

ESTÉREIS DE ROCHAS ORNAMENTAIS COMO POTENCIAL REMINERALIZADOR DO SOLO – PROTOCOLO AGRONÔMICO II.

QUARRY WASTE FROM THE EXTRACTION OF ORNAMENTAL STONES AS A POTENTIAL SOIL REMINERALIZER - AGRONOMIC PROTOCOL II.

Mayara Machado Melila Marinato

Aluna de Graduação em Engenharia de Minas, 6º período
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo - IFES
Período PIBIC/CETEM: agosto de 2023 a agosto de 2024
mayaramachado958@gmail.com.

Guilherme de Resende Camara

Orientador, Engenheiro Agrônomo, D.Sc.
g.camara@cetem.gov.br

RESUMO

O uso dos estéreis gerados na cadeia produtiva de rochas ornamentais vai de encontro a Economia Circular 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 agronômico de estéreis gerados na extração de rocha ornamental como remineralizador de solos, conforme protocolo agronômico final (casa de vegetação) disposto na Instrução Normativa Nº 05/2016, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. A metodologia utilizada segue o previsto e recomendado no 'Protocolo para avaliação da eficiência agronômica de remineralizadores de solo – primeira versão', da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Os resultados obtidos permitem concluir que o estéril analisado atende a todos os requisitos dispostos na legislação quanto ao seu potencial agronômico, sendo, então, passível de registro como remineralizador de solos agrícolas, visto ter demonstrado que o produto se presta ao fim que se destina.

Palavras-chave: agrominerais; pó de rocha; economia circular; sustentabilidade; resíduos.

ABSTRACT

The use of quarry waste generated in the ornamental stone production chain aligns with the principles of the Circular Economy. However, in terms of product innovation, there are still few solutions that offer sustainable and competitive economic development for industries in this sector. This research aimed to analyze the potential agronomic use of quarry waste generated from the extraction of ornamental stone as a soil remineralizer, following the final agronomic protocol (vegetation house) outlined in Normative Instruction No. 05/2016 of the Ministry of Agriculture, Livestock and Supply. The methodology adhered to the provisions and recommendations of the Brazilian Agricultural Research Corporation's 'Protocol for Evaluating the Agronomic Efficiency of Soil Remineralizers - First Version'. The results obtained allow us to conclude that the analyzed tailings meet all the legislative requirements regarding their agronomic potential and are therefore eligible for registration as an agricultural soil remineralizer, having demonstrated that the product is suitable for its intended purpose.

Keywords: agrominerals; stone powder; circular economy, sustainability; waste.

1. INTRODUÇÃO

Atrelado ao potencial nacional de produção de rochas ornamentais e consequente montante de estéreis gerados no processo produtivo, os quais serão aqui denominados de Potenciais Remineralizadores de Solos (PR), 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 PR 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. OBJETIVO

Com esta pesquisa objetivou-se analisar o potencial de uso agrônômico de estéreis gerados na extração de rocha ornamental como remineralizador de solos, conforme protocolo agrônômico final (protocolo agrônômico II) disposto na Instrução Normativa Nº 5, de 10 de março de 2016, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (IN MAPA Nº 05/2016 - BRASIL, 2016).

3. MATERIAL E MÉTODOS

Em conformidade com a legislação brasileira vigente, para estudos na área de remineralizadores de solos (agrominerais/rochagem) 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).

A Fase I consiste na caracterização química e mineralógica das amostras, enquanto a Fase II caracteriza-se por testes de incubação. Os resultados das Fases I e II não serão apresentados neste artigo, contudo ressalta-se que o presente material atende a todos os requisitos mínimos e máximos dispostos na IN MAPA Nº 05/2016, sendo considerado, então, um potencial remineralizador de solos.

Com a execução da Fase III, referente ao Protocolo Agrônômico II, e inerente ao tema proposto para este artigo, objetiva-se demonstrar, de forma conclusiva, que o produto se presta ao fim que se destina, fazendo-se uso da metodologia descrita a seguir.

3.1 Fase III: Protocolo Agrônômico II

Os ensaios foram realizados em casa de vegetação, localizada no Centro de Tecnologia Mineral – Núcleo Regional do Espírito Santo, Cachoeiro de Itapemirim, Espírito Santo, Brasil.

