



REMINERALIZADOR SILICÁLCIO E SUAS CONTRIBUIÇÕES AGRONÔMICAS NA CULTURA DA SOJA

English title

Título en español

DOI: 10.55905/oelvXXnX

Receipt of originals: 01/23/2024

Acceptance for publication:

Eliana Paula Fernandes Brasil

Pós-doutorado em Agronomia

Instituição: Universidade Federal de Goiás (UFG)

Endereço: Escola de Agronomia - Av. Esperança s/n, Campus Samambaia

CEP 74.690-900 Goiânia - Goiás - Brasil

E-mail: elianafernandes@ufg.br

Adriana Rodolfo da Costa

Doutora em Agronomia

Instituição: Universidade Estadual de Goiás

Endereço: Via Protestato Joaquim Bueno, nº 945, Perímetro Urbano

Email: adriana.costa@ueg.br

Isadora de Lima Araújo

Engenheira Agrônoma

Instituição: Universidade Federal de Goiás (UFG)

Endereço: Escola de Agronomia - Av. Esperança s/n, Campus Samambaia

CEP 74.690-900 Goiânia - Goiás - Brasil

Email: isadoraaraujo@discente.ufg.br

Thiago de Godoi Araújo

Engenheiro Agrônomo

Instituição: Universidade Federal de Goiás (UFG)

Endereço: Escola de Agronomia - Av. Esperança s/n, Campus Samambaia

CEP 74.690-900 Goiânia - Goiás - Brasil

Email: thiagogodoivelgo@ufg.br

Thalles Martins Anastácio

Engenheiro Agrônomo

Instituição: Universidade Federal de Goiás (UFG)

Endereço: Escola de Agronomia - Av. Esperança s/n, Campus Samambaia

CEP 74.690-900 Goiânia - Goiás - Brasil

Email: thallesmartins@ufg.br

Pelerson Penido Dalla Vecchia

Instituição: Grupo Roncador

Endereço: Rua Harmonia, 1.250, sala 31, Vila Madalena

CEP 05435001 São Paulo - São Paulo - Brasil

Email: pelersondalla@gruporoncador.com.br

Carlos Magno Bretas de Oliveira

Instituição: Grupo Roncador

Endereço: rua T-36, número 2174

CEP 74223-052 Goiânia - Goiás - Brasil

Email: carlos.oliveira@gruporoncador.com.br

RESUMO

A elevada dependência de fertilizantes minerais solúveis, associada aos custos de produção e às preocupações ambientais, tem estimulado a busca por alternativas mais sustentáveis para o manejo da fertilidade do solo. Nesse contexto, os remineralizadores destacam-se por promoverem a liberação gradual de nutrientes e melhorias nos atributos físico-químicos e biológicos do solo. O presente estudo teve como objetivo avaliar os efeitos agrônômicos do remineralizador, denominado Silicálcio, na cultura da soja (*Glycine max* L.), considerando a fertilidade do solo, o estado nutricional e a produtividade da soja. O experimento foi conduzido em condições controladas, utilizando solos de textura franco-argilo-arenosa e arenosa, sob delineamento inteiramente casualizado, com oito tratamentos e quatro repetições, incluindo doses do Silicálcio, um remineralizador comercial (FMX), fertilizante potássico solúvel (KCl) e testemunha. Foram avaliadas variáveis biométricas, teor de potássio foliar, potássio residual do solo e produtividade de grãos. Os resultados indicaram elevação do pH, aumento dos teores de cálcio e magnésio, maior capacidade de troca catiônica e incremento da saturação por bases. O Silicálcio apresenta efeito significativo sobre o diâmetro do caule, disponibilidade de potássio e produtividade, com desempenho semelhante ou superior às fontes convencionais em determinadas condições. Conclui-se que o remineralizador Silicálcio possui potencial para incrementar a fertilidade do solo e contribuir para sistemas produtivos mais sustentáveis em promoção à agricultura regenerativa tropical.

Palavras-chave: Remineralizadores de solo; Fertilidade do solo; Potássio; *Glycine max* L.; Sustentabilidade agrícola; Solos tropicais.

ABSTRACT

High dependence on soluble mineral fertilizers, combined with production costs and environmental concerns, has stimulated the search for more sustainable alternatives for soil fertility management. Soil remineralizers stand out for promoting the gradual release of nutrients and improving soil physical, chemical, and biological attributes. This study evaluated the agronomic effects of a carbonate rock-based remineralizer, referred to as Silicalcio, on soybean (*Glycine max*) crops, considering soil fertility, plant nutritional status, and grain yield. The experiment was conducted under controlled conditions in sandy clay loam and sandy soils using a completely randomized design with eight treatments and four replications. The treatments consisted of rates of Silicalcio (equivalent to 60, 120, 180, 240, and 300 kg ha⁻¹ of K₂O), the commercial remineralizer FMX (60 kg ha⁻¹ of K₂O), potassium chloride (60 kg ha⁻¹ of K₂O), and a control (no application). Plant biometric parameters, leaf K content, residual soil K content, and grain yield were evaluated. The results indicated increases in soil pH, Ca, and Mg contents, cation exchange capacity, and base saturation. Silicalcio had a significant effect on stem diameter, K availability, and grain yield, with values similar to or superior to those of conventional sources under certain conditions. Therefore, the Silicalcio remineralizer has potential to increase soil fertility and contribute to more sustainable production systems, promoting regenerative agriculture in tropical regions.

Keywords: Silicalcio, Soil Fertility, Potassium, Glycine Max, Agricultural Sustainability, Tropical Soils.

RESUMEN

La elevada dependencia de fertilizantes minerales solubles, asociada a los costos de producción y a las preocupaciones ambientales, ha estimulado la búsqueda de alternativas más sostenibles para el manejo de la fertilidad del suelo. En este contexto, los remineralizadores se destacan por promover la liberación gradual de nutrientes y mejoras en los atributos físico-químicos y biológicos del suelo. El presente estudio tuvo como objetivo evaluar los efectos agronómicos del remineralizador denominado Silicálcio en el cultivo de soja (*Glycine max* L.), considerando la fertilidad del suelo, el estado nutricional y la productividad del cultivo. El experimento fue conducido en condiciones controladas, utilizando suelos de textura franco arcillo-arenosa y arenosa, bajo un diseño completamente al azar, con ocho tratamientos y cuatro repeticiones, incluyendo dosis de Silicálcio, un remineralizador comercial (FMX), fertilizante potásico soluble (KCl) y un tratamiento testigo. Se evaluaron variables biométricas, contenido de potasio foliar, potasio residual del suelo y productividad de granos. Los resultados indicaron elevación del pH, aumento de los contenidos de calcio y magnesio, mayor capacidad de intercambio catiónico e incremento de la saturación por bases. El Silicálcio presentó un efecto significativo sobre el diámetro del tallo, la disponibilidad de potasio y la productividad, con un desempeño similar o superior a las fuentes convencionales en determinadas condiciones. Se concluye que el remineralizador Silicálcio posee potencial para incrementar la fertilidad del suelo y contribuir a sistemas productivos más sostenibles, promoviendo la agricultura regenerativa tropical.

