

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

GABRIEL NERY DA COSTA

ASSOCIAÇÃO DE SILITO E CALCÁRIO E SEUS BENEFÍCIOS PARA A FERTILIDADE
DO SOLO E PRODUTIVIDADE DA SOJA

Monte Carmelo
2025

GABRIEL NERY DA COSTA

ASSOCIAÇÃO DE SILITO E CALCÁRIO E SEUS BENEFÍCIOS PARA A FERTILIDADE
DO SOLO E PRODUTIVIDADE DA SOJA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
curso de Agronomia da Universidade Federal de
Uberlândia, *Campus* Monte Carmelo, como
requisito necessário para a obtenção do grau de
Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Douglas José Marques.

Monte Carmelo
2025

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

GABRIEL NERY DA COSTA

ASSOCIAÇÃO DE SILITO E CALCÁRIO E SEUS BENEFÍCIOS PARA A FERTILIDADE
DO SOLO E PRODUTIVIDADE DA SOJA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
curso de Agronomia da Universidade Federal de
Uberlândia, *Campus* Monte Carmelo, como
requisito necessário para a obtenção do grau de
Engenheiro Agrônomo.

Monte Carmelo, 2025

Banca Examinadora

Prof. Dr. Douglas José Marques.
Orientador (a)

Prof. Dra. Cinara Xavier de Almeida
Membro da Banca

Me. Marco Iony dos Santos Fernandes
Membro da Banca

Monte Carmelo
2025

Dedico este trabalho à minha família, pelo apoio incondicional e incentivo em minha trajetória acadêmica, e a todos os professores que, direta ou indiretamente, contribuíram para minha formação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus por ter me guiado, abençoando toda minha trajetória acadêmica, agradeço também ao meu orientador, Prof. Dr. Douglas José Marques, pela orientação, paciência e valiosas contribuições durante todas as etapas deste trabalho.

Aos meus colegas de curso, em especial Alexandre Justino, Daniel Ferreira, Daniel Cardoso, Daniel Ávila, Fernando Pinheiro, Ronan Martins, Thiago Rodrigues, João Pedro Boim, Amanda Carvalho, Iara Sabrine, Isabella Fonseca e Vilma Cristina pelo companheirismo, ajuda durante todo o tempo e aos meus colegas de trabalho, pela troca de experiências que enriqueceram minha aprendizagem.

E, por fim, à minha família, em especial meu pai, Ednaldo Nery e minha mãe Marcia Rosario que não mediram esforços para chegar até aqui, e meu irmão Vinicius Nery pelo apoio constante e incentivo em todos os momentos desta jornada.

RESUMO

A manutenção da fertilidade do solo é essencial para ajustar a acidez a níveis ideais, favorecendo a disponibilidade de nutrientes e o desenvolvimento das plantas. Solos muito ácidos ou alcalinos podem limitar a absorção de nutrientes, e a textura do solo, influenciando diretamente na correção da acidez, afetando retenção de água, atividade biológica e capacidade de troca de cátions. Nesse contexto, o remineralizador tem ganhado atenção como corretivo de solo, apresentando potencial de neutralizar a acidez de forma semelhante ao calcário. O objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial do remineralizador associado ao calcário como corretivo de solos e seus efeitos sobre as características químicas e produtividade da soja em diferentes tipos de solo. O experimento foi conduzido em vasos, dentro de casa de vegetação, utilizando dois tipos de Latossolos (arenoso e argiloso), com cinco proporções de remineralizador e calcário dolomítico, em delineamento em blocos casualizados com cinco repetições. Foram realizadas aplicações de fungicida, acaricida e inseticida conforme necessidade, e a irrigação foi realizada por gotejamento, mantendo 100% da lâmina de água requerida. Foram avaliadas características químicas do solo e da folha, volume e massa das raízes, massa seca da parte aérea, altura, número de folhas, pigmentos fotossintéticos e produtividade da soja. As análises estatísticas foram realizadas por meio de ANAVA e comparações de médias pelo teste de Scott-Knott ($P < 0,05$). Os resultados indicaram que a proporção ideal de remineralizador e calcário depende da textura do solo: 50% de siltito e 50% de calcário promoveram melhores características químicas, teores foliares, crescimento e produtividade no solo argiloso, enquanto 75% de siltito e 25% de calcário foram mais eficientes no solo arenoso. Esses achados destacam a importância de ajustar a proporção de corretivos conforme a textura do solo, garantindo maior eficiência no manejo e incremento da produtividade da cultura.

Palavras-chave: Correção, pH, tipos de solo.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	7
2 REVISÃO DA LITERATURA	8
2.1 Fontes de corretivos do solo	8
2.2 Influências de diferentes texturas na correção do solo	9
2.3 Siltito	10
2.4 Efeito da correção do solo na nutrição da soja	10
3 MATERIAL E MÉTODOS	11
3.1 Local de condução do experimento	11
3.2 Cultivar	11
3.3 Coleta e preparo solo	12
3.4 Características do remineralizador “Siltito”	13
3.5 Delineamento Experimental	14
3.6 Manejo fitossanitário	15
3.7 Avaliações Agronômicas	16
3.7.1 Volume e massa das raízes	16
3.7.2 Determinação da massa seca da parte aérea	16
3.7.3 Altura das plantas	17
3.7.4 Número de folhas	17
3.7.5 Avaliação nutricional	17
3.7.7 Produtividade	17
3.7.8 Determinação de pigmentos fotossintéticos	18
3.8 Análise estatística	18
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	18
5 CONCLUSÕES	37
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37

1 INTRODUÇÃO

Os solos de regiões tropicais, como os do bioma Cerrado, apresentam elevada acidez, baixa fertilidade natural e alta lixiviação de nutrientes. Possuem carga variável dependente do pH e para viabilizar a produção agrícola, demandam práticas corretivas. A calagem é a técnica mais utilizada, pois eleva o pH e a capacidade de troca de cátions, reduz os efeitos tóxicos do alumínio e do manganês e favorece o desenvolvimento radicular, além de melhorar as propriedades físicas do solo, como aeração e circulação de água (EMBRAPA SOLOS, 2022).

A textura do solo influencia diretamente a capacidade de retenção de água e nutrientes, além da eficiência dos corretivos e fertilizantes aplicados. Nas regiões do Cerrado, predominam solos com textura média e argilosa, cujas propriedades físicas, químicas e biológicas são fatores essenciais para garantir uma boa produtividade agrícola. Nesse contexto, cresce o interesse por alternativas sustentáveis, como o uso de remineralizadores, que são materiais minerais capazes de fornecer macro e micronutrientes, ajudando a diminuir a dependência de insumos químicos tradicionais (STEFANOSKI, 2013).

O siltito glauconítico, uma rocha de coloração esverdeada, apresenta uma composição mineral diversificada, incluindo quartzo, albita, feldspato potássico, glauconita, clorita, mica branca, magnetita, caulinita e outros minerais opacos. Além disso, é uma fonte importante de nutrientes como potássio, cálcio, manganês, ferro e silício. Entretanto, o potássio presente nessa rocha possui baixa solubilidade em água, o que exige algum tipo de beneficiamento para aumentar sua disponibilidade para as plantas. Mesmo que apenas uma fração do K₂O esteja disponível de imediato, rochas ricas em silicatos de potássio apresentam potencial para aplicação agrícola, podendo ser integradas em práticas como a rochagem, que promovem um manejo mais diversificado e sustentável ao longo do tempo (VELOSO, 2025).

Nesse contexto, o presente estudo busca avaliar o uso do siltito associado ao calcário como corretivo do solo, analisando seus efeitos sobre as propriedades químicas do solo e a produtividade da soja, com o objetivo de contribuir para estratégias de manejo que aumentem a sustentabilidade e a eficiência produtiva em diferentes tipos de solo.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Fontes de corretivos do solo

A produção agrícola é afetada pela acidez do solo, em decorrência da toxidez causada pelo alumínio, na qual as plantas sofrem redução do crescimento do sistema radicular. As raízes apresentam um desenvolvimento característico nas extremidades, região meristemática, tornando-se engrossadas, com coloração marrom, quebradiças, curtas e com aspecto coralóide, ou seja, semelhantes a estruturas de coral, com ramificações curtas e irregulares que prejudicam a absorção de água e nutrientes (PETRERE *et al.*, 2007)

Assim como o alumínio, o manganês também pode afetar negativamente o desenvolvimento das culturas em geral. Na soja, sua toxidez tem como consequência um efeito depressivo sobre a nodulação, além da redução na produtividade. Essa redução ocorre em razão da produção de um baixo número de vagens com grãos pequenos. No Brasil, o excesso de manganês tem se mostrado um problema recorrente para a cultura da soja. Ressalta-se que sua disponibilidade no solo é fortemente influenciada pelo pH e pela baixa saturação por bases (SILVA; BERTI, 2022).

Nesse contexto, a calagem é considerada a prática mais eficiente e de melhor custo-benefício para a correção da acidez do solo. Essa técnica promove a elevação do pH e o aumento dos teores de cálcio e magnésio, elementos essenciais para o equilíbrio químico do solo, além de contribuir para elevar a saturação por bases. Outro efeito positivo é a redução da presença de alumínio e manganês trocáveis, diminuindo sua toxidez às plantas (CAIRES *et al.*, 2002).

Os materiais empregados como corretivos de solo são, basicamente, os óxidos, hidróxidos, silicatos e carbonatos, todos capazes de neutralizar a acidez do meio e melhorar as condições químicas para o desenvolvimento das culturas. A aplicação desses corretivos contribui para a elevação da saturação por bases, disponibilização de nutrientes e redução da toxidez de alumínio e manganês, favorecendo, assim, o crescimento radicular e a absorção de água e nutrientes (CORRÊA *et al.*, 2008).

Paralelamente, o sistema plantio direto desempenha papel relevante, pois promove o acúmulo de matéria orgânica e nutrientes na superfície do solo. Esse aporte orgânico melhora a estrutura física, estimula a atividade biológica e favorece a retenção de umidade, criando condições

mais adequadas para o crescimento radicular nas camadas superficiais de maior fertilidade (CECCON, 2025).

2.2 Influências de diferentes texturas na correção do solo

O bioma Cerrado ocupa uma área de aproximadamente 205,9 milhões de hectares, com maior concentração no centro do Brasil. Ao longo de cerca de 100 milhões de anos, a ação da natureza promoveu intenso intemperismo nos solos dessa região, o que resultou nas características observadas atualmente. Esse processo provocou grande perda de cátions de caráter básico, além da remoção de sílica, favorecendo o predomínio de óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio (SGB, 2025).

Devido à sua vasta extensão no território brasileiro, o Cerrado apresenta uma topografia predominantemente plana, o que facilita a mecanização agrícola (BRASIL, 2025). No entanto, por ser uma das formações mais antigas do país, seus solos são em grande parte distróficos, apresentando fertilidade natural reduzida, altos teores de ferro e alumínio, além de baixos valores de pH (RIBEIRO; WALTER, 2008). A expansão das áreas cultivadas nos últimos anos tem ocorrido principalmente em solos de textura média e arenosa (IBGE, 2019).

Para compreender melhor a aptidão desses solos, é fundamental identificar a proporção de partículas minerais, como areia, silte e argila, para determinar a textura por meio do triângulo textural. Além da análise laboratorial, a textura pode ser inferida pelo tato, considerando características como atrito, sedosidade e pegajosidade. A textura é um dos principais indicadores de qualidade e produtividade do solo, pois influencia diretamente os processos de adesão e coesão entre partículas, além de orientar as estratégias de manejo (RIBEIRO; WALTER, 2008).

Qualquer modificação nas propriedades do solo pode alterar sua estrutura física e sua atividade biológica. Essas mudanças reduzem a disponibilidade de nutrientes e interferem nos processos naturais que sustentam a fertilidade, comprometendo o equilíbrio entre os componentes químicos, físicos e biológicos. Como consequência, a qualidade do solo pode ser afetada, prejudicando o desenvolvimento das plantas e impactando diretamente a produtividade agrícola e a estabilidade dos agroecossistemas (ICMBIO, 2018; BFG, 2021).

2.3 Siltito

O siltito é obtido pela extração do siltito glauconítico, uma rocha verde rica em minerais potássicos pouco solúveis em água, encontrada principalmente em Minas Gerais. No Brasil, a maior parte do potássio utilizado na agricultura vem de importações de cloreto de potássio, o que impacta negativamente a balança comercial. O potássio no solo está presente em formas solúvel, trocável, não-trocável e estrutural, que se mantêm em equilíbrio e determinam sua disponibilidade para as plantas (SILVA, 2017).

