

**Utilização de rochas ornamentais ricas em minerais potássicos como fonte
alternativa de insumo agrícola via rochagem**
**Use of ornamental stones rich in potassium minerals as an alternative source
of agricultural input using rock dust**

Guilherme De Resende Camara
Bolsista PCI, Eng. Agrônomo, D.Sc.

Leonardo Luiz Lyrio da Silveira
Supervisor, Geólogo, D. Sc.

Resumo

O uso dos estéreis e rejeitos gerados na cadeia produtiva de rochas ornamentais vai de encontro a Economia Circular e aos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável da ONU e, no que tange à inovação de produtos, ainda há poucas soluções de uso que proporcionem um desenvolvimento econômico sustentável e competitivo para as indústrias do setor. Com esta pesquisa objetivou-se analisar o potencial de uso de estéreis de diferentes tipos de rochas ornamentais como remineralizadores de solos, os quais incluem três sienitos, um álcali-granito, um varvito, um Gabro e um Charnockito. Os resultados obtidos na etapa de caracterização, incubação e casa de vegetação, inerentes à Instrução Normativa Brasileira Nº 05/2016, do Ministério da Agricultura e Pecuária, evidenciaram o potencial agrônomo desses estéreis como remineralizadores de solos, possibilitando a solicitação e obtenção de registro de novo produto remineralizador junto ao órgão fiscalizador, atendendo, assim, as atuais demandas do setor mineral e do agronegócio, sendo uma alternativa viável a mitigação da dependência nacional por fertilizantes externos, o que proporciona diretamente uma maior segurança alimentar mundial.

Palavras-chave: Agrominerais; Pó de Rocha; Economia Circular; Sustentabilidade; Resíduos.

Abstract

The use of tailings and waste generated in the ornamental stone production chain is in line with the Circular Economy and the UN Sustainable Development Goals and, as far as product innovation is concerned, there are still few solutions for use that provide sustainable and competitive economic development for the industries in the sector. This research aimed to analyze the potential for using tailings from different types of ornamental rocks as soil remineralizers, including three syenites, an alkali-granite, a varvite, a gabbro and a charnockite. The results obtained in the characterization, incubation and vegetation house stages, which are inherent to Brazilian Normative Instruction No. 05/2016 of the Ministry of Agriculture and Livestock, showed the agronomic potential of these tailings as soil remineralizers, making it possible to apply for and obtain registration of a new remineralizing product with the supervisory body, thus meeting the current demands of the mineral sector and agribusiness, being a viable alternative to mitigate national dependence on foreign fertilizers, which directly provides greater global food security.

Key words: Agrominerals; Rock Powder; Circular Economy, Sustainability; Waste.

1. Introdução.

A indústria das rochas ornamentais brasileiras possui destaque no cenário produtivo mundial. As exportações nacionais ultrapassaram a marca de US\$ 1 bilhão em 2022, sendo o país o quinto maior produtor e exportador de rochas ornamentais do mundo (APEXBRASIL, 2023; CENTROROCHAS, 2023).

Atrelado ao potencial nacional de produção de rochas ornamentais e consequente montante de estéreis e rejeitos gerados no processo produtivo, popularmente denominados de resíduos, estima-se crescimento do consumo de alimentos em cerca de 6% ao ano. Para que produção agrícola nacional acompanhe esta demanda, torna-se necessário o aumento da produção e da produtividade das safras, as quais estão intimamente relacionadas a fertilidade dos solos (SANTOS; GLASS, 2018; GLOBALFERT, 2021).

Diante deste cenário, estudos que preconizam a obtenção de formas alternativas de fertilização dos solos a partir do uso dos estéreis e rejeitos gerados na cadeia produtiva de rochas ornamentais, sem que haja aumento significativo nos custos para sua utilização, torna-se necessário para que esta cadeia produtiva possa se tornar mais sustentável, assim como o agronegócio brasileiro menos dependente por insumos externos.

2. Objetivos.

Considerando a hipótese de que os materiais em estudo possuem o potencial de uso como remineralizador de solos, o objetivo com este trabalho foi analisar o potencial de uso agrônômico dos estéreis de rochas ornamentais oriundos de três sienitos, um álcali-granito, um varvito, um gabro e um charnockito, em consonância ao previsto na Instrução Normativa Nº 05/2016, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA (BRASIL, 2016).

