corretivos (Figura 2). Já no caso da dose de oito toneladas para a partícula grossa do calcário calcítico, a estimativa aos 90 dias era de atingir um V% de 22%, tendo atingido 30,95%. Ao final dos 400 dias, os valores foram próximos de 50% para o uso do calcário dolomítico, independentemente da partícula.

Houve diferenças nas concentrações de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) nas plantas de soja, seguindo a característica do corretivo, com maiores valores de Ca (13,9 e 16,56 g kg⁻¹) e Mg (7,73 e 9,05 g kg⁻¹) para a aplicação de calcário calcítico

e dolomítico, respectivamente, nas doses quatro e oito toneladas (Tabela 2), contudo sem alterar a produção de massa seca das plantas ou de grãos. A incubação e a reação das granulometrias médias ou grossas aumentaram a concentração de Ca na dose de quatro toneladas e, na dose de oito toneladas, as concentrações de Mg no tecido foram maiores quando se usou a partícula fina de calcário, atingindo 7,37 g kg⁻¹. As plantas de soja sofreram a menor interferência dos tratamentos, pois o acúmulo de matéria seca e sua

produção não foram alterados em nenhuma das situações. As menores disponibilidades de Ca e Mg e o menor V% para a incubação das partículas grossas tiveram seu efeito suprimido pela correção de pH inicial, que apresentou valores ≥6,0, anulando a toxidez de Al e beneficiando a cultura, o que resultou em desenvolvimento uniforme nas plantas. Mesmo os calcários com PRNT mais baixo, devido à sua menor reatividade (granulometria maior), conseguiram promover o bom desenvolvimento das plantas.

