

Aplicação de resíduos de ardósias como fertilizantes de solos agrícolas

Application of slate residues as fertilizers for agricultural