3. Material e Métodos.

As rochas selecionadas para este estudo incluem três sienitos (S1, S2 e S3), um álcali-granito (AG), um varvito (VAR), um gabro (GAB) e um charnockito (CKTO), sendo coletados a partir de estéreis (gerados em pedreiras ou serrarias, como blocos fora do padrão, fragmentos de rochas, casqueiros, testemunhos de sondagem etc.).

Em conformidade com a legislação brasileira vigente, para estudos na área de remineralizadores de solos (agrominerais/rochagem), e de acordo com as experiências já obtidas pelo Centro de Tecnologia Mineral, recomenda-se pesquisas em ao menos três diferentes fases de execução, sendo: Laboratorial (Fase I), Protocolo Agrônômico I (Fase II) e Protocolo Agrônômico II (Fase III).

3.1. Fase I – laboratorial.

A fase laboratorial consistiu na caracterização química e mineralógica das amostras (análise petrográfica; cominuição; homogeneização; peneiramento; quarteamento; ajuste e classificação granulométrica; determinação da composição química por Fluorescência de Raios X – FRX; determinação da composição mineralógica por Difração de Raios X – DRX; quantificação do teor de dióxido de silício (SiO₂ – sílica livre) das amostras pelo método de Rietveld, teste de solubilização para análise de Elementos Potencialmente Tóxicos (EPT) e determinação do potencial hidrogeniônico (pH).

A caracterização física foi determinada em um granulômetro a laser, modelo Mastersize Hydro 2000SM, da empresa Malvern Instruments.

A determinação da composição química foi realizada utilizando um espectrômetro de Fluorescência de Raios X (FRX), modelo S2 Ranger da marca Bruker. Foi determinada também a perda ao fogo de cada amostra, em forno mufla, marca INTI, modelo FL1300/20.

A análise do potencial hidrogeniônico (pH) foi realizada conforme metodologia proposta pelo MAPA (BRASIL, 2017), com auxílio de um agitador magnético Quimis (modelo Q5261) e um pHmetro Marte (modelo MB 100).

A determinação da composição mineralógica das amostras foi realizada via Difração de Raios X (DRX), utilizando um Difratorômetro Modelo D8 Advance Eco da Bruker-AXS. A interpretação qualitativa de espectro foi efetuada por comparação com padrões contidos no banco de dados relacional PDF 4+ (ICDD, 2020) em software Bruker Diffrac.EVA.

Objetivando quantificar o teor de sílica livre (dióxido de silício – SiO₂) nas amostras submetidas à análise por DRX, foi aplicado o método de Rietveld (Rietveld, 1969).

O teste de solubilização dos metais Arsênio (As), Cádmio (Cd), Mercúrio (Hg) e Chumbo (Pb), foi realizado seguindo a metodologia descrita na norma ABNT NBR 10006:2004 (ABNT, 2004). A quantificação dos extratos foi realizada em espectrômetro de emissão óptica por plasma acoplado indutivamente (ICP-OES).

3.2. Fase II – Protocolo Agrônomo I: teste de incubação.

Para cada estéril (rocha) analisado, foram testadas 5 diferentes dosagens do pó de rocha (0.00 gramas, 8.00 gramas, 40.00 gramas, 80.00 gramas e 160.00 gramas, o que corresponde ao volume de aplicação de zero, 1.00, 5.00, 10.00 e 20.00 toneladas por hectare, respectivamente, aqui denominadas de D0, D1, D2, D3 e D4), em dois solos distintos e característicos da região (S1: Argiloso e S2: Arenoso), em 3 repetições.

Cada tratamento é composto por um vaso plástico contendo 20 kg de solo. A umidade do solo de cada tratamento foi mantida em 80% da capacidade de campo. Em todos os vasos foi mantido uma pequena abertura nas sacolas plásticas para a troca de gases com o meio.

De cada tratamento foram retirados 300 g de solo, em três repetições, a cada 30 dias, durante 120 dias, totalizando 5 épocas de avaliação (0, 30, 60, 90 e 120 dias após a aplicação, aqui denominadas de EA0, EA30, EA60, EA90 e EA120).

Nesta etapa, para cada época de avaliação, foram realizadas análises do solo compostas por: análise de rotina (teores de Cálcio, Magnésio, Alumínio trocáveis, Fósforo e Potássio disponíveis, Acidez total, potencial hidrogeniônico, saturação por bases, saturação por Alumínio, soma de bases trocáveis e capacidade de troca catiônica a pH 7,0); análise de micronutrientes (Ferro, Cobre, Zinco, Manganês e Boro) e análise de fósforo remanescente (Prem). As análises do solo foram realizadas pelo Laboratório de Solos da Universidade Federal do Espírito Santo, campus Alegre, credenciado e certificado junto a Embrapa Solos, provedora do Programa de Análise de Qualidade de Laboratórios de Fertilidade – PAQLF. Desta forma, ao final do período de incubação, foi

possível compreender a reatividade do material, ou seja, se o mesmo libera nutrientes ao sistema solo-planta e (ou) se altera, positivamente, variáveis de importância do solo.