O potássio é essencial para o desenvolvimento das plantas, aumentando a produtividade e a resistência a pragas e doenças. O siltito pode contribuir para a fertilidade do solo, fornecendo também cálcio, magnésio e silício. Quando calcinado, além do potássio, ajuda a elevar o pH do solo e fornece nutrientes adicionais. Para evitar a perda de potássio por lixiviação, é importante usar fontes menos solúveis. Além disso, estimular a atividade microbiana no solo favorece a liberação dos nutrientes das rochas, promovendo uma agricultura mais sustentável e eficiente (DONA ZEFA, 2025).

2.4 Efeito da correção do solo na nutrição da soja

A calagem é o método utilizado para corrigir a acidez do solo, aplicando materiais alcalinos que elevam o pH, neutralizam elementos tóxicos como alumínio e manganês, e aumentam a disponibilidade de nutrientes importantes como fósforo, cálcio e magnésio. O gesso agrícola, embora não corrija a acidez, complementa o calcário ao ajudar no deslocamento de cálcio e magnésio para camadas mais profundas, beneficiando o desenvolvimento das raízes. Também é uma fonte importante de enxofre e cálcio, auxiliando na nutrição da soja e na produção de grãos (AIRES, 2025; BOSCHIEIRO, 2024).

O molibdênio é fundamental para processos enzimáticos que fixam nitrogênio no solo, essencial para o crescimento das plantas. Manejos inadequados e o cultivo contínuo têm reduzido a matéria orgânica e aumentado a acidez, provocando deficiência de micronutrientes e comprometendo a fixação de nitrogênio. Por isso, a adubação com micronutrientes tem se tornado mais necessária, especialmente em solos do Cerrado (SUMMIT AGRO; ESTADÃO, 2021).

O plantio direto é uma prática que promove a produtividade aliada à conservação ambiental. Já a adubação verde recicla nutrientes, melhora as propriedades do solo e garante a liberação gradual de nutrientes, contribuindo para a recuperação do solo e reduzindo custos com defensivos agrícolas e fertilizantes (CECCON, 2022).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local de condução do experimento

O experimento foi instalado e conduzido em vasos, dentro de uma casa de vegetação no Campo Demonstrativo e Experimental – CADEX, da Universidade Federal de Uberlândia, *Campus Monte Carmelo*, localizado no Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, às coordenadas 18°43'36" S e 47°31'25" O (Datum WGS 84) e a 900 m de altitude. A região apresenta clima Aw, segundo Köppen, caracterizado por verões quentes e úmidos e invernos secos, com precipitação média anual de 1.250 mm e temperaturas variando entre 15 e 32°C. Essas condições, aliadas à infraestrutura e ao papel estratégico do Campus Monte Carmelo como centro de pesquisa e desenvolvimento, proporcionaram ambiente adequado para a obtenção de resultados precisos e relevantes para a agricultura regional.

3.2 Cultivar

Foi-se utilizada a cultivar de soja, NEO790 IPRO, pertence ao grupo de maturação 7.8, com ciclo médio de 124 dias na região edafoclimática 303, apresentando porte médio e ciclo indeterminado, que permite crescimento contínuo durante o desenvolvimento. Requer alta fertilidade do solo, evidenciando sensibilidade às condições nutricionais e de manejo, e destaca-se pela ampla adaptação e estabilidade em diferentes ambientes de cultivo. Além disso, apresenta elevado potencial produtivo, tornando-a adequada para experimentos de avaliação de corretivos e práticas de manejo do solo.

3.3 Coleta e preparo solo

Foram coletadas amostras de Latossolo Vermelho Distrófico (LVd), de textura argilosa, em mata nativa ($18^{\circ} 43'48.3''$ S; $47^{\circ} 30'16.6''$ W), e de Latossolo Amarelo Distrófico (LAd), de textura arenosa, em campo natural ($18^{\circ} 54'12.0''$ S; $47^{\circ} 35'50.5''$ W) (SANTOS *et al.*, 2018). As coletas foram realizadas na camada de 0 a 0,20 m, em áreas sem histórico de cultivo, caracterizadas por baixa fertilidade e elevada acidez natural. As amostras foram secas ao ar e passados em peneira de malha de 2,5 mm, posteriormente foram homogeneizados para caracterização química e física.

As amostras foram enviadas ao laboratório credenciado pelo MAPA, Laboratório Brasileiro de Análises Ambientais e Agrícolas (LABRAS), para análises físicas e químicas. Com base nos resultados, foram calculadas as doses de corretivos e fertilizantes, aplicadas de forma a não interferir nos objetivos da pesquisa (Tabela 1).

Tabela 1. Características químicas e físicas dos solos (LVd e LAd), na profundidade de 0 a 0,20 m antes da adubação do plantio¹

Química ¹	unidades	LVd	LAd
pH em H ₂ O	--	4,6	5,3
P	mg dm ⁻³	1,11	1,27
K	mg dm ⁻³	29,60	52,71
Ca	cmol _c dm ⁻³	1,02	0,90
Mg	cmol _c dm ⁻³	0,38	0,38
Al	cmol _c dm ⁻³	0,10	0,50
H+Al	cmol _c dm ⁻³	2,90	2,60
SB	cmol _c dm ⁻³	1,48	1,42
t	cmol _c dm ⁻³	1,58	1,92
T	cmol _c dm ⁻³	4,38	4,02
V	%	33,70	35,20
m	%	6,33	26,04
MO	dag kg ⁻¹	2,20	1,39
B	mg dm ⁻³	0,07	0,08
Cu	mg dm ⁻³	0,88	0,17
Fe	mg dm ⁻³	36,50	125,10
Mn	mg dm ⁻³	6,80	4,90
Zn	mg dm ⁻³	0,62	0,50
Física ²		LVd	LAd
Argila	%	62	22
Silte	%	7	19
Areia	%	31	59

¹ pH (acidez ativa) - Método: CaCl₂ 0,01 mol.L⁻¹; H+Al (acidez potencial) - Método: pH SMP; Alumínio trocável - Método: Titulometria (1 mol.L⁻¹); Matéria orgânica (MO) - Método: Colorimétrico (IAC); Fósforo, Potássio, Cálcio e Magnésio - Método: Resina trocadora de íons; S-SO₄²⁻ (Enxofre) - Método: Turbidimetria (BaCl₂ em pó); Fe, Mn, Cu e Zn - Método: DTPA (Absorção Atômica); Boro: BaCl₂.2H₂O - Método: microondas. ² Análise física do solo: Método do densímetro. Teixeira (2017). LVd: Latossolo vermelho distrófico, CXbd: Cambissolo háplico Tb distrófico.

Os cálculos que foram utilizados para correção de acidez, seguiram a recomendação de van Raij (1997). O corretivo utilizado apresentou composição de 45 a 48% de óxido de cálcio (CaO) e 6 a 8% de óxido de magnésio (MgO), eficiência relativa (ER) de 92,5%, poder de neutralização (PN) de 100% e poder relativo de neutralização total (PRNT) de 92,5%, sendo aplicado e devidamente incorporado ao solo.

A adubação para macronutrientes e micronutrientes foram baseadas no recomendado por (Novais; Neves; Barros, 1991) e adaptadas por (Marques *et al.*, 2022) (Tabela 2).

Tabela 2. Nutrientes, quantidades recomendadas e fontes utilizadas na fertilização das plantas de milho

Nutrientes	Concentrações (Mg kg de solo ⁻¹)	Fontes
N	20,0	CH ₄ N ₂ O
P	200,0	NH ₄ H ₂ PO ₄
S	50,0	MgSO ₄ ·7H ₂ O
Mg	46,0	MgSO ₄ ·7H ₂ O
Mn	3,0	MnSO ₄
B	2,5	H ₃ BO ₃
Cu	7,5	CuSO ₄ ·5H ₂ O
Mo	0,5	(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ ·4 H ₂ O
Zn	2,5	ZnSO ₄ ·7H ₂ O

3.4 Características do remineralizador

O remineralizador de solo utilizado nas concentrações de 4 t ha⁻¹ e extraído na região de Riachão das Neves-BA, onde a formação geológica é predominantemente composta por siltitos, arenitos e arcoseos de cores verde a cinza-esverdeado. Sua composição mineralógica é dominada por aluminossilicatos, quartzos e óxidos.

O material possui capacidade de retenção de água de 30,2% e capacidade de troca catiônica (CTC) de 8,52 cmol dm⁻³. A composição mineralógica do remineralizador está detalhada na Tabela 3.

Tabela 3. Composição mineralógica do remineralizador.

Nome do componente	Composição (%)	Fórmula química
Quartzo	10,37	SiO_2
Muscovita	45,90	$\text{K, Al}_2(\text{Al, Si}_3\text{O}_{10})(\text{F, OH})_2$
Clinocloro	12,54	$(\text{Mg}_5\text{Al})(\text{Al, Si}_3)\text{O}_{10}(\text{OH})_8$
Vermiculita	13,12	$(\text{Mg, Fe})_3[(\text{Si, Al})_4\text{O}_{10}][\text{OH}]_2\text{4H}_2\text{O}$
Caulinita	6,42	$\text{Al}_2\text{O}_3\text{2SiO}_2\text{2H}_2\text{O}$
Goethita	3,75	FeO(OH)
Rutilo	0,93	TiO_2
Greenalita	6,97	$\text{Fe}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$
Total	100,00	

A composição mineralógica foi calculada a partir da composição química da rocha, determinada por espectrofotometria de fluorescência de raios X.

A composição química do remineralizador usado na pesquisa contém: 4,2% K_2O , 1,7% CaO , 3,2% MgO , 59,3% SiO_2 , 19,2% Al_2O_3 , 9,1% Fe_2O_3 e 3,3% de outros elementos.

3.5 Delineamento Experimental

O experimento foi conduzido em delineamento em blocos casualizados, no esquema fatorial, com o objetivo de avaliar a interação entre diferentes texturas de solo e proporções de remineralizador associado ao calcário na cultura da soja. Foram utilizadas duas texturas de solo, arenoso e argiloso, e cinco proporções de remineralizador de solo (0, 25, 50, 75 e 100%) combinadas ao calcário dolomítico, totalizando cinco tratamentos para cada tipo de solo, com cinco repetições, resultando em 50 parcelas experimentais (Tabela 4).

O siltito constituiu o fator experimental principal, permitindo analisar os efeitos graduais da aplicação de remineralizador em diferentes proporções sobre as propriedades químicas do solo, o crescimento das plantas e a produtividade da soja. Paralelamente, o calcário dolomítico foi empregado como corretivo de acidez, tendo como função elevar o pH do solo, reduzir a saturação de alumínio e aumentar a saturação por bases. O corretivo apresentou composição de 45 a 48% de óxido de cálcio e 6 a 8% de óxido de magnésio, com eficiência relativa (ER) de 92,5%, poder de neutralização (PN) de 100% e poder real de neutralização total (PRNT) de 92,5%, garantindo capacidade adequada de correção da acidez.

Os insumos foram aplicados como adubação de base e incorporados ao solo após 60 dias de incubação, período necessário para a estabilização química dos corretivos. A homogeneização dos materiais no solo foi cuidadosamente realizada para assegurar uniformidade na distribuição do

siltito e do calcário em cada parcela, permitindo avaliar de forma precisa os efeitos das combinações sobre os parâmetros estudados. Dessa forma, o delineamento experimental possibilitou investigar não apenas os efeitos individuais do siltito e do calcário, mas também suas interações em solos com diferentes texturas, fornecendo informações relevantes para a recomendação de corretivos de solo e estratégias de manejo da cultura da soja em condições controladas.

Tabela 4. Descrição dos tratamentos em função das proporções do siltito e calcário dolomítico aplicado nos diferentes tipos de solo

Proporções (%)	Arenoso Remineralizador (t ha ⁻¹)	Arenoso Calcário (t ha ⁻¹)	Argiloso Remineralizador (t ha ⁻¹)	Argiloso Calcário (t ha ⁻¹)
0% (0% remineralizador/100% calcário)	0	1,51	0	1,71
25% (25% remineralizador/75% calcário)	1	1,34	1	1,20
50% (50% remineralizador/50% calcário)	2	0,759	2	0,85
75% (75% remineralizador/25% calcário)	3	0,37	3	0,42
100% (100% remineralizador/0% calcário)	4	0	4	0

3.6 Manejo fitossanitário

O manejo fitossanitário incluiu aplicações de fungicida, acaricida e inseticida, realizadas conforme a necessidade das plantas. A irrigação foi conduzida com reposição de 100% da lâmina de água requerida, determinada por tensiômetros instalados a 0,15 m de profundidade. As leituras foram realizadas diariamente e, com base na curva de retenção de água do solo, calcularam-se os volumes líquidos e brutos a serem aplicados. O sistema utilizado foi de irrigação por gotejamento, com emissores autocompensantes inseridos manualmente em mangueiras de polietileno. Foram determinados a vazão nominal, o coeficiente de uniformidade de distribuição e o coeficiente de variação total, conforme descrito por Pizarro Cabelo (1996).