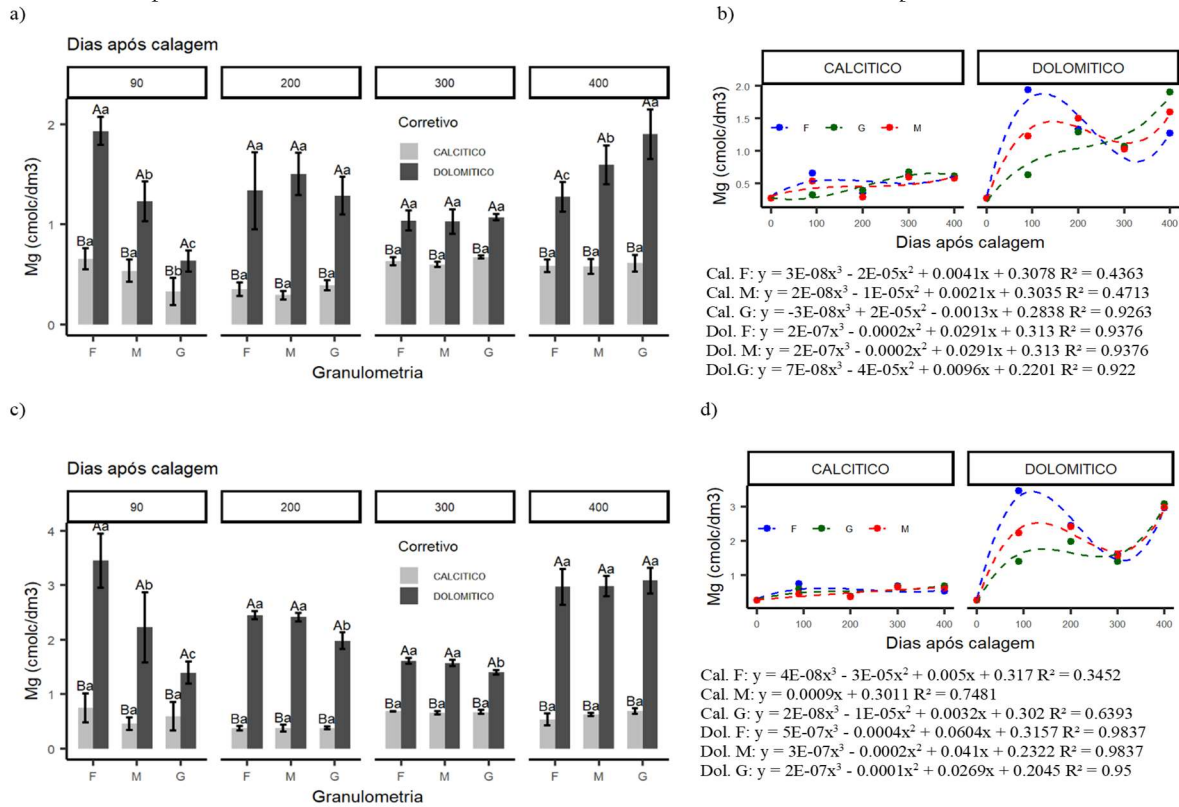


Figura 5. Magnésio (Mg) no solo após calagem com dois tipos de calcário em três granulometrias; a-b) Mg após aplicação de 4 toneladas dos corretivos; c-d) Mg após aplicação de 8 toneladas dos corretivos; médias seguidas de letras distintas diferem entre si pelo teste de SNK à 5% de significância, maiúsculas entre corretivos e minúsculas entre granulometrias; Corretivos= CALCITICO: 46% de CaO e 3% de MgO, DOLOMITICO: 29% de CaO e 19% de MgO. Granulometrias: F-fina (< 0,30 mm), M-média (0,84 a 0,30 mm) e G-grossa (> 0,84 mm).

Figure 5. Magnesium (Mg) in the soil after liming with two types of limestone in three particle sizes; a-b) Mg after application of 4 tons of the amendments; c-d) Mg after application of 8 tons of the amendments; means followed by different letters differ from each other by the SNK test at 5% significance, uppercase letters between amendments and lowercase letters between particle sizes; Amendments = CALCITICO: 46% CaO and 3% MgO, DOLOMITICO: 29% CaO and 19% MgO. Particle sizes: F-fine (< 0.30 mm), M-medium (0.84 to 0.30 mm) and G-coarse (> 0.84 mm).

Para o cultivo do feijoeiro, com a aplicação de quatro toneladas, a planta acumulou mais massa seca (5,95 g) com o uso de calcário dolomítico e, quanto ao efeito das granulometrias, maior massa foi observada para as partículas médias e grossas, porém sem efeito significativo na produção de grãos (Tabela 2). Na dose de 8 toneladas, houve maior produção de grãos quando se utilizou calcário calcítico. As concentrações de Ca e Mg no tecido obedeceram às características dos corretivos utilizados, com maior concentração de Ca no uso de calcário calcítico e de Mg no uso de calcário dolomítico, em ambas as doses.

No cultivo de milho, para a aplicação de quatro toneladas, houve maior massa seca das plantas (143,12 g) e maior produção de grãos (18,59 g) quando se utilizou calcário dolomítico (Tabela 2). Nesta mesma dose, há maior acúmulo de massa seca nas plantas cultivadas em solos com granulometria grossa e fina, sem efeito significativo no ganho

de massa do sistema radicular. Para a aplicação de 8 toneladas, houve maior massa radicular com o uso de calcário calcítico (23,22 g por planta).

Houve maior acúmulo de matéria seca e produção de grãos na cultura do milho na dose de 4 toneladas de calcário dolomítico, fato atribuído às diferenças observadas no pH e no teor de Al³⁺ no solo na amostragem aos 400 dias.

Os componentes principais que se correlacionaram positivamente com a produção relativa (PR) e os que mais contribuíram para a variância foram pH (19,54%) e V% (12,43%) (Figura 6), o que evidencia seu papel na maior produção de MSG de milho obtida com o corretivo dolomítico. Os atributos potássio (K), acidez potencial (acidez) e alumínio (Al³⁺) correlacionaram-se negativamente com a PR, contribuindo com 15,46%, 11,61% e 4,76% da variância, respectivamente (Figura 6). Os teores de Ca e Mg apresentaram pouca correlação com a PR, contribuindo com apenas 0,89% e 2,34% da variância (Figura 6).