3.3. Fase III – Protocolo Agrônomo II: teste em ambiente controlado (casa de vegetação).

Para cada estéril (rocha) analisado, 5 diferentes doses do potencial remineralizador (0.00 t/ha (D0), 5.00 t/ha (D1), 10.00 t/ha (D2), 20.00 t/ha (D3) e 40.00 t/ha (D4)), foram testados, por dois ciclos vegetativos (C1 e C2), em dois solos distintos (argiloso (S1) e arenoso (S2)) e em duas culturas (Milho e Quiabo). Um tratamento adicional foi testado (D5), referente a adubação convencional realizada para a cultura analisada, totalizando 6 tratamentos, em 4 repetições. O potencial remineralizador foi testado na granulometria PÓ. Cada tratamento foi composto por um vaso plástico contendo 20 kg de solo, peneirado e homogeneizado

A umidade do solo de cada tratamento foi mantida em 80% da capacidade de campo. Os tratos culturais seguiram o recomendado para a cultura. O teor de K_2O e a adubação convencional foram calculados seguindo o disposto no Manual de Recomendação de Calagem e Adubação para o Estado do Espírito Santo (PREZOTTI et al., 2007).

Os ensaios tiveram duração de 50 dias após a germinação (DAG). Aos 25 e 50 DAG foram analisados a altura e o diâmetro das plantas e, ao final do experimento, a massa fresca e seca da parte aérea das plantas (MFPA e MSPA, respectivamente), além da produção quando os testes realizados em quiabo.

Para a obtenção da MSPA, a parte aérea das plantas foram acondicionadas individualmente em sacolas de papel e dispostas em estufa de circulação de ar a $65 \pm 3^\circ C$ por 48h, com posterior pesagem em balança de precisão.

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância. Quando significativos, foi realizado o teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro com auxílio do software R, versão 4.1.2 (R CORE TEAM, 2021).

4. Resultados e Discussão.

Para fins de avaliação do potencial dos diferentes estéreis de rochas estudados nesse trabalho para atuarem como remineralizadores de solos destinados à agricultura, os resultados foram analisados e comparados com as regras sobre definição, classificação, especificações, garantias e tolerâncias previstas na IN MAPA Nº 05/2016 (BRASIL, 2016).

4.1. Fase I – laboratorial.

Com relação a distribuição granulométrica, nos estéreis S1, S2, S3, AG e GAB, as frações predominantes são de areia fina e areia grossa, diferente dos estéreis VAR e CKTO, onde predomina a fração silte.

Todos os materiais estudados são compostos majoritariamente por Si, seguido pelo Al, os quais normalmente estão presentes na estrutura cristalina de minerais silicáticos. Em terceiro lugar, vem o Fe, Ca e K, seguidos pelo Mg e Na, também constituintes muito comuns dos minerais silicáticos presentes em rochas. Os demais elementos presentes podem ser considerados “traços” ou pouco significativos.

A soma de bases (SB), envolvendo os teores de CaO, MgO e K_2O , foram equivalentes a 14,38%, 9,31%, 17,03%, 12,62%, 9,45%, 16,50% e 9,00% e teor de K_2O equivalente a 7,97%, 5,16%, 8,15%, 6,65%, 3,47%, 2,00% e 4,38% respectivamente para S1, S2, S3, AG, VAR, GAB e CKTO atendendo as exigências previstas na IN MAPA

05/2016. Os estéreis apresentam natureza alcalina semelhante, com valores de pH variando entre 7,57 e 9,25, sendo o estéril GAB o de maior valor.

A composição mineralógica dos estéreis obtida por DRX e a porcentagem dos minerais calculada pelo método de *Rietveld* evidenciam que os minerais presentes em maiores concentrações são quartzo, albita, microclina, oligoclásio, muscovita, ortoclásio e augita, com frações menores dos demais. Para o teor de sílica livre, todos os estéreis, apresentaram valores inferiores a 25%, que é o valor máximo permitido pela IN MAPA N° 05/2016 (BRASIL, 2016). Os resultados obtidos na difração corroboram com os resultados obtidos na análise petrográfica.

