

**EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DE FONTE ALTERNATIVA DE BORO A
PARTIR DE SUBPRODUTO DE ROCHAS ORNAMENTAIS**

**AGRONOMIC EFFICIENCY OF AN ALTERNATIVE SOURCE OF BORON
FROM ORNAMENTAL STONES BY-PRODUCTS**

Gabriel Souza Campo

Aluno de Graduação em Agronomia, 3º período
Universidade Federal do Espírito Santo – UFES
Período PIBIC ou PIBITI/CETEM: dezembro de 2024 a agosto de 2025
gabriel.s.campos@edu.ufes

Leonardo Luiz Lyrio da Silveira

Orientador, Geólogo, D.Sc.
leolysil@cetem.gov.br

Guilherme de Resende Camara

Coorientador, Engenheiro Agrônomo, D.Sc.
gcamara@cetem.gov.br

RESUMO

O Brasil destaca-se mundialmente tanto na produção e exportação de rochas ornamentais quanto na agricultura. No entanto, a agricultura brasileira ainda depende, em grande parte, da importação de fertilizantes, o que a torna vulnerável à volatilidade do mercado internacional. Considerando que o país é o quinto maior produtor e exportador de rochas ornamentais do mundo, o aproveitamento dos resíduos gerados por essa cadeia produtiva se alinha aos princípios da economia circular, oferecendo uma alternativa promissora para a fertilização agrícola. Essa estratégia pode contribuir para a soberania nacional no setor agrícola e para o desenvolvimento econômico sustentável. Contudo, a baixa disponibilidade dos nutrientes presentes nesses materiais para as plantas ainda representa um desafio para sua aplicação no campo. Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo realizar um levantamento bibliográfico sobre o potencial de uso, após tratamentos adequados, de minerais silicáticos residuais da produção de rochas ornamentais contendo boro em sua composição química como fontes alternativas de insumo agrícola, por meio da técnica da rochagem.

Palavras-chave: Economia circular, grominerais, fertilizantes agrícolas, boro na agricultura.

ABSTRACT

Brazil stands out globally in both the production and export of ornamental stones and in agriculture. However, Brazilian agriculture still depends largely on fertilizer imports, which makes it vulnerable to the volatility of the international market. Considering that the country is the fifth largest producer and exporter of ornamental rocks in the world, the use of waste generated by this production chain is in line with the principles of the circular economy, offering a promising alternative for agricultural fertilization. This strategy can contribute to national sovereignty in the agricultural sector and sustainable economic development. However, the low availability of nutrients present in these materials for plants still represents a challenge for their application in the field. In this context, the present work aims to conduct a bibliographic survey on the potential use, after appropriate treatments, of residual silicate minerals from the production of ornamental rocks containing boron in their chemical composition as alternative sources of agricultural inputs, using the rocking technique.

Keywords: Circular economy, agrominerals, agricultural fertilizers, boron in agriculture.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil, quarto maior produtor de alimentos do mundo com representatividade de 20% do Produto Interno Bruto é uma potência do agronegócio (PIB) (IBGE, 2020; CNA, 2021). Considerando a tendência mundial de crescimento do consumo de alimentos em cerca de 6% ao ano, para que a produção agrícola nacional possa acompanhar a demanda, será necessário o aumento da produção e da produtividade das safras, as quais estão diretamente relacionadas à fertilidade do sistema solo-planta. Entretanto, no sistema convencional de cultivo, torna-se necessária a importação de fertilizantes solúveis, que hoje correspondem a aproximadamente 80% do quantitativo necessário anual nacional, decorrendo em custos de produção elevados, perda de competitividade e vulnerabilidade diante de outros países (SANTOS; GLASS, 2018; GLOBALFERT, 2021).

