

GUSTAVO RYAN ARAÚJO LIMA

Potencial do filito como remineralizador de um Latossolo vermelho-amarelo

São Cristóvão – SE

Fevereiro - 2026



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE – UFS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS APLICADAS – CCAA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRONÔMICA – DEA

Potencial do filito como remineralizador de um Latossolo Vermelho-Amarelo

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Agrônômica da Universidade Federal de Sergipe, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

APROVADO em: 11/02/2026

ORIENTADOR: Prof. Dr. Airon José da Silva

Prof. Dr. Airon José da Silva
(Orientador - UFS)

Prof. Dr. Pedro Roberto Almeida Viégas
(Banca examinadora)

Eng. Agrônomo MSc Kairon Rocha
Andrade
(Banca examinadora)

Dedico este trabalho àquela criança que, mesmo sem entender o tamanho dos desafios, encontrou um jeito de seguir em frente. Vencemos!

Agradecimentos

Primeiramente a Deus, por ser a base de tudo e por me dar forças para concluir mais esta etapa. Aos meus pais, Roberto e Ivanice. Um agradecimento especial à minha mãe, que foi minha verdadeira professora da vida, ensinando-me os valores que carrego hoje. Aos meus irmãos, Roberta e Ivan, que foram essenciais para que eu chegasse até aqui. Agradeço pelo apoio incondicional em todos os momentos.

Aos meus avós paternos e maternos (*in memoriam*) e a toda a minha família que, de alguma forma, se fez presente e contribuiu para minha formação.

À minha amada esposa, que esteve ao meu lado durante toda esta reta final, oferecendo-me todo o apoio, amor e compreensão necessários. Ao meu filho, Samuel, a quem amo e é minha maior motivação.

Agradeço ao meu tio-avô Antônio (*in memoriam*), ao meu padrinho Jorge e à Prof.^a Darci, que, mesmo sem saberem, plantaram a semente do "agro" em meu coração, despertando em mim a paixão por esta área.

Aos meus amigos que se tornaram irmãos, em especial João e Ryan, agradeço pela parceria, pela lealdade e pelos momentos vividos que tornaram essa jornada mais leve. A Joice, o meu muito obrigado por desde o início, me incentivar a nunca desistir dos meus sonhos. À Priscila, Larissa e Soenne, pela parceria e dedicação ao longo dos "Bics", compartilhando aprendizados e bons momentos.

Aos mestres que contribuíram com a minha formação acadêmica, deixo o meu sincero agradecimento. Destaco a importância do Prof. Airon, que ao longo desses anos tornou-se muito mais que um orientador, um verdadeiro amigo. A toda a equipe do LARS, entre discentes e técnicos, pelo ambiente de cooperação e aprendizado mútuo.

À empresa Cal Trevo Industrial, que tornou possível a realização deste trabalho, fornecendo o material necessário e financiando as análises realizadas, permitindo o rigor científico desta pesquisa.

Sumário

1. Introdução	9
2. Referencial Teórico.....	10
2.1 Demanda mundial de fertilizantes	10
2.2 Pó de rocha na agricultura.....	11
2.3 Filito como remineralizador de solos	12
3. Metodologia	13
3.1 Coleta e preparo das amostras	13
3.2 Envio das amostras ao laboratório	16
4. Resultados e Discussão.....	17
5. Conclusões	23
6. Referências Bibliográficas.....	23

Lista de Figuras

Figura 1: Pó de rocha Filito	13
Figura 2: Incubação do Filito no solo.....	155
Figura 3: Doses de filito e efeito no pH de um Latossolo Vermelho-Amarelo ...	19
Figura 4: Doses de filito e efeito no pH de um Latossolo Vermelho-Amarelo.	200
Figura 5: Doses de filito e efeito na acidez ativa e potencial de um Latossolo Vermelho Amarelo.	211
Figura 6: Doses de filito e efeito na acidez ativa e potencial de um Latossolo Vermelho-Amarelo.....	222

Lista de Tabelas

Tabela 1: Determinação de carbonatos (método volumétrico) na amostra de filito acinzentado	16
Tabela 2: Análise química (óxidos) da amostra de filito acinzentado.....	16
Tabela 3: doses de pó de rocha filito na disponibilidade de matéria orgânica, magnésio, potássio e sódio em Latossolo Vermelho-Amarelo.....	17
Tabela 4: doses de pó de rocha filito na disponibilidade de micronutrientes em Latossolo Vermelho-Amarelo.....	18
Tabela 5: doses de pó de rocha filito na disponibilidade de fósforo, saturação por bases, saturação por alumínio, relação cálcio:magnésio e PST em Latossolo Vermelho Amarelo.	23

RESUMO

O uso do pó de rocha na agricultura é uma possibilidade viável e crescente na agricultura brasileira, possibilitando o incremento de nutrientes e a correção da fertilidade do solo. O objetivo deste estudo foi avaliar a eficiência do pó de rocha “filito” como remineralizador na melhoria da fertilidade de um Latossolo Vermelho-Amarelo. O experimento foi conduzido em laboratório (UFS), com solo coletado no município de Nossa Senhora das Dores - SE. Utilizou-se delineamento inteiramente casualizado, com seis doses de filito (0, 1, 2, 4, 8 e 16 t ha⁻¹) e três repetições, totalizando 18 unidades experimentais. Após o período de incubação, determinaram-se atributos químicos de fertilidade completa e realizaram-se análises estatísticas de variância e regressão. Os resultados indicaram ausência de diferença estatística para matéria orgânica, Mg, K e Na, bem como para Zn e B. Em contrapartida, observaram-se respostas significativas e positivas para fósforo disponível e para indicadores integradores de fertilidade do solo, com aumento do valor V% e redução do valor m% nas maiores doses aplicadas, além de incremento da relação Ca²⁺:Mg²⁺. Entre os micronutrientes, verificou-se redução de Fe e Cu e aumento de Mn com o aumento das doses, influenciado pelo aumento do pH do solo. Conclui-se que, nas condições avaliadas, o filito apresentou potencial para melhorar índices de fertilidade do solo, com redução à acidez do solo e incremento na disponibilidade de nutrientes para as plantas, sendo um pó de rocha com potencial uso agrícola a ser avaliado em condições de vaso e campo.