Palabras clave: Remineralizadores de suelo; Fertilidad del suelo; Potasio; *Glycine max* L.; Sostenibilidad agrícola; Suelos tropicales.

1 INTRODUÇÃO

A crescente intensificação da agricultura e a elevada dependência de fertilizantes minerais solúveis têm ampliado os custos de produção e a vulnerabilidade econômica dos sistemas agrícolas, especialmente em países tropicais fortemente dependentes de importações, como o Brasil (Farias et al., 2020). A volatilidade dos preços internacionais de insumos, associada a preocupações ambientais relacionadas à produção e ao uso excessivo de fertilizantes convencionais, tem impulsionado a busca por alternativas sustentáveis. Nesse contexto, os remineralizadores de solo, vêm sendo amplamente discutidos como uma estratégia promissora para o fornecimento gradual de nutrientes e para a promoção da sustentabilidade dos sistemas produtivos tropicais (Manning e Theodoro, 2023; Beerling et al., 2022). O remineralizador obtido de

moagem de rochas carbonáticas sedimentares, como o remineralizador Silicálcio, demonstrou nessa pesquisa experimental, potencialidade no incremento da fertilidade do solo com efeito positivo na nutrição da soja.

A soja (*Glycine max*) ocupa posição central na agricultura brasileira e mundial, a produção de soja impacta positivamente o desenvolvimento sócio-econômico do Brasil, sendo altamente dependente da fertilidade do solo para expressar seu potencial produtivo. Estudos indicam que a aplicação de remineralizadores pode contribuir para o fornecimento de macro e micronutrientes, além de promover melhorias em atributos químicos do solo, como pH, capacidade de troca catiônica e saturação por bases, refletindo positivamente no crescimento e na produtividade da cultura em solos altamente intemperizados (Ramos et al., 2021; Medeiros et al., 2021; Silva et al., 2022).

Os efeitos dos remineralizadores na cultura da soja ainda apresentam respostas variáveis, influenciadas por fatores como a mineralogia da rocha, granulometria do material, dose aplicada e condições edafoclimáticas. Pesquisas conduzidas em ambientes tropicais destacam que a liberação lenta dos nutrientes requer avaliações de médio e longo prazo, além de metodologias experimentais adequadas, para que os resultados sejam corretamente interpretados e comparáveis aos sistemas de fertilização convencional (Almeida et al., 2022; Santos et al., 2023).

A adoção de remineralizadores apresenta implicações econômicas relevantes, sobretudo pela possibilidade de utilização de fontes minerais regionais e subprodutos da mineração. A substituição parcial de fertilizantes solúveis por remineralizadores pode reduzir custos de produção, diminuir a dependência de insumos importados e fortalecer cadeias produtivas locais, contribuindo para a resiliência econômica e ambiental dos sistemas agrícolas, especialmente em culturas de larga escala como a soja (Manning et al., 2022; Silva e Lopes, 2024).

Diante desse cenário, torna-se fundamental aprofundar o entendimento sobre os efeitos agronômicos e produtivos do uso de remineralizadores na cultura da soja, especialmente em solos do Cerrado brasileiro, e desta forma contribuir para o desenvolvimento de estratégias de manejo mais sustentáveis, eficientes e economicamente viáveis para a agricultura tropical (Souza et al., 2023). Assim, a

presente pesquisa teve como objetivo avaliar o efeito do remineralizador Silicálcio na cultura da soja (*Glycine max* L.), considerando respostas produtivas e nutricionais.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 PESQUISAS REMINERALIZADORES

A utilização de remineralizadores de solo tem se destacado como alternativa sustentável no Brasil, contribuindo para a redução da dependência de fertilizantes importados e para a melhoria da fertilidade de solos tropicais. Essa estratégia está alinhada ao Plano Nacional de Fertilizantes 2050.

A regulamentação desses insumos ocorreu com a Lei nº 12.890/2013, complementada pelas Instruções Normativas nº 5 e nº 6/2016 do MAPA, que estabelecem critérios técnicos para registro e uso. Os remineralizadores são materiais de origem mineral submetidos a processos físicos, capazes de liberar nutrientes gradualmente e melhorar atributos químicos, físicos e biológicos do solo.

A prática da rochagem tem sido amplamente estudada, especialmente com materiais como basalto e fonólito, ricos em macro e micronutrientes. Esses materiais promovem liberação lenta de nutrientes e efeitos residuais positivos, como aumento da fertilidade e melhoria da estrutura do solo (SOUZA et al., 2022; VAN STRAATEN, 2023).

Além dos benefícios agronômicos, os remineralizadores apresentam vantagens ambientais e econômicas, como o aproveitamento de resíduos minerais e a redução da dependência externa de insumos (MACHADO et al., 2023; ALOVISI et al., 2024). Também há evidências de contribuição para o sequestro de carbono no solo por meio do intemperismo acelerado (GUELFY-SILVA et al., 2024).

Entretanto, sua eficiência depende de fatores como composição mineralógica, granulometria e condições edafoclimáticas, sendo necessária a aplicação criteriosa e o monitoramento do solo.

2.2. SOJA

A soja (*Glycine max*) destaca-se como uma das principais culturas do agronegócio brasileiro, sendo fundamental para a economia nacional devido ao seu elevado volume de produção e exportação. Nos últimos anos, o Brasil consolidou-se como o maior produtor e um dos principais exportadores globais de soja, resultado da expansão agrícola, investimentos em tecnologia e incremento da eficiência produtiva.

Apesar do desempenho robusto, a cultura da soja apresenta desafios estruturais associados principalmente ao manejo nutricional. O modelo produtivo brasileiro é fortemente dependente da importação de fertilizantes minerais, especialmente aqueles à base de fósforo e potássio, nutrientes essenciais para o crescimento e o desenvolvimento adequado da leguminosa. Somente em 2024, o país importou 44,3 milhões de toneladas de fertilizantes, um aumento de 8,3% em comparação ao ano anterior (Conab, 2025). Esse cenário evidencia a vulnerabilidade do sistema agrícola frente às oscilações do mercado internacional, custos elevados e riscos logísticos, além de refletir a necessidade de estratégias que reduzam essa dependência e aumentem a sustentabilidade do sistema.

