



C A P Í T U L O 13

Remineralização de solos: potencial da rochagem para a fertilidade de solos tropicais

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1411126130113>

Maísa Comar Pinhotti Aguiar

Rita de Oliveira Sirqueira Santos

Universidade do Estado de Minas Gerais-UEMG

RESUMO: A agricultura brasileira possui elevada produtividade, especialmente na produção de grãos como soja e milho, porém depende intensamente da reposição de nutrientes do solo e da utilização de fertilizantes minerais, em grande parte importados. Nesse contexto, a remineralização do solo, por meio da aplicação de pós de rocha (rochagem), surge como uma alternativa sustentável para melhorar a fertilidade dos solos tropicais, geralmente pobres em nutrientes devido ao intenso intemperismo. Este trabalho, baseado em revisão bibliográfica, discute o papel dos remineralizadores como fonte de macro e micronutrientes, destacando sua contribuição para a melhoria das propriedades químicas, físicas e biológicas do solo. Rochas como o basalto apresentam potencial para fornecer nutrientes de forma gradual, aumentar o pH, a capacidade de troca de cátions e a retenção de água, além de favorecer a atividade biológica e o sequestro de carbono. Os estudos analisados indicam que a remineralização pode elevar a produtividade agrícola e reduzir a dependência de fertilizantes químicos. Assim, integrada às práticas de agricultura regenerativa, a rochagem representa uma estratégia promissora para promover a sustentabilidade, a saúde do solo e a segurança alimentar.

PALAVRAS-CHAVE: Remineralizador; Geoquímica do solo; Nutrientes minerais; Rochagem

Soil remineralization: the potential of rock dust application for the fertility of tropical soils

ABSTRACT: Brazilian agriculture has high productivity, particularly in grain production such as soybean and maize, but it depends heavily on nutrient replacement and the use of mineral fertilizers, most of which are imported. In this context, soil remineralization through the application of rock powders (stonemeal) has emerged as a sustainable alternative to improve the fertility of tropical soils, which are often nutrient-depleted due to intense weathering processes. This study, based on a bibliographic review of publications from the last two decades, discusses the contribution of soil remineralizers as sources of macro- and micronutrients and their potential to enhance soil quality. Rock powders, especially those derived from basaltic rocks, can gradually release nutrients, increase soil pH, improve cation exchange capacity, and enhance water retention and biological activity in soils. In addition, remineralization may contribute to carbon sequestration and help mitigate climate change. The analyzed studies indicate that the use of remineralizers can improve soil chemical properties and increase crop productivity while reducing dependence on conventional chemical fertilizers. Therefore, when integrated with regenerative agriculture practices, soil remineralization represents a promising strategy to promote soil restoration, agricultural sustainability, and food security.

KEY WORDS: Remineralizer; Soil Geochemistry; Mineral Nutrients; Rock powder

INTRODUÇÃO

A agricultura brasileira apresenta elevada produtividade, especialmente na produção de grãos como soja e milho. No entanto, depende fortemente da reposição de nutrientes do solo por meio de fertilizantes minerais, muitos deles importados. Essa dependência gera preocupações econômicas, ambientais e estratégicas.

Nesse contexto, a remineralização do solo, também conhecida como rochagem, tem sido apontada como uma alternativa promissora para a agricultura sustentável. A técnica consiste na aplicação de pós de rocha ao solo com o objetivo de fornecer nutrientes gradualmente, melhorar propriedades químicas e físicas e contribuir para a fertilidade a longo prazo.

Diversos estudos destacam que rochas silicáticas podem liberar macro e micronutrientes durante o processo de intemperismo, favorecendo o desenvolvimento das plantas e contribuindo para a melhoria das propriedades do solo.

Para compor este capítulo, cuja metodologia se baseia em uma revisão bibliográfica, foram consultadas as bases Google Acadêmico, SciELO e ScienceDirect, Semantic Scholar utilizando palavras-chave como *soil remineralizer*, *soil remineralization*,

remineralização de solos, rochagem, melhoria do solo e fertilidade do solo. A busca considerou publicações dos últimos 20 anos. Foram excluídos estudos que tratavam da melhoria da fertilidade do solo exclusivamente com uso de microrganismos ou de insumos estritamente orgânicos.

Assim, este trabalho busca apresentar a contribuição dos remineralizadores de solo para um incremento da fertilidade do solo, contribuindo para uma agricultura regenerativa e sustentável, tanto ambiental quanto econômico.

REFERENCIAL TEÓRICO

Os solos tropicais: fertilidade e manejo

O solo se forma pela atuação conjunta de cinco fatores: material de origem, clima, tempo, organismos e relevo. Eles resultam, portanto, de um processo de centenas ou milhares de anos de processos pedogenéticos, que transformam o material de origem (rochas e sedimentos) em compostos solúveis que serão absorvidos pelas plantas. Desse modo, o conteúdo de nutrientes do solo, incluindo macro e micronutrientes é diretamente influenciado pela concentração do mineral primário presente no material parental (FAO, 2022, Toll, 2012).

No entanto, o forte intemperismo químico dos minerais primários e uma maior intensidade do intemperismo químico nos trópicos, diferente do que ocorre em outras regiões da Terra, gera um relativo empobrecimento de nutrientes ao longo do tempo.