Palavras-chave: rochagem; Pó de rocha; Acidez do solo; Disponibilidade de nutrientes no solo.

1. Introdução

A produção agrícola moderna, em escala e com regularidade, depende de solos com fertilidade construída e de acesso contínuo a insumos, especialmente fertilizantes minerais. Contudo, a agricultura tem se mostrado sensível a oscilações de preço e disponibilidade desses insumos, influenciadas por custos de energia e transporte, variações cambiais e instabilidades nas cadeias de suprimentos. Nesse contexto, cresce o interesse por alternativas capazes de reduzir a vulnerabilidade do sistema produtivo, sobretudo em estratégias de médio e longo prazo voltadas à sustentabilidade do manejo da fertilidade.

Entre as tecnologias alternativas, destaca-se a aplicação de materiais de origem geológica moídos no solo, prática conhecida como rochagem, cuja proposta é promover um aporte gradual de minerais com potencial de liberar nutrientes e influenciar atributos químicos do solo ao longo do tempo. Por apresentarem menor solubilidade, os pós de rocha possuem dinâmica distinta da adubação convencional, podendo gerar respostas dependentes da granulometria, mineralogia, umidade, acidez, tempo de reação e atividade biológica. Dessa forma, a eficiência agrônômica precisa ser comprovada por avaliações locais e controladas, considerando a variabilidade de rochas e solos.

No Brasil, essa tecnologia avançou com a regulamentação dos remineralizadores de solo, o que reforça a necessidade de estudos que caracterizem o desempenho de diferentes materiais, especialmente em ambientes tropicais. Isso é relevante, pois grande parte dos solos agrícolas brasileiros apresenta elevado grau de intemperismo. Os Latossolos, por exemplo, caracterizam-se frequentemente por acidez e baixa disponibilidade natural de nutrientes, exigindo manejo cuidadoso para elevar e manter a fertilidade. Assim, em um Latossolo Vermelho-Amarelo, torna-se pertinente investigar insumos que possam contribuir para a melhoria de atributos químicos associados à fertilidade, com efeito potencialmente progressivo ao longo do tempo.

Entre os materiais com possibilidade de uso como remineralizadores, destaca-se o filito, rocha metamórfica de baixo grau, com foliação fina e presença predominante de minerais como muscovita, clorita e quartzo, podendo

apresentar minerais com potencial de liberação de bases e alterações na química do solo. Entretanto, como o comportamento agrônômico do material depende de sua composição e do ambiente edáfico, faz-se necessária sua avaliação experimental em condições controladas, especialmente em solos de elevada intemperização.

Diante desse cenário, a problemática que orienta este estudo é: o filito apresenta potencial para atuar como remineralizador, promovendo alterações em atributos de fertilidade de um Latossolo Vermelho-Amarelo? Essa pergunta é relevante porque, além de ampliar o conhecimento sobre alternativas para manejo da fertilidade, pode contribuir para estratégias mais resilientes de uso de insumos, com base em recursos minerais.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial do filito como remineralizador de um Latossolo Vermelho-Amarelo, a partir de efeitos na acidez e na fertilidade do solo.

2. Referencial Teórico

2.1 Demanda mundial de fertilizantes

A segurança alimentar e a estabilidade da produção agrícola são temas recorrentes em diagnósticos internacionais, que ressaltam a necessidade de sistemas produtivos mais resilientes e eficientes no uso de insumos, especialmente em cenários de pressão econômica e ambiental (FAO et al., 2024).

Nesse cenário, a dependência de fertilizantes minerais (N, P e K) é um elemento central da produtividade agrícola moderna, porém expõe países e produtores às oscilações de preço, energia e logística (Vos et al., 2025). Análises do Banco Mundial indicam que, em 2025, a demanda por fertilizantes se manteve firme/fortalecida, o que ajudou a sustentar a alta do índice de preços do setor (Baffes; Temaj, 2025).

Os Latossolos, como o Latossolo Vermelho-Amarelo, são solos altamente intemperizados, em geral profundos, bem drenados e com baixa atividade da fração argila (baixa CTC), o que se reflete em baixa a média fertilidade natural e acidez elevada; ainda assim, por apresentarem grande extensão geográfica no

Brasil e por responderem à correção da acidez e ao manejo da fertilidade, sustentam uma parcela expressiva das áreas agrícolas do país (Ker, 1997; Embrapa, s.d.)

Sendo assim, uma alternativa para reduzir a vulnerabilidade ao custo e à oferta de fertilizantes minerais é a rochagem, com aplicação de pó de rocha como fonte natural de macro e micronutrientes. (Theodoro; Leonardos, 2006). Esses materiais atuam como remineralizadores do solo, pois são obtidos por redução mecânica e podem alterar atributos de fertilidade do solo ao longo do tempo (Hanisch et al., 2024).

A remineralização do solo pode ser entendida como uma estratégia de manejo da fertilidade que busca repor, de forma gradual, parte do estoque mineral responsável pela oferta de nutrientes e pela sustentação de propriedades químicas e físico-químicas do solo, por meio da aplicação de materiais geológicos moídos (Van der Bauwhede et al. 2024).

O remineralizador trata-se de material de origem mineral que sofreu apenas redução e classificação de tamanho por processos mecânicos e que altera índices de fertilidade via adição de macro e micronutrientes e/ou melhoria de propriedades físicas, físico-químicas ou da atividade biológica do solo (Brasil, 2013)

Evidências indicam ainda que combinações de pó de rocha com matéria orgânica podem favorecer atributos químicos e microbiológicos do solo, ampliando o efeito funcional do insumo no sistema produtivo (Armah et al., 2025).

Ao mesmo tempo, a adoção requer critérios técnicos e controle de qualidade. Avaliações de rochas para uso agrícola destacam a necessidade de caracterização mineralógica e geoquímica e de atenção a elementos potencialmente tóxicos, ainda que alguns materiais atendam parâmetros regulatórios e apresentem disponibilidade relevante de nutrientes extraíveis (Cardozo et al., 2024).