Os resultados obtidos a partir da aplicação do teste de solubilidade de elementos nos estéreis estudados permitem considerá-los como inertes para os elementos As, Cd, Hg e Pb, corroborando com o previsto na legislação.

Todos os estéreis analisados nesta pesquisa corroboram com todos os parâmetros máximos e mínimos previsto para a etapa laboratorial, inerente a Instrução Normativa MAPA N° 05/2016, sendo então considerados potenciais remineralizadores de solos e, assim, sendo passível de continuidade nas pesquisas, mais especificamente as fases 2 e 3 (teste de incubação e em ambiente controlado, respectivamente).

4.2. Fase II – Protocolo Agrônomo I: teste de incubação.

Em virtude do elevado número de dados extraídos na presente pesquisa, será apresentado, a partir deste tópico, apenas os resultados obtidos para o estéril Varvito (VAR).

Durante os testes de incubação, foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos estudados, para as variáveis pH, P, K, Na, Ca, Mg, Fe, Zn, Mn, H+Al, SB, t, T e V. Os principais resultados obtidos com relação ao potencial agrônomo do estéril estão ilustrados a seguir (Figuras 1 e 2).

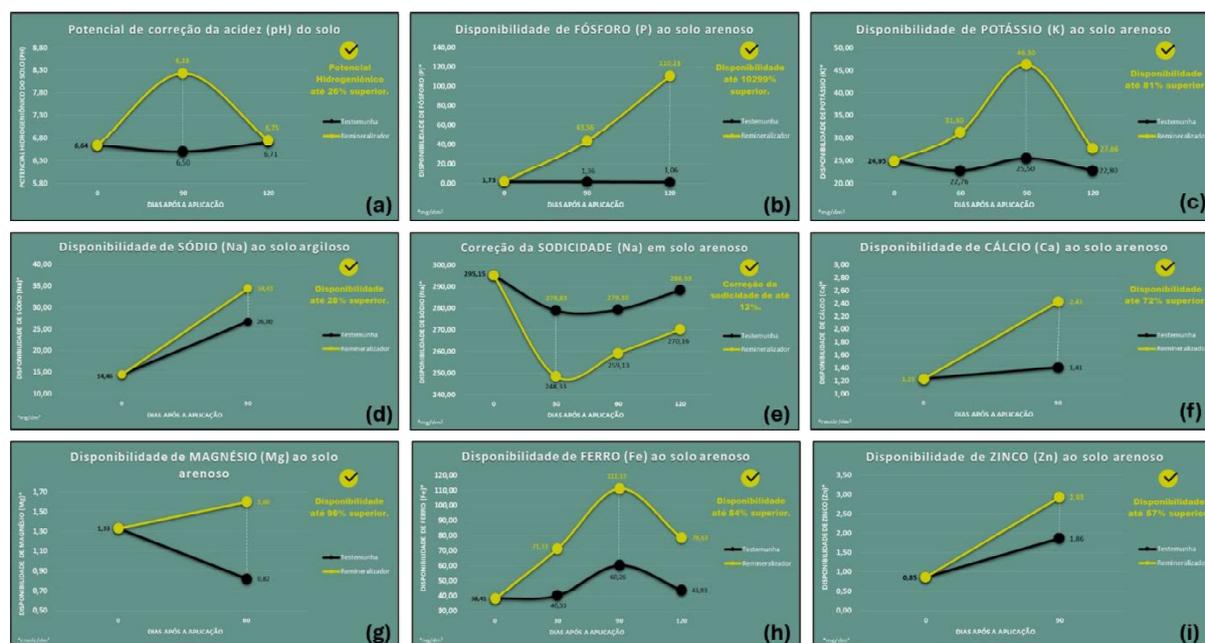


Figura 1. Potencial agrônomo do estéril analisado para as variáveis: (a) potencial de correção de acidez do solo (pH); (b) disponibilidade de fósforo (P); (c) disponibilidade de potássio (K); (d) disponibilidade de sódio (Na); (e) correção de sodicidade; (f) disponibilidade de cálcio (Ca); (g) disponibilidade de magnésio (Mg); (h) disponibilidade de ferro (Fe) e; (i) disponibilidade de zinco (Zn), nos diferentes solos e épocas de avaliação analisados.