Isso levou o Homem, durante muito tempo, a identificar a aptidão do solo em função da produção de melhores frutos, dificuldades de cultivo, condições como encharcamento ou aridez, condições que inclusive determinaram o avanço das civilizações (Lepsch, 2013).

Contudo a ciência do solo evoluiu bastante e como destacam Demattê e Demattê (2024) a evolução da agricultura, principalmente a partir do século XIX e da Segunda Guerra Mundial, promoveu um avanço no ritmo das inovações tecnológicas, especialmente no campo da genética aplicada a agricultura, com a chamada Revolução Verde da década de 70.

No entanto, ressalta FAO (2017), os ganhos nesse processo foram acompanhados por efeitos negativos que incluem a degradação dos solos, a salinização das áreas irrigadas, a extração excessiva de águas subterrâneas, o desenvolvimento de resistência das pragas e diminuição da biodiversidade.

Faz-se necessário, portanto, adotar medidas que permitam a produção de alimentos e desenvolvimento de uma “agricultura sustentável”, que concilie “renda para o agricultor e preservação ambiental. Ainda segundo a FAO (2017), a chave para o crescimento agrícola sustentável é o uso mais eficiente da terra e de outros insumos, o que deve ocorrer por meio da inovação, visando melhorar não só a eficiência de transformação dos insumos em produtos, mas na conservação de recursos naturais e redução do desperdício.

Van Straaten (2022) ressalta que a segurança alimentar depende, em grande medida, de fatores biofísicos e recursos como a água e o solo. Solo de boa qualidade e água disponível são os dois recursos naturais mais importantes para sustentar a vida terrestre. O solo e a água melhoram e mantêm atividades biológicas essenciais, como o crescimento das plantas e muitas funções ecológicas na superfície da Terra. As funções importantes dos solos, além do armazenamento e ciclo de nutrientes e água para o crescimento das plantas, incluem a manutenção de outras formas de vida orgânica nos solos, bem como a regulação do fluxo de água na paisagem, a capacidade de filtrar água e a capacidade de transformar e degradar materiais orgânicos e inorgânicos, como resíduos municipais e animais

Para melhorar condições do solo, propõe-se implantação de técnicas de agricultura regenerativa colocam que os princípios importantes da incluem: (1) rotação de culturas, (2) uso de fertilizantes orgânicos, (3) uso de culturas de cobertura, (4) perturbação mínima do solo, (5) evitar produtos químicos (ou seja, pesticidas, herbicidas, fertilizantes sintéticos), (6) promoção de sistemas de cultivo biodiversos, que visam promover melhoria do solo e ainda a acumulação de carbono orgânico (Colombi, Martana e Fornara, 2025).

De acordo com Newton et al (2022) e Vermunt et al (2022), a restauração do teor de carbono, aumenta a produtividade, em oposição à atuação da agricultura convencional, que promove seu esgotamento, e essa

NUTRIENTES DO SOLO

Os nutrientes encontrados no solo originam-se dos minerais nele presente e dividem-se em macronutrientes e micronutrientes. Por macronutrientes entende-se aqueles que são absorvidos pela planta em maior proporção como os cátions nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S), enquanto os micronutrientes como boro (B), zinco (Zn), cobre (Cu), ferro (Fe), molibdênio (Mo), cloro (Cl) e manganês (Mn) entre outros são requeridos em menor quantidade, conforme Lepsch (2013), Costa (2014) e FAO (2022), Faquin (2005).

Conforme Ronquim (2020), há ainda nutrientes como selênio (Se), silício (Si), cobalto (Co), sódio (Na), alumínio (Al), vanádio (V) e níquel (Ni) que estimulam

o crescimento vegetal, mas não são essenciais ou são essenciais apenas para determinadas espécies de plantas ou sob condições específicas. O Autor destaca ainda que um ou vários desses nutrientes podem estar quase ausentes no solo, ou podem estar presentes, mas em formas que as raízes das plantas não conseguem absorver.

A tabela 1 ilustra a concentração média de alguns nutrientes no solo.

Elemento	Concentração média no solo	Limites de concentração na planta	Demanda
Si	330	0,2–10	
Al	70	0,04–0,5	
Fe	40	0,002–0,7	aprox. 0.1
Ca	15	0,4–15	3–15
K	14	1-70	5-20
Mg	5	0,7-9	1-3
Na	5	0,02–1,5	
N	2	12–75	15-25
P	0,8	0,1–10	1.5–3
Mn	1	0,003-1	0.03–0.05

*Para expressar os valores em percentagem (%) na matéria seca, deve-se dividir por 10 os dados apresentados

Tabela 1- Conteúdo médio de alguns elementos minerais (em g/kg de matéria seca) no solo e na fitomassa de plantas terrestres, e necessidade média dos elementos minerais

Fonte: Ronquim (2021)

Segundo Costa (2014), os cátions Ca^{+2} , K^{+1} e Mg^{+2} são nutrientes que permanecem no solo na forma iônica e são responsáveis, juntamente com outros, por ativação de enzimas, síntese de proteínas e transferência de carboidrato entre outras funções da planta e sua depleção torna o solo improdutivo ou com baixa capacidade de suporte.

De acordo com Pereira et al (2020) o conhecimento da mineralogia de solos tropicais é fundamental, pois a maior parte do processo de sorção e nutrição das plantas associa-se à matriz mineral dos solos, estando as reservas nutricionais dos solos ligadas aos minerais constituintes.