3.7 Avaliações Agronômicas

A realização dessas avaliações agronômicas foi fundamental para compreender de forma integrada o desempenho da cultura diante dos diferentes tratamentos aplicados. Elas permitiram analisar e correlacionar parâmetros morfológicos, fisiológicos, produtivos e nutricionais, oferecendo uma visão abrangente do efeito dos insumos sobre o desenvolvimento das plantas.

Além disso, essas medições forneceram dados objetivos que possibilitaram identificar respostas positivas e/ou negativas aos manejos adotados, avaliar a eficiência dos insumos utilizados e fundamentar, com rigor científico, as conclusões do estudo, contribuindo para decisões mais embasadas em práticas agrícolas.

3.7.1 Volume e massa das raízes

Após a coleta, as raízes foram cuidadosamente lavadas e mantidas estendidas em bancada por 24 horas para eliminação do excesso de água. Em seguida, determinou-se o volume radicular por meio de uma proveta graduada de 1000 mL, preenchida com 500 mL de solução composta por 70% álcool e 30% água, sendo o volume deslocado pela imersão das raízes correspondente ao volume radicular (Marques *et al.*, 2010).

A massa fresca das raízes foi obtida imediatamente após a determinação do volume. Posteriormente, as amostras foram secas em estufa de circulação de ar forçada a 70 °C (modelo SL-102/480 – SOLAB) até atingirem peso constante, permitindo a determinação da massa seca com auxílio de balança de precisão (modelo BEL-S22O2H). A matéria seca foi calculada conforme a equação:

$$\text{Matéria seca (\%)} = \text{Massa fresca (g)}/\text{Massa seca (g)} \times 100$$

3.7.2 Determinação da massa seca da parte aérea

As raízes foram separadas do caule e das folhas, e a parte aérea foi cuidadosamente lavada para remoção de resíduos, seguida de secagem em estufa a 60 °C até atingir massa constante, permitindo, em seguida, a determinação da matéria seca da parte aérea.

3.7.3 Altura das plantas

A altura foi mensurada quinzenalmente com auxílio de trena, medindo-se do colo até o ápice da planta.

3.7.4 Número de folhas

Avaliado quinzenalmente, considerando apenas folhas totalmente expandidas.

3.7.5 Avaliação nutricional

A avaliação nutricional do solo foi realizada ao final do experimento, com coletas na camada de 0–20 cm, utilizando um trado de solo em cinco pontos diferentes dentro de cada vaso.

Para as amostras de folha foram coletadas no terceiro folíolo terminal da folha da soja, em fase de desenvolvimento R1 (início de florescimento). Após as amostras de solo e folha foram encaminhadas para o Laboratório Brasileiro de Análises Ambientais e Agrícolas (LABRAS), para elaboração dos laudos químicos de solo e folha.

3.7.7 Produtividade

A produtividade por planta foi determinada após a correção da umidade dos grãos para 14%, de acordo com a equação:

$$PF = PI \times \frac{(100 - UI)}{(100 - UF)}$$

Onde:

- PF = peso final da amostra (g),
- PI = peso inicial da amostra (g),
- UI = umidade inicial da amostra (%),
- UF = umidade final da amostra (14%).

Foram avaliados o número de vagens por planta, o número de grãos por vagem e a massa de 100 sementes.

3.7.8 Determinação de pigmentos fotossintéticos

O teor de clorofila foi quantificado utilizando clorofilometria no estádio R1, com o objetivo de estimar a atividade fotossintética da cultura. A metodologia de clorofilometria consiste no uso de um aparelho portátil, o clofilômetro, que mede indiretamente o teor de clorofila nas folhas por meio da análise da quantidade de luz transmitida ou refletida. Esse método é rápido, não destrutivo e permite acompanhar o estado fisiológico das plantas de forma prática.

3.8 Análise estatística

Os dados obtidos foram metidos às análises de variância (teste F) e comparações de médias usando Scott-Knott utilizando o software SISVAR (FERREIRA, 2019).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observou-se que o solo argiloso, no tratamento sem siltito, apresentou valores de pH cerca de 10% superiores em comparação ao solo arenoso na associação de 100% de siltito e calcário (Figura 1). A interação entre tipo de solo e pH em água evidenciou diferenças significativas, sendo o solo argiloso mais eficiente na manutenção da acidez em níveis adequados. Esses resultados diferem parcialmente dos obtidos por Souza *et al.* (2017), que verificaram aumento do pH com aplicação de vinhaça e remineralizador em associação a plantas de cobertura. A maior capacidade de troca catiônica do solo argiloso favorece a manutenção de pH mais elevado (SOUZA, 2024), enquanto o solo arenoso, por reter menos nutrientes, apresenta resposta mais limitada ao remineralizador (RONQUIM, 2010). Adições de 20% do remineralizador também mostraram efeito positivo no solo arenoso, embora incrementos maiores não tenham elevado o pH proporcionalmente. Tais resultados reforçam que a eficiência do remineralizador depende diretamente da textura e da capacidade tampão do solo, sendo o pH ideal para a soja situado entre 5,5 e 6,5, com variações conforme o tipo de solo (SOUZA *et al.*, 2010).

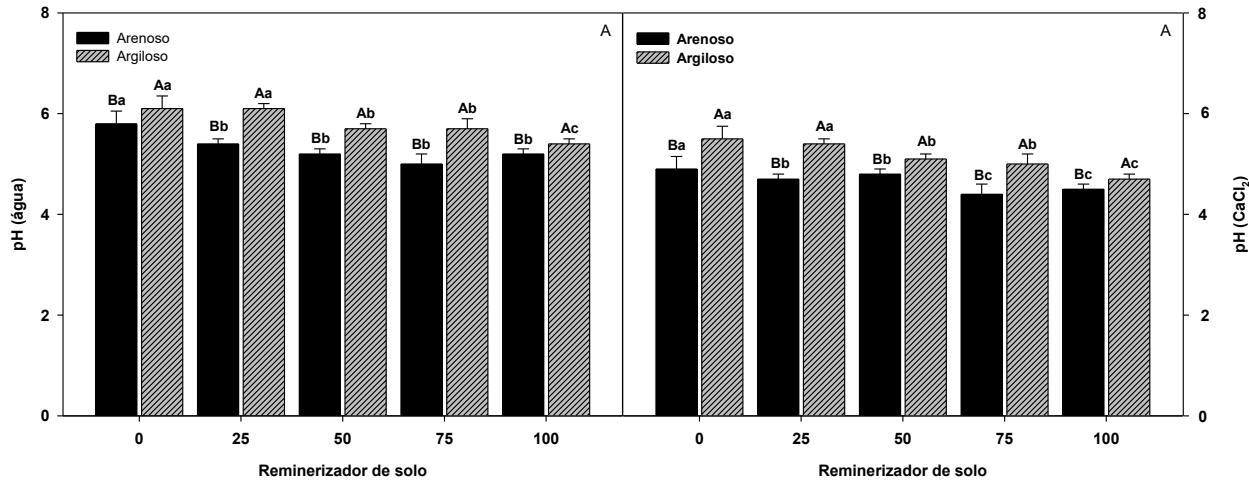


Figura 1. Valores de pH em água (A) e pH em CaCl_2 (B) do solo, em função das proporções de remineralizador de solo (0; 25; 50; 75 e 100%), em solos de textura arenosa e argilosa. Letras maiúsculas diferentes entre colunas de cores distintas indicam diferenças significativas dentro de cada proporção do remineralizador. Letras minúsculas diferentes nas colunas de mesma cor indicam diferenças significativas entre as proporções do remineralizador. As diferenças foram determinadas pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$). As colunas representam as médias de cinco repetições, com barras de erro indicando os desvios padrão.

A análise dos resultados de CTC a pH 7 (T), soma de bases (SB), saturação por bases (V%) e saturação por Al^{3+} (m) mostrou respostas distintas entre os solos arenoso e argiloso às doses de remineralizador (Figura 2). A CTC a pH 7 (Figura 2A) foi maior no solo argiloso, com incremento de 30% na dose de 50%, enquanto no solo arenoso não houve tendência clara. Esses resultados concordam com (BATISTA *et al.*, 2018) confirmando a influência da textura na retenção de nutrientes. Para a SB (Figura 2B), o solo arenoso apresentou valores 70% superiores na dose de 75% em comparação ao argiloso, que mostrou picos no controle e em 60%, sugerindo maior efeito de doses intermediárias em solos de maior capacidade tampão. Na saturação por bases (Figura 2C), os valores máximos ocorreram nos tratamentos controle e 25% em ambos os solos, reduzindo progressivamente até 100%. Quanto à saturação por Al^{3+} (Figura 2D), observou-se aumento de 50% no solo arenoso e de 20% no argiloso na maior dose de remineralizador. Esse incremento pode ser explicado pelo aporte adicional de cátions ácidos presentes no siltito, que, quando aplicados em excesso, aumentam a presença de alumínio trocável, elevando a acidez do solo, especialmente em solos com menor capacidade de tamponamento, como o arenoso.

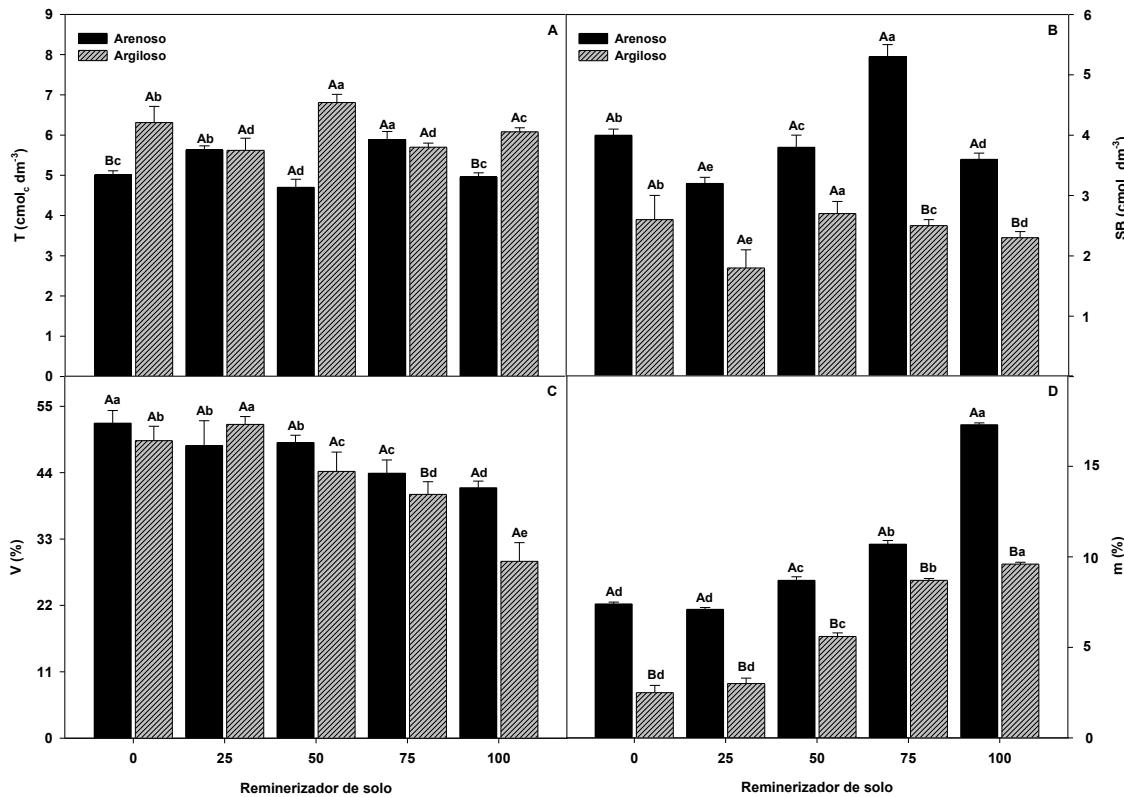


Figura 2. Teor da CTC a pH 7 (A), soma de bases (B), saturação por bases (C) e saturação por Al^{3+} (D) no solo em função das proporções de remineralizador de solo (0; 25; 50; 75 e 100 %) em solo tipo arenoso e argiloso. Letras maiúsculas diferentes em colunas de cores diferentes comparam dentro de cada proporção do remineralizador de solo, e letras minúsculas diferentes em colunas da mesma cor comparam cada proporção do remineralizador, indicando diferenças significativas de acordo com o teste de Scott-Knott ($P < 0,05$). As colunas representam médias de cinco repetições desvios padrão.