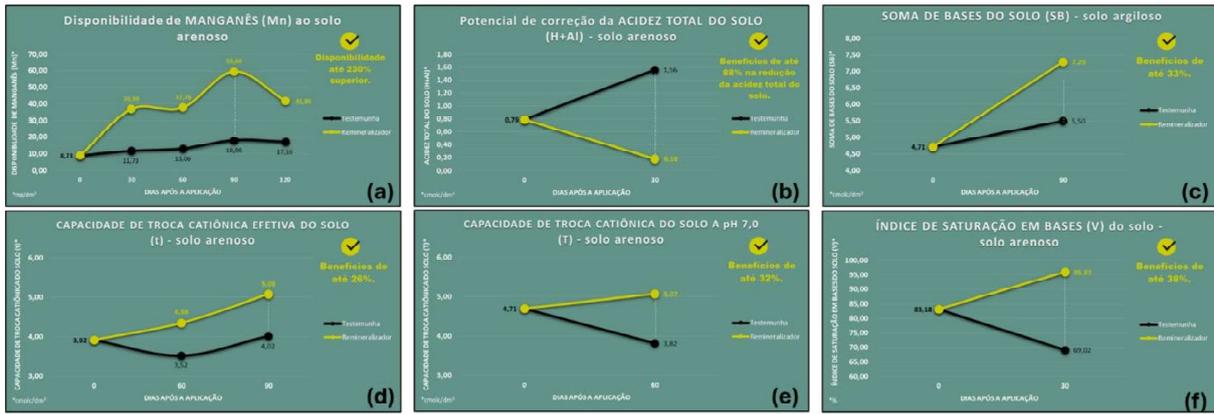


Figura 2. Potencial agrônomo do estéril analisado para as variáveis: (a) disponibilidade de manganês (Mn); (b) potencial de correção da acidez total do solo (H + Al); (c) soma de bases (SB); (d) capacidade de troca catiônica (t); (e) capacidade de troca catiônica a pH 7,0 (T) e; índice de saturação em bases (V), nos diferentes solos e épocas de avaliação analisados.

Desta forma, os resultados obtidos permitem concluir que o potencial remineralizador em estudo possui a capacidade de alterar, positivamente, duas ou mais variáveis de desempenho da cultura, além das variáveis geoquímicas do solo, atendendo as premissas inerentes ao ensaio agrônomo de incubação.

4.3. Fase III – Protocolo Agrônomo II: teste em ambiente controlado (casa de vegetação).

Durante os testes de casa de vegetação, foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos estudados para todas as variáveis analisadas. Os principais resultados obtidos com relação ao potencial agrônomo do estéril estão ilustrados a seguir (Figura 3).