FAO (2022) destaca que, embora os solos possam ter uma quantidade substancial de nutrientes, a sua disponibilidade pode ser limitada devido a várias razões, tais como deficiências naturais, nutrientes que se encontram em formas altamente imobilizadas na fase sólida. Um processo que concorre para a diminuição da disponibilidade de

nutrientes no solo são práticas de gestão insustentáveis, baseadas em sistemas agrícolas extrativos e intensivos, que afetam negativamente a produtividade do solo e geram deficiências de nutrientes nas culturas.

Carvalho Junior et al (2022) destacam o importante papel que os solos tropicais têm, pois, as terras potencialmente acessíveis à agricultura concentram-se 90% na América Latina e na África Subsaariana. Mas, há, no entanto, uma preocupação com a depleção de nutrientes do solo é uma realidade para a África, parte da Ásia e América do Sul, onde se situa o Brasil, e que as taxas de nutrientes tendem a diminuir com os processos de degradação do solo. Eles ressaltam que a deficiente de nutrientes no solo constitui a maior barreira para uma agricultura sustentável, conforme Tan, Lal e Wiebe (2005) e FAO (2015).

Nesse sentido, destaca Ronquim (2021), o manejo do solo é essencial para manutenção da sua fertilidade e que, de outro lado, se eles estiverem ausentes no solo devem ser repostos através de fertilizantes químicos minerais e matéria orgânica, por exemplo.

A reposição de nutrientes é feita, geralmente, por meio dos fertilizantes minerais que, ao contrário da matéria orgânica, possuem grande concentração de nutrientes solúveis, rapidamente absorvidos rapidamente pelas plantas ou ainda, lixiviados com mais facilidade (Ronquim, 2021).

Luchese et al (2023) ressaltam que a maioria dos insumos utilizados na agricultura no Brasil são importados, o que eleva o custo de produção; eles colocam ainda que o país é o quarto maior consumidor mundial de fertilizantes, respondendo por 8% do consumo global, atrás apenas da China, Índia e Estados Unidos e que mais de 70% desse consumo ocorre nas culturas de soja, milho e cana-de-açúcar.

Straaten (2007) destaca que os fertilizantes convencionais consistem em substâncias que foram sintetizadas industrialmente e tornadas solúveis em resultado de reações químicas em instalações de processamento industrial principalmente em países industrializados. Estes fertilizantes contêm fontes de nutrientes altamente solúveis para utilização imediata pelas plantas e para o aumento da produção agrícola, atuando para melhorar a saúde do solo e a segurança alimentar.

A degradação do solo e a dependência excessiva de fertilizantes químicos impulsionaram a busca por alternativas sustentáveis para melhorar a fertilidade do solo, como a remineralização de solos, capaz de repor, ao menos parcialmente, os nutrientes do solo (Palmas et al, 2025, Swoboda et al (2022).

A ROCHAGEM E A REMINERALIZAÇÃO DO SOLO

De acordo com Brito et al (2019), a rochagem é uma tecnologia que busca reduzir o uso desenfreado dos insumos químicos, vista como um processo auxiliador no rejuvenescimento ou remineralização do solo, por alterar positivamente os parâmetros de fertilidade.

A remineralização do solo, frequentemente referida como a aplicação de pós de rocha, surge como uma estratégia promissora para otimizar as propriedades edáficas e potencializar a produtividade agrícola, concomitantemente à redução da dependência de fertilizantes importados (Luchese et al., 2024; Silva et al., 2021)

Van Straaten (2007) destaca que os fertilizantes convencionais consistem em substâncias que foram sintetizadas industrialmente e tornadas solúveis em resultado de reações químicas em instalações de processamento industrial principalmente em países industrializados. Estes fertilizantes contêm fontes de nutrientes altamente solúveis para utilização imediata pelas plantas e para o aumento da produção agrícola, atuando para melhorar a saúde do solo e a segurança alimentar.

O Remineralizador ou como é popularmente conhecido, o pó de rocha, é um material de origem mineral que tenha sofrido redução e classificação de tamanho por processos mecânicos e que altere os índices de fertilidade do solo por meio da adição de macro e micronutrientes para as plantas, bem como promova a melhoria das propriedades físicas ou físico-químicas ou da atividade biológica do solo (Theodoro e Almeida, 2013, Theodoro et al (2021).

Van Straaden (2022) destaca que os minerais são utilizados para melhoria das condições do solo como aumento do pH, melhoria da capacidade de troca de cátions, redução da toxicidade do Al, disponibilização de nutrientes entre outros.

As rochas moídas, disponíveis local ou regionalmente, que tem como principal pressuposto a adição de determinados tipos de rochas moídas ao solo, como forma de fornecer macro e micronutrientes, o que altera a sua fertilidade (Theodoro et al, 2021).

Ramos et al (2022) e Theodoro et al (2013) destacam que, em geral, as rochas moídas fornecem os nutrientes necessários para o pleno desenvolvimento das plantas, por um período de até cinco anos após a sua incorporação no solo; como as plantas absorvem apenas o que precisam para o seu desenvolvimento, os outros nutrientes retidos na estrutura cristalina dos minerais (ou argilas) adicionados ao solo, formando uma espécie de banco de nutrientes, que serão disponibilizados nas culturas subsequentes.