Observou-se que o fósforo (P) apresentou aumento de 70% no solo arenoso no controle (0 kg ha^{-1}), enquanto no argiloso os maiores teores ocorreram com 80% de remineralizador (Figura 3A). O potássio (K) foi 50% superior no solo arenoso em relação ao argiloso (Figura 3B). Para cálcio (Ca) e magnésio (Mg), verificou-se comportamento semelhante: no solo argiloso, o Ca aumentou 25% no controle e reduziu em doses elevadas, enquanto o Mg apresentou maiores teores até 80% no solo arenoso, na aplicação de 100% reduziu em ambos os solos (Figuras 3C e 3D). Esses padrões refletem a influência da textura e da CTC, em que solos arenosos, com menor capacidade tampão, respondem de forma mais evidente ao remineralizador para P e K, enquanto solos argilosos mantêm maior estabilidade e retenção de Ca (MARTINS *et al.*, 2023; RONQUIM, 2010). Resultados semelhantes foram relatados por Toscani Campos (2017), que observou aumento da saturação por bases, elevação do pH e incremento do P disponível com insumos da rochagem.

De forma geral, a aplicação crescente de remineralizadores tende a elevar os teores de P, K, Ca e Mg, mas a magnitude depende das características do produto e do solo. Nesse contexto, o pó de basalto, rocha magmática de fácil intemperização e rica em silício, K, Mg e P, embora com baixo teor de Ca, destaca-se como alternativa promissora para a melhoria da fertilidade do solo (NASCIMENTO, 2023).

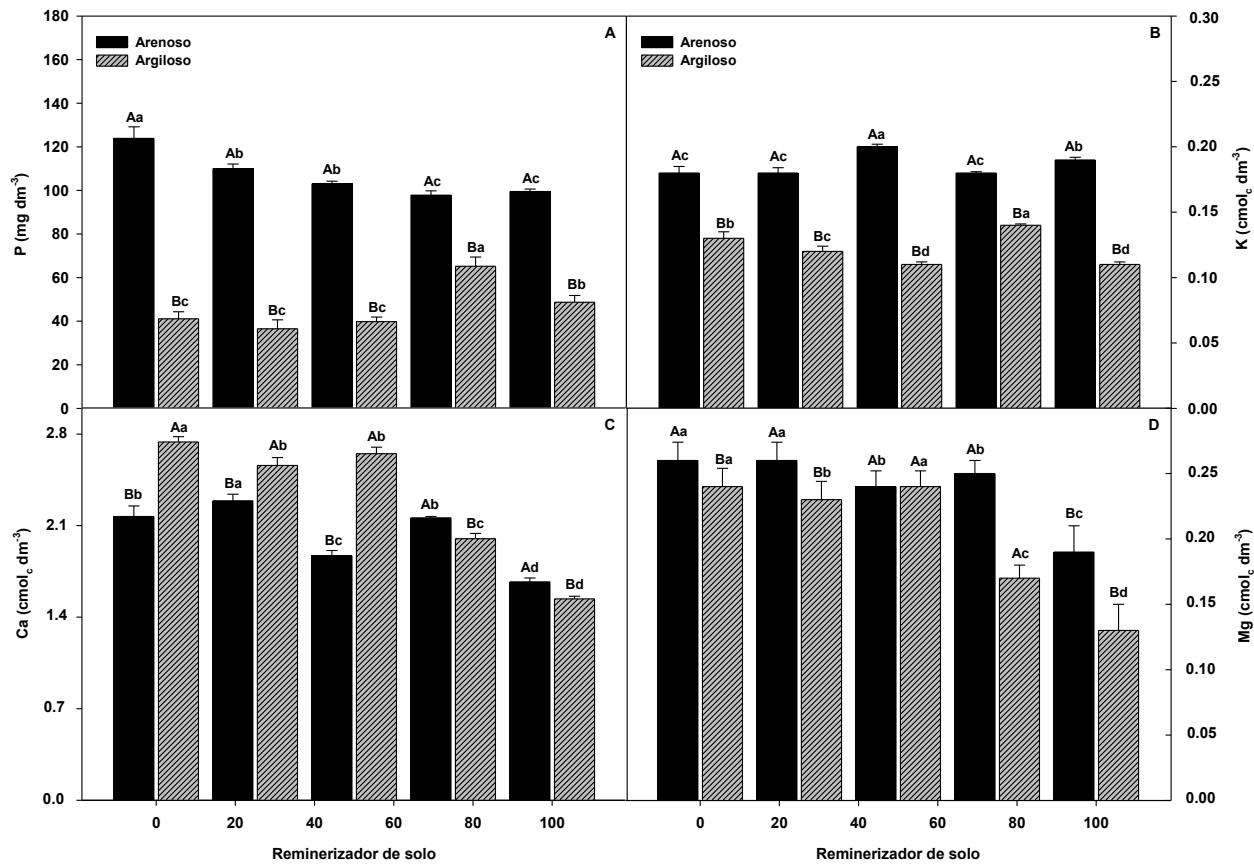


Figura 3. Teor fósforo (A), potássio (B), cálcio (C) e magnésio (D) no solo em função das proporções de remineralizador de solo (0; 25; 50; 75 e 100 %) em solo tipo arenoso e argiloso. Letras maiúsculas diferentes em colunas de cores diferentes comparam dentro de cada proporção do remineralizador de solo, e letras minúsculas diferentes em colunas da mesma cor comparam cada proporção do remineralizador, indicando diferenças significativas de acordo com o teste de Scott-Knott ($P < 0,05$). As colunas representam médias de cinco repetições desvios padrão.

Para o teor de B no solo aumentou 50% até a concentração 75% do remineralizador, para o solo tipo arenoso, quando comparado como o solo argiloso (Figura 4A). Para o solo argiloso o teor de Mn foi 50% superior independente da concentração de remineralizador, quando comparado com o solo arenoso (Figura 4B). Para o teor de Zn houve aumento de 60% para 75% da concentração

de remineralizador no solo tipo arenoso, quando comparado com o solo argiloso (Figura 4C). Por se tratar de micronutrientes cuja absorção está diretamente relacionada ao pH do solo (Machado; Pavan, 1987), pode-se inferir que a absorção desses elementos ocorreu independentemente da aplicação do remineralizador, uma vez que o pH não foi significativamente alterado pelas doses aplicadas. Em contraste, Ferreira *et al.* (2009) observaram que a aplicação de pó-de-rocha não afetou os teores de Zn, Cu e Mn, mas, em seu estudo, o incremento no pH do solo, de 4,7 para 5,6, influenciou diretamente a disponibilidade desses micronutrientes, reduzindo seu acúmulo.

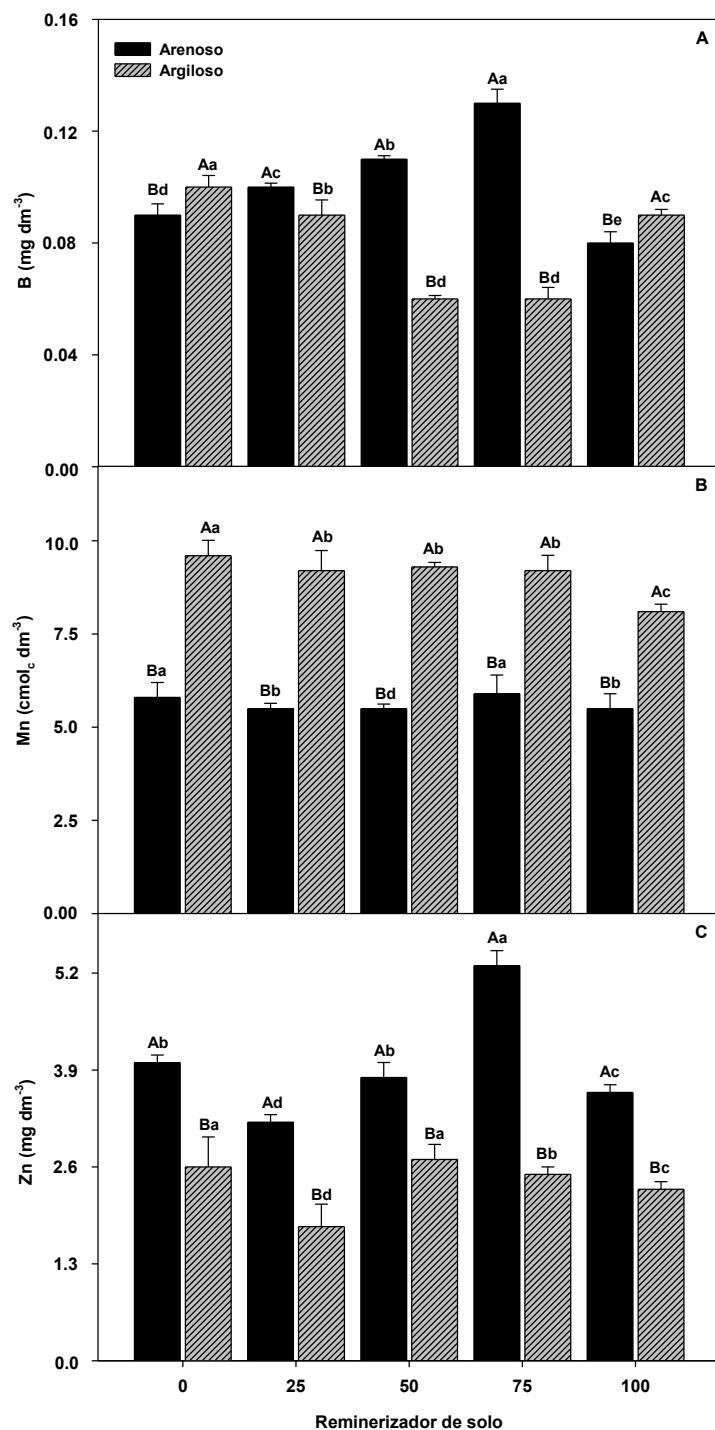


Figura 4. Teor boro (A), manganês (B), zinco (C) e magnésio (D) no solo em função das proporções de remineralizador de solo (0; 25; 50; 75 e 100 %) em solo tipo arenoso e argiloso. Letras maiúsculas diferentes em colunas de cores diferentes comparam dentro de cada proporção do remineralizador de solo, e letras minúsculas diferentes em colunas da mesma cor comparam cada proporção do remineralizador, indicando diferenças significativas de acordo com o teste de Scott-Knott ($P < 0,05$). As colunas representam médias de cinco repetições desvios padrão.

O solo arenoso apresentou teores de N 45% superiores na dose de 75% do remineralizador em relação ao solo argiloso (Figura 5A). Para P, K, Mg e S, os valores também foram cerca de 50% mais elevados no arenoso, enquanto o Ca foi 15% maior no argiloso nas doses de 25 e 75% (Figuras 5B–5F). Resultados semelhantes foram relatados por Coutinho (2024) na cultura do milho, que observou incremento no teor foliar de P após aplicação de remineralizador, atribuído à presença de silício competindo com o fosfato por sítios de adsorção. Contudo, assim como no presente estudo, não houve alteração nos teores de P no solo nem reflexos na produtividade, indicando que o aumento foliar nem sempre se traduz em ganhos agronômicos diretos. Para o enxofre, verificou-se incremento acentuado no solo arenoso a partir de 50%, especialmente em 100%, enquanto no argiloso não ocorreram variações relevantes. No estudo de Aguiar (2024), referente ao siltito glauconítico, os teores de Ca foram intermediários, situando-se abaixo do controle e do fonolito hidrotermalizado. Para Mg, os valores ficaram entre os do fonolito e do controle, em consonância com a composição do siltito (0,5% de Mg). Diferentemente dos demais remineralizadores, o siltito glauconítico não apresentou redução no acúmulo de magnésio na parte aérea do milho com o aumento das doses de potássio, indicando um comportamento específico na dinâmica de cátions.