Tabela 2. Valores da massa seca da planta (MS), produção de grãos por planta (PR), concentrações de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) na planta, e massa seca da raiz (MR) para as culturas de soja (So), feijão (Fe) e milho (Mi) após o cultivo em solo incubado com doses de calcário de diferentes granulometrias.

Table 2. Values for plant dry mass (MS), grain yield per plant (PR), calcium (Ca) and magnesium (Mg) concentrations in the plant, root dry mass (MR) for soybean (So), bean (Fe) and corn (Mi) crops after cultivation in soil incubated with limestone doses of different particle sizes.

(4 t ha ⁻¹)	So-MS	So-PR	So-Ca	So-Mg	Fe-MS	Fe-PR	Fe-Ca	Fe-Mg	Mi-MS	Mi-PR	Mi- MR
	---- g ----		--- (g kg ⁻¹) ---		---- g ----		--- (g kg ⁻¹) ---		----- g -----		
CA	37.25	19.13	13.9 a	3.31 b	4.18 b	1.4	15.18 a	2.22 b	126.60 b	10.11 b	21.30
DO	36.28	19.88	7.95 b	7.73 a	5.95 a	2.2	12.29 b	3.64 a	143.12 a	18.59 a	21.62
F	35.5	21.91	9.32 b	5.4	4.29 b	1.95	13.38	2.95	135.16 a	13.43	21.04
M	38.96	19.10	12.41 a	5.25	5.32 a	1.86	14.18	3.12	119.82 b	14.14	19.13
G	35.81	17.49	11.15 a	5.25	5.58 a	1.58	13.65	2.72	149.60 a	15.48	24.21
CR	ns	ns	**	**	**	ns	**	**	**	**	ns
GR	ns	ns	**	ns	**	ns	ns	ns	**	ns	ns
COR*GR	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV %	13.07	38.01	18.32	10.59	19.74	45.59	8.07	13.17	13.47	40.70	18.58

(8 t ha ⁻¹)	So-MS	So-PR	So-Ca	So-Mg	Fe-MS	Fe-PR	Fe-Ca	Fe-Mg	Mi-MS	Mi-PR	Mi- MR
	---- g ----		--- (g kg ⁻¹) ---		---- g ----		--- (g kg ⁻¹) ---		----- g -----		
CA	45.23	28.50	16.56 a	4.29 b	5.63	2.2 a	15.56 a	2.40 b	154.83	19.04	23.22 a
DO	42.64	26.60	8.88 b	9.05 a	6.09	1.51 b	13.62 b	5.03 a	148.50	21.62	20.07 b
F	45.90	27.43	13.22	7.37 a	5.84	1.78	14.84	3.92	150.22	16.72	21.36
M	43.72	28	12.75	6.66 b	5.58	1.87	14.19	3.61	150.25	25.26	21.56
G	42.19	27.19	12.19	6.00 c	6.17	1.91	14.72	36.2	154.52	19.01	22.02
COR	ns	ns	**	**	ns	**	**	**	ns	ns	**
GR	ns	ns	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
COR*GR	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV %	7.99	13.08	10.01	7.03	17.12	32.71	5.66	8.02	8.7	57.01	13.68

COR- corretivo; GR- granulometria; CA- calcítico; DO- dolomítico; GR- granulometrias; F- fina (< 0,30 mm), M- média (0,84 a 0,30 mm) e G- grossa (> 0,84 mm); CV% (coeficiente de variação). * - significativo a 5% e ** - significativo a 1%.