A execução do estudo proposto foi feita de forma individualizada, tanto para as culturas do milho e do rabanete, quanto para o solo argiloso e para o solo arenoso. A metodologia utilizada segue o previsto e recomendado no ‘Protocolo para avaliação da eficiência agrônômica de remineralizadores de solo – primeira versão’, da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), assim como na IN MAPA Nº 53/2013. Desta forma, foram realizados 8 diferentes ensaios agrônômicos, conforme apresentado na Quadro 1.

Quadro 1: Descrição dos ensaios do potencial remineralizador (PR) em casa de vegetação.

ENSAIO	DESCRIÇÃO
E1	Primeiro ciclo de cultivo para a cultura do milho cultivado em solo argiloso.
E2	Segundo ciclo de cultivo para a cultura do milho cultivado em solo argiloso.
E3	Primeiro ciclo de cultivo para a cultura do milho cultivado em solo arenoso.
E4	Segundo ciclo de cultivo para a cultura do milho cultivado em solo arenoso.
E5	Primeiro ciclo de cultivo para a cultura do rabanete cultivado em solo argiloso.
E6	Segundo ciclo de cultivo para a cultura do rabanete cultivado em solo argiloso.
E7	Primeiro ciclo de cultivo para a cultura do rabanete cultivado em solo arenoso.
E8	Segundo ciclo de cultivo para a cultura do rabanete cultivado em solo arenoso.

Para a execução do proposto, em cada ensaio foram utilizadas 5 diferentes doses do potencial remineralizador (0.00 t/ha (D0), 1.00 t/ha (D1), 5.00 t/ha (D2), 10.00 t/ha (D3) e 20.00 t/ha (D4)). Um tratamento adicional foi testado (D6), referente a adubação convencional realizada para a cultura, totalizando 6 tratamentos, em 4 repetições. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado. O potencial remineralizador, de classificação petrográfica Varvito, foi testado na granulometria farelado. Com o objetivo de analisar o potencial agrônômico da rocha em análise como fonte de nutrientes e com relação a sua capacidade de correção de acidez do solo, nenhuma outra fonte de fertilização ou de correção de acidez foi adicionado aos tratamentos. Durante o segundo ciclo de cultivo das culturas (Ensaio 2, 4, 6 e 8), não foram reaplicados os tratamentos a base do potencial remineralizador, objetivando avaliar o efeito residual.

Cada tratamento é 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. As práticas agrícolas adotadas durante a condução dos ensaios seguiram o recomendado para a cultura.

Cada ensaio teve duração de 50 dias após a germinação (DAG), para a cultura do milho, e de 40 DAG, para a cultura do rabanete. Aos 25 e 50/40 DAG foram analisados a altura das plantas e, ao final do experimento, a massa seca da parte aérea das plantas (MSPA), obtida após acondicionamento e secagem das plantas em estufa de circulação de ar a $60 \pm 3^\circ\text{C}$ por 48h, com posterior pesagem em balança de precisão.

Atendidos os pressupostos para as análises estatísticas, os resultados foram submetidos à análise de variância e, quando significativos para as variáveis avaliadas, 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).

Para fins de utilização da rocha analisada neste estudo como remineralizador destinado a agricultura, os resultados obtidos foram analisados e comparados com as regras previstas na IN MAPA Nº 05/2016.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela a seguir (Tabela 2) são apresentados os resultados inerentes as variáveis altura (ALT) e massa seca da parte aérea (MSPA) para os ensaios 1, 2, 3 e 4.

Tabela 2: Altura (ALT) e Massa Seca da Parte Aérea (MSPA) das plantas de milho cultivadas em dois solos distintos, por dois ciclos consecutivos, em diferentes dosagens do potencial remineralizador em estudo (T2 a T5) em comparação a testemunha (T1) e a adubação convencional (T6).