Esses insumos, em geral, associam-se a rochas sedimentares e ígneas (em geral, basaltos), mas empregam-se rochas metamórficas como mármore e xistos ricos em biotita bem como rochas sedimentares como fosforitos, sais de K e sulfatos (como gesso, carbonatos e sedimentos ricos em K, por exemplo, arenitos contendo glauconita), podem ser utilizados para este fim, a depender da viabilidade econômica, destacam Van Straaden (2022) e D´Oliveira et al (2023).

Considerando a grande geodiversidade no Brasil, existem inúmeras possibilidades de aplicação desses insumos nacionais que podem ser utilizadas para promover a remineralização do solo.

O que é um remineralizador?

BRASIL (2013) define os remineralizadores como “material de origem mineral que tenha sofrido apenas redução e classificação de tamanho por processos mecânicos e que altere os índices de fertilidade do solo por meio da adição de macro e micronutrientes para as plantas, bem como promova a melhoria das propriedades físicas ou físico-químicas ou da atividade biológica do solo”.

Martins, Martins e Haridoim (2023) colocam que os remineralizadores são definidos como: “insumos minerais derivados de rochas silicáticas que passaram apenas por processos de cominuição (britagem e moagem), com a finalidade de melhorar as características químicas, físicas e biológicas de solos agrícolas.”

Para que a rocha possa ser utilizada como remineralizador de solos, no entanto, ela deve atender os parâmetros mínimos estabelecidos pela Instrução Normativa nº 5 Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA (BRASIL, 2016), como, por exemplo, a soma de bases (CaO, MgO, K₂O), deve ser igual ou superior a 9% (nove por cento) em peso/peso; o teor de óxido de potássio (K₂O), deve ser igual ou superior a 1% (um por cento) em peso/peso. Quanto à granulometria, a IN 5/2016 estabelece que a fração pó deve passar 100% pela peneira 0,3 mm (ABNT n.º 50) e 100% pela peneira 2,0 mm (ABNT n.º 10).

Conforme Martins, Martins e Haridoim (2023), o tempo de formação de solos é de 103 a 106 anos, mas a aplicação de rochas moídas acelera consideravelmente este processo, de 10⁰ a 10¹ anos, pois aumenta a superfície específica e o contato da ação das soluções e da biota sobre os minerais. A a remineralização, tem assim, um papel fundamental na renovação geoquímica e mineralógica de solos.

O uso de rochas moídas – ou pós de rocha (remineralizadores) – para alterar os níveis de fertilidade dos solos reproduz um mecanismo que a natureza utiliza ao longo do processo de desgaste das rochas: o intemperismo, no qual ocorre a lixiviação ou a concentração de determinados elementos (macro e micronutrientes), os quais

são necessários ao pleno desenvolvimento das plantas – e, em última instância, à nutrição, à saúde e ao futuro da humanidade (Theodoro, 2020).

Viana et al. (2021), Brito et al. (2019) e Alovisi et al. (2023) destacam o potencial da rochagem como alternativa sustentável para o agronegócio brasileiro, pois seu uso pode reduzir a dependência da importação de fertilizantes químicos e complementar ou substituir parcialmente fertilizantes convencionais.

Uma vantagem significativa da remineralização é o aumento da capacidade do solo de armazenar carbono. Minerais presentes em rochas como o basalto podem reagir com o dióxido de carbono atmosférico, contribuindo para o sequestro de carbono e para a mitigação das mudanças climáticas. Além disso, a remineralização pode melhorar a estrutura do solo, aumentando a sua porosidade e, conseqüentemente, a sua capacidade de retenção de água (Martins, Hardoim, Martins, 2023a).

No Brasil uma das rochas mais estudadas para este fim são as básicas como os basaltos, que integram a sequência de rochas vulcânicas do Grupo Serra Geral da Bacia do Paraná-Etendeka, uma das maiores províncias de vulcanismo de platô do mundo, com uma superfície aproximada de 917.000 km² que se estende pelo sudeste do Brasil e Paraguai, nordeste da Argentina e oeste do Uruguai (Bergmann et al, 2014).

Estudo conduzido por Ramos et al (2014) mostrou que as rochas da formação Serra Geral apresentam presença de cálcio e magnésio na forma de carbonatos; alta alcalinidade; boa disponibilidade de fósforo; disponibilidade média de potássio; e presença de micronutrientes como zinco, boro, cobre, ferro e manganês.

Dalacorte et al (2015) relatam a presença, no basalto da sua área de estudo, de plagioclásios, piroxênios augita e pigeonita, olivinas, vidro vulcânico e argilominerais do tipo Fe-Mg.

Embora certos macronutrientes, como o potássio, possam estar menos disponíveis em comparação com os produtos comerciais, o pó de rocha basáltica pode contribuir significativamente para a remineralização e fertilidade do solo a longo prazo, reabastecendo gradualmente os elementos essenciais, de acordo com Theodoro et al (2021).

Discussão: estudos conduzidos com remineralizadores

Os resultados de diferentes estudos indicam que a aplicação de pós de rocha pode alterar a composição mineralógica do solo e aumentar a disponibilidade de nutrientes essenciais às plantas. Entretanto, a eficiência da rochagem depende de

diversos fatores, incluindo a composição mineralógica da rocha utilizada, o grau de moagem, as condições climáticas e as características do solo.