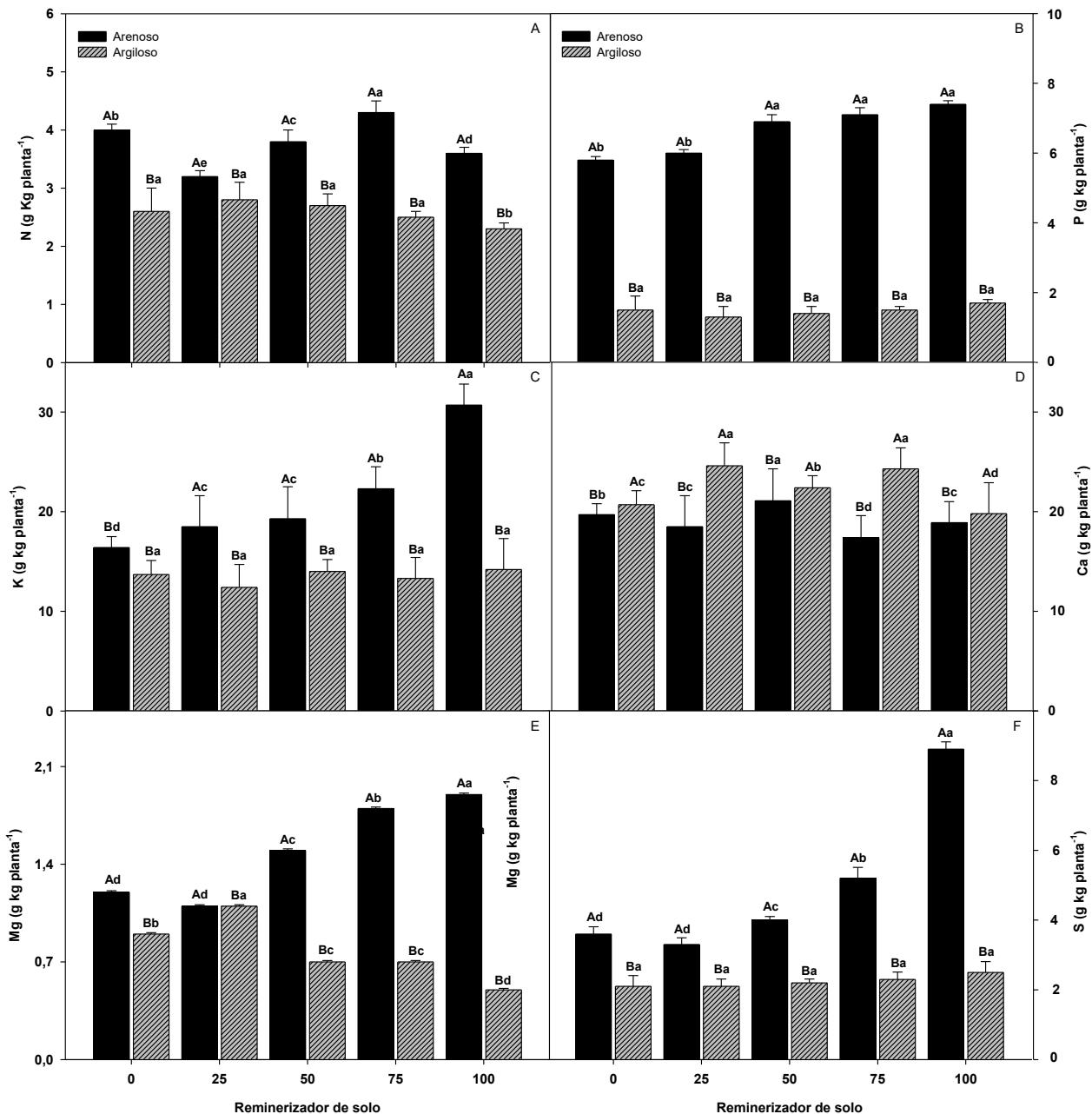


Figura 5. Teor nitrogênio (A), fósforo (B), potássio (C), cálcio (D), magnésio (E) e enxofre (F) na folha da soja em função das proporções de remineralizador de solo (0; 25; 50; 75 e 100 %) em solo tipo arenoso e argiloso. Letras maiúsculas diferentes em colunas de cores diferentes comparam dentro de cada proporção do remineralizador de solo, e letras minúsculas diferentes em colunas da mesma cor comparam cada proporção do remineralizador, indicando diferenças significativas de acordo com o teste de Scott-Knott ($P < 0,05$). As colunas representam médias de cinco repetições desvios padrão.

O teor de boro (B) foi significativamente maior no solo arenoso nas concentrações de 0, 50 e 100% do remineralizador, quando comparado ao solo argiloso (Figura 6A). Para os teores de

zinc (Zn) e manganês (Mn), observou-se aumento de aproximadamente 50% até a concentração de 100% do remineralizador no solo arenoso, em relação ao argiloso (Figuras 6B e 6C). Esse padrão sugere que o remineralizador é uma fonte eficaz de Zn e Mn principalmente em solos arenosos, enquanto em solos argilosos a disponibilidade desses nutrientes pode ser limitada devido à fixação por argilas e matéria orgânica, maior capacidade tampão e interações com óxidos de ferro e alumínio (TITO *et al.*, 2012). No caso do B, a maior mobilidade em solos arenosos também favorece sua absorção pelas plantas, enquanto em solos argilosos pode ocorrer retenção parcial, reduzindo a disponibilidade foliar (PIZOL, 2022). Esses resultados indicam que a eficácia do remineralizador depende do tipo de solo, sendo mais indicada sua utilização em solos de baixa CTC e menor capacidade de retenção de micronutrientes, o que tem implicações diretas para o manejo da fertilização e potencial produtividade das culturas. Solos argilosos frequentemente exigem estratégias complementares, como aplicação localizada ou doses adicionais de micronutrientes, para garantir disponibilidade adequada às plantas (BORGES, 2021).

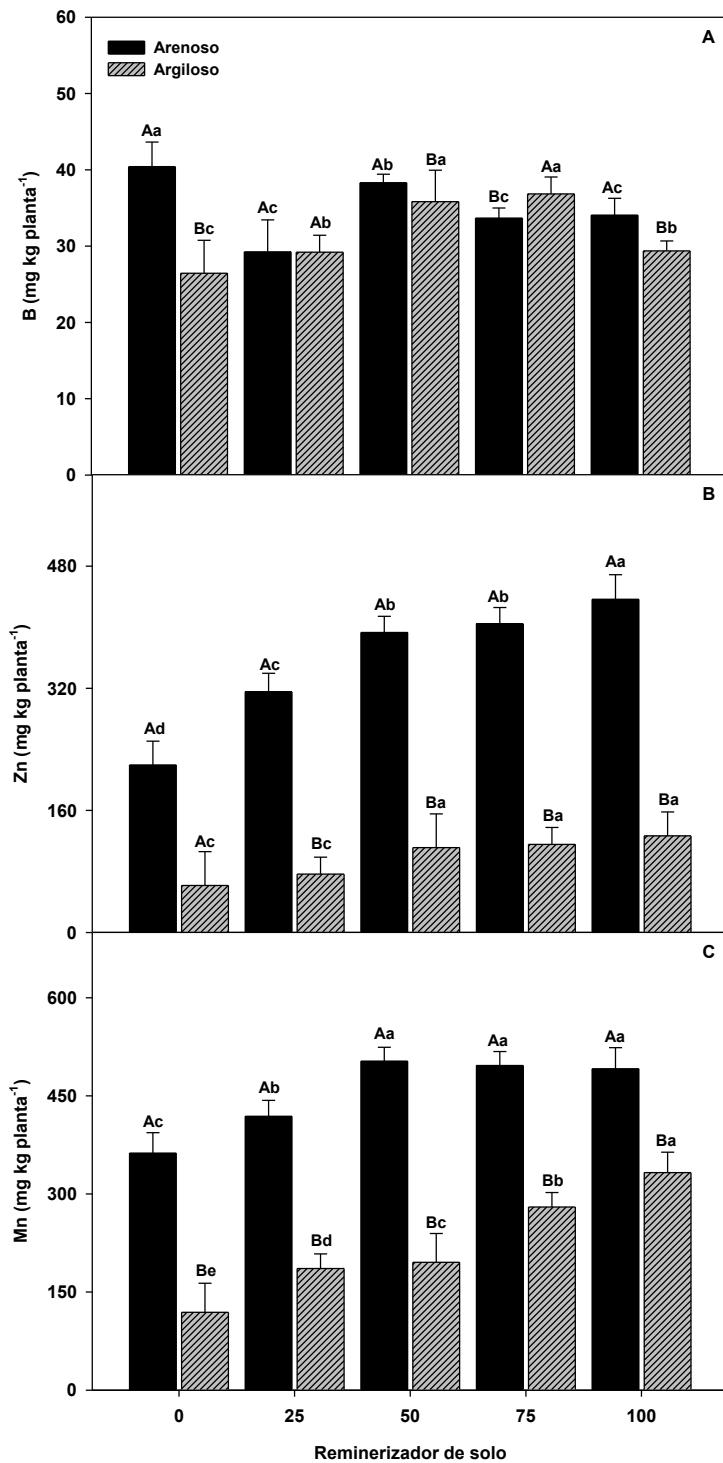


Figura 6. Teor boro (A), zinco (B), manganês (C) e magnésio (D) no solo em função das proporções de remineralizador de solo (0; 25; 50; 75 e 100 %) em solo tipo arenoso e argiloso. Letras maiúsculas diferentes em colunas de cores diferentes comparam dentro de cada proporção do remineralizador de solo, e letras minúsculas diferentes em colunas da mesma cor comparam cada proporção do remineralizador, indicando diferenças significativas de acordo com o teste de Scott-Knott ($P < 0,05$). As colunas representam médias de cinco repetições desvios padrão.

A aplicação do remineralizador de solo favoreceu o desenvolvimento das raízes da soja em ambos os tipos de solo (Figura 7). No solo arenoso, as raízes cresceram progressivamente com o aumento das proporções de remineralizador, apresentando maior volume e densidade principalmente nas doses de 75% e 100%. No solo argiloso, que já apresenta melhores condições de fertilidade e retenção de nutrientes, o crescimento radicular também foi otimizado com a aplicação do remineralizador, sendo as maiores raízes observadas nas doses mais altas. De modo geral, o solo argiloso promoveu raízes mais desenvolvidas que o arenoso, independentemente da adição do remineralizador. O aumento do desenvolvimento radicular com o remineralizador deve-se à maior disponibilidade de nutrientes como Ca, Mg, K e micronutrientes, favorecendo crescimento e absorção de água. O efeito é mais evidente em solos arenosos, que apresentam menor retenção de nutrientes, enquanto em solos argilosos a adição potencializa ainda mais o crescimento radicular, mesmo em condições já favoráveis (TITO *et al.*, 2012; SOUZA *et al.*, 2017; NASCIMENTO, 2023).

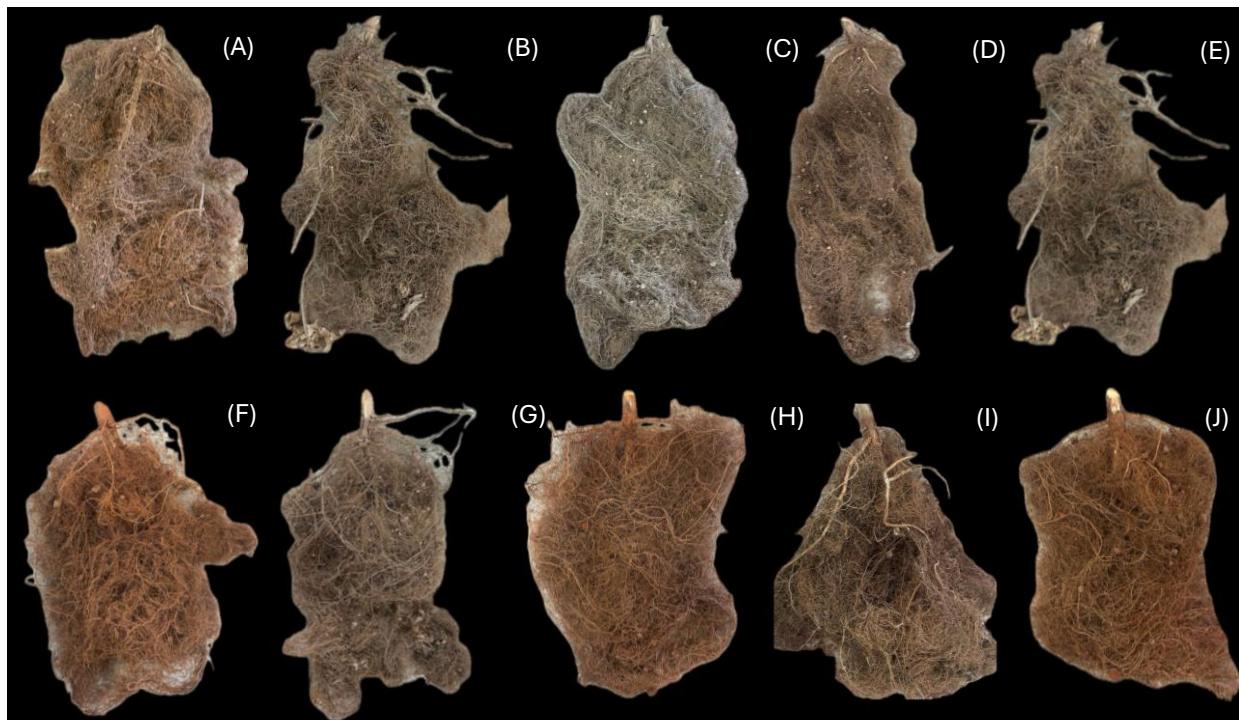


Figura 7. Imagem da raiz da soja em função das proporções de remineralizador de solo 0% (A); 25 (B); 50 (C); 75 (D) e 100 (E) para o tipo de solo arenoso e 0% (F); 25 (G); 50 (H); 75 (I) e 100 (J) para o solo tipo argiloso.