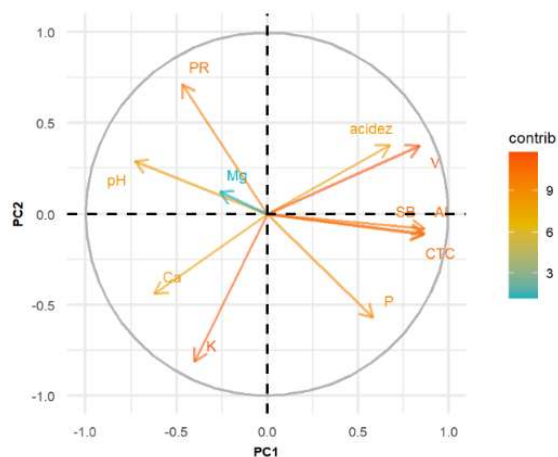


Figura 6. Análise dos componentes principais (PCA); PR - produção relativa, V - saturação por bases, pH - acidez ativa, SB - Soma de bases, CTC - capacidade de troca catiônica, acidez - acidez potencial, P - teor de fósforo no solo, Ca - teor de cálcio no solo, Mg - teor de magnésio no solo, K - teor de potássio no solo, Al - teor de alumínio no solo.

Figure 6. Principal Component Analysis (PCA); PR - relative production, V - base saturation, pH - active acidity, SB - sum of bases, CEC - cation exchange capacity, acidity - potential acidity, P - phosphorus content in the soil, Ca - calcium content in the soil, Mg - magnesium content in the soil, K - potassium content in the soil, Al - aluminum content in the soil.

4. DISCUSSÃO

O pH do solo atingiu valores próximos de 6,0-6,2 aos 90 dias e, com o passar do tempo, o cultivo de plantas e o uso

de fertilizantes nitrogenados resultaram em aumento da acidez, principalmente na menor dose de calcário (4 ton), com pH próximo de 4,5 aos 400 dias.

A aplicação de fertilizantes nitrogenados é uma prática que acidifica o solo e o cultivo das plantas, ao exportar nutrientes e, ao realizar o balanço eletroquímico, as raízes exsudam H⁺, o que deixa o solo ainda mais ácido (CAIRES, 2013; GOULDING, 2016; CECAGNO et al., 2021). Em estudos de campo com calcário, Gonçalves et al. (2011) verificaram acidificação do solo ao longo de 360 dias.

Os corretivos apresentaram efeito distinto no pH após ~200-300 dias, principalmente na maior dose, corroborando com Barber (1984), que, em sua revisão, mostra que o calcário calcítico apresenta reação mais rápida do que o dolomítico, inclusive ao comparar o tamanho das partículas. Segundo o mesmo autor, o calcário dolomítico tem maior capacidade neutralizante do que o calcário calcítico devido ao menor peso atômico do Mg, e a dolomita pura apresenta uma equivalência de CaCO₃ de 1,08.

Jones; Mallarino (2018) incubaram partículas de calcário calcítico e dolomítico por 210 dias, sem cultivar plantas, e verificaram igualdade na correção do pH até 70 dias e, após esse período, destaca-se o calcário calcítico moído fino, com pH em torno de 7,5. Verlengia; Gargantini (1972) verificaram pH mais elevado para o uso de calcário dolomítico em relação ao calcítico e ressaltaram, ainda, que partículas grossas pouco reagiram ao longo de até dois ou três anos, e Santos Filho et al. (2018) observaram similaridade de pH entre as partículas finas, médias e grossas durante 90 dias de incubação.

Os resultados mostraram que o calcário calcítico apresentou reação mais rápida do que o dolomítico, ao

promover maior V% inicial, em consonância com Rodrighero et al. (2015), que, aos 12 meses, verificaram maior pH e V% com o uso de calcário calcítico fino. Nosso estudo mostra que, com o tempo, há similaridade de resultados para a dose de quatro toneladas, mas, na dose de oito toneladas, isso se inverte, com destaque para o dolomítico, que acompanha os valores de pH do solo e apresenta comportamento similar entre as partículas na maior dose. Isso demonstra o efeito residual mais duradouro do calcário dolomítico grosso, situação fundamental para a introdução do sistema de plantio direto numa área, considerando o perfil do solo e o efeito residual.