Por esse motivo, a seleção adequada do material é fundamental para garantir melhores resultados agrônômicos. Rochas ricas em minerais facilmente intemperizáveis tendem a apresentar maior potencial para liberação de nutrientes.

Essas alterações são atribuídas ao intemperismo dos minerais presentes no remineralizador, que libera gradualmente macro e micronutrientes, promovendo o aumento da disponibilidade de nutrientes no solo (Souza, 2019). Este processo impacta diretamente a dinâmica dos elementos trocáveis e a solubilização de fosfato, contribuindo para a melhoria da qualidade biológica do solo (Assunção et al., 2024; Silva et al, 2023).

A regulação da aplicação desses insumos é crucial, visto que a diversidade composicional das rochas pode gerar respostas variadas nos sistemas agrícolas, com rochas vulcânicas básicas como o pó de basalto demonstrando efeitos mais acentuados na melhoria dos indicadores químicos do solo (Hanisch et al., 2024).

A avaliação da granulometria, petrografia, mineralogia e química elementar dos pós de rocha é essencial para sua classificação e aplicação como remineralizadores de solo, conforme a legislação brasileira (Cunha e Gonsalves Neto, 2015, Moreira, 2016).

A seleção de materiais como rochas ultramáficas alcalinas, flogopititos, brechas piroclásticas, xistos e biotitas é relevante devido à sua capacidade de fornecer nutrientes aos solos brasileiros, frequentemente caracterizados por deficiências nutricionais (Castro et al., 2022). A incorporação de pós de rocha basáltica, por exemplo, tem demonstrado elevar os níveis de pH, cálcio e fósforo no solo, otimizando o desenvolvimento de culturas como milho e soja (Luchese et al., 2023).

No entanto, a velocidade de disponibilização desses nutrientes pode divergir, com alguns estudos indicando uma liberação rápida de macronutrientes no primeiro ano, enquanto outros apontam para uma liberação mais lenta e um efeito residual prolongado (Toscani & Campos, 2017). A efetividade dos remineralizadores é, contudo, condicionada por fatores como o tipo de rocha, a taxa de aplicação e as propriedades intrínsecas do solo, demandando investigações aprofundadas para otimizar seu uso em diversos agroecossistemas (Palma et al., 2025).

Dalmora et al (2020) coloca que o uso do pó do andesito no cultivo de eucalipto, por conter elementos essenciais para a agricultura (Ca, Mg, K, P, S e Fe) e elementos benéficos (Na e Si) para as culturas, contribuiu para um maior desenvolvimento da cultura (cerca de 50%) em relação ao solo onde o remineralizador não foi empregado.

Alovisi et al (2023) também observaram aumento da disponibilidade de potássio e do pH após o uso do pó de basalto, o mesmo ocorrendo com Toscani e Campos (2017)

que relatam que o uso de insumos oriundos da rochagem, promoveu o aumento da saturação de bases (V%), do pH e do fósforo (P) disponível e ainda uma diminuição da saturação por alumínio. Resultados semelhantes foram também observados por Theodoro et al (2020) e Dalacorte et al (2015). Resultados semelhantes foram relatados por Theodoro et al. (2020) e Dalacorte et al. (2015).

A aplicação de remineralizadores de silicato demonstrou aumentar a produtividade da soja em 15% e a produtividade do sorgo em 35% em sistemas tropicais de plantio direto, ao mesmo tempo em que melhorou as propriedades químicas do solo, como saturação de bases, capacidade de troca catiônica e teor de matéria orgânica, além de trazer efeitos benéficos para a atividade microbiana do solo (Rodrigues et al, 2024).

Rodrigues et al (2025) em seu estudo com aplicação de remineralizador ao cultivo de tomate, observou que houve melhora em parâmetros químicos do solo.

Com o emprego de pó de basalto em pastagem, Silva et al (2023) observaram um aumento das bases trocáveis (Sb), CTC efetiva - capacidade de troca catiônica (t), CTC saturação por bases a pH 7,0 (V), matéria orgânica e carbono orgânico.

Entre as principais vantagens da rochagem destacam-se o aumento da capacidade de troca de cátions (CTC), a correção do pH, a redução da adsorção de fósforo devido à presença de silicatos, o efeito residual prolongado e a menor perda de nutrientes por lixiviação. Além disso, esses materiais podem fornecer macro e micronutrientes que não estão presentes em fertilizantes solúveis convencionais.

Destaca-se também o papel da remineralização na promoção da atividade biológica e da saúde do solo. Esse processo contribui para o aumento do estoque de carbono, melhora as propriedades físicas e químicas do solo e favorece a diversidade microbiana, essencial para o ciclo de nutrientes e para a estruturação do solo (Campe et al., 2020; Omer et al., 2024).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Brasil apresenta uma forte dependência dos fertilizantes importados- 76% do nitrogênio, 55% do fósforo e 94% do potássio, destacando-se a dependência por potássio. Embora não substituam totalmente a adubação mineral convencional, os remineralizadores têm se mostrado uma importante fonte de nutrientes para os solos brasileiros.

A remineralização do solo representa uma alternativa promissora para complementar a adubação convencional e contribuir para sistemas agrícolas mais sustentáveis.