2.2 Pó de rocha na agricultura

No Brasil, o uso de pó de rocha na agricultura é regulamentado no âmbito dos remineralizadores de solo, categoria incorporada à Lei dos Fertilizantes pela

Lei nº 12.890/2013 (Brasil, 2013). A Instrução Normativa MAPA nº 5/2016 detalha as regras de definição, classificação, registro e garantias mínimas para esses produtos, padronizando requisitos de qualidade para comercialização e uso agrícola. (Brasil, 2016).

Diante desse cenário, o mapeamento prospectivo de agrominerais no Brasil mostra que existem centenas de tipos de litologias descritas nas unidades geológicas, o que reforça a amplitude do estoque geológico potencialmente aproveitável para aplicação em lavouras (Magalhães et al., 2024).

Apesar do potencial geológico, dados recentes de produção indicam que Norte e Nordeste somaram apenas 3% da produção nacional de remineralizadores em 2023 (Martins et al., 2024).

2.3 Filito como remineralizador de solos

Diante da diversidade desses minerais, há o Filito. Segundo o Instituto de Geociências da USP, o Filito é uma rocha metassedimentar, isto é, forma-se a partir de uma rocha sedimentar argilosa que sofre metamorfismo de baixo grau. O filito apresenta uma foliação muito fina, brilho reluzente, prateado, e é constituído essencialmente por muscovita, clorita e quartzo.

O filito é uma rocha consolidada no setor da construção civil como rocha dimensional (pedra de cantaria/revestimento), com registros de uso como principal “dimension stone” em contextos construtivos e patrimoniais, evidenciando sua aplicação consolidada como material de construção (Singtuen et al., 2024).

Na agricultura, estudos experimentais têm demonstrado eficiência do material após ensaios. Em condições experimentais com aveia branca, a aplicação de pó de filito (isolado e/ou associado à inoculação com *Azospirillum brasilense*) modificou atributos químicos do solo e trouxe efeitos benéficos ao cultivo, indicando potencial agronômico do filito como insumo mineral no manejo da fertilidade (Galina et al., 2025).

A eficiência agronômica do filito como pó de rocha está associada, principalmente, ao seu caráter alcalino e ao aporte de bases e nutrientes presentes no material moído (Galina et al., 2025). Além disso, parte desse efeito

é explicada pela natureza dos filossilicatos típicos dessas rochas: a muscovita contém K^+ em posições interlamelares, enquanto minerais do grupo clorita possuem intercamadas ricas em Mg, o que sustenta a liberação progressiva desses elementos durante o intemperismo e a interação com a rizosfera (Krahl et al., 2022).

Quanto ao meio edáfico onde o remineralizador será avaliado, destaca-se o Latossolo Vermelho-Amarelo. Ele caracteriza-se por ser um solo muito intemperizado, de grande profundidade e, em geral, bem drenado, com horizonte B latossólico (Bw) e mineralogia da fração argila predominantemente composta por caulinita e gibbsita, associadas a óxidos de ferro como hematita e goethita (Santos et al., 2018; Ottoni et al., 2024; Ker, 1997).

3. Metodologia

3.1 Coleta e preparo das amostras

A condução do trabalho experimental ocorreu nas dependências do Laboratório de Remediação do Solo da Universidade Federal de Sergipe (UFS). A pesquisa focou na avaliação da eficiência do pó de rocha filito (Figura 01), na remineralização de um Latossolo Vermelho-Amarelo, o qual foi coletado no município de Nossa Senhora das Dores/SE. A escolha desse solo foi motivada pela baixa disponibilidade de nutrientes e acidez presente, além de ser uma das principais classes de solos agricultáveis no território brasileiro.

O solo passou por um rigoroso processo de preparo para garantir a uniformidade das amostras. Inicialmente, o solo coletado foi submetido à secagem ao ar em temperatura ambiente. Após atingir o ponto de secagem, foi realizado o destorroamento do material, seguido pelo peneiramento em malha de 2 mm de abertura. Esta etapa finalizou o preparo inicial, resultando em um material homogêneo para o estabelecimento dos tratamentos.

Figura 1: Pó de rocha Filito



Fonte: Acervo do autor, 2025.

A fase experimental foi organizada em um DIC (delineamento inteiramente casualizado), abrangendo 6 tratamentos distintos, cada um com 3 repetições, perfazendo um total de 18 unidades experimentais. Cada unidade experimental recebeu inicialmente 400 mL de água destilada para padronização da umidade a 80% da capacidade de campo. As unidades experimentais foram constituídas de 2 kg de solo (TFSA – Terra Fina Seca Ao Ar), onde foram adicionadas doses de pó de rocha filito. O pó de rocha foi passado antes da pesagem por uma peneira de 0,30 mm, e doses equivalentes a 0, 1, 2, 4, 8 e 16 toneladas por hectare de filito (doses equivalentes) adicionadas e homogeneizadas ao solo (Figura 2), para posterior umedecimento com água destilada, sendo a umidade mantida por 45 dias, e as unidades experimentais armazenadas em sacos plásticos em condições de laboratório. A variável de estudo foi a adição do filito, conforme as dosagens:

- Tratamento 1 (Testemunha): 0 ton. por hectare de filito;
- Tratamento 2: 1 ton. por hectare de filito;
- Tratamento 3: 2 ton. por hectare de filito;
- Tratamento 4: 4 ton. por hectare de filito;
- Tratamento 5: 8 ton. por hectare de filito;
- Tratamento 6: 16 ton. por hectare de filito.

Figura 2: Incubação do Filito no solo



Fonte: Acervo do autor, 2025.

Após a aplicação das respectivas dosagens de filito, todas as amostras foram deixadas em repouso em temperatura ambiente, permitindo a reação e o equilíbrio do filito com a matriz do solo por 45 dias. Após 45 dias, o solo foi novamente seco em estufa de secagem a 40° graus, as amostras foram novamente destorroadas para desagregação das estruturas e passagem em peneira de 2 mm de abertura.