A Figura 8 compara o desenvolvimento do sistema radicular da soja em solos arenoso e argiloso, sob diferentes proporções de remineralizador. No solo arenoso, as raízes se mostraram mais desenvolvidas nos tratamentos sem remineralizador (0%) e com 100% de remineralizador, enquanto as doses intermediárias (25%, 50% e 75%) apresentaram menor densidade radicular. No solo argiloso, a mesma tendência foi observada, com destaque para o tratamento de 100% de remineralizador, que resultou no sistema radicular mais robusto e saudável de todo o experimento. A aplicação do remineralizador ao solo aumenta a superfície específica e as interações entre minerais e microrganismos, o que pode estimular o desenvolvimento do sistema radicular das culturas e, consequentemente, melhorar a absorção de nutrientes (MARTINS *et al.*, 2023). O efeito benéfico no solo argiloso pode estar associado à atuação do remineralizador como condicionador físico-químico, melhorando a estrutura, a aeração e a permeabilidade de um solo mais compacto, favorecendo a expansão radicular. No solo arenoso, naturalmente mais solto, a aplicação pode ter provocado desequilíbrios nutricionais ou alterações de pH, limitando o crescimento das raízes. Esses resultados devem ser correlacionados com a absorção de nutrientes observada nas demais análises: por exemplo, o aumento do volume radicular no solo argiloso na dose de 100% pode explicar maior absorção de cálcio ou outros nutrientes nessa condição (MIRANDA *et al.*, 2011).

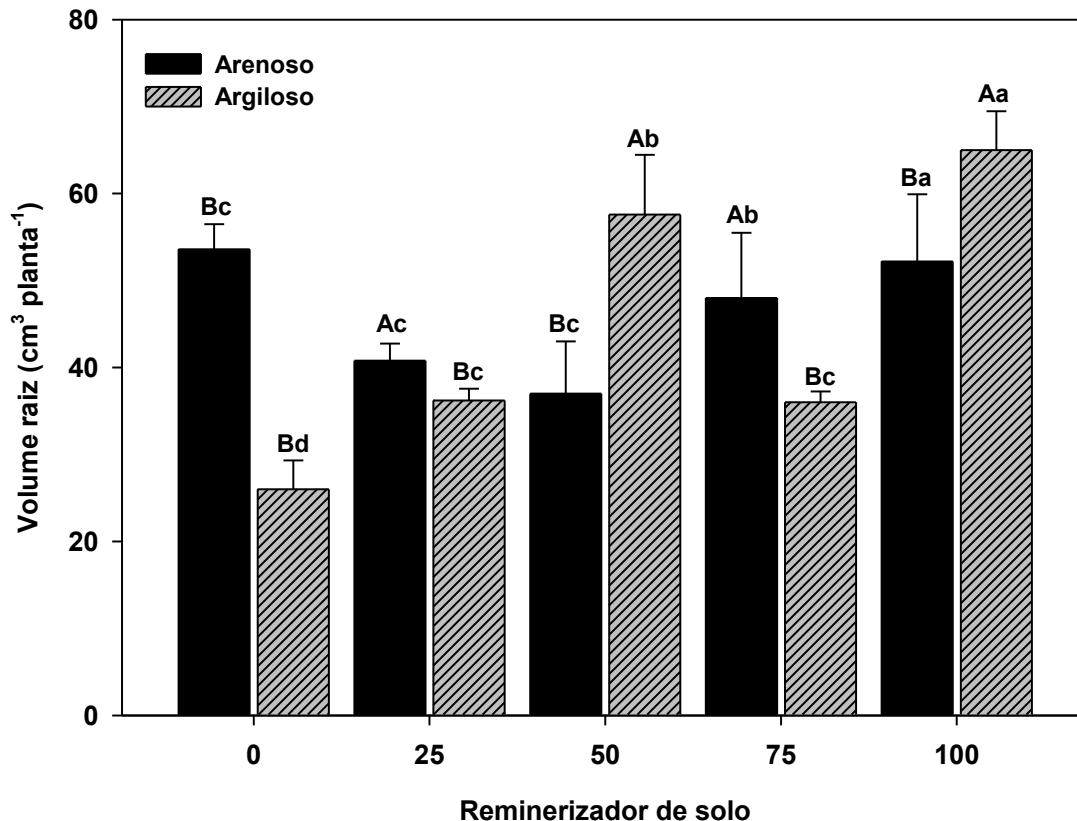


Figura 8. Volume da raiz da soja em função das proporções de remineralizador de solo (0; 25; 50; 75 e 100 %) para os tipos de solo arenoso e argiloso. Letras maiúsculas diferentes em colunas de cores diferentes compararam dentro de cada proporção do remineralizador de solo, e letras minúsculas diferentes em colunas da mesma cor compararam cada proporção do remineralizador, indicando diferenças significativas de acordo com o teste de Scott-Knott ($P < 0,05$). As colunas representam médias de cinco repetições desvios padrão.

A imagem das plantas de soja no estádio reprodutivo R1 (Figura 9) em função das proporções de remineralizador de solo 0% (A); 25 (B); 50 (C); 75 (D) e 100 (E) para o tipo de solo arenoso e 0% (F); 25 (G); 50 (H); 75 (I) e 100 (J) para o solo tipo argiloso.

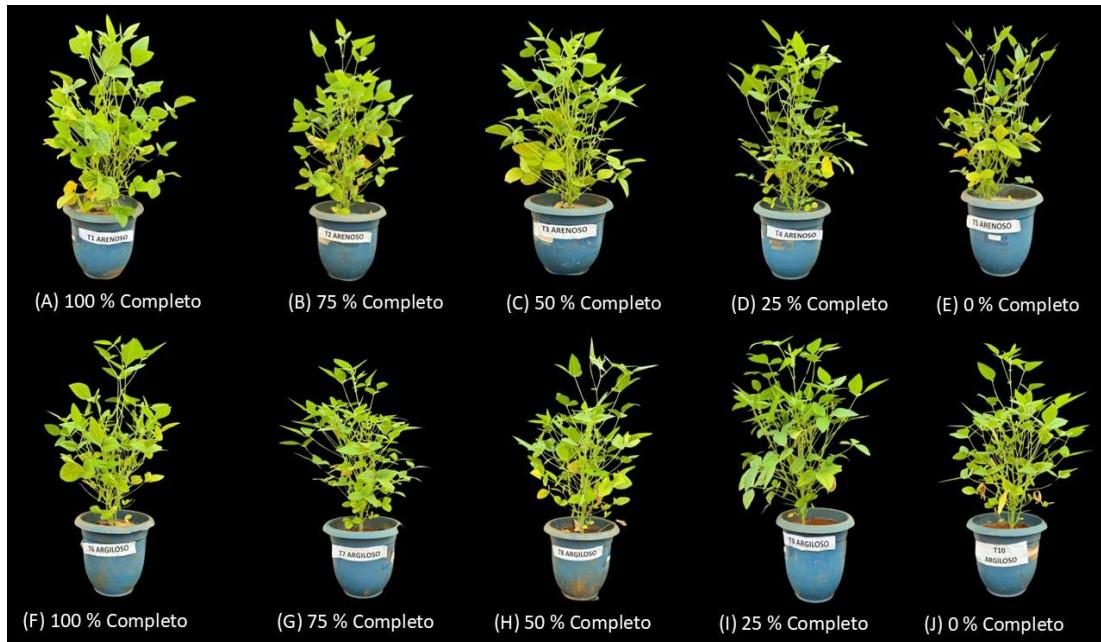


Figura 9. Imagem das plantas de soja no estádio reprodutivo R1 da soja em função das proporções de remineralizador de solo 0% (A); 25 (B); 50 (C); 75 (D) e 100 (E) para o tipo de solo arenoso e 0% (F); 25 (G); 50 (H); 75 (I) e 100 (J) para o solo tipo argiloso.

Para altura da soja (Figura 10A), não diferiu significativamente, não sendo possível identificar tendência de aumento e queda em função das proporções de remineralizador e tipos de solo. Para a massa seca parte aérea (Figura 10B) houve 25% maior para o solo tipo argiloso independente da concentração de remineralizador. Para o número de ramos (Figura 10C) não foi possível definir tendência de aumento ou queda para os tipos de solo em comparação com as proporções de remineralizador. Esses achados estão alinhados com estudos que apontam que solos argilosos oferecem maior capacidade tampão e disponibilidade de nutrientes, permitindo que a planta invista mais na produção de biomassa, mesmo quando a altura ou ramificação não apresentam alterações significativas (BRASIL *et al.*, 2020). Além disso, a ausência de efeito sobre altura e número de ramos sugere que a eficiência do remineralizador pode se manifestar mais na quantidade de tecido produzido do que na arquitetura da planta, especialmente em estágios iniciais de crescimento ou em solos que já apresentam fertilidade adequada (FERREIRA, 2024).

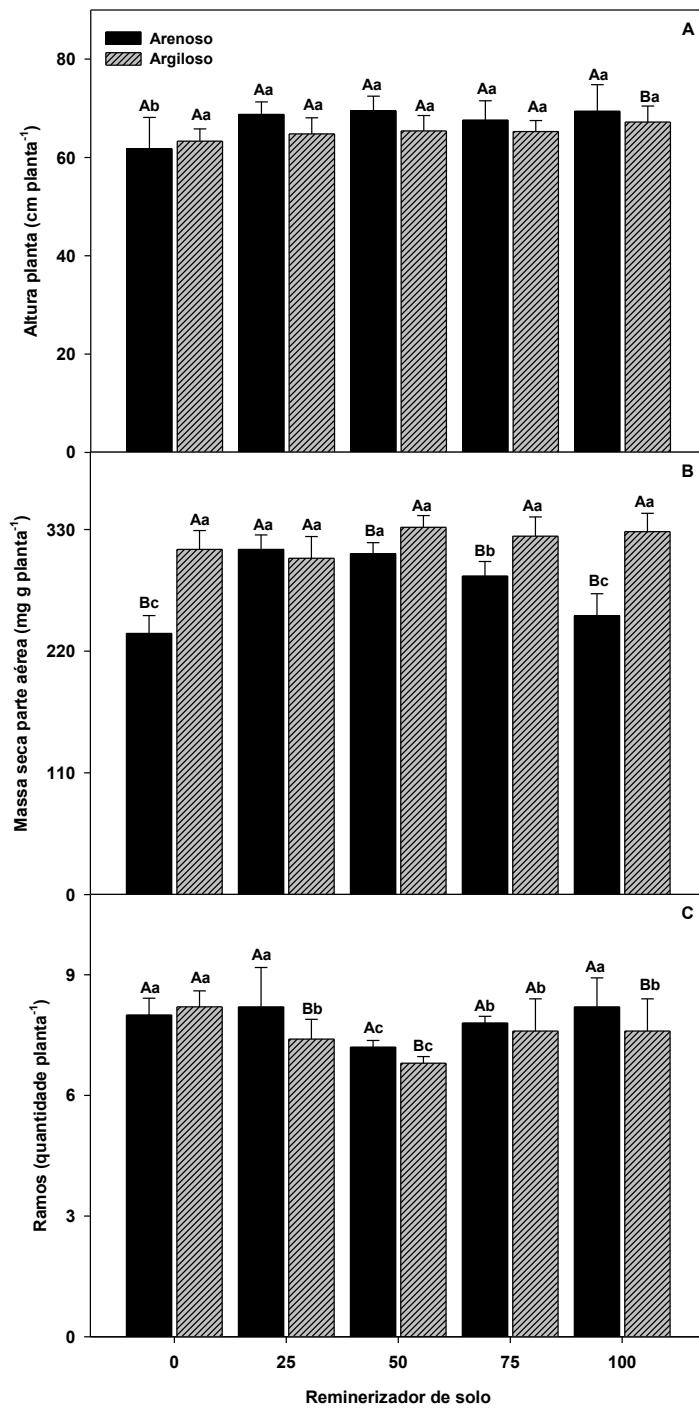
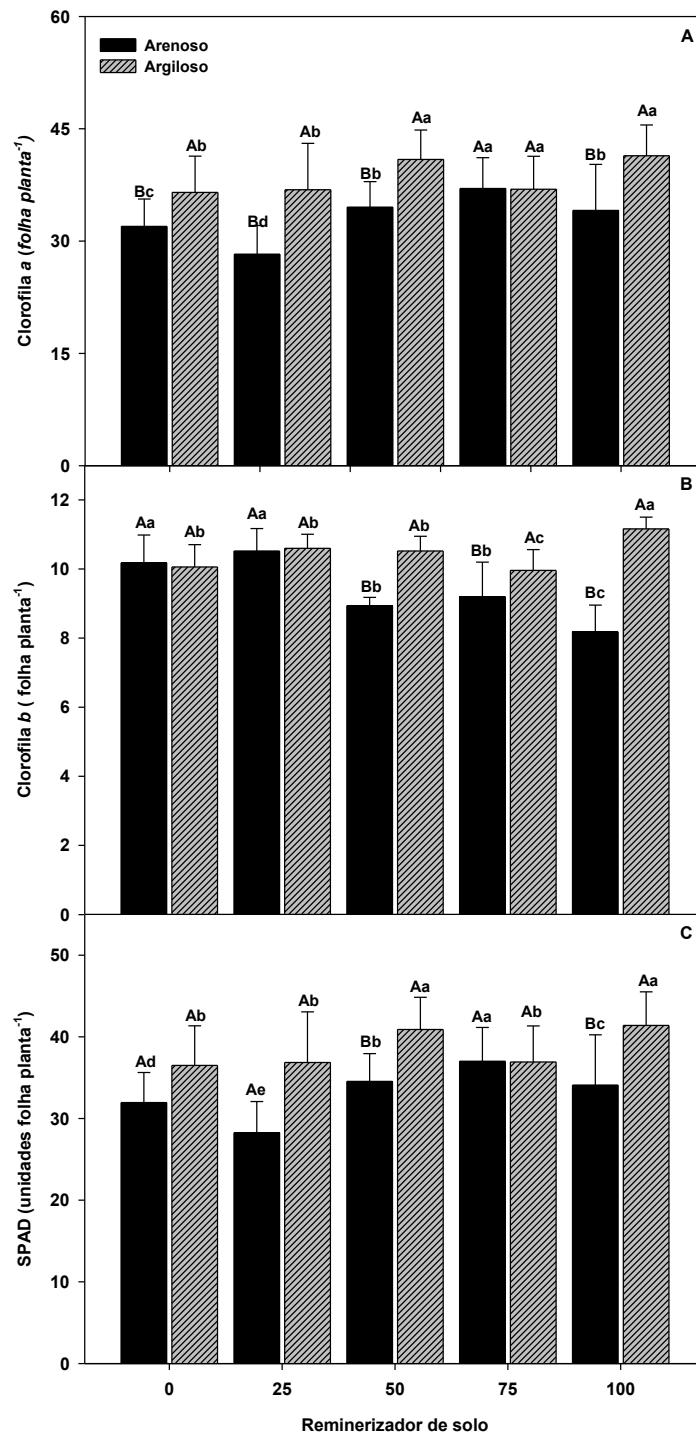