No manejo nutricional convencional da soja, predominam fertilizantes solúveis de rápida disponibilidade, como o cloreto de potássio (KCl). Embora eficientes, esses insumos apresentam limitações, como baixa eficiência agrônômica devido às perdas por lixiviação, além de representarem um custo crescente para os produtores. Consequentemente, cresce o interesse por alternativas sustentáveis que promovam maior autonomia produtiva, reduzam impactos ambientais e mantenham a produtividade. Nesse contexto, a adoção de práticas como bioinsumos, manejo conservacionista e o uso de remineralizadores tem ganhado destaque.

Verificou-se liberação gradual de nutrientes e desempenho produtivo compatível como o obtido por fertilizantes solúveis (Brasil et al., 2023). De forma semelhante, avaliações com o remineralizador Rekal demonstraram produtividade equivalente à obtida com o uso de cloreto de potássio, reforçando a viabilidade da rochagem como estratégia de manejo nutricional para a soja (Brasil et al., 2025). Esses resultados fortalecem a compreensão de que remineralizadores podem não apenas nutrir a cultura, mas também melhorar o solo ao longo do tempo, contribuindo para sistemas agrícolas mais resilientes e sustentáveis.

Apesar dos avanços, ainda existem lacunas científicas relacionadas ao uso de remineralizadores, especialmente no que se refere ao comportamento desses materiais em diferentes condições edafoclimáticas, interação com atributos do solo e respostas produtivas em longo prazo. Assim, torna-se necessário ampliar as pesquisas sobre doses, modos de aplicação e características mineralógicas das rochas utilizadas, de forma a consolidar o uso desses insumos na agricultura moderna.

Diante desse cenário, observa-se que o cultivo da soja no Brasil apresenta grande importância econômica, mas também desafios que demandam alternativas ao modelo atual de adubação. Os remineralizadores se destacam como uma alternativa promissora, tanto pela capacidade de liberar nutrientes de maneira gradual quanto pelo potencial de reduzir a dependência de fertilizantes sintéticos importados.

3 METODOLOGIA

O experimento foi instalado em condições de casa de vegetação, localizado segundo as coordenadas geográficas: 16°40'22" de latitude sul, 49°15'19" a Oeste de Greenwich. Apresenta uma altitude média de 730 m. A temperatura média de 21°C, com máxima de 29°C e com mínima de 15°C. Umidade relativa anual 41,5%, precipitação pluviométrica média anual de 1487,2 mm e insolação total 2.645,7 horas.

Os experimentos foram conduzidos em vasos de 9 L (0,009 m³), em dois solos, um de textura arenosa, oriundo do município de Piranhas, Estado de Goiás e outro de textura franco argilo arenosa, do município de Goiânia, Goiás.

Após a coleta, o solo foi seco ao ar, destorroado e peneirado em malha de 2 mm, sendo posteriormente submetido à análise química para caracterização inicial da fertilidade. Os resultados indicaram solo com baixa fertilidade natural, apresentando pH ácido, baixos teores de fósforo, potássio, cálcio e magnésio, além de reduzida capacidade de troca catiônica e saturação por bases, características típicas de solos altamente intemperizados do Cerrado brasileiro.

Os tratamentos empregados consistiram na aplicação do remineralizador SILICÁLCIO, fornecido pela empresa. A dose recomendada foi de 60 kg. ha⁻¹ de K₂O para a soja. Os tratamentos foram comparados com um remineralizador registrado pelo

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), FMX, e um fertilizante potássico solúvel, cloreto de potássio (KCl).

As doses empregadas foram: Testemunha (sem a aplicação) e doses crescentes do remineralizador Silicálcio (60 kg. ha⁻¹ de K₂O; 120 kg. ha⁻¹ de K₂O; 180 kg. ha⁻¹ de K₂O, 240 kg. ha⁻¹ de K₂O, 300 kg. ha⁻¹ de K₂O). Foram empregados também os tratamentos com fertilizantes potássicos de referência: 60 kg. ha⁻¹ de K₂O do remineralizador FMX e 60 kg. ha⁻¹ de K₂O com cloreto de potássio (KCl). Os tratamentos experimentais foram dispostos em quatro repetições.

O manejo hídrico foi conduzido de forma uniforme, via sistema de irrigação automatizado por micro aspersão, para todos os tratamentos, mantendo a umidade do solo próxima à capacidade de campo ao longo do ciclo da cultura. Não foram aplicadas outras fontes de potássio durante o experimento, de modo a isolar o efeito das fontes avaliadas. Os demais nutrientes foram fornecidos de forma equilibrada, conforme a necessidade da cultura, evitando limitações nutricionais que pudessem interferir nos resultados.

Durante o ciclo da cultura, foram avaliadas as seguintes variáveis: altura de plantas, diâmetro do caule (coleto), teor de potássio foliar, potássio residual no solo e produtividade de grãos. A altura de plantas e o diâmetro do caule foram mensurados no estágio reprodutivo, utilizando régua graduada e paquímetro digital, respectivamente. A amostragem foliar para análise nutricional foi realizada nos estádios R1 a R2, respectivamente, sendo o material vegetal seco, moído e submetido à determinação do teor de potássio, conforme metodologia padrão.

Ao final do experimento, amostras de solo foram coletadas em cada unidade experimental para determinação do potássio residual e dos atributos químicos do solo, seguindo os métodos recomendados para análises de fertilidade do solo. A produtividade da soja foi determinada a partir da massa de grãos colhidos por unidade experimental, com os valores posteriormente extrapolados para kg ha⁻¹.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA), adotando-se o nível de significância de 5%. Quando observadas diferenças significativas entre os tratamentos, as médias entre as fontes de potássio foram comparadas pelo teste de

comparação de médias Tukey a 5% de probabilidade. As doses de silicálcio foram analisadas por regressão, selecionando-se o programa estatístico SISVAR (Ferreira, 2019).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 RESPOSTAS DA CULTURA DA SOJA A APLICAÇÃO DE REMINERALIZADOR SILICÁLCIO EM SOLO DE TEXTURA FRANCO ARGILO ARENOSA

A amostra inicial do solo (antes da implantação dos tratamentos experimentais), para a cultura da soja em Latossolo de textura franco argilo arenosa, apresentou pH do solo de 5,6, baixos teores de cálcio, magnésio, capacidade de troca catiônica (CTC), fósforo, potássio e saturação por bases, respectivamente, segundo interpretação em Lobato & Sousa (2004).

Na Tabela 1, verificou-se que o valor do pH variou de 5,6 (amostra inicial) para 6,2 após aplicação dos tratamentos, níveis considerados adequados, segundo Lobato & Sousa (2004). Já os teores de cálcio e magnésio foram considerados adequados em todos os tratamentos, com valores variando de 2,3 a 5,0 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, exceto para a testemunha, na qual foi considerado baixo para estes parâmetros, segundo Lobato & Sousa (2004). Mesmo comportamento foi observado para a capacidade de troca catiônica (CTC) com teores considerados médios, de 4,45 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ a 7,60 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, nos tratamentos de T2 a T8 e baixo para o tratamento T1 (testemunha).