Tratamentos	Variável	Argiloso				Arenoso			
		1º Ciclo		2º Ciclo		1º Ciclo		2º Ciclo	
		25 DAG ²	50 DAG ²	25 DAG ²	50 DAG ²	25 DAG ²	50 DAG ²	25 DAG ¹	50 DAG ²
T1	Altura (cm)	34.58c	40.72c	40.21c	43.86c	25.63c	30.95c	33.22a	35.67b
	MSPA (g)	-	6.00b	-	6.97c	-	6.41b	-	6.65c
T2	Altura (cm)	41.53b	46.6b	40.75c	43.83c	29.75b	36.33b	34.33a	37.30b
	MSPA (g)	-	7.99b	-	8.80b	-	7.13b	-	7.60b
T3	Altura (cm)	41.82b	48.07b	42.92c	54.07b	30.85b	37.67b	33.91a	38.02b
	MSPA (g)	-	8.32b	-	9.49b	-	6.57b	-	7.92b
T4	Altura (cm)	43.75b	48.22b	46.13b	52.45b	30.20b	37.37b	30.33a	38.37b
	MSPA (g)	-	8.51b	-	9.71b	-	6.15b	-	8.00b
T5	Altura (cm)	44.75b	48.55b	47.12b	54.75b	32.62a	39.47a	35.00a	42.55a
	MSPA (g)	-	8.52b	-	10.00b	-	6.26b	-	8.10b
T6	Altura (cm)	49.45a	55.15a	51.25a	72.55a	36.12a	44.75a	37.00a	46.02a
	MSPA (g)	-	11.06a	-	13.31a	-	9.52a	-	13.75a

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade. ¹Não significativo ($p \geq .05$). ²Significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < .05$). ³Não significativo para a variável ALT, porém significativo para a variável MST ao nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < .05$).

A análise dos dados evidenciou diferença significativa entre os tratamentos, dentro de cada época de avaliação (25 DAG e 50 DAG), para os dois ciclos produtivos e para os diferentes solos em estudo.

Ao final do primeiro e segundo ciclos de produção do milho em solo argiloso, observa-se que todos os tratamentos acrescidos do potencial remineralizador em estudo (T2 a T5) apresentaram tendência de resultados superiores significativos quando comparados a testemunha (T1), e inferiores ao tratamento convencional (T6), para a variável altura. Há similaridade com a tendência de resultados observados para a variável MSPA, porém, no primeiro ciclo não houve diferença estatística entre a testemunha e os tratamentos acrescidos do potencial remineralizador, fato este diferente do observado no segundo ciclo, o que evidencia a capacidade do potencial remineralizador em contribuir positivamente para a variável ATL, desde sua aplicação ao solo, e para a variável MSPA, com expressão positiva a partir do segundo ciclo produtivo.

Ao analisarmos os resultados para os ciclos de produção do milho em solo arenoso, observa-se que a expressão positiva do uso do potencial remineralizador é, sobremaneira, mais suave que em solo argiloso. Contudo, há diferença significativa entre os tratamentos acrescidos do potencial remineralizador em comparação a testemunha, para a variável ALT, aos 25 e 50 DAG do primeiro ciclo de produção. Este fato não é observado no segundo ciclo, porém, para esta variável, a maior dosagem do potencial remineralizador testado (T5) se igualou estatisticamente aos resultados observados para o tratamento T6, o que indica tendência positiva de sua utilização no solo. Já para a variável MSPA, o potencial remineralizador em estudo apresentou expressão positiva aos 50 DAG, o que também evidencia seu potencial de uso junto a solos arenosos, para a cultura do milho.

Partindo para a análise dos dados obtidos para a cultura do rabanete, os ensaios 5, 6, 7 e 8 referem-se ao estudo do potencial remineralizador em diferentes dosagens, em solo argiloso (ensaios 5 e 6) e arenoso (ensaios 7 e 8), por dois ciclos consecutivos da cultura. Na tabela a seguir (Tabela 3) são apresentados os resultados inerentes as variáveis altura (ALT) e massa seca total (MST) para os ensaios anteriormente descritos.

Tabela 3: Altura (ALT) e Massa Seca Total (MST) das plantas de rabanete cultivadas em dois solos distintos, por dois ciclos consecutivos, em diferentes dosagens do potencial remineralizador em estudo (T2 a T5) em comparação a testemunha (T1) e a adubação convencional (T6).