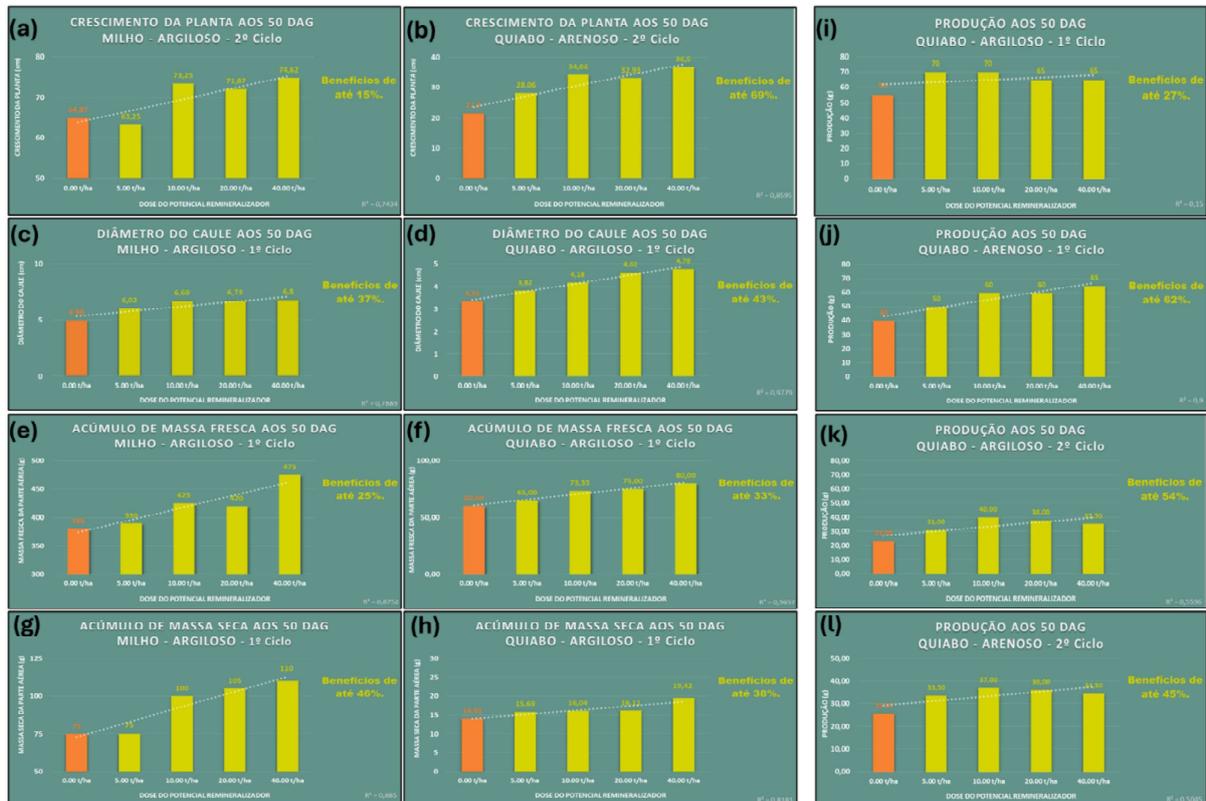


Figura 3. Potencial agrônomo do estéril analisado para as variáveis: (a – b) crescimento da planta (ALT); (c – d) diâmetro do caule (DIA); (e – f) massa fresca da parte aérea (MFPA); (g – h) massa seca da parte aérea (MSPA); (i – k) produção (PROD), em diferentes solos, culturas e ciclos de produção.

Conforme exposto, o presente material atende as premissas inerentes ao ensaio agrônomo de casa de vegetação e os resultados obtidos permitem concluir que o potencial remineralizador em estudo possui a capacidade de alterar, positivamente, duas ou mais variáveis de desempenho da cultura, atuando isolada ou cumulativamente no crescimento e incremento de massa, além de alterar, positivamente, variáveis geoquímicas do solo, demonstrando de forma conclusiva que o produto se presta ao fim que se destina.

5. Conclusão

Todos os estéreis analisados nesta pesquisa atendem a todos os requisitos mínimos e máximos dispostos na IN MAPA Nº 05/2016, tanto com relação às especificações de natureza física, quanto químicas e quanto ao seu potencial agrônomo, sendo, então, passível de registro como remineralizador de solos agrícolas.

Com base nesta pesquisa, a empresa detentora dos direitos minerários da rocha petrograficamente classificada como Varvito (VAR), obteve, no presente ano, o registro de empresa produtora e, também, o registro de produto remineralizador de solos agrícolas junto ao Ministério da Agricultura e Pecuária – MAPA. Os estéreis AG, GAB e CKTO estão em fase de registro.

6. Agradecimentos

Ao Centro de Tecnologia Mineral – CETEM, a Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo – FAPES, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, a Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais – ABIROCHAS, a Universidade Federal do Espírito Santo – UFES, e a equipe de pesquisadores, Elton Souza dos Santos, Thállita Brandão, Mayara Marinato e Isabella Andreza.

7. Referências Bibliográficas

APEXBRASIL. Setor de rochas brasileiro mantém faturamento superior a 1 bilhão de dólares em exportações em 2022. Disponível em: <<https://apexbrasil.com.br/br/pt/conteudo/noticias/setor-de-rochas-brasileiro-mantem-faturamento-superior-a-1-bilhao-de-dolares.html>>. Acesso em: 12 nov. 2023.

Brasil. **Instrução Normativa número 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. Brasília: Governo Federal; 2016.

CENTROROCHAS. Relatório de exportações de rochas – informativo mensal outubro/2023. Disponível em: <<https://centrorochas.org.br/website/wp-content/uploads/2023/11/Relatorio-de-Exportacoes-%E2%80%93-Outubro-2023.pdf>>. Acesso em: 12 nov. 2023.

Globalfert. **Outlook GlobalFert 2021**: 2º reporte anual do mercado de fertilizantes – 2021. 2a ed. Brasília: GlobalFert; 2021.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing; 2021.

Santos M, Glass V. **Atlas do agronegócio**: fatos e números sobre as corporações que controlam o que comemos. Rio de Janeiro: Fundação Heinrich Böll; 2018. Santos M, Glass V. **Atlas do agronegócio**: fatos e números sobre as corporações que controlam o que comemos. Rio de Janeiro: Fundação Heinrich Böll; 2018.