Tabela 1. Teores de amostras de solos em experimento da cultura da soja em textura franco argilo arenosa, nos parâmetros capacidade de troca catiônica (CTC), magnésio (Mg), cálcio (Ca) e pH, em amostra inicial e nos tratamentos T1 a T8 (1 a 9), respectivamente, após aplicação do remineralizador silicálcio.

Tratamento	pH (CaCl ₂)	Ca ($\text{cmol}_c/\text{dm}^3$)	Mg ($\text{cmol}_c/\text{dm}^3$)	CTC ($\text{cmol}_c/\text{dm}^3$)
Amostra inicial	5,6	0,3	0,2	2,8
1	5,4	1,2	0,4	3,11
2	5,8	3,3	1,2	6,09
3	6,0	4,5	1,5	7,24

Tratamento	pH (CaCl ₂)	Ca (cmolc/dm ³)	Mg (cmolc/dm ³)	CTC (cmolc/dm ³)
4	6,2	4,7	1,7	7,50
5	6,2	5,0	1,4	7,60
6	6,2	4,7	1,6	7,42
7	6,1	2,3	0,8	4,45
8	6,2	2,7	0,8	4,79

Nota: 1 – Amostra de solo inicial (antes da implantação do experimento); 1 – Tratamento 1 (T1); 2 – Tratamento 2 (T2); 3 – Tratamento 3 (T3); 4 – Tratamento 4 (T4); 5 – Tratamento 5 (T5); 6 – Tratamento 6 (T6); 7 – Tratamento 7 (T7); 8 – Tratamento 8 (T8).

Na Tabela 2, verificou-se que para a avaliação da fertilidade do solo para amostras de solos da cultura experimento soja em textura franco argilo arenosa, identificou-se que o teor de fósforo se enquadrava em baixo, para amostra inicial e tratamento 1 (testemunha) e com teores adequados nos tratamentos T2 a T8. Para o potássio, foi considerado com teor baixo na amostra inicial, teores médios nos tratamentos T1, T2, T4, T5 T6 (com variação de 40 a 46 mg.dm⁻³) e teores adequados para os tratamentos T3, T7 e T8 (com variação de 56 a 98 mg.dm⁻³), segundo Lobato & Sousa (2004).

Tabela 2. Teores de amostras de solos em experimento da cultura da soja em textura franco argilo arenosa, nos parâmetros fósforo (mg.dm⁻³), potássio (mg.dm⁻³) e saturação por bases (%) em amostra inicial e nos tratamentos T1 a T8 (1 ao 9), respectivamente.

Tratamento	P (Mehlich-1) (mg/dm ³)	K (mg/dm ³)	Saturação por Bases (V%)
Amostra inicial	1,2	24,0	20,0
1	1,2	44,0	55,0
2	150,0	34,0	75,0
3	170,0	56,0	85,0
4	150,0	40,0	87,0

Tratamento	P (Mehlich-1) (mg/dm ³)	K (mg/dm ³)	Saturação por Bases (V%)
5	170,0	40,0	86,0
6	180,0	46,0	87,0
7	170,0	98,0	74,0
8	180,0	76,0	77,0

Nota: 1 – Amostra de solo inicial (antes da implantação do experimento); 1 – Tratamento 1 (T1); 2 – Tratamento 2 (T2); 3 – Tratamento 3 (T3); 4 – Tratamento 4 (T4); 5 – Tratamento 5 (T5); 6 – Tratamento 6 (T6); 7 – Tratamento 7 (T7); 8 – Tratamento 8 (T8).

Com a aplicação de doses crescentes do potencial remineralizador Silicálcio, observou-se incremento progressivo da saturação por bases, com valores variando de 55% a 87% entre os tratamentos avaliados. Os tratamentos T7 e T8 apresentaram saturação por bases de 74% e 77%, respectivamente, situando-se dentro da faixa considerada adequada para a maioria das culturas agrícolas.

O aumento da dose do remineralizador resultou em efeito significativo sobre o aumento do pH do solo (5,4 a 6,6), da disponibilidade de Ca (5,0 a 6,7 cmol.dm⁻³) e Mg (0,4 a 1,1 cmol.dm⁻³) e da capacidade de troca catiônica (> 7,7 cmol.dm⁻³).

Com os resultados obtidos, observou-se diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos para todos os parâmetros avaliados, exceção para altura de planta (Tabela 3). Pode-se observar significância para as variáveis de diâmetro, concentração foliar de potássio, concentração de potássio no solo (residual) e produtividade de soja em solo de textura franco argilo arenosa, em função de diferentes fontes de potássio.

Tabela 3. Quadrado médio de análise de variância para as variáveis biométricas, concentração de potássio foliar, concentração de potássio no solo (residual) e produtividade de soja, em função de diferentes fontes de potássio, em solo de textura franco argilo arenosa.

Fonte de Variação	GL	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	K foliar (g kg ⁻¹)	K solo (mg dm ⁻³)	Produtividade (kg ha ⁻¹)
Fonte	3	71,37 ^{ns}	2,68*	18,55*	4.258,64*	272.192,81*
Erro	16	45,42	0,40	2,75	32,44	72.243,28
Total	19					
CV (%)	—	16,50	16,61	13,06	9,20	12,27

*, **: Significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente; ^{ns} não significativo; GL: grau de liberdade; CV: coeficiente de variação.

Os dados do presente estudo demonstraram que o parâmetro biométrico, altura de plantas não diferiu estatisticamente entre os tratamentos (Tabela 3), atingindo menor altura de plantas de 36,9 cm (tratamento testemunha) e maior altura de plantas com valor de 45,8 cm, nos tratamentos com fonte Silicálcio. Almeida Júnior et al. (2020) conduziram experimento com a cultura da soja e analisaram as variáveis tecnológicas de população de planta, altura de planta, altura de inserção de primeira vagem, número de ramificações e número de vagens de um grão e não obtiveram diferença significativa, mas foram mantidos patamares elevados para todas as características agrônômicas testadas e produtividade acima da média nacional, dados estes, que forma similares aos encontrados por Almeida Júnior (2022). Para a variável altura de planta, não houve diferenças significativas tanto para as texturas de solo avaliadas, média (CXbd) e argilosa (LVd), tanto para as doses do remineralizador “Completo” e o tratamento controle com o Ekosil (Ferreira, 2024).