A incubação das partículas finas resulta em V% inicial maior e, ao longo do tempo, a reação é similar entre as partículas, evidenciando a eficiência e o efeito residual do calcário grosso, tanto no tempo de reação quanto no revolvimento do solo. Estas partículas grossas sinalizaram que, com o tempo, poderiam apresentar resultados ainda superiores aos das finas no solo, se o estudo se prolongasse, pois, aos 400 dias, os resultados já se igualaram ou até superaram os das finas no solo. Antes do cultivo do milho, o solo foi removido de cada vaso para realizar a adubação fosfatada e, juntamente com o uso de fertilizantes nitrogenados, este procedimento otimizou a reação dos corretivos, com o calcário dolomítico reagindo mais ao final. Neste sentido, a incorporação de calcário, seja em áreas novas ou velhas, seguida de possível perturbação após alguns anos, certamente provoca a reação das partículas mais grosseiras.

O comportamento do pH e do V% ao longo do tempo está de acordo com as condições dos estudos acima citados que mostram a reação ao se comparar os calcários e que a presença de plantas ou não durante um estudo, o ambiente de cultivo (campo ou controlado), o tempo de avaliação, os procedimentos de preparo ou movimentação do solo, o uso de fertilizantes nitrogenados, entre outros fatores são determinantes na reação maior ou menor e no efeito residual de cada corretivo, sem entrar no mérito de sua granulometria.

O comportamento do calcário calcítico, inicialmente com um maior V%, passando por valores similares e por fim inferior ao dolomítico, mostra que a velocidade da reação no solo depende das condições de umidade, temperatura, características químicas do solo e natureza química e física do corretivo (MORAES et al., 2023; SANTOS et al., 2024), fator esse atrelado a característica da rocha de origem do corretivo. A calcita possui dureza equivalente a 3,0 (escala de Mohs) e a dolomita, 4,0; logo, o calcário dolomítico apresenta uma reação mais lenta no solo quando comparado ao calcário calcítico. O calcário dolomítico, apesar de apresentar maior poder de neutralização (PN), reage mais lentamente do que o calcário calcítico, em decorrência da maior estabilidade da dolomita em relação à calcita (BARBER, 1984). Gonçalves et al. (2011) e Rodrighero et al. (2015), ao estudarem granulometrias e doses, corrigiram as doses em função da variação no RE de seus calcários, o que é diferente do aqui proposto e, mesmo assim, houve pouca diferença nos valores observados pelos autores, tendo, aos 36 meses, ausência de diferença no V% entre as granulometrias aplicadas.

O aumento nos teores de Ca e Mg no solo foi condizente com a composição química dos corretivos, conforme esperado e observado na literatura (VERLENGIA; GARGANTINI, 1972; VIADÉ et al., 2011; RODRIGHERO et al., 2015; LANGE et al., 2021; LANGE et al., 2022). Em relação a granulometria, o calcário moído finamente reage com maior velocidade, aumentando os

teores de Ca e Mg no solo na primeira avaliação e este comportamento se deve ao fato dos calcários serem poucos solúveis em água, e a sua reação depende da interação com as partículas do solo, logo calcários finos reagem mais rapidamente, pois quanto menor a granulometria, maior será a velocidade de reação do corretivo, corroborando com a literatura (VIADÉ et al., 2011, RODRIGHERO et al., 2015, JONES; MALLARINO, 2018).

A reação lenta da granulometria grossa resulta em baixos teores de Ca e Mg no solo aos 90 dias; porém, aos 400 dias, os valores são muito próximos aos obtidos pelas partículas finas aos 90 dias, o que indica que o calcário grosso reage tanto quanto o fino, porém requer tempo de reação e acidez no solo. Gonçalves et al. (2011), ao utilizar doses de calcário dolomítico com dois PRNT, verificaram os maiores teores no solo aos 12 meses, decaindo aos 24 e 36 meses, independentemente do corretivo.