Figura 10. Altura da planta (A), massa seca parte aérea (B) e ramos do caule (C) da soja em função das proporções de remineralizador de solo (0; 25; 50; 75 e 100 %) para os tipos de solo arenoso e argiloso. Letras maiúsculas diferentes em colunas de cores diferentes comparam dentro de cada proporção do remineralizador de solo, e letras minúsculas diferentes em colunas da mesma cor comparam cada proporção do remineralizador, indicando diferenças significativas de acordo com o teste de Scott-Knott ($P < 0,05$). As colunas representam médias de cinco repetições desvios padrão.

Para os teores da clorofila *a* (Figura 11A), *b* (Figura 11B) e SPAD (Figura 11C) forma 15% para o solo tipo argiloso com o aumento das concentrações de remineralizador, quando comparado com o solo tipo argiloso. De modo geral, o solo argiloso apresentou desempenho superior ou equivalente ao solo arenoso em todos os parâmetros avaliados, evidenciando maior capacidade de manutenção de nutrientes e condições mais favoráveis ao desenvolvimento fisiológico da soja. Essa tendência pode estar associada à maior CTC e retenção hídrica do solo argiloso, que favorecem a absorção de nutrientes essenciais à síntese de clorofila (TAIZ *et al.*, 2017). Esse comportamento reforça a sensibilidade de solos arenosos a variações na dose de remineralizador, devido à menor capacidade de retenção e maior lixiviação de nutrientes, especialmente magnésio e nitrogênio, elementos diretamente relacionados à formação de clorofila (CARDOSO; FÁVERO, 2018).



A Figura 12 apresenta a imagem das plantas da soja no estádio R8 em função das proporções de remineralizador de solo 0% (A); 25 (B); 50 (C); 75 (D) e 100 (E) para o tipo de solo arenoso e 0% (F); 25 (G); 50 (H); 75 (I) e 100 (J) para o solo tipo argiloso.

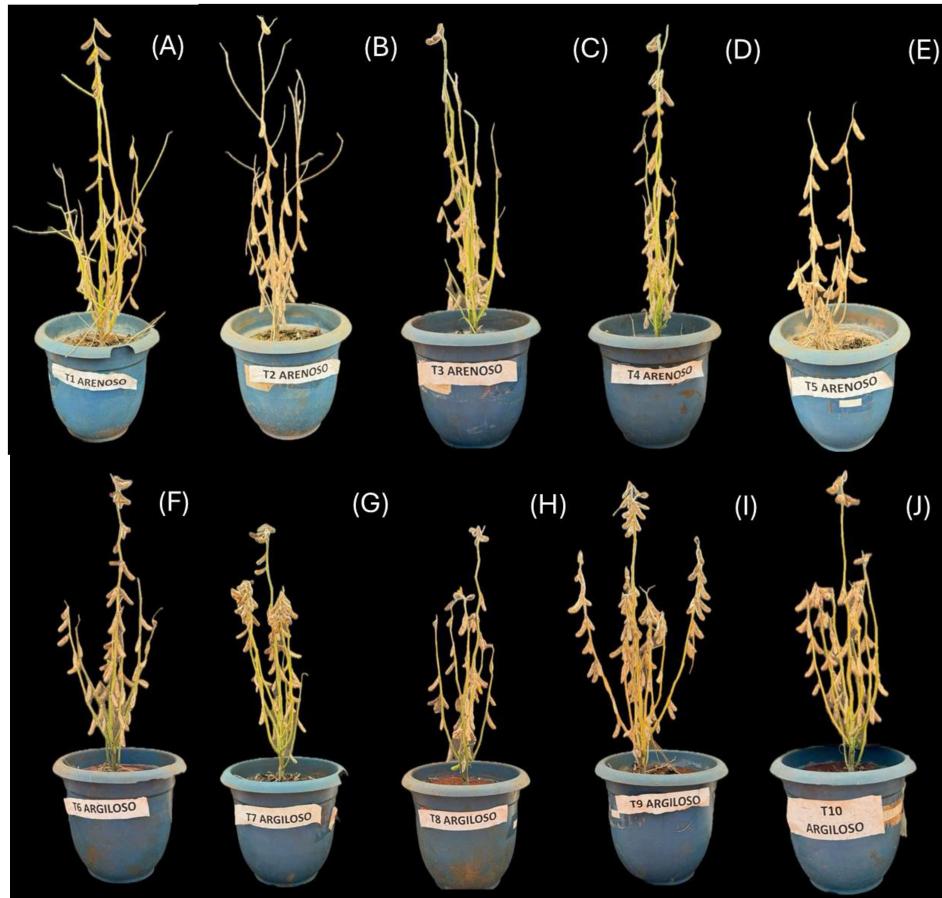


Figura 12. Planta da soja no estádio R8 em função das proporções de remineralizador de solo 0% (A); 25 (B); 50 (C); 75 (D) e 100 (E) para o tipo de solo arenoso e 0% (F); 25 (G); 50 (H); 75 (I) e 100 (J) para o solo tipo argiloso.

Para a produtividade por planta (Figura 13A) e sacas de soja (Figura 13B) houve aumento de 80% com a concentração do remineralizador até 50% da proporção para o solo argiloso, quando comparado com o tipo de solo arenoso nas maiores concentrações 75 e 100% do reminerzlizador. Esse resultado pode ser atribuído à maior capacidade de troca catiônica (CTC) e retenção hídrica dos solos argilosos, características que favorecem a absorção e a disponibilidade de nutrientes essenciais ao desenvolvimento da soja (FAGERIA, 2016). Doses elevadas (100%) podem não ser vantajosas, possivelmente devido ao desequilíbrio na relação de nutrientes liberados ou à saturação do solo, comprometendo a absorção eficiente pela planta (THEODORO *et al.*, 2020). O aumento

do número de vagens com a aplicação do remineralizador reflete a maior disponibilidade de nutrientes essenciais, como Ca, Mg, K e micronutrientes, que favorecem o desenvolvimento reprodutivo da soja (FERREIRA, 2024). Em solos arenosos, o efeito é mais evidente devido à correção das limitações nutricionais, enquanto em solos argilosos, o remineralizador potencializa a produtividade mesmo em condições de fertilidade já favoráveis (D'OLIVEIRA; ROCHA; MARTINS, 2019).

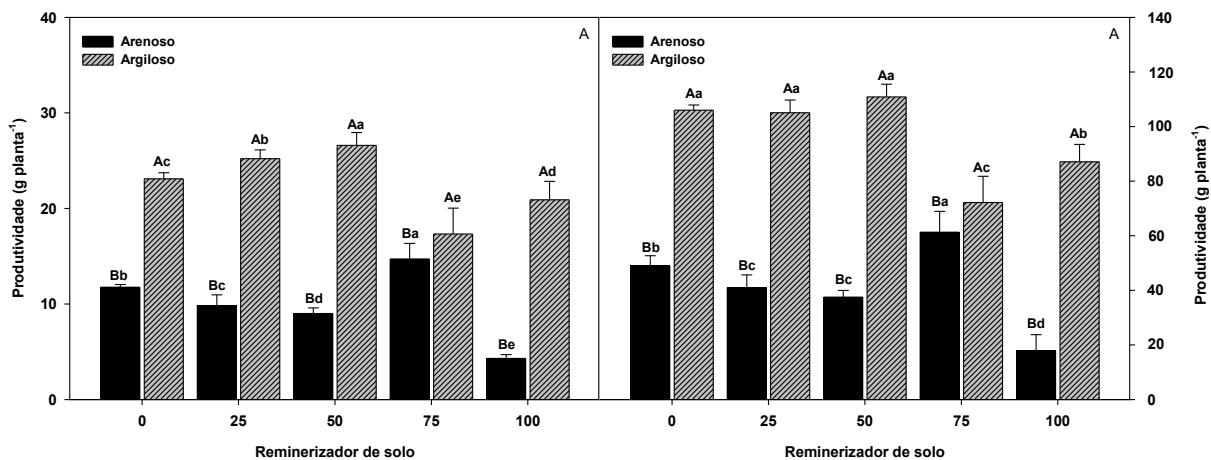


Figura 13. Produtividade planta (A) e sacas hectare (B) da soja em função das proporções de remineralizador de solo (0; 25; 50; 75 e 100 %) para os tipos de solo arenoso e argilososo. Letras maiúsculas diferentes em colunas de cores diferentes comparam dentro de cada proporção do remineralizador de solo, e letras minúsculas diferentes em colunas da mesma cor comparam cada proporção do remineralizador, indicando diferenças significativas de acordo com o teste de Scott-Knott ($P < 0,05$). As colunas representam médias de cinco repetições desvios padrão.

De modo geral, os resultados obtidos demonstram que a proporção entre siltito e calcário dolomítico exerce influência direta sobre o desempenho da soja, variando conforme a textura do solo. Essa constatação reforça a importância de ajustar as doses de corretivos de acordo com as características edáficas, uma vez que solos arenosos e argilosos respondem de forma distinta à aplicação dos insumos. O uso equilibrado de remineralizadores e calcário mostrou-se estratégico não apenas para a correção da acidez, mas também para a melhoria da disponibilidade de nutrientes e da estrutura do solo, favorecendo o desenvolvimento radicular e a produtividade. Assim, conclui-se que a definição adequada das proporções desses insumos representa uma alternativa viável para aumentar a eficiência do manejo, reduzir custos com fertilização corretiva e potencializar o rendimento da cultura, contribuindo para sistemas agrícolas mais sustentáveis e adaptados às condições do Cerrado.