Tratamentos	Parâmetros	Argiloso				Arenoso			
		1º Ciclo		2º Ciclo		1º Ciclo		2º Ciclo	
		20 DAG ²	40 DAG ²	20 DAG ¹	40 DAG ²	20 DAG ²	40 DAG ³	20 DAG ¹	40 DAG ²
T1	Altura (cm)	8.27b	11.37a	11.25a	19.00b	8.30b	11.44a	13.00a	20.25b
	MST (g)	-	10.94d	-	16.62c	-	14.52c	-	22.46c
T2	Altura (cm)	8.80b	11.62a	11.50a	20.87b	8.85b	12.10a	13.75a	22.75b
	MST (g)	-	11.69d	-	23.39b	-	19.12b	-	31.52b
T3	Altura (cm)	10.62a	12.57a	13.75a	21.25b	9.57b	12.98a	14.75a	26.00a
	MST (g)	-	16.68c	-	24.91b	-	22.40b	-	38.76b
T4	Altura (cm)	10.92a	12.71a	14.12a	22.50b	10.32a	13.09a	14.87a	26.00a
	MST (g)	-	18.11c	-	25.24b	-	23.37b	-	41.32b
T5	Altura (cm)	10.62a	13.08a	14.12a	24.00a	10.35a	13.42a	15.25a	27.25a
	MST (g)	-	23.22b	-	31.19b	-	28.62a	-	59.28a
T6	Altura (cm)	11.05a	14.81a	15.62a	27.37a	11.25a	15.06a	16.37a	29.25a
	MST (g)	-	30.75a	-	53.59a	-	35.92a	-	77.49a

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade. ¹Não significativo ($p \geq .05$). ²Significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < .05$). ³Não significativo para a variável ALT, porém significativo para a variável MST ao nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < .05$).

Para o primeiro ciclo de produção do rabanete, ao final dos 40 DAG, o potencial remineralizador não apresentou tendência de expressão positiva para a variável ALT, tanto para o solo argiloso quanto arenoso, fato este não observado ao final do segundo ciclo, quando claramente o potencial remineralizador se expressa positivamente, principalmente nas dosagens mais altas.

Já para a variável MSPA, observa-se tendência de incremento positivo durante os dois ciclos produtivos, tanto em solo argiloso quanto em solo arenoso. Destaca-se que, para quase todos os dados analisados, os tratamentos acrescidos do potencial remineralizador diferiu positivamente da testemunha, o que evidencia o potencial agrônomico do material analisado.

Corroborando os resultados obtidos neste trabalho com as exigências previstas na legislação específica aos remineralizadores de solos (Brasil, 2016), o presente material atende as premissas inerentes ao ensaio agrônomico 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. CONCLUSÕES

O material em análise nesta pesquisa, de classificação petrográfica Varvito, atende a todos os requisitos dispostos na IN MAPA Nº 05/2016, tanto com relação às especificações de natureza física quanto químicas e quanto ao seu potencial agrônomico, sendo, então, passível de registro como remineralizador de solos agrícolas, visto ter demonstrado de forma conclusiva, a partir dos resultados apresentados neste relatório, que o produto se presta ao fim que se destina.

6. AGRADECIMENTOS

Ao Centro de Tecnologia Mineral – CETEM, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, a empresa Alto Vale Mineração e ao meu orientador, Guilherme Camara.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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.

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. 2013.

CASTRO, J.P.V.; LEANDRO, W.M.; BRASIL, E.P.F.; OLIVEIRA, C.B.A.; PASSOS, P.B.; MUNIZ, M.P.; RIBEIRO, R.S.; SILVA, M.L. Parâmetros fitotécnicos sobre as variáveis edáficas da cultura do milho (*Zea mays*) com o uso dos remineralizadores a base de potássio (K^+) em diferentes classes de solo. Revista Contemporânea, vol.4, n.1, p.2432-2449, 2024.

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

MARTINS, E.S.; MARTINS, E.S.; HARDOIM, P.R. Princípios geoquímicos, mineralógicos e biológicos do manejo de remineralizadores de solos. Informe Agropecuário: remineralizadores e a fertilidade do solo. EPAMIG: Belo Horizonte, vol.44, n.321, p.15-25, 2023.

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

SOUZA, D.I.; FAGOTTI, D.L.; SATURNO, D.F.; CEREZINI, P.; CERVANTE, V.N.M.; NOGUEIRA, M.A. Adubação verde associado a pó de basalto e fosfato natural em sistemas agroecológicos no sul do Paraná e norte de Santa Catarina. Cadernos de Agroecologia, vol.6, n. 2, 2011.