A aplicação de quatro toneladas de calcário elevou o V% próximo aos valores calculados, porém, em doses maiores, mesmo os calcários finamente moídos não alcançam o V% calculado, corroborando a literatura (LANGE et al., 2021; LANGE et al., 2022; MORAES et al., 2023; SANTOS et al., 2024). Ao contrário, as partículas grossas reagem de forma extraordinária ao final, atingindo valores duas ou três vezes maiores do que os estimados pelo método. Como exemplo, a partícula grossa de calcário dolomítico, que, em teoria, aos 90 dias atingiria V% de 23, chega apenas a 17%; porém, após 400 dias, atinge V% de ~50. A reatividade dos calcários depende não apenas do tamanho das partículas, mas também de uma série de fatores, como já abordado. A incubação de doses crescentes de calcário finamente moído mostra que as saturações pretendidas não são atingidas e que o pico de reação de partículas finas ocorre aos 90 dias, com destaque para o uso de calcário calcítico (Lange et al., 2022), o que condiz com os relatos aqui observados.

Rodrighero et al. (2015) não observaram influência de granulometria ou de corretivos na produtividade da soja ou do milho, já Viadé et al. (2011) observaram maiores produtividades das plantas após a aplicação de calcário finamente moído. Apesar de haver diferenças significativas na V% no momento do cultivo da soja entre os tratamentos, mesmo com oito toneladas, essa condição não influenciou a produção da soja, de acordo com Besen et al. (2021). Enesi et al. (2023) constataram em sua revisão que calcários calcíticos proporcionam um maior rendimento das culturas, obviamente, isso depende dos teores iniciais de Ca e Mg no solo.

As plantas do feijoeiro foram as mais afetadas pelas condições do solo, principalmente pelo baixo pH e pela toxidez de Al, reduzindo o acúmulo de massa seca na planta para ~5,5 g e a produção para ~2,0 g por planta. Moraes et al. (2023), trabalhando com altas doses de calcário, verificaram uma relação direta entre o aumento das doses e a maior produtividade das culturas de soja, feijão, trigo e milho, sendo que, no milho, observou-se crescimento radicular expressivo em função das doses. A toxicidade do Al prejudica a absorção de nutrientes (Ca, Mg, P e K), o que limita o crescimento das raízes das plantas (RODRIGUERO et al., 2015; LOPES; GUILHERME, 2016; MORAES et al., 2023).

Assim, as partículas mais grossas tiveram, ao final de 400 dias de cultivo, a possibilidade de disponibilizar ao solo quantidades equivalentes de Ca e Mg, elevando o V% a valores próximos aos alcançados pelas finas logo aos 90 dias de cultivo, o que praticamente não afetou as plantas de milho.

As plantas de soja e feijão apresentaram concentrações de Ca e Mg condizentes com as características dos solos cultivados, ora ricos em Ca, ora em Mg, o que concorda com a literatura (VIADÉ et al., 2011; LANGE et al., 2021; LANGE et al., 2022).

5. CONCLUSÕES

As partículas finas reagiram rapidamente, alterando os atributos do solo aos 90 dias, com redução moderada da reação ao longo do tempo, enquanto as partículas grossas atingiram valores semelhantes aos das partículas finas ao final de 400 dias.

Independentemente do corretivo e da partícula, o teor de alumínio foi totalmente corrigido aos 90 dias e, aos 300 dias, apresentou valores mais elevados, o que prejudicou o desenvolvimento da cultura do feijoeiro. A saturação por bases pretendida não foi alcançada em nenhuma das avaliações pelas partículas finas, já as grossas se aproximam dos valores almejados aos 90 dias e tiveram reação crescente ao longo do tempo, chegando a valores duas ou três vezes maiores que os estimados, com efeito residual, situação importante ao serem incorporadas para construção da fertilidade do solo ao longo do perfil. O calcário dolomítico foi mais eficaz na correção do solo a médio e longo prazo, mantendo pH e saturação por bases mais elevados.