Na Tabela 4, observou-se que o diâmetro do coleto apresentou diferenças estatísticas entre os tratamentos avaliados, apresentando-se superior nos tratamentos com doses diferentes de silicálcio (4,22 mm), remineralizador FMX (3,98 mm) e fertilizante cloreto de potássio (4,28 mm), em comparação ao menor valor obtido para o tratamento testemunha (2,72 mm). Alovisei et al (2020), em experimento com o uso de remineralizador pó de basalto em condições de campo, para a cultura da soja, verificaram que os dados de diâmetro máximo de 7,9 mm, estimado na dose 2,54 mg.ha⁻¹ de pó de basalto.

Tabela 4. Variáveis biométricas de soja em solo franco argilo arenoso, submetidos a fontes de potássio em Goiânia, Goiás.

Tratamentos	Altura	Diâmetro
	cm	mm
Testemunha	36,88 a	2,72 b
Silicálcio	45,76 a	4,22 a
Remineralizador FMX	39,26 a	3,98 a
Cloreto de potássio	41,50 a	4,28 a

*: Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

O potássio residual em função das fontes de potássio testadas apresentou resultados com diferenças significativas (Tabela 5), sendo que o menor valor ($32,5 \text{ mg.dm}^{-3}$, o que corresponde a $0,08 \text{ cmolc.dm}^{-3}$) e o maior valor ($98,0 \text{ mg.dm}^{-3}$), o que equivale a $0,25 \text{ cmolc.dm}^{-3}$) para o remineralizador FMX, respectivamente.

Souza et al. (2017), em estudo de um remineralizador obtido de rocha biotita gnaiss, obteve máxima disponibilidade de K ($0,16 \text{ cmolc dm}^{-3}$) obtida com a aplicação de 300 mg kg^{-1} de K via remineralizador, representando mais do que o dobro do teor correspondente à reserva prontamente disponível no solo sob aplicação de calagem ($0,07 \text{ cmolc dm}^{-3}$), e cerca de 30 % dos teores disponibilizados com a aplicação da fonte solúvel em cloreto de potássio ($0,52 \text{ cmolc dm}^{-3}$).

Sousa & Lobato (1996) consideram teores médios de potássio no solo entre 0,06 a $0,13 \text{ cmolc dm}^{-3}$ com teores de argila superior a 200 g.kg^{-1} . O potencial remineralizador silicálcio em estudo apresenta efeitos significativos no fornecimento de nutrientes e na influência positiva para a fertilidade do solo.

Houve diferença estatística significativa para a produtividade da cultura da soja. O tratamento com Silicálcio apresentou a maior média produtiva ($2.449,50 \text{ kg ha}^{-1}$), diferindo do tratamento com cloreto de potássio ($1.912,50 \text{ kg ha}^{-1}$). A testemunha ($2.104,50 \text{ kg ha}^{-1}$) e o remineralizador FMX ($2.298,00 \text{ kg ha}^{-1}$) apresentaram produtividades intermediárias, não diferindo estatisticamente do Silicálcio nem da testemunha, mas sendo superiores ao KCl.

Observa-se, portanto, que as fontes remineralizadoras (Silicálcio e FMX) proporcionaram produtividades médias superiores ou semelhantes à testemunha e superiores à fonte solúvel (KCl), conforme apresentado na Tabela 5.

Tabela 5. Teor de K nas folhas, teor de K no solo e produtividade de soja em solo de textura franco argilo arenosa, submetidos a doses crescentes de potencial remineralizador Silicálcio e fontes de K de referência (remineralizador FMX e fertilizante cloreto de potássio (KCl) em Goiânia, Goiás.

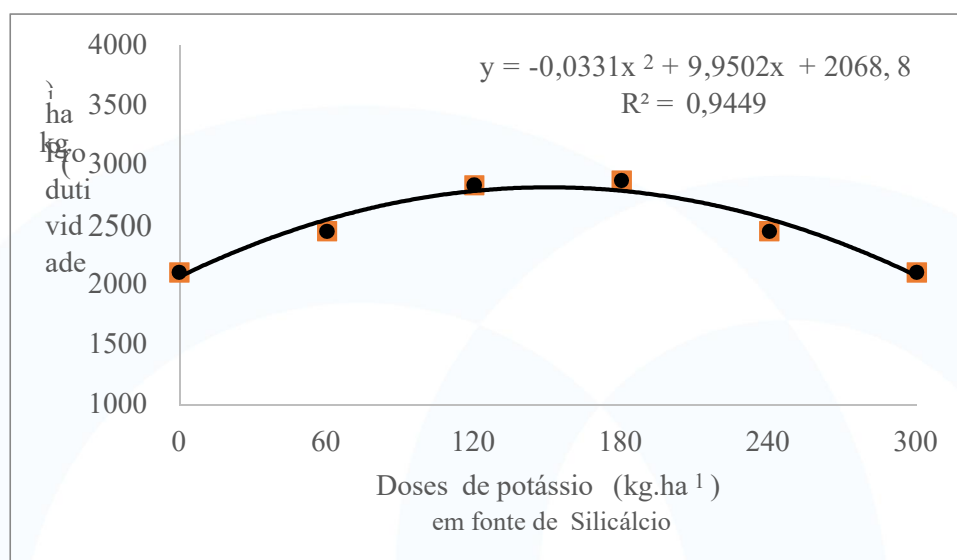
Tratamentos	K foliar g.kg ⁻¹	K no solo mg.dm ⁻³	Produtividade kg.ha ⁻¹
Testemunha	14,20 a	45,00 c	2.104,50 ab
Silicálcio	14,50 a	32,50 d	2.449,50 a
Remineralizador FMX	10,90 b	98,00 a	2.298,00 ab
Cloreto de potássio	11,15 b	72,00 b	1.912,50 b

*: Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

O rendimento médio da cultura da soja no Brasil apresentou variação ao longo dos últimos ciclos. Para a safra 2021, o rendimento médio foi de 3.462 kg ha⁻¹, comparado às estimativas mais recentes da safra 2025/26, com rendimento médio estimado em 3.675 kg ha⁻¹, segundo dados do último relatório de levantamento da Conab (2026).

Na Figura 1, observou-se que em função das doses crescentes do potencial remineralizador Silicálcio, a maior produtividade de 2.871,0 kg.ha⁻¹ foi obtida com a dose de 180 kg.ha⁻¹ de K₂O de Silicálcio. Almeida Júnior *et al.* (2022), destacaram que o uso do remineralizador micaxisto na cultura da soja na região centro-oeste do Brasil, teve melhor resultado com aplicação de 16,0 Mg ha⁻¹, com produtividade média de 3.614 quilogramas por hectare.

Figura 1. Produtividade de soja sob doses de potencial remineralizador Silicálcio em solo de textura franco argilo arenosa em Goiânia, Goiás.



3.2 RESPOSTAS DA CULTURA DA SOJA A APLICAÇÃO DE REMINERALIZADORES EM SOLO DE TEXTURA ARENOSA

A amostra inicial do solo (antes da implantação dos tratamentos experimentais), para a cultura da soja em solo de textura arenosa apresentava-se com pH do solo com valor de 4,9, baixos teores de cálcio, magnésio, capacidade de troca catiônica (CTC), com teores muito baixos de fósforo, médio para potássio e baixa saturação por bases, respectivamente, segundo interpretação em Lobato & Sousa (2004).

Na Tabela 6, verificou-se que o valor do pH variou de 4,9 (amostra inicial) a 5,2 (testemunha) e de 5,5 a 6,1 para os tratamentos experimentais. Para os teores de cálcio e magnésio com níveis considerados adequados nos tratamentos T1 a T8, respectivamente e níveis baixos para estes parâmetros, no tratamento testemunha (Lobato & Sousa, 2004). A Capacidade de Troca Catiônica (CTC) apresentou teor baixo na amostra inicial (antes da implantação do experimento) e no tratamento T8. Os tratamentos T1, T2, T3, T4 e T7 apresentaram valores classificados como médios,

enquanto o tratamento T5 e T6 foram os únicos tratamentos a atingirem teor considerado adequado.

Tabela 6. Teores de amostras de solos em experimento da cultura da soja em solo de textura arenosa, nos parâmetros capacidade de troca catiônica (CTC), magnésio, cálcio e pH, em amostra inicial e nos tratamentos T1 a T8 (1 a 9), respectivamente.

Tratamento	pH (CaCl ₂)	Ca (cmolc/dm ³)	Mg (cmolc/dm ³)	CTC (cmolc/dm ³)
Amostra inicial	4,9	0,9	0,3	2,75
1	5,2	2,1	0,6	4,43
2	5,8	3,5	1,3	6,85
3	5,9	4,0	1,3	7,45
4	6,0	4,9	1,4	7,39
5	6,1	4,8	1,8	8,06
6	6,1	5,2	1,8	8,06
7	5,9	2,4	0,8	7,86
8	5,5	0,8	0,5	3,94

Nota: 1 – Amostra de solo inicial (antes da implantação do experimento); 1 – Tratamento 1 (T1); 2 – Tratamento 2 (T2); 3 – Tratamento 3 (T3); 4 – Tratamento 4 (T4); 5 – Tratamento 5 (T5); 6 – Tratamento 6 (T6); 7 – Tratamento 7 (T7); 8 – Tratamento 8 (T8).

A saturação por bases em doses crescentes do potencial remineralizador Silicálcio variou de 78% a 87% e valores de pH do solo variando de 5,8 a 6,1 (tratamentos experimentais de T2 a T6). Toscani & Campos (2017) observaram que o uso de rochagem sem calagem proporcionou significativo acréscimo de V% se comparado ao Latossolo controle, com variação de 36% a 63% e média de 51,25%.

Para a avaliação da fertilidade do solo nas amostras do experimento com soja em textura arenosa (Tabela 7), a interpretação dos teores de fósforo e potássio foi realizada conforme as recomendações técnicas preconizadas pela Embrapa, com base nos manuais oficiais de interpretação para análise de solos do Brasil.

Tabela 7. Teores de amostras de solos em experimento da cultura da soja em textura arenosa, nos parâmetros fósforo ($\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$), potássio ($\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$) e saturação por bases (%) em amostra inicial e nos tratamentos T1 a T8 (amostras 1 a 8), respectivamente.

Tratamento	P (Mehlich-1) ($\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$)	K ($\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$)	Saturação por Bases (V%)
Amostra inicial	5,0	18	46
1	6,0	50	64
2	80,0	24	78
3	47,0	20	83
4	39,0	34	85
5	75,0	30	87
6	75,0	24	87
7	78,0	20	76
8	52,0	56	63

Nota: 1 – Amostra de solo inicial (antes da implantação do experimento); 1 – Tratamento 1 (T1); 2 – Tratamento 2 (T2); 3 – Tratamento 3 (T3); 4 – Tratamento 4 (T4); 5 – Tratamento 5 (T5); 6 – Tratamento 6 (T6); 7 – Tratamento 7 (T7); 8 – Tratamento 8 (T8).

Os teores de fósforo (P), determinados pelo extrator Mehlich-1, foram classificados como baixos na amostra inicial ($5 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$) e no Tratamento 1 ($6 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$). Os demais tratamentos apresentaram teores superiores a $18 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$, sendo enquadrados na classe alta, indicando adequada disponibilidade do nutriente para a cultura da soja em solo de textura arenosa.

Para o potássio (K), observou-se teor baixo na amostra inicial e nos tratamentos T3 a T8 (valores inferiores a $40 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$). Os tratamentos T1 ($50 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$) e T8 ($56 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$) foram classificados como médios, conforme os limites estabelecidos para solos arenosos. Não foram observados teores classificados como altos para potássio nas amostras avaliadas.

Com os resultados obtidos, observou-se diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos para todos os parâmetros avaliados (Tabela 8). Pode-se observar significância para as variáveis de altura de plantas, diâmetro de coleto, concentração foliar de potássio, concentração de potássio no solo (residual) e produtividade de soja em solo de textura arenosa, em função das diferentes fontes de potássio.

Tabela 8. Quadrado médio de análise de variância para as variáveis biométricas, concentração de potássio foliar, concentração de potássio no solo (residual) e produtividade de soja, em função de diferentes fontes de potássio, em solo de textura arenosa.

Fonte de variação	GL	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	K foliar (g kg ⁻¹)	K solo (mg dm ⁻³)	Produtividade (kg ha ⁻¹)
Fontes	3	609,12*	32,25*	127,70*	3085,42*	2030884,45*
Erro	16	13,09	0,80	2,77	288,12	44.599,36
Total	19				—	—
CV (%)		7,06	13,34	8,66	40,18	7,18

*: Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Verificou-se na Tabela 9, que a altura de plantas de soja em solo de textura arenosa, apresentaram resultados significativos e positivos, para os tratamentos com fontes do potencial remineralizador Silicálcio (60,5 cm), remineralizador FMX (56,5 cm) e com o cloreto de potássio (52,6 cm), demonstrando a influência positiva do potencial remineralizador Silicálcio no parâmetro altura de plantas. Para o diâmetro caulinar verificou superioridade em relação a testemunha e similaridade de resultados para o potencial remineralizar Silicálcio, remineralizador FMX e cloreto de potássio, respectivamente em ordem decrescente (Tabela 9).

Tabela 9. Variáveis biométricas de soja em solo arenoso, submetidos a fontes de potássio em Goiânia, Goiás.

Tratamento	Altura (cm)	diâmetro (mm)
Testemunha	35,42 c	2,92 b
Silicálcio	60,50 a	8,00 a
Remineralizador FMX	56,50 ab	7,77 a
Cloreto de potássio	52,62 b	8,20 a

*: Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Na Tabela 10, a concentração foliar de potássio obtida na soja em solo de textura arenosa demonstrou diferenças significativas entre os tratamentos em função das diferentes fontes, tendo maiores concentrações foliares no tratamento com fertilizante convencional (KCl), com valor de 25,10 g.kg⁻¹, teores intermediários para o

remineralizador FMX com valor de $21,6 \text{ g.kg}^{-1}$, e com menores concentrações foliares de potássio para o potencial remineralizador Silicálcio de $15,88 \text{ g.kg}^{-1}$.

A concentração adequada de potássio nas plantas, levando em consideração que este nutriente regula a abertura e fechamento estomático e que este, por sua vez, está ligado ao processo fotossintético, faz com que o fornecimento de potássio estimule uma melhor produção de fotoassimilados pela planta e consequentemente melhor desenvolvimento vegetativo e reprodutivo no vegetal (NOVAIS et al., 2007). Um dos principais elementos químicos exigidos pela soja é o potássio (K), encontrado em baixas concentrações nos solos tropicais brasileiros, mas com efeito direto no rendimento de grãos, proteínas e óleos (LIMA et al., 2017). Em caráter fisiológico, as principais funções do potássio estão ligadas a ativação de sistemas enzimáticos relacionados ao processo de respiração e fotossíntese (TAIZ et al., 2017). A adubação potássica é fundamental, não apenas para que haja incremento de produtividade, como também no manejo da sanidade em diversas culturas (GABRIEL et al., 2016).

O elemento potássio apresenta relevância fundamental para o crescimento e o metabolismo das plantas, pois é o ativador de mais de meia centena de reações enzimáticas (BORIN et al., 2017). Tais resultados podem ser creditados ao fato de que o K influencia alguns processos metabólicos da planta, como por exemplo a fotossíntese e a translocação de fotoassimilados (JÚLIO et al., 2016).

Na Tabela 10, o potássio residual no solo de textura arenosa em função dos diferentes tratamentos experimentais, revelou que houve maiores concentrações no tratamento cloreto de potássio (63 mg.dm^{-3}), potencial remineralizador Silicálcio ($21,5 \text{ mg.dm}^{-3}$) e remineralizador FMX (20 mg.dm^{-3}), respectivamente. O potássio está presente na solução do solo na forma de K^+ , cuja absorção pode ser afetada pelas concentrações de cálcio (Ca^{2+}) e de magnésio (Mg^{2+}), devido à inibição competitiva, pois estes elementos disputam pelo mesmo sítio de ligação na planta. Os minerais são a principal forma de disponibilidade deste nutriente, estando disponível, majoritariamente, nos primários (feldspato, muscovita e biotita). Sua disponibilidade é ampliada quando o pH aumenta, devido ao maior número de cargas nos colóides para a ligação deste nutriente (DUARTE, 2019).

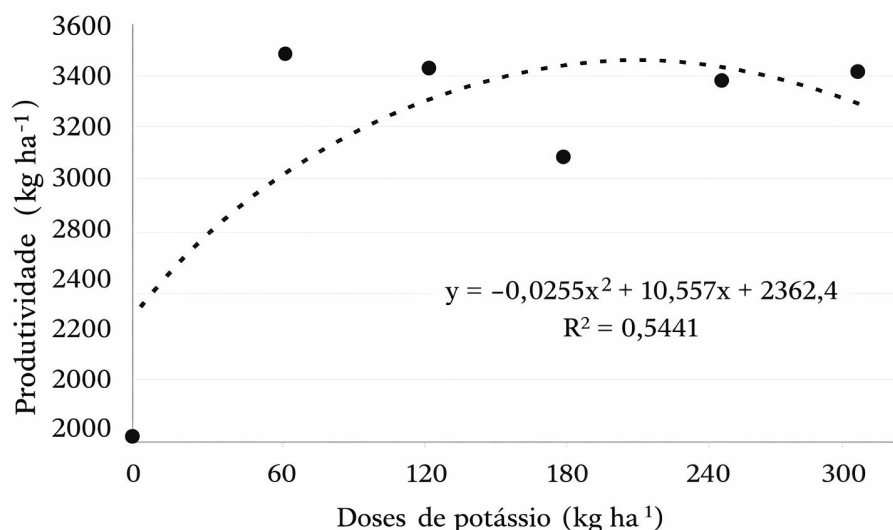
Tabela 10. Teor de K nas folhas, Teor de K no solo e Produtividade de soja em solo de textura arenosa, submetidos a fontes de K de referência (remineralizador FMX e fertilizante cloreto de potássio (KCl) em Goiânia, Goiás.

Tratamento	K Foliar	K Residual no Solo	Produtividade
	g.kg ⁻¹	mg.dm ⁻³	kg.ha ⁻¹
Testemunha	14,20 c	64,55 a	2.027,25 b
Silicálcio	15,88 c	21,50 b	3.469,50 a
Remineralizador FMX	21,60 b	20,00 b	3.253,50 a
Cloreto de potássio	25,10 a	63,00 a	3.022,50 a

*: Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

No solo, o potássio se encontra na forma catiônica (K⁺) assim como na planta, e, portanto, tem disponibilidade regulada pela capacidade de troca de cátions, sendo solos de baixa CTC mais propensos a ocorrência de perdas por lixiviação. Há uma complexidade da dinâmica desse nutriente que impede respostas objetivas sem conhecimento de causa, inclusive sobre mensurações de perdas para calcular compensação (Semler et al., 2022).

Figura 2. Produtividade de soja sob doses de potencial remineralizador Silicálcio em solo de textura arenosa em Goiânia, Goiás.



Em relação à produtividade da soja em solo de textura arenosa em função dos tratamentos experimentais preconizados neste estudo, observou-se similaridade de respostas para o potencial remineralizador Silicálcio, remineralizador FMX e cloreto de potássio, diferindo apenas do menor valor obtido para o tratamento testemunha. Pereira (2016) descreve que nas últimas três décadas, a produtividade média da soja aumentou expressivamente no Brasil, em razão da geração, ajuste e transferência de tecnologias. A produtividade de grãos de soja é dependente das características genéticas das plantas, do manejo, da oferta ambiental e da interação entre esses fatores. As produtividades de 3.405 kg. ha⁻¹ foram obtidas nas doses de 120 e 300 kg. ha⁻¹ de K₂O na fonte do potencial remineralizador Silicálcio (Figura 2).

5 CONCLUSÃO

A aplicação do remineralizador Silicálcio promove aumento do pH do solo no solo franco-argilo-arenoso e solo arenoso. Incrementos positivos nos teores de cálcio e magnésio. Correlações diretas e positivas para a capacidade de troca catiônica (CTC) e para a saturação por bases (V%), nos solos estudados.

Para os atributos biométricos destaca-se os resultados para o diâmetro do caule também que apresenta valores crescentes em função das doses do remineralizador Silicálcio, entre os solos estudados. O remineralizador silicálcio promove maior produtividade de soja com resposta similar estatisticamente ao remineralizador FMX;

Os resultados confirmam que o remineralizador Silicálcio promove melhorias significativas nos atributos químicos do solo e contribui para o aumento do desempenho agrônomo produtivo da cultura da soja.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA JÚNIOR, J. J.; LAZARINI, E.; SMILJANIC, K. B. A.; SIMON, G. A.; MATOS, F. S. A.; BARBOSA, U. R.; SILVA, V. J. A.; MIRANDA, B. C.; SILVA, A. R. Análise das variáveis tecnológicas na cultura da soja (*Glycine max*) com utilização de remineralizador de solo como fertilizante. *Brazilian Journal of Development*. Curitiba, ISSN 2525-876. v. 6, n. 8, p. 56835-56847 aug. 2020. Disponível em: <https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/14784> Acesso em: 15 nov. 2020.

ALMEIDA, F. et al. Avaliação da fertilidade do solo sob sistemas de produção agrícola no Cerrado brasileiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 46, e022023004, 2022. DOI: 10.36783/18069657rbcs.v46.10247.

ALMEIDA, L. S. et al. Remineralizadores de solo: eficiência agronômica em ambientes tropicais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 2022. DOI: <https://doi.org/10.36783/18069657rbcs20210155>

ALOVISI, A. M. T. et al. Remineralizers and soil health in tropical agriculture. *Sustainability*, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/su16010045>

ALOVISI, A. M. T. et al. Remineralizers and soil health in tropical agriculture. *Sustainability*, v. 16, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/su16010045>

BEERLING, D. J. et al. Potential for large-scale CO₂ removal via enhanced rock weathering with croplands. *Nature*, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2448-9>

BORIN, A. L. C. Rochagem como fonte alternativa de nutrientes para culturas agrícolas. 2017. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/19834>

BRASIL, E. C. et al. Potassium fertilization with rock powders in soybean. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2023.v58.02811>

BRASIL, E. C. et al. Uso de remineralizadores na cultura da soja: produtividade e atributos do solo. *Revista de Ciências Agrárias*, 2025. Disponível em: <https://seer.sct.embrapa.br/index.php/rca>

BRASIL. Instrução Normativa MAPA nº 5 de 10 de março de 2016. Estabelece critérios para registro, comercialização e características mínimas dos remineralizadores de solo. Brasília, DF: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 10 mar. 2016.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. *1º Levantamento da Safra de Grãos 2025/26*. Portal Gov.br, 14 out. 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/conab/pt-br/assuntos/noticias/primeiro-levantamento-da-conab-aponta-para-uma-colheita-de-354-7-milhoes-de-toneladas-de-graos-na-safra-2025-26>. Acesso em: 26 de fevereiro de 2026.

D.S. Medeiros, D.M. Sanchotene, C.G. Ramos, L.F.S. Oliveira, C.H. Sampaio, R.M. Kautzmann, Soybean crops cultivated with dacite rock by-product: a proof of a cleaner technology to soil remineralization, *J. Environ. Chem. Eng.* 9 (2021), 106742, <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.106742>.

DUARTE, A. P.; PEREIRA FILHO, I. A. Effect of guano-based fertilizers on soil nutrient dynamics and crop yield. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 287, 106671, 2019. DOI: 10.1016/j.agee.2019.106671.

FERREIRA, MICHELLY. **Efeito residual de remineralizador como fonte de potássio na cultura da soja**. 2024, 31 p. TCC (GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA), Universidade Federal de Uberlândia, Minas Gerais, Monte Carmelo, 2024.

GABRIEL, J. L. et al. Impact of tillage and crop residue on soil physical and chemical properties. *Soil & Tillage Research*, v. 160, p. 23–32, 2016. DOI: 10.1016/j.still.2016.02.010.

GUELFILVA, D. R. et al. Enhanced weathering and carbon sequestration in tropical soils. *Geoderma*, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2023.116870>

JULIO, L. F. et al. Temporal changes in soil acidity and exchangeable Al under liming treatments. *Geoderma*, v. 276, p. 85–94, 2016. DOI: 10.1016/j.geoderma.2016.03.014.

LIMA, R. C. M.; STAMFORD, N. P.; ROSÁLIA, C. E. de; SANTOS, S.; DIAS, S. H. L. D. Rendimento da alface e atributos químicos de um Latossolo em função da aplicação de biofertilizantes de rochas com fósforo e potássio. **Horticultura Brasileira**, v. 25, n. 2, p. 224-229, 2007.

LOBATO, E.; SOUSA, D. M. G. De. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2.ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2004. 416 p.

MACHADO, R. V. et al. Soil remineralizers: agronomic and environmental perspectives. *Agronomy*, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy13020567>

MANNING, D. A. C. et al. Global potential of enhanced weathering in agriculture. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 2022.
DOI: <https://doi.org/10.1098/rsta.2021.0149>

MANNING, D. A. C.; THEODORO, S. H. Enabling food security through use of local rocks and minerals. *The Extractive Industries and Society*, 2023.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.exis.2022.101065>

MEDEIROS, J. C. et al. Soil remineralization and its effects on chemical attributes. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 2021.
DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v25n3p193-199>

NOVAIS, R. F. et al. *Fertilidade do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. Disponível em: <https://www.sbcs.org.br>

SANTOS, L. A. et al. Remineralizers in tropical soils: agronomic responses and challenges. *Agriculture*, 2023.
DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture13050987>

SILVA, A. P.; LOPES, S. F. *Estratégias de manejo da fertilidade com remineralizadores: economia agrícola e sustentabilidade*. *Journal of Cleaner Production*, v. 312, art. 127845, 2024.

SILVA, F. C. et al. Soil chemical changes with remineralizer application. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 2022.
DOI: <https://doi.org/10.36783/18069657rbcs20210120>

SOUZA, R. C. et al. Rochagem como alternativa sustentável para fertilização do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 2022.
DOI: <https://doi.org/10.36783/18069657rbcs20210102>

SOUZA, V. L. et al. Remineralizers in Cerrado soils: agronomic performance. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 2023.
DOI: <https://doi.org/10.1590/1983-40632023v5376521>

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I.; MURPHY, A. *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. 6.ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888 p.

VAN STRAATEN, P. *Farming with rocks and minerals: challenges and opportunities*. Guelph: University of Guelph, 2023.
Disponível em: <https://www.uoguelph.ca/~pvanstra/farmingwithrocks.pdf>