A dependência do sistema de produção agrícola nacional pode ser exemplificada a partir das limitações de envio de fertilizantes da Rússia para o Brasil, em consequência indireta aos conflitos diplomáticos estabelecidos entre Rússia e Ucrânia nos últimos anos. De acordo com o Ministério da Economia brasileiro (COMEXSTAT, 2022), cerca de 23% dos fertilizantes químicos importados pelo Brasil em 2021 vieram da Rússia. Se somado à dependência de fertilizantes advindos de Belarus, sétimo maior exportador de fertilizantes ao Brasil e aliado da Rússia, o grau de dependência nacional sobe para 26%. Desta forma, a busca por fontes alternativas adquire grande importância para o futuro da produção agrícola brasileira (BRITO et al., 2019).

Sendo o Brasil o quinto maior produtor e exportador de rochas ornamentais do mundo (ABIROCHAS, 2021a;b), o uso dos resíduos gerados nesta cadeia produtiva, estimados nacionalmente em 18,0 milhões de toneladas no ano de 2019 (ABIROCHAS, 2020), vai ao encontro da Economia Circular e pode, no que tange à inovação de produtos, proporcionar o desenvolvimento econômico mais sustentável e competitivo para as indústrias do setor de mineração concomitantemente ao fornecimento de fontes alternativas de fertilização agrícola (CAMARA et al., 2021).

Desta forma, o uso dos resíduos gerados na cadeia produtiva de rochas ornamentais pode contribuir com a melhoria da fertilidade do sistema solo-planta, sem afetar o equilíbrio ambiental (OLIVEIRA; QUEIRÓZ; RIBEIRO, 2010). Contudo, a baixa solubilidade dos nutrientes que compõem as rochas é, atualmente, uma das principais barreiras para a sua efetiva utilização em campo (CAMARA et al., 2021).

Diante deste cenário, estudos que preconizam uma maior e mais rápida solubilização dos nutrientes presentes nas rochas, a partir de tratamentos físicos, químicos e/ou biológicos, sem que haja aumento significativo nos custos para sua utilização, tornam-se necessários para que a cadeia produtiva de rochas ornamentais possa se tornar mais sustentável, assim como o agronegócio brasileiro menos dependente de insumos externos. O objetivo deste trabalho será uma revisão bibliográfica sobre subprodutos de rochas ornamentais como fonte de Boro no sistema solo-planta.

2. OBJETIVO

O objetivo com este trabalho foi realizar uma revisão bibliográfica sobre potencialidade da utilização de minerais silicáticos que contém Boro em sua composição química como fonte alternativa de insumo agrícola via rochagem, com o intuito de fornecer embasamento teórico para o desenvolvimento de novas pesquisas.

3. METODOLOGIA

Este trabalho consiste em uma revisão bibliográfica, cujo objetivo é identificar, reunir e analisar publicações científicas que tratam do aproveitamento de rochas e resíduos de rochas ornamentais ricas em Boro, como fonte alternativa de insumo agrícola via rochagem.

Foram considerados estudos publicados nos últimos anos, com foco em abordagens que promovam o aproveitamento de rochas e resíduos de rochas como matéria-prima no fornecimento de Boro ao sistema solo-planta. Além da identificação dos materiais utilizados, também foram analisadas as metodologias aplicadas e os principais resultados alcançados. A revisão visa, ainda, apresentar os avanços tecnológicos e as limitações existentes, contribuindo para o aperfeiçoamento da técnica.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A rochagem, embora não seja uma prática recente, tem despertado crescente interesse nas últimas décadas. Pesquisas nessa área remontam à década de 1950, quando autores como Theodoro (2006) já apontavam sua capacidade de melhorar as propriedades do solo. No entanto, seu uso permaneceu limitado devido à ampla adoção de fertilizantes solúveis, fortemente impulsionados pelas grandes indústrias do setor. Atualmente, observa-se um renovado interesse pela rochagem, impulsionado por fatores como a busca por fontes alternativas de nutrientes, a necessidade de aproveitamento dos resíduos gerados pela mineração e o avanço de sistemas agrícolas baseados em princípios agroecológicos (CARVALHO, 2013).