Embora não substitua completamente os fertilizantes minerais, a aplicação de pós de rocha pode melhorar a fertilidade do solo, fornecer nutrientes gradualmente e favorecer processos biológicos e geoquímicos importantes.

Considerando a diversidade geológica do território brasileiro, existe grande potencial para o desenvolvimento e ampliação do uso de remineralizadores na agricultura; a associação entre o conhecimento geológico e a práticas de agricultura regenerativa, representa uma estratégia promissora para restaurar e manter a saúde do solo.

Os benefícios da remineralização são amplos: solos mais férteis, maior capacidade de retenção de água, melhor estrutura do solo e potencial de sequestro de carbono. No entanto, a implementação eficaz pode enfrentar desafios, como o custo dos minerais e a necessidade de ajustes finos para atender às necessidades específicas de cada tipo de solo.

Ao investir na remineralização, os agricultores podem promover a sustentabilidade, aumentar a produtividade e contribuir para a mitigação das mudanças climáticas, alinhando a produção agrícola com os ciclos naturais da Terra.

REFERÊNCIAS

ALOVISI, Alves A et al. Chemical properties of soils submitted to the application of a bioactivator and basalt and serpentinite powders. **Brazilian Journal of Agricultural and Environmental Engineering**, v.27, n.10, p.811-819, 2023. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v27n10p811-819>

ASSUNÇÃO, Rodolfo D. V. da, Cassol, Paulo C., Granados, Sabrina B. Mafra, Alvaro L., Bittencourt, Ricardo F. P. de M. Microbial-inoculated remineralizers as source of potassium and other nutrients. **Brazilian Journal of Agricultural and Environmental Engineering**, v.28, n.2, e275193, 2024. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v28n2e275193>

BERGMANN, Magda; Silveira, C. A. P.; Bamberg, A. L.; Martinazzo, R.; Grecco, M. F. Considerações sobre o potencial de uso agrônômico das rochas vulcânicas da Formação Serra Geral da Bacia do Paraná. In: HARTMANN, L.A.; SILVA, J.T. DA; DONATO, M. (Org.). **Tecnologia e Inovação em Gemas, Jóias e Mineração**. Porto Alegre: UFRGS, 2014, p. 119-126. Disponível em <https://rigeo.sgb.gov.br/server/api/core/bitstreams/a47ae6bb-4667-4516-adae-8b3800f162ff/content>

BRITO, Rychaellen Silva de, Batista, Josimar Ferreira, Moreira, José Genivaldo do Vale, Moraes, Keilyson Naazio Oliveira, da Silva, Samara Oliveira. Rochagem na agricultura: Importância e vantagens para adubação suplementar. **South American Journal of Basic Education, Technical and Technological**, v.6 n. 1, 2019. Disponível em <https://periodicos.ufac.br/index.php/SAJEBTT/article/view/2331>

CAMPE, Joana, Jabel, Metbmejbél, Patskowski, Debra, Zamunér Filho, Antonio Nilson. **Remineralization for a Healthy Planet**. 2020. Disponível em <https://www.remineralize.org/wp-content/uploads/2022/08/RTE-Remineralization-for-a-Healthy-Planet.pdf>

CARVALHO JUNIOR, Waldir de. Os solos tropicais e sua distribuição: uma visão segundo dados de livre acesso. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v.8, n.8, p. 54835-54848, aug., 2022. DOI:10.34117/bjdv8n8-009

CASTRO João Paulo Vilela et al. Eficiência Agronômica de Remineralizador do Solo de Micaxisto na Sucessão Milheto-Soja. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 14, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i14.35864>

CASTRO, João Paulo Vilela et al. Parâmetros fitotécnicos sobre as variáveis edáficas da cultura do milho (*Zea mays*) com o uso de remineralizadores a base de potássio (K+) em diferentes classes de solo. **Revista Contemporânea** [S.L.], v.4, n.1, 2024, p. 2432–2449, 4 jan. 2024. South Florida Publishing LLC. <http://dx.doi.org/10.56083/rcv4n1-137> <https://doi.org/10.56083/RCV4N1-137>

COLOMBI, Greta, Martani, Enrico, Fornara, Dario. Regenerative organic agriculture and soil ecosystem service delivery: A literature review. **Ecosystem Services**, Volume 73, June 2025. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2025.101721>

COSTA, A.R. **Nutrição Mineral em plantas vasculares**. Universidade de Evora, 2014. Disponível em <https://core.ac.uk/download/pdf/62463519.pdf> Acesso 02.jun.2024

CUNHA, Marcelo Könsgen, Gonsalves Neto, João. **Efeito do emprego de fonte alternativa de potássio na produtividade de pastagem**. Palmas, TO: Embrapa Pesca e Aquicultura, 2015. Disponível em <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1029860/1/CNPASAbpd9.pdf>

DALACORTE, Luana et al. Componentes da acidez do solo e produção de pastagem em campo nativo submetido à aplicação de pó-de-basalto hidrotermalizado. **XXXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**, Natal: RN, agosto/2015.

DALMORA, Adilson Celimar et al. Application of andesite rock as a clen source of fertilizer for Eucalyptus crop: Evidence of sustentability. **Journal of Cleaner Production**, n 256, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120432>

DEMATTE, José Luiz Ioriatti; DEMATTE, José Alexandre Melo. **Manejo e sustentabilidade agrícola de solos do Brasil: fundamentos [recurso eletrônico]**- Piracicaba :LSO-ESALQ, 2024, 651 p.