5 CONCLUSÕES

A pesquisa concluiu que a associação de 50% de siltito e 50% de calcário foi a mais eficiente para o solo argiloso, promovendo melhores características químicas do solo, teores foliares, desenvolvimento das plantas e produtividade da soja. Para o solo arenoso, a combinação ideal foi de 75% de siltito e 25% de calcário, resultando em incremento das propriedades químicas do solo, maior acúmulo de nutrientes nas folhas, crescimento vegetativo mais expressivo e maior produtividade. Esses resultados indicam que a proporção de siltito e calcário deve ser ajustada conforme a textura do solo, garantindo eficiência no manejo e rendimento da cultura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR, B. G. de. **Eficiência agronômica de remineralizadores no cultivo de milho em sistema de manejo orgânico e potencial de solubilização de K por ácidos orgânicos**. 2024. 97 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2024.
- AIRES, R. **Calagem do solo**: o que é e como fazer? AgriQ – Receituário Agronômico On-line – Uma Solução Aliare, 2025. Disponível em: <https://agriq.com.br/calagem/>. Acesso em: 13 set. 2025.
- BATISTA, M. A. *et al.* Princípios de fertilidade do solo, adubação e nutrição mineral. In: BRANDÃO FILHO, J. U. T. *et al.* **Hortaliças-fruto**. Maringá: EDUEM, 2018. p. 113-162. Disponível em: <https://doi.org/10.7476/9786586383010.0006>.
- BERNARDI, A. C. C. **Correção do Solo e Adubação no Sistema de Plantio Direto nos Cerrados**. Embrapa, 2003.
- BORGES, A. L. **Recomendações de calagem e adubação para abacaxi, acerola, banana, citros, mamão, mandioca, manga e maracujá**. 2. ed. Brasília: Embrapa, 2021. 306 p.
- BOSCHIEIRO, B. N. **Gessagem**: importância, resposta das culturas, cálculo de gessagem e 4 diferenças para a calagem. Agroadvance, 12 jul. 2022. Atualizado em 03 maio 2024. Disponível em: <https://agroadvance.com.br/blog-gessagem-importancia-diferencias-calagem/>. Acesso em: 13 set. 2025.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. **Cerrado**. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/biodiversidade-e-biomas/biomas-e-ecossistemas/biomas/cerrado>. Acesso em: 13 set. 2025.
- BRASIL, E. C. *et al.* **Recomendações de calagem e adubação para o estado do Pará**. Brasília: Embrapa, 2020. 424 p.

CAIRES, E. F. *et al.* Correção da acidez do solo, crescimento radicular e nutrição do milho de acordo com a calagem na superfície em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 4, p. 1011-1022, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832002000400019>.

CARDOSO, I. M.; FÁVERO, C. **Solos e agroecologia**. 4. ed. Brasília: Embrapa, 2018. 376 p.

CECCON, G. **Sistema Plantio Direto**. Embrapa, 2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/sistema-plantio-direto>. Acesso em: 13 set. 2025.

CENTENO, L. N. *et al.* Textura do solo: conceitos e aplicações em solos arenosos. **Revista Brasileira de Engenharia e Sustentabilidade**, v. 4, n. 1, p. 31-37, 2017.

CORRÊA, J. C. *et al.* Aplicação superficial de diferentes fontes de corretivos no crescimento radicular e produtividade da aveia preta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 4, p. 1583-1590, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000400022>.

COUTINHO, M. C. **Remineralizador de solo e seus efeitos sobre o teor de fósforo nas folhas em diferentes texturas do solo na produtividade do milho**. 2024. 37 f. TCC (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal de Uberlândia, Monte Carmelo, 2024.

DIAS, R. de C. **Potencial e Eficiência da Utilização de Rochas Silicáticas como Fonte de Potássio na Agricultura**. 2022. 155 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2022.

DIAS, R. de C. *et al.* Acúmulo de biomassa e potássio em gramíneas em função da fonte fertilizante e do solo. **Brazilian Journal of Development**, 2020.

D'OLIVEIRA, P. S.; ROCHA, W. S. D.; MARTINS, C. E. **Uso de remineralizador em plantas forrageiras**. Embrapa Gado de Leite: Comunicado técnico 96, 2023. 16 p.

DONA ZEFA. **Potássio na Agricultura: O Papel Essencial e as Soluções Biológicas para sua Disponibilidade**. Novo Agro, 1 jul. 2025. Disponível em: <https://novo.agr.br/utilizacao/aplicacao/potassio-na-agricultura-o-papel-essencial-e-as-solucoes-biologicas-para-sua-disponibilidade/>. Acesso em: 13 set. 2025.

DOURADO NETO, D. *et al.* Adubação mineral com cobalto e molibdênio na cultura da soja. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, p. 2741-2752, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2012v33Sup1p2741>.

EMBRAPA SOLOS. **Solos Tropicais**. 2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/solos-tropicais>. Acesso em: 13 set. 2025.

FAGERIA, N. K. **The Use of Nutrients in Crop Plants**. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 2016. 586 p.

FERREIRA, D. F. SISVAR: a computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**, [S.L.], v. 37, n. 4, p. 529-535, 20 dez. 2019. Revista Brasileira de Biometria. <http://dx.doi.org/10.28951/rbb.v37i4.450>.

FERREIRA, E. R. N. C. *et al.* Pó de basalto, desenvolvimento e nutrição do feijão comum (*Phaseolus vulgaris*) e propriedades químicas de um Cambissolo Húmico. **Revista Ciência Agroveterinária**, v. 8, n. 2, p. 111-121, 2009.

FERREIRA, M. de M. **Efeito residual de remineralizador como fonte de potássio na cultura da soja**. 2024. 31 f. TCC (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal de Uberlândia, Monte Carmelo, 2024.

FIGUEIREDO, Y. C. **A fertilidade do solo no cerrado: os pioneiros da pesquisa e o papel da cooperação internacional**, 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Biomassas e sistema costeiro-marinho do Brasil**: compatível com a escala 1:250.000. Rio de Janeiro: IBGE, 2019. 168 p. (Relatórios metodológicos, v. 45).

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE (ICMBio). **Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção**: Volume I. Brasília, DF: ICMBio/MMA, 2018. 492 p.

MACHADO, J. V. P. **Caracterização físico-química comparativa entre pós de rochas granodioríticas e basálticas como potenciais fertilizantes agrícolas**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) - Universidade Federal do Pampa, Caçapava do Sul, 2023.

MACHADO, P. L. O. A.; PADOVAN, M. A. Adsorção de zinco por alguns solos do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 11, p. 253-256, 1987.

MARCANDALLI, L. H. **Biopolímero**: efeitos em aspectos físico-hídricos do solo e na dinâmica de nitrogênio e potássio. 2023. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, 2023.

MARQUES, D. J.; BROETTO, F.; SILVA, E. C. Effect of mineral stress-induced sources and doses of potassium on the production of root in eggplants (*Solanum melongena* L.). **Revista Caatinga**, Mossoró v. 23, p. 7–12, 2010.

MARQUES, D. J.; BIANCHINI, H. C.; MACIEL, G. M.; MENDONÇA, T. F. N.; SILVA, M. F. Morphophysiological changes resulting from the application of silicon in corn plants under water stress. **Journal of Plant Growth Regulation**, [S.l.], v. 41, p. 569–584, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00344-021-10322-5>.

MARTINS, E. de S.; HARDOIM, P. R.; MARTINS, É. de S. Efeito da aplicação dos remineralizadores no solo. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 44, n. 321, p. 49-56, 2023.

MIRANDA, M. A. *et al.* Condicionadores químicos e orgânicos na recuperação de solo salino-sódico em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 5, p. 484-490, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s1415-43662011000500008>.

MODA, L. R. **Gessagem na cultura da soja no sistema de plantio direto com e sem adubação potássica**. v. 7, n. 2, p. 129-135, 2013.

NASCIMENTO, V. R. R. **Remineralizador a base de pó de basalto no cultivo de couve-manteiga**. 2023. 46 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2023.

NETO, W. P. H. *et al.* Correção da acidez do solo em função de modos de incorporação de calcário. **Ciência Rural**, n. 30, v. 2, p. 257-261, 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782000000200010>.

NOVAIS, R. F.; NEVES, J.C.L.; BARROS, N.F. Ensaio em ambiente controlado. In: OLIVEIRA, A.J.; GARRIDO, W.E.; ARAÚJO, J.D. & LOURENÇO, S., eds. **Métodos de pesquisa em fertilidade do solo**. Brasília, Embrapa-SEA, 1991. p.189-254

OLIVEIRA, I. P. de *et al.* Considerações sobre a acidez dos solos de cerrado. **Revista Eletrônica Faculdade Montes Belos**, n. 1, v. 1, p. 1-12, 2005.

PETRERE, V. G. **Estudos de Toxidez de Alumínio em Genótipos de Soja e Milho Cultivados em Bioensaios**. XXXI CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 2007.

PIZARRO CABELO, F. **Riegos localizados de alta frecuencia**. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, 1996. 511 p.

PIZOL, J. V. **Boro nas plantas: uso e aplicações**. 2022. Disponível em: <https://nutricaodesafras.com.br/boro-nas-plantas?teste=a>. Acesso em: 24 ago. 2025.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. As principais fitofisionomias do Bioma Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F. (Eds.). **Cerrado: ecologia e flora**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2008. p. 151-212.

RONQUIM, C. C. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**. Campinas: Embrapa Monitoramento Por Satélite, 2010. 30 p.

ROSOLEM, C. A. *et al.* Manganês no solo, sua avaliação e toxidez de manganês em soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 27, n. 2, p. 277-285, 1992.

SANTOS, F. C. dos *et al.* Produtividade e aspectos nutricionais de plantas de soja cultivadas em solos de cerrado com diferentes texturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 32, v. 5, p. 2015-2025, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000500023>.

SANTOS, H. G. dos *et al.* **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. E-book. Disponível em:

[http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/181677/1/SiBCS-2018-ISBN-9788570358172.epub.](http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/181677/1/SiBCS-2018-ISBN-9788570358172.epub)

SENE, M. A. Produtividade da soja em sucessão a adubação verde. **Revista Científica Eletrônica de Ciências Aplicadas da FAIT**, 2021.

SGB – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Intemperismo e erosão**. Disponível em: https://sgbeduca.sgb.gov.br/jovens_geociencias_intemperismo erosao.html. Acesso em: 13 set. 2025.

SILVA, A. M. da. **Siltito glauconítico calcinado**: caracterização e propriedades. 2013. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2013.

SILVA, L. D. *et al.* **Importância em se conhecer o tipo de solo e as particularidades da adubação em áreas de cerrado**. Piracicaba: ESALQ/USP, 2021. v. 2. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/9786587391076>.

SILVA, L. M. da; BERTI, M. P. da S. Manganês no solo e nas plantas: uma revisão. **Scientific Electronic Archives**, v. 15, n. 3, p. 21-25, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.36560/15320221512>.

SILVA, R. R. **Liberação do potássio contido em siltito glauconítico por processo térmico**. 2017. 103 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2017.

SOBRAL, L. F. *et al.* **Guia Prático para Interpretação de Resultados de Análises de Solo**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2015. 15 p.

SOUZA, F. F. *et al.* **Correção do solo e adubação**. Cultivo da melancia em Rondônia. 2008.

SOUZA, J. I. R. de. **Comparação de redutores de pH em solos de diferentes capacidade-tampão**. 2024. 31 f. TCC (Graduação em Agronomia) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano, Petrolina, 2024.

SOUZA, L. H. *et al.* Efeito do pH do solo rizosférico e não rizosférico de plantas de soja inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum* na absorção de boro, cobre, ferro, manganês e zinco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 5, p. 1641-1652, 2010. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832010000500017>.

SOUZA, M. D. B. de; FONTANETTI, A.; LOPES-ASSAD, M. L. R. C. Efeito de remineralizador, vinhaça e plantas de cobertura nos atributos químicos do solo. **Revista Ciência, Tecnologia & Ambiente**, v. 5, n. 1, p. 1-7, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4322/2359-6643.05107>.

STEFANOSKI, D. C. *et al.* Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 12, p. 1301-1309, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s1415-43662013001200008>.

SUMMIT AGRO / ESTADÃO. **Molibdênio e a importância da fixação de nitrogênio nas plantas.** 13 dez. 2021. Disponível em: <https://summitagro.estadao.com.br/noticias-do-campo/molibdenio-e-a-importancia-da-fixacao-de-nitrogenio-nas-plantas/>. Acesso em: 13 set. 2025.

TAIZ, L. *et al. Plant Physiology and Development*. 6. ed. Urbana: Sinauer Associates, 2015.

THE BRAZIL FLORA GROUP (BFG). **Flora do Brasil 2020**. Rio de Janeiro: Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2021. Disponível em: <http://doi.org/10.47871/jbrj2021001>. Acesso em: 13 set. 2025.

THEODORO, S. H. *et al.* Rochagem: utilização de rochas silicáticas como remineralizadores de solos. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 50, n. 1, e20200014, 2020.

TITO, G. A.; CHAVES, L. H. G.; GUERRA, H. O. C. Mobilidade do zinco e do cobre em Argissolo com aplicação de argila bentonita. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 9, p. 938-945, 2012.

TOSCANI, R. G. da S.; CAMPOS, J. E. G. Uso de pó de basalto e rocha fosfatada como remineralizadores em solos intensamente intemperizados. **Geociências**, São Paulo, v. 36, n. 2, p. 259-274, 2017.

VELOSO, C. **Por que o Siltito Glauconítico é uma boa fonte de potássio para solos arenosos?**. Disponível em: <https://blog.verde.ag/pt/solo/siltito-glauconitico-para-solos-arenosos/>. Acesso em: 13 set. 2025.

VIOLATTI, I. C. A. **Siltito glauconítico calcinado e não calcinado como fertilizantes para Urochloa brizantha cv. Marandú**. 2018. 134 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018.