A caracterização química do pó de rocha foi disponibilizada pela empresa sendo apresentado seus principais parâmetros químicos nas tabelas 01 e 02 abaixo.

Tabela 1: Determinação de carbonatos (método volumétrico) na amostra de filito acinzentado

Parâmetro	Resultado (%)
CO ₃ T (Carbonato total)	44,05
CaCO ₃ (Carbonato de cálcio)	40,35
MgCO ₃ (Carbonato de magnésio)	3,08

Fonte: Dados do laudo (método volumétrico) da amostra "Filito acinzentado".

Tabela 2: Análise química (óxidos) da amostra de filito acinzentado

Parâmetro	Resultado (%)
CaO total	24,29
MgO total	2,00
SiO ₂	46,30
PPC	21,71
Fe ₂ O ₃	3,16
Al ₂ O ₃	1,45
SO ₃	0,03
S (enxofre)	0,01

Fonte: Dados do laudo da amostra "Filito acinzentado".

3.2 Envio das amostras ao laboratório

Nas amostras foram analisados os parâmetros de fertilidade do solo seguindo a metodologia de Teixeira et al., 2017, sendo analisadas as seguintes variáveis: pH, Ca²⁺+Mg²⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Al³⁺, H+Al, K⁺, Na⁺, P, M.O., Cu, Fe, Mn, B, Zn e calculados os seguintes parâmetros: soma de bases, CTC efetiva e potencial, saturações por bases, alumínio e sódio; e a relação Ca²⁺:Mg²⁺. Como caracterização inicial o solo apresentou pH de 4,56, Ca²⁺+Mg²⁺ de 2,04, Ca²⁺ de 0,93, Mg²⁺ de 1,11, soma de bases de 2,24, CTC efetiva de 2,95 e CTC potencial de 5,11, Al³⁺ de 0,71 (cmol_c.dm⁻³), a saturação de bases foi de 43,83, saturação por alumínio de 24,00 e percentagem de sódio trocável de 1,73 (%), o P foi de 0,80, K⁺ de 45,87, Na⁺ de 20,23, Fe de 115,48, Cu de 1,07, Mn de 0,93, B de 0,43 Zn de 1,42 (mg.dm⁻³).

Os dados obtidos, foram submetidos à análise de variância e quando significativo foram submetidos ao teste de regressão para obtenção de ajustes de equações lineares e polinomiais utilizando o SISVAR (Ferreira, 2011).

4. Resultados e Discussão

Os resultados obtidos, após as análises demonstraram o potencial do uso do filito em áreas agrícolas. A ausência de efeito significativo das doses de filito sobre K, Mg e Na (e também sobre a matéria orgânica) (Tabela 3) é coerente com a literatura, porque pós de rocha atuam como fontes de nutrientes de liberação gradual, cuja dissolução depende da mineralogia, granulometria e do poder tampão do solo, podendo apresentar meias-vidas de intemperismo de semanas a muitos anos e, além disso, o carbono orgânico do solo tende a responder mais a entradas de resíduos/estrutura do solo do que diretamente à adição de rocha (Van der bauwhede et al., 2024; Skov et al., 2024; Pihlap et al., 2025).

Tabela 3: Doses de pó de rocha filito na disponibilidade de matéria orgânica, magnésio, potássio e sódio em Latossolo Vermelho-Amarelo

Doses de filito	Matéria Orgânica ^{NS}	Magnésio ^{NS}	Potássio ^{NS}	Sódio ^{NS}
Ton. por hectare	-----%-----	cmol _c .dm ⁻³	mg.dm ⁻³	
0	1,16	1,11	45,87	20,23
1	1,13	0,91	44,47	19,87
2	1,22	1,08	47,47	20,53
4	1,21	1,16	44,63	19,80
8	1,26	1,41	43,70	21,70
16	1,34	1,20	48,00	19,73
Probabilidade	0.7402	0.2680	0.3882	0.6170
C.V. (%)	14,35	19,94	6,09	7,44

NS – Não apresenta diferença de 5% de probabilidade pela análise de variância.

As concentrações de micronutrientes (Tabela 4) responderam de forma diferenciada ao aumento das doses de filito, representados na tabela 4. Observou-se redução significativa do Fe e do Cu extraíveis ($p = 0,0014$ e $p = 0,0382$, respectivamente), tendência compatível com o aumento do pH e com a possível precipitação ou maior adsorção desses elementos em fases menos solúveis. O ferro no solo tende a ficar menos solúvel quando há aumento de pH e ou maior formação de hidróxidos/óxidos, porque o Fe precipita e passa a ser menos extraível (Lindsay, WL, & Schwab, AP, 1982).

Tabela 4: Doses de pó de rocha filito na disponibilidade de micronutrientes em Latossolo Vermelho-Amarelo.

Doses de filito	Ferro*	Cobre*	Manganês*	Zinco ^{NS}	Boro ^{NS}
Ton. por hectare	-----mg.dm ⁻³ -----				
0	115,48	1,07	0,93	1,42	0,43
1	121,95	1,08	1,11	1,28	0,33
2	138,97	1,14	1,28	1,02	0,35
4	87,97	1,05	1,52	0,75	0,36
8	53,79	1,02	2,13	0,75	0,45
16	36,11	0,87	3,13	0,59	0,31
Probabilidade	0.0014	0.0382	0.0000	0.1486	0.7178
C.V. (%)	24,47	8,05	16,24	40,74	34,82

NS – Não apresenta diferença de 5% de probabilidade pela análise de variância.

* Apresenta diferença de 5% pela análise de variância.

Em contraste, o Manganês aumentou com a dose, resultado compatível com possível aporte pelo remineralizador e com a alta sensibilidade do Mn às condições de pH e, sobretudo, de oxirredução, que favorecem a presença de Mn²⁺ mais solúvel (Walna et al., 2010; Millaléo et al., 2010).

O Cobre apresentou decréscimo, comportamento frequentemente associado ao aumento do pH e maior retenção do elemento no solo (Nascimento et al., 2003).