FAO. **Soils for nutrition: state of the art**. Rome: Italy. 2022. <https://doi.org/10.4060/cc0900en>

FAO. **Diretrizes Voluntárias para a Gestão Sustentável dos Solos**. Roma. 2019. Disponível em <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/e80570be-2c2b-4afc-9ec2-9583c2ffc0ef/content>. Acesso 20.ago.2024

FAO. **The future of food and agriculture: Trends and challenges**. Rome. 2017. <https://www.fao.org/3/a-i6583e.pdf>

FAQUIN, Valdemar. **Nutrição Mineral de Plantas**. Lavras: UFLA / FAEPE, 2005. Disponível em https://dcs.ufla.br/images/imagens_dcs/pdf/Prof_Faquin/Nutricao%20mineral%20de%20plantas.pdf. Acesso 20.jan.2026

FERREIRA, Diego; Souza Jr, José Ronaldo de C. Carta de Conjuntura: Comércio exterior do agronegócio em 2023. **IPEA-Ipea - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada**, número 62, Nota de Conjuntura 6- 1 ° Trimestre de 2024. Disponível em https://www.ipea.gov.br/cartadeconjuntura/wp-content/uploads/2024/01/240123_cc_62_nota_6_comercio_exterior_do_agronegocio.pdf. Acesso 28.ag.2024

HANISCH Ana Lúcia, Cantu, Rafael Ricardo, Justen, Juliane Garcia Knapik, Gonçalves, Guilherme Luis Scaramella. Potencial do pó de basalto como remineralizador de solo em sistemas de produção de hortaliças. **Agropecuária Catarinense**, Florianópolis, v.37, n.1, 2024. <https://doi.org/10.52945/rac.v37i1.1788>

KESSTRA, S. D., Bouma, J., Wallinga, J., Tiltonell, P., Smith, P., Cerdà, A., Montanarella, L., Quinton, J. N., Pachepsky, Y., van der Putten, W. H., Bardgett, R. D., Moolenaar, S., Mol, G., Jansen, B., and Fresco, L. O.: The significance of soils and soil science towards realization of the United Nations Sustainable Development Goals, **SOIL**, n. 2, 111–128, <https://doi.org/10.5194/soil-2-111-2016>, 2016.

KUHN, Tiago Rafael, Seidel, Edleusa Pereira, Stein, Jandrei Matheus, Ribeiro, Luane Laíse Oliveira, Sustakowisk, Monica Carolina. Atributos químicos do solo após aplicação de pó de rocha basáltica associado a plantas de cobertura no cultivo do feijão em sucessão. **DELOS: Desarrollo Local Sostenible**, Curitiba, v.16, n.49. DOI: 10.55905/rdelosv16.n49-013

LEPSCH, Igo F. **Formação e conservação dos solos**. [s.l.]. São Paulo: Oficina de Textos, 2013

LUCHESI, Augusto Vaghetti et al. Use of quarry waste basalt rock powder as a soil remineralizer to grow soybean and maize. **Heliyon** n.9, 2023.

<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14050>

MARTINS, Éder de Souza, Martins, Eduardo de Souza, Hardoim, Pablo Rodrigo. Princípios geoquímicos, mineralógicos e biológicos do manejo

de remineralizadores de solos. **Informe Agropecuário: Remineralizadores e fertilidade do solo**. Belo Horizonte. v. 44 n. 321, p 26-39, 2023. Disponível em <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/doc/1156814/1/Eder-efeito-da-aplicacao-dos-remineralizadores-no-solo.pdf>

MARTINS, Eduardo de Souza, Hardoim, Pablo Rodrigo, Martins, Éder de Souza. Efeito da aplicação dos remineralizadores no solo. **Informe Agropecuário: Remineralizadores e fertilidade do solo**. Belo Horizonte v. 44, n. 321, p. 49-56, 2023a. Disponível em <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/doc/1156814/1/Eder-efeito-da-aplicacao-dos-remineralizadores-no-solo.pdf>

MOREIRA, Diulie Talita. Remineralize a terra. In: BAMBERG, Adilson Luis et al (editores). **III Congresso Brasileiro de Rochagem** (Anais). Pelotas: Embrapa Clima Temperado; Brasília: Embrapa Cerrados; Assis: Triunfal Gráfica e Editora, 2016. Disponível em <https://www.embrapa.br/documents/1354346/26325871/Livro+Congresso+de+rochagem+Formato+Web.pdf>

NEWTON, Peter, Nicole Civita, Lee Frankel-Goldwater, Katharine Bartel and Colleen Johns. What Is Regenerative Agriculture? A Review of Scholar and Practitioner Definitions Based on Processes and Outcomes. **Front. Sustain. Food Syst.** 4:577723. doi: 10.3389/fsufs.2020.577723

OMER, E., Szlatenyi, D., Csenki, S., Alrwashdeh, J., Czako, I., & Láng, V. Farming Practice Variability and Its Implications for Soil Health in Agriculture: A Review. **Agriculture**, v. 14 n. 12 2114. 2024 <https://doi.org/10.3390/agriculture14122114>