Com exceção do nitrogênio, todos os demais nutrientes essenciais ao desenvolvimento vegetal têm origem mineral. Mesmo os sistemas de agricultura orgânica ou agroecológica dependem da adição de minerais, especialmente fósforo (P) e potássio (K). No entanto, sob condições climáticas comuns, os processos naturais de intemperismo físico e químico não são suficientemente rápidos para liberar, em tempo hábil, os nutrientes contidos nas rochas e minerais, de forma a atender às altas exigências de produtividade do setor agrícola moderno. Diante disso, diversas pesquisas têm sido conduzidas com o objetivo de transformar rochas e minerais em fontes viáveis de fertilização, contribuindo para o desenvolvimento de alternativas sustentáveis aos fertilizantes convencionais (LUZ et al., 2010).

Os pós de rochas silicáticas, por exemplo, destacam-se como fontes multinutrientes de liberação lenta (HARLEY; GILKES, 2000). Por essa razão, tendem a apresentar efeitos menos imediatos no curto prazo, sendo mais indicados para culturas perenes e para solos altamente deficientes em nutrientes, em comparação aos fertilizantes solúveis. Isso se deve à natureza mineralógica desses materiais: os nutrientes encontram-se incorporados na estrutura cristalina dos minerais, e sua liberação ocorre por meio de reações de intemperismo químico (HARLEY; GILKES, 2000). A velocidade desse intemperismo depende de diversos fatores, como a composição mineralógica da rocha, a granulometria do pó, o tamanho, grau de alteração e qualidade dos cristais, a intensidade da remoção dos produtos solúveis e as condições químicas do solo onde o material é aplicado (FORMOSO, 2006; MARTINS et al., 2010).

Entre os diversos resíduos gerados pela cadeia produtiva de rochas ornamentais, destacam-se aqueles ricos em minerais borossilicatados, como a turmalina, que apresentam potencial como fonte alternativa de boro (B) para uso agrícola. O boro é um micronutriente essencial para as plantas, participando de funções estruturais e fisiológicas cruciais, como a integridade da parede celular, a divisão celular, a germinação do grão de pólen e o desenvolvimento de frutos e sementes. Contudo, sua disponibilidade no solo é limitada, especialmente em solos tropicais intemperizados, sendo frequentemente necessária sua suplementação (CARVALHO, 2013; SHIREEN et al., 2018).

A turmalina, presente em diversos tipos de rochas ornamentais – notadamente granitos e sienitos –, pode conter entre 3% e 4% de boro em sua composição química, tornando-se uma fonte mineral relevante desse elemento. No entanto, por estar incorporado na estrutura cristalina desses minerais, o boro é liberado de forma lenta e gradual, por meio de processos de intemperismo químico. Essa característica, embora represente um desafio para a disponibilidade imediata do nutriente, pode ser vantajosa em sistemas agrícolas sustentáveis, promovendo um fornecimento contínuo e de menor risco de lixiviação.

O aproveitamento dos subprodutos da lavra e do beneficiamento de rochas ornamentais como fonte de boro via rochagem apresenta-se como uma estratégia promissora, especialmente no contexto da economia circular. Além de reduzir a dependência de fontes comerciais e importadas de fertilizantes boratados, essa abordagem contribui para o reaproveitamento de resíduos minerais, agregando valor a materiais antes descartados. Estudos recentes vêm demonstrando o potencial agrônomo desses materiais após tratamentos de moagem e ativação físico-química, evidenciando seu papel como alternativa viável e sustentável para o fornecimento de boro na agricultura.

5. CONCLUSÕES

Visto toda a relevância que o boro possui para as plantas, a utilização de subprodutos da cadeia produtiva de rochas ornamentais como fonte alternativa de boro representa uma estratégia promissora para promover a sustentabilidade na agricultura e a valorização de resíduos minerais. A presença de minerais borossilicatados, como a turmalina, confere a esses materiais potencial agrônomo, especialmente em sistemas que demandam liberação gradual de nutrientes. No entanto, a baixa solubilidade e a lenta taxa de liberação do boro exigem avanços no conhecimento sobre sua disponibilidade em condições edafoclimáticas específicas, bem como o desenvolvimento de tratamentos físico-químicos que aumentem sua eficiência agrônoma. Investimentos em pesquisa e validações em campo são fundamentais para viabilizar o uso desses materiais como remineralizadores, contribuindo para a segurança nutricional das culturas, a redução da dependência de insumos importados e a consolidação de práticas alinhadas à economia circular e à agricultura de base sustentável.

6. AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, ao meu orientador, Leonardo Lyrio, e ao meu coorientador, Guilherme Camara.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIROCHAS, 2020. Balanço das exportações e importações brasileiras de rochas ornamentais em 2019, 1a ed. Brasília: Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais.

ABIROCHAS, 2021a. O setor de rochas ornamentais 2021, 1a ed. Brasília: Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais.

ABIROCHAS, 2021b. Balanço das exportações e importações brasileiras de rochas ornamentais no período janeiro-outubro de 2021 - Informe 07/2021, 1a ed. Brasília: Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais.

BRITO, R.S., BATISTA, J.F., MOREIRA, J.G.V., MORAES, K.N.O., SILVA, S.O., 2019. Rochagem na agricultura: importância e vantagens para adubação suplementar. *South American Journal of Basic Education, Technical and Technological*, v., n.1, p.528-540.

CAMARA, G.R., FAITANIN, B.X., SILVEIRA, L.L.L., CHIODI FILHO, C., SANTOS, E.S., 2021. Utilização de rochas ornamentais ricas em minerais potássicos como fonte alternativa de insumo agrícola via rochagem – Parte I. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI.

CARVALHO, A.M.X. Rochagem: um novo desafio para o manejo sustentável da fertilidade do solo. *Sustentabilidade e inovações no campo*, p. 117, 2013.

CNA, 2021. PIB do agronegócio alcança participação de 26,6% no PIB brasileiro em 2020. Brasília: Confederation of Agriculture and Livestock of Brazil. Available in: <https://www.cnabrazil.org.br/assets/arquivos/boletins/sut.pib_dez_2020.9mar2021.pdf>. Accessed 11 March 2022.

- COMEXSTAT, 2022. Foreign Trade Statistics System. Ministry of Economy – Brazil.
- FORMOSO, M.L.L. Some topics on geochemistry of weathering: a review. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 78: 809-820, 2006.
- GLOBALFERT, 2021. Outlook GlobalFert 2021: 2º reporte anual do mercado de fertilizantes – 2021. Brasília: GlobalFert.
- HARLEY, A. D.; GILKES, R. J. Factors influencing the release of plant nutrient elements from silicate rock powders: a geochemical overview. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 56: 11-36, 2000.
- IBGE, 2020. Levantamento sistemático da produção agrícola: dezembro 2019. Brasília: Brazilian Institute of Geography and Statistics.
- LUZ, A.B.; LAPIDO-LOUREIRO, F.E.; SAMPAIO, J.A.; CASTILHOS, Z.C.; BEZERRA, M.S. Rochas, minerais e rotas tecnológicas para a produção de fertilizantes alternativos. In: Fernandes, F.R.C.; Luz, A.B.; Castilhos, Z.C. (ed.). *Agrominerais para o Brasil*. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010.
- OLIVEIRA, C.N., QUEIRÓZ, J.P.C., RIBEIRO, R.C.C., 2010. Efeito da fertilização do solo com resíduos de rochas ornamentais na qualidade do biodiesel extraído. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI.
- SANTOS, M., GLASS, V., 2018. Atlas do agronegócio: fatos e números sobre as corporações que controlam o que comemos. Rio de Janeiro: Fundação Heinrich Böll.
- SHIREEN, F., NAWAZ, M. A., CHEN, C., ZHANG, Q., ZHENG, Z., SOHAIL, H., & SUN, G. *Boron: Functions and Approaches to Enhance Its Availability in Plants for Sustainable Agriculture*. *International Journal of Molecular Sciences*, 19(7), 2018.
- THEODORO, S.H. et al. Experiências de uso de rochas silicáticas como fonte de nutrientes. *Revista Espaço e Geografia*, v. 9, n. 2, 2006.