6. REFERÊNCIAS

- AGUIAR, B. L. **Calagem superficial até 12 t ha⁻¹ em plantio direto: produtividade da soja e efeitos no solo**. 40 f. Dissertação [Mestrado em Agronomia] - Universidade Federal de Mato Grosso, Sinop, 2021.
- BARBER, S. A. Liming materials and practices. **Soil Acidity and Liming**, v. 12, p. 171-209, 1984.
- BELLINASSO, R.J.S.; VARGAS, J.P.R.; RHEINHEIMER, D.S. Crop yields in no-tillage are severely limited by low availability of P and high acidity of the soil in depth, **Soil Research**, v. 60, n. 1, p. 33-49, 2021. <https://doi.org/10.1071/SR21021>
- BESEN, M.R.; CONEGLIAN, C. F.; CASSIM, B. M. A. R.; KACHINSKI, W. D.; INOUE, T. T.; BATISTA, M. A. Forms of lime application and use of phosphogypsum in low acid soil in southern Brazil: soybean-wheat yield and soil chemical properties. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 45, p. e0210001, 2021. <https://doi.org/10.36783/18069657rbscs2021000x>
- CECAGNO, D.; COSTA, S. E. V. G. A.; ANGHINONI, I.; BRAMBILLA, D. M.; NABINGER, C. Acidificação do solo sob fertilização nitrogenada de longo prazo em campo nativo com introdução de azevém. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 2, p. 263-267, 2021. <https://doi.org/10.5965/223811711812019263>
- CHAPLA, M. E. **Calagem superficial em área de plantio direto**. 70f. Dissertação [Mestrado em Agronomia] - Universidade Federal de Mato Grosso, Sinop, 2017.
- EMBRAPA_Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análises de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1997. 212 p.
- ENESI, R. O.; DYCK, M.; CHANG, S.; THILAKARATHNA, M. S.; FAN, X.; STRELKOV, S.; GORIM, L. Y. Liming remediates soil acidity and improves crop yield and profitability-a meta-analysis. **Frontiers in Agronomy**, v. 5, e1194896, 2023. <https://doi.org/10.3389/fagro.2023.1194896>
- GONÇALVES J. R. P.; MOREIRA, A.; BULL, L. T.; CRUSCIOL, C. A. C.; VILLAS BOAS, R. L. Granulometria e doses de calcário em diferentes sistemas de manejo. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 33, p. 369-375, 2011. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v33i2.3659>
- GOULDING, K. W. T. Soil acidification and the importance of liming agricultural soils with particular reference to the United Kingdom. **Soil Use and Management**, v. 32, n. 3, p. 390-399, 2016. <https://doi.org/10.1111/sum.12270>
- JONES, J. D.; MALLARINO, A. P. Influence of source and particle size on agricultural limestone efficiency at increasing soil pH. **Soil Science Society of America Journal**, v. 82, n. 1, p. 271-282, 2018. <https://doi.org/10.2136/sssaj2017.06.0207>
- LANGE, A.; CAVALI, E.; PEREIRA, C. S.; CHAPLA, M. V.; FREDDI, O. S. Relações cálcio:magnésio e características químicas do solo sob cultivo de soja e milho, **Nativa**, v. 9, n. 3, p. 294-301, 2021. <https://doi.org/10.31413/nativa.v9i3.11526>
- LANGE, A.; ZAMBIASI JÚNIOR, M. J.; CAVALLI, E.; PEREIRA, C. S.; FREDDI, O. S. Incubação de calcário finamente moído e características químicas do solo sob cultivo de soja e milho. **Nativa**, v. 10, n. 4, p. 585-594, 2022. <https://doi.org/10.31413/nativa.v10i4.14146>
- LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G. A career perspective on soil management in the Cerrado Region of Brazil. **Advances in Agronomy**, v. 137, p. 1-72, 2016. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2015.12.004>
- MALAVOLTA, E. **Elementos da Nutrição Mineral de Plantas**. 1 ed. Piracicaba-SP: Editora Agronômica Ceres, 1980. 252p.
- MORAES, F. A.; MOREIRA, S. G.; PEIXOTO, D. S.; SILVA, J. C. R.; MACEDO, J. R.; SILVA, M. M.; SILVA, B. M.; SANCHEZ, P. A.; NUNES, M. R. Lime incorporation up to 40 cm deep increases root growth and crop yield in highly weathered tropical soils. **European Journal of Agronomy**, v. 144, e126763, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2023.126763>
- MOREIRA, S. G. Desafios para a sustentabilidade dos sistemas de produção com culturas anuais. **Informações Agronômicas**, v. 4, p. 1-12, 2019.
- QUAGGIO, J. A.; VAN RAIJ, B. Manejo da acidez do solo. In: CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; MATTOS, J. R. D.; BOARETTO, R. M.; RAIJ, B. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agronômico, 2022. p. 61-83.
- RATKE, R. F.; PEREIRA, H. S.; SANTOS JÚNIOR, J. de D. G. dos; BARBOSA, J. M.; LOPES, L. O. Different limestone particle sizes for soil acidity correction, Ca and Mg supply and corn yield. **Comunicata Scientiae**, v. 9, p. 175-184, 2018. <https://doi.org/10.14295/cs.v9i2.2205>
- RHEINHEIMER, D. S.; TIECHER, T.; GONZATTO, R.; ZAFAR, M.; BRUNETTO, G. Residual effect of surface-applied lime on soil acidity properties in a long-term experiment under no-till in a Southern Brazilian sandy Ultisol. **Geoderma**, v. 313, p. 7-16, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.10.024>
- RODRIGHERO, M. B.; BARTH, G.; CAIRES, E. F. Aplicação superficial de calcário com diferentes teores de magnésio e granulometrias em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 1723-1736, 2015. <https://doi.org/10.1590/01000683rbscs20150036>