PALMA, Hugo Hernández, Granados, Anderson Isaías Nieto, Neckel, Alcindo, Osorio, Diana Pinto, Rios Andrea Liliana Moreno, Ramos, Claudete Gindri. Valorization of mineral by-products through soil remineralization enhances sustainable agriculture and circular economy outcomes. **Discover Sustainability** N. 6:1134, 2025. <https://doi.org/10.1007/s43621-025-01804-7>

PEREIRA, Thiago T. C. et al. Mineralogia dos solos tropicais: estado da arte e relação com uso e manejo. **Geonomos**, n.28 v.1, p. 1-14, 2020. <https://doi.org/10.18285/geonomos.v28i1>

RODRIGUES, T. T. M. S., Rodrigues, A. C. P. S., & Rodrigues, P. G. M. (2025). Soil remineralizer as a replacement for chemical fertilization in industrial tomato cultivation. **REVISTA DELOS**, 18(64), e3904. <https://doi.org/10.55905/rdelosv18.n64-010>

RODRIGUES, Letícia Nayara Fuzzaro et al. .Use of Soil Remineralizer to Replace Conventional Fertilizers: Effects on Soil Fertility, Enzymatic Parameters, and Soybean and Sorghum Productivity. **Agriculture**, v.14, n. 12, 2153, 2024. <https://doi.org/10.3390/agriculture14122153>

RONQUIM, Carlos Cesar. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais** .2ª edição. Campinas: Embrapa Territorial, dez.2020. 34 p.: il.; (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 35/ Embrapa Territorial, 2021. Disponível em <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1128267/1/5840.pdf>. Acesso 02. jul.2024

SILVA, Rafael Cipriano da, Cury et al. Chemical attributes of a remineralized Oxisol. **SOIL SCIENCE: Cienc. Rural** , n47, v. 11, Nov 2017 • <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20160982>

SILVA, Cicero José da et al. BRS platinum banana trees grown with macaxisto rock poder. Capítulo 29 in: **UNITING KNOWLEDGE INTEGRATED SCIENTIFIC RESEARCH FOR GLOBAL DEVELOPMENT**, jul/2023. Seven Publ.<https://doi.org/10.56238/uniknowindevolp-029>

SILVA, R.C. da; FERREIRA, E.P.; AZEVEDO, A.C. de. Weathering features of a remineralizer in soil under different land uses. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.56, e01442, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2021.v56.01442>.

SOUZA, WESLEY DOS SANTOS. **Uso da Rochagem para remineralização de solos de baixa fertilidade**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal do Ceará, 2019

TAN, Z. X; LAL, R.; WIEBE, K. D. Global Soil Nutrient Depletion and Yield Reduction. **Journal of Sustainable Agriculture**, v. 26, n. 1. 2005. Doi: 10.1300/J064v26n01_10

THEODORO, Suzi Huff; SANDER, Andréa; BURBANO, Diego Felipe Mosquera; ALMEIDA, Gustavo Rosa. Rochas basálticas para rejuvenescer solos intemperizados. **Revista Liberato**, [S.L.], p. 45-58, 30 jun. 2021. Revista Liberato. <http://dx.doi.org/10.31514/rliberato.2021v22n37.p45>.

THEODORO, Suzi Huff. **Cartilha da Rochagem**. 2ª ed. Gráfica e Editora Ideal: Brasília, 2020. Disponível em https://institutobrasilorganico.org/wp-content/uploads/2020/10/CARTILHA-ROCHAGEM-2a-ED_FINAL.pdf

THEODORO, Suzi Huff., LEONARDOS, Othon H., ROCHA, Eduardo, MACEDO, Iris, REGO, Kleysson G., Stonemeal of amazon soils with sediments from reservoirs: a case study of remineralization of the tucuruí degraded land for agroforest reclamation. **An. Braz. Acad. Soil Sci.** 85, 23–34, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0001-37652013000100003>

THEODORO, Suzi Huff.; ALMEIDA, E. Agrominerais e a construção da soberania em insumos agrícolas no Brasil. **Agriculturas** v. 10 - n. 1, 2013.

TOSCANI, Rafael Gomes da Silveira, CAMPOS José Elói Guimarães. Uso de pó de basalto e rocha fosfatada como remineralizadores em solo altamente intemperizados. **Geociências**, v. 36, n. 2, p. 259 – 274, 2017. Disponível em https://www.revistageociencias.com.br/geociencias-arquivos/36/volume36_2_files/36-2-artigo-05.pdf

VAN STRAATEN, Peter. Distribution of agromineral resources in space and time – a global geological perspective. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.57, e01453, 2022. doi: <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2022.v57.01453>.

VAN STRAATEN, Peter. **Agrogeology: the use of rocks for crops**. Enviroquest Ltd.:Ontário, Canadá. 2007. Disponível em <https://www.sgb.gov.br/remineralizadores/media/agrogeologymaster.pdf>

VERMUNT, D, Wojtynia, N., Hekkert, M.P., Van Dijk J., Verburg, R., Verweij, P.A., Wassen, M., Runhaar, H. Five mechanisms blocking the transition towards 'nature-inclusive' agriculture: A systemic analysis of Dutch dairy farming. **Agricultural Systems**, N.195, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103280>

VIANA, Lilian Sofia de Barros, Caitano, Thamires Beatriz dos Santos, Pontes, Altem Nascimento. A remineralização de solos como iniciativa ao desenvolvimento sustentável. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 14,2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i14.21516>