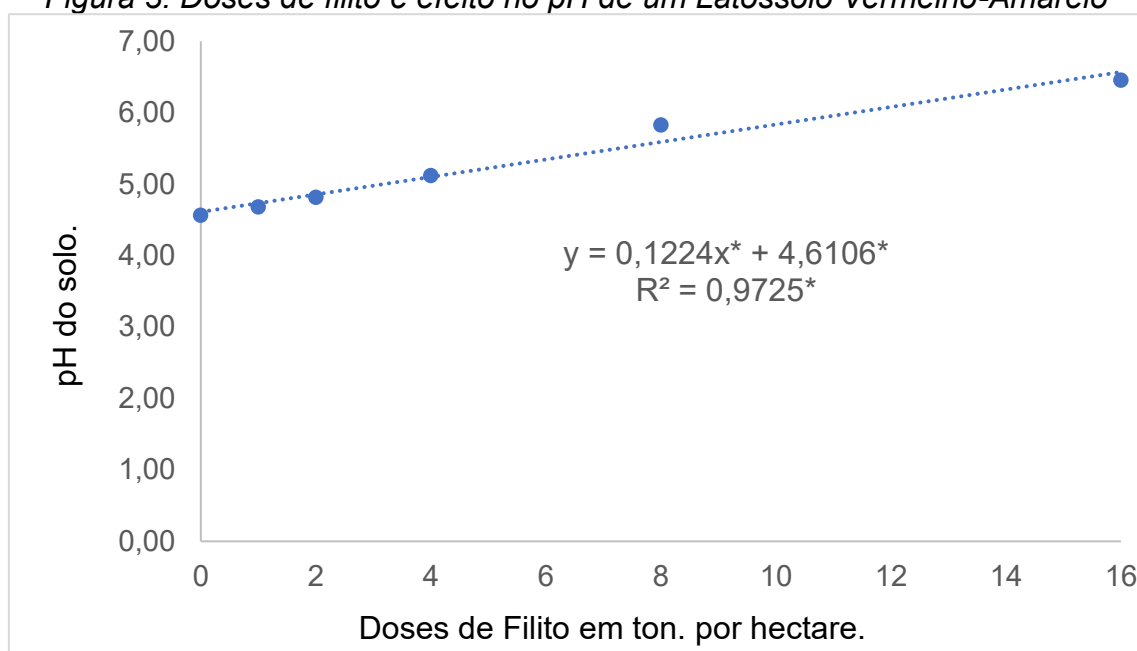
Boro e Zinco não apresentaram diferença significativa pela análise de variância, a disponibilidade de Zn é altamente dependente do pH: com aumento de pH, é comum ocorrer maior adsorção do Zn em superfícies reativas (especialmente óxidos de Fe/Al e argilas) e menor fração em solução (Sanders; el Kherbawy, 1987; Alloway, 2008). Em trabalhos realizados em campo por Rosolem; Bís caro, 2007, observou-se que a adsorção de B pode ser muito alta logo após a calagem e depois mudar ao longo do tempo, enquanto a lixiviação se relaciona mais ao teor de B no solo e à adubação boratada (Rosolem; Bís caro, 2007).

Corroborando com os dados da tabela 4, na Figura 3, observa-se um aumento linear do pH do Latossolo Vermelho-Amarelo com o incremento das

doses de filito (0 a 16 t ha⁻¹). A regressão apresentada ($y = 0,1224x + 4,6106$; $R^2 = 0,9725$; $p < 0,05$) indica forte ajuste entre dose e pH, ou seja, a dose explica a maior parte da variação observada no pH.

Em termos práticos, o coeficiente angular (0,1224) sugere que o pH aumentou cerca de 0,12 unidade por tonelada aplicada; assim, na maior dose (16 t ha⁻¹) o solo sai de aproximadamente pH 4,6 (faixa ácida) para cerca de pH 6,6, caracterizando um efeito corretivo relevante.

Figura 3: Doses de filito e efeito no pH de um Latossolo Vermelho-Amarelo

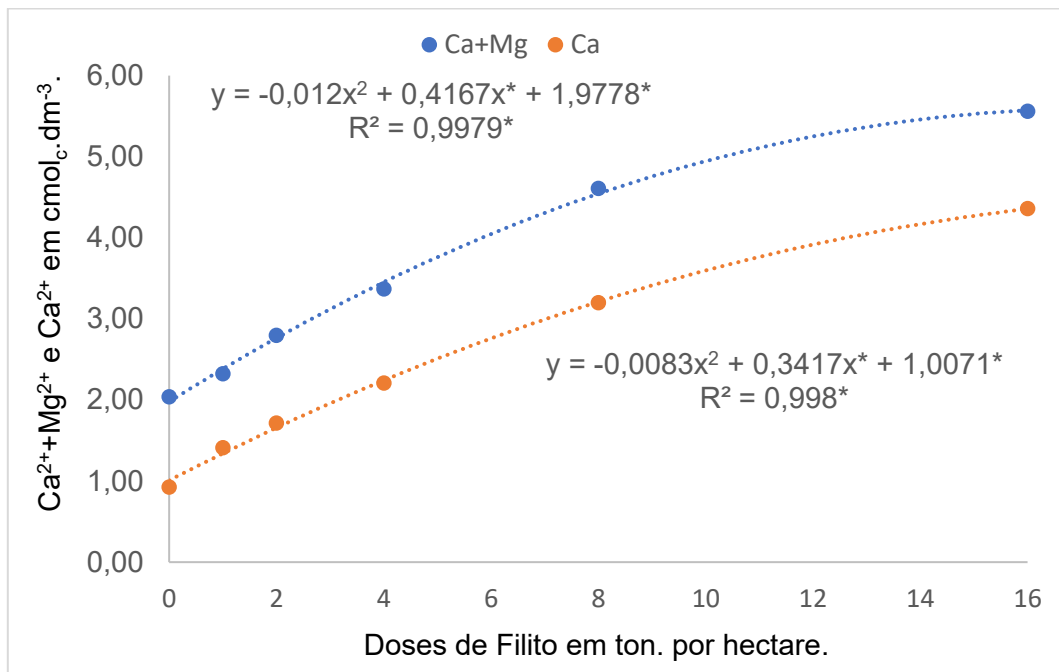


*Diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade pela análise de regressão.

Esse comportamento é esperado para remineralizadores, pois o aumento do pH decorre do consumo de H⁺ durante o intemperismo de silicatos, com liberação gradual de bases (Ca, Mg, K, Na) e, adicionalmente, pela interação do íon silicato com espécies associadas à acidez do solo, contribuindo para a redução da acidez ativa ao longo do tempo (Höfig; Martins, 2025).

A tendência apresentada na Figura 3 dialoga diretamente com a Figura 4, na qual se observa incremento de Ca²⁺ e de Ca²⁺+Mg²⁺ com o aumento das doses (regressões significativas). Essa resposta reforça a interpretação de que o filito atuou elevando o pH por aumento do suprimento/ocupação por bases no complexo de troca, mecanismo coerente com a elevação do pH observada.

Figura 4: Doses de filito e efeito no pH de um Latossolo Vermelho-Amarelo.

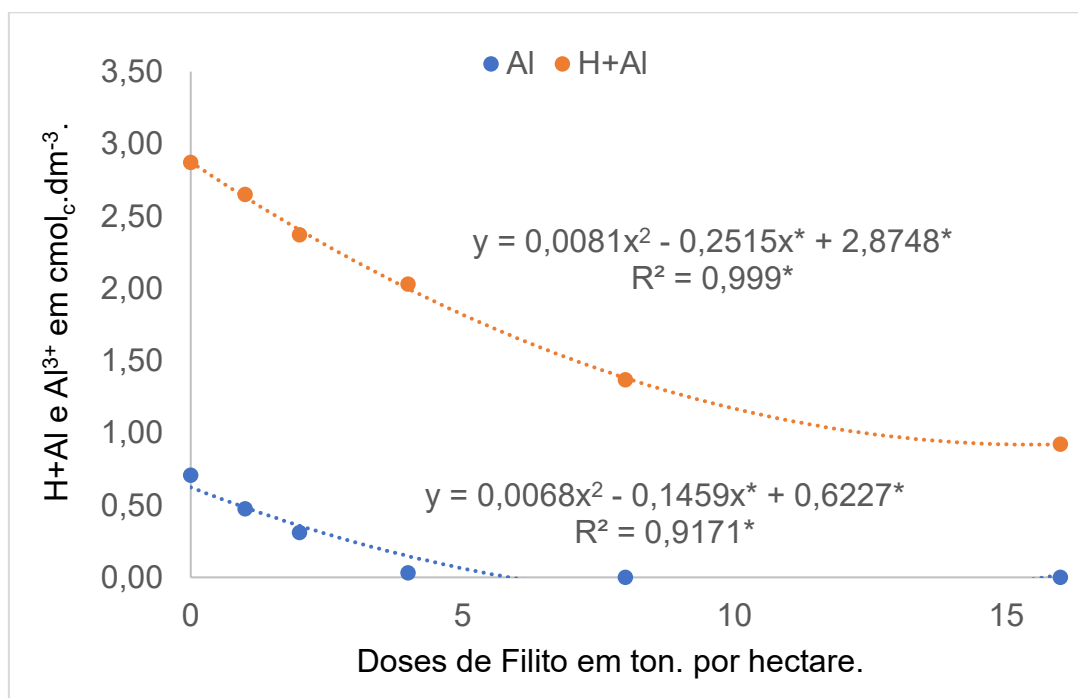


*Diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade pela análise de regressão.

Dessa forma, observa-se na Figura 5 que, com o aumento das doses de filito, houve redução significativa da acidez trocável (Al^{3+}) e da acidez potencial ($H+Al$), com alto ajuste das regressões. Isso indica que o filito atuou como condicionador/corretivo, consumindo acidez e diminuindo as formas de acidez associadas ao complexo de troca, o que é coerente com o aumento do pH observado na Figura 1 (Embrapa, 020; Antonangelo et al., 2022).

Na Figura 5, fica claro que o filito atuou como corretivo de acidez: tanto a acidez trocável (Al^{3+}) quanto a acidez potencial ($H+Al$) diminuem à medida que a dose aumenta, com regressões significativas. Esse padrão indica que o tratamento não apenas elevou o pH (Figura 3), mas também reduziu as formas de acidez “armazenadas” no complexo de troca, que são justamente as mais associadas à limitação química em solos ácidos.

Figura 5: Doses de filito e efeito na acidez ativa e potencial de um Latossolo Vermelho Amarelo.

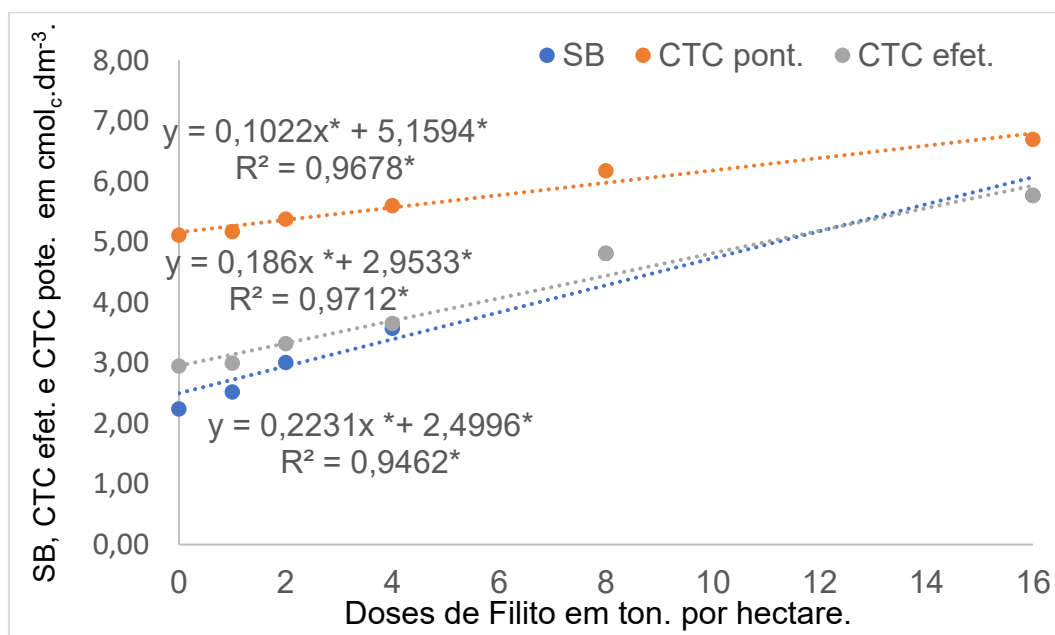


*Diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade pela análise de regressão.

Em continuidade ao que foi visto nas Figuras 3 e 5, na Figura 6 verifica-se, que com a elevação do pH e a redução de Al³⁺ e H+Al criou-se um ambiente em que a acidez ocupa menos sítios de troca, permitindo maior participação das bases no complexo. Além disso, em solos de carga variável (como Latossolos), o aumento do pH pode aumentar cargas negativas, o qual contribuiu para a elevação da CTC, especialmente da CTC efetiva (Embrapa, 2010).

Na Tabela 5, o aumento das doses de filito elevou a saturação por bases e reduziu a saturação por alumínio (m%), indicando melhoramento da acidez: à medida que o corretivo atua, há consumo de H⁺ e maior presença de cátions básicos (especialmente Ca²⁺ e Mg²⁺), o que reduz a acidez potencial e a toxicidade associada ao Al³⁺, refletindo diretamente em maior V% e menor m%.

Figura 6: Doses de filito e efeito na acidez ativa e potencial de um Latossolo Vermelho-Amarelo.



*Diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade pela análise de regressão.

Um comportamento coerente com estudos que mostram que materiais corretivos e silicáticos diminuem Al^{3+} trocável e $(H+Al)$ e aumentam atributos ligados às bases e ao pH do solo (Antonangelo et al., 2022; Zambrosi; Alleoni; Caires, 2008).

Em paralelo, a relação $Ca^{2+}:Mg^{2+}$ aumentou, sugerindo maior retenção relativa de Ca^{2+} no complexo de troca; e o P aumentou, o que pode ser explicado pela melhor fixação de fosfato em condições de baixa acidez (Tiecher et al., 2023).

Por fim, a leve queda do PST indica que, mesmo com Na^+ presente, sua participação percentual na CTC diminuiu à medida que aumentaram bases como Ca^{2+} e Mg^{2+} , mantendo valores baixos e sem indicativo de sodicidade.

Tabela 5: Doses de pó de rocha filito na disponibilidade de fósforo, saturação por bases, saturação por alumínio, relação cálcio:magnésio e PST em Latossolo Vermelho Amarelo.

Doses de filito	Fósforo*	Valor V*	Valor m*	Ca ²⁺ :Mg ²⁺ *	PST*
Ton. por hectare	mg.dm ⁻³	-----%-----		-----	----%---
0	0,80	43,83	24,00	0,84	1,73
1	0,80	48,70	15,77	1,60	1,67
2	0,80	55,93	9,39	1,81	1,66
4	0,80	63,70	2,29	1,95	1,54
8	1,33	77,87	0,00	2,29	1,53
16	1,83	86,10	0,00	3,74	1,28
Probabilidade	0.0041	0.0000	0.0000	0.0024	0.0374
C.V. (%)	26,30	2,31	16,43	28,29	9,16

* Apresenta diferença de 5% pela análise de variância.

5. Conclusões

Conclui-se, nas condições do presente trabalho, que a aplicação de filito (0–16 t ha⁻¹) em Latossolo Vermelho-Amarelo apresenta potencial de uso como remineralizador, com respostas positivas em atributos de fertilidade do solo e redução dos parâmetros de acidez do solo no período avaliado.

Recomenda-se a continuidade do estudo em condição de casa de vegetação e em condições de campo, para confirmar a persistência dos efeitos no solo no cultivo de plantas.

6. Referências Bibliográficas

ANTONANGELO, João Arthur; FERRARI NETO, Jayme; CRUSCIOL, Carlos Alexandre Costa et al. Lime and calcium-magnesium silicate cause chemical attributes stratification in no-till fields. *Soil & Tillage Research*, v. 224, p. 105522, 2022. DOI: 10.1016/j.still.2022.105522.

ARMAH, Abraham et al. Integrating rock dust and organic amendments to enhance soil quality and microbial activity for sustainable crop production. *Plants*, v. 14, n. 8, p. 1163, 2025. DOI: 10.3390/plants14081163.

BAFFES, John; TEMAJ, Kaltrina. Fertilizer prices gain momentum amid strong demand and geopolitical tensions. *World Bank Blogs*, 9 jul. 2025. Acesso em: 21 jan. 2026.

BRASIL. Instrução Normativa nº 5, de 10 de março de 2016. Estabelece as regras sobre definições, classificação, especificações e garantias, tolerâncias, registro, embalagem, rotulagem e propaganda dos remineralizadores e substratos para plantas, destinados à agricultura. *Diário Oficial da União*: Brasília, DF, 10 mar. 2016.

BRASIL. Lei nº 12.890, de 10 de dezembro de 2013. Altera a Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980, para incluir os remineralizadores como uma categoria de insumo destinado à agricultura, e dá outras providências. *Diário Oficial da União*: Brasília, DF, 11 dez. 2013. Acesso em: 28 jan. 2026.

BRASIL. Lei nº 12.890, de 10 de dezembro de 2013. Altera a Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980, para incluir os remineralizadores como uma categoria de insumo destinado à agricultura, e dá outras providências. *Diário Oficial da União*: Brasília, DF, 10 dez. 2013.

CARDOZO, Emanuëlle et al. Sustainable agricultural practices: volcanic rock potential for soil remineralization. *Journal of Cleaner Production*, v. 466, p. 142876, 2024. DOI: 10.1016/j.jclepro.2024.142876.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Capacidade de troca de cátions (CTC), soma de bases (SB) e correção do solo pela calagem. [Boletim/Documento técnico]. [s.l.]: Embrapa, [s.d.].

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Correção da acidez do solo. In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). *Recomendação de adubação e calagem...* Brasília/Planaltina: Embrapa, 2020.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). *Remineralizadores do solo*. (Documentos, 415). [s.l.]: Embrapa, 2025.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Latossolos. *Agência de Informação Tecnológica – SiBCS*, [s.d.]. Disponível em: Portal Embrapa. Acesso em: 31 jan. 2026.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS). [s.d.]. Disponível em: Portal Embrapa. Acesso em: 31 jan. 2026.

FAO; IFAD; UNICEF; WFP; WHO. *The State of Food Security and Nutrition in the World 2024: financing to end hunger, food insecurity and malnutrition in all its forms*. Rome: FAO, 2024. DOI: 10.4060/cd1254en.

FERREIRA, Daniel Furtado. Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

GALINA, J. et al. Evaluation of phyllite and basalt associated with *Azospirillum brasilense* inoculation in oat cultivation. *Revista Ciência Agronômica*, [s.l.], 2025.

HANISCH, Ana Lúcia et al. Potencial do pó de basalto como remineralizador de solo em sistemas de produção de hortaliças. *Agropecuária Catarinense*, Florianópolis, v. 37, n. 1, p. 25-30, 2024. DOI: 10.52945/rac.v37i1.1788.

KER, João Carlos. Latossolos do Brasil: uma revisão. *Geonomos*, v. 5, n. 1, p. 17-40, 1997.

KRAHL, Luise Lottici; VALADARES, Leonardo Fonseca; SOUSA-SILVA, José Carlos et al. Dissolution of silicate minerals and nutrient availability for plants: a review. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 57, e01467, 2022. DOI: 10.1590/S1678-3921.pab2022.v57.01467.

LINDSAY, W. L.; SCHWAB, A. P. A química do ferro nos solos e sua disponibilidade para as plantas. *Journal of Plant Nutrition*, v. 5, n. 4-7, p. 821-840, 1982. DOI: 10.1080/01904168209363012.

MAGALHÃES, Lucíola Alves; MARTINS, Éder de Souza; BERGMANN, Magda et al. *Mapas prospectivos de ocorrência potencial de agrominerais silicáticos no Brasil*. Campinas, SP: Embrapa Territorial, 2024. (Comunicado Técnico, 38).

Disponível em:
https://rigeo.sgb.gov.br/bitstream/doc/25235/1/magalhaes_et%20al_mapas_prospectivos_agrominerais_silicaticos_brasil.pdf. Acesso em: 21 jan. 2026.

MARTINS, Éder de Souza et al. Produção brasileira de remineralizadores e fertilizantes naturais (2019 a 2023). *Revista Novo Solo*, 2024. Disponível em: (PDF no repositório RIGeo/SGB). Acesso em: 18 jan. 2026.

NASCIMENTO, C. W. A. et al. Copper availability as related to soil pH. *Scientia Agricola*, 2003.

OTTONI, Marta Vasconcelos; SOUZA, Luciana Rodrigues; BARBOSA, Samara M. et al. Mineralogia, estrutura e comportamento físico-hídrico de Latossolos brasileiros e comparação com solos de regiões temperadas. *Informe Técnico-Científico de Estudos Hidrológicos e Hidrogeológicos*, v. 1, n. 1, 2024.

PIHLAP, Evelin et al. Effects of rock amendment on soil physicochemical properties and organic carbon stabilization. 2025. Disponível em: PubMed Central (PMC12756622).

ROSOLEM, Ciro Antonio; BÍSCARO, Thaís. Adsorção e lixiviação de boro em Latossolo Vermelho-Amarelo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, DF, v. 42, n. 10, p. 1473-1478, out. 2007. DOI: 10.1590/S0100-204X2007001000015.

SANDERS, J. R.; EL KHERBAWY, M. I. The effect of pH on zinc adsorption equilibria and exchangeable zinc pools in soils. *Environmental Pollution*, v. 44, n. 3, p. 165-176, 1987. DOI: 10.1016/0269-7491(87)90001-7.

SANTOS, Humberto Gonçalves dos et al. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SINGTUEN, V. et al. Classification of geologic materials used in the Sukhothai Historical Park, Thailand. *npj Heritage Science*, 2024.

SKOV, K. et al. Initial agronomic benefits of enhanced weathering using basalt: a study of spring oat in a temperate climate. *PLOS Climate*, 2024. Disponível em: PubMed Central (PMC10971544). Acesso em: 25 jan. 2026.

TEIXEIRA, P. C. et al. *Manual de métodos de análise de solo*. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 573 p.: il. color.

THEODORO, Suzi H.; LEONARDOS, Othon H. The use of rocks to improve family agriculture in Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 78, n. 4, p. 721-730, 2006. DOI: 10.1590/S0001-37652006000400008.

TIECHER, Tales; FONTOURA, Sandra M. V.; AMBROSINI, Vítor G. et al. Soil phosphorus forms and fertilizer use efficiency are affected by tillage and soil acidity management. *Geoderma*, v. 435, p. 116495, 2023. DOI: 10.1016/j.geoderma.2023.116495.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO (USP). Instituto de Geociências. Filito. *Materiais Didáticos*, [s.d.]. Disponível em: <https://didatico.igc.usp.br/rochas/metamorficas/filito/>. Acesso em: 18 jan. 2026.

VAN DER BAUWHEDE, Robrecht; MUYS, Bart; VANCAMPENHOUT, Karen; SMOLDERS, Erik. Accelerated weathering of silicate rock dusts predicts the slow-release liming in soils depending on rock mineralogy, soil acidity, and test methodology. *Geoderma*, v. 441, p. 116734, jan. 2024. DOI: 10.1016/j.geoderma.2023.116734.

VOS, Rob et al. Global shocks to fertilizer markets: impacts on prices, demand and farm profitability. *Food Policy*, v. 133, p. 102790, 2025. DOI: 10.1016/j.foodpol.2024.102790.

WALNA, B. et al. Fractionation of iron and manganese... *Polish Journal of Environmental Studies*, 2010.