- SANTOS, D. R.; TIECHER, T.; GONZATTO, R.; SANTANNA, M. A.; BRUNETTO, A. G.; SILVA, L. S. Avaliação da reatividade de corretivos de diferentes granulometrias na acidez em Argissolos. **Revista Ambientale**, v. 10, n. 2, p. 30-38, 2018.
- SANTOS, F. C. Limestone reaction in sandy soil: Rate effects, limestone type, moisture regime, and time. **Agrosystems Geosciences & Environment**, v. 7, n. 4, e70008, 2024. <https://doi.org/10.1002/agg2.70008>
- SILVA, L. A. **Calagem incorporada ao final do período chuvoso, em área de abertura, em Mato Grosso**. 40f. Dissertação [Mestrado em Agronomia] - Universidade Federal de Mato Grosso, Sinop, 2023.
- VERLENGIA, F.; GARGANTINI, H. Estudo sobre a eficiência de diferentes frações granulométricas de calcário no solo. **Bragantia**, v. 31, p. 119-128, 1972. <https://doi.org/10.1590/S0006-87051972000100010>
- VIADÉ, A.; FERNÁNDEZ-MARCOS, M. L.; HERNÁNDEZ-NISTA, J.; ALVAREZ, E. Effect of particle size of limestone on Ca, Mg and K contents in soil and in sward plants. **Scientia Agricola**, v. 68, p. 200-208, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162011000200010>

Agradecimentos: Ao Sindicato das Indústrias de Extração de Calcário de Mato Grosso – SINECAL, pelo apoio financeiro na execução do estudo, e aos acadêmicos do curso de Eng. Agrônoma/UFMT-Sinop (Igor Gabriel Santana e Erivelton Almeida Costa).

Contribuições dos autores: A.P.C.V.: análise formal, escrita - draft original; A.L.: conceitualização, metodologia, aquisição de financiamento, recursos, escrita - revisão e edição; C.G.T.S.: curadoria dos dados, escrita - draft original; C.A.S.M.: análise formal, escrita - revisão e edição; C.S.P.: análise formal, escrita - revisão e edição. Todos os autores leram e aprovaram a versão publicada do manuscrito.

Disponibilidade de dados: Os dados desta pesquisa poderão ser obtidos por e-mail, mediante solicitação ao autor correspondente ou ao segundo autor.

Conflito de interesses: Os autores declaram não haver conflitos de interesses.



Copyright: © 2025 by the authors. This article is an Open-Access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons **Attribution-NonCommercial (CC BY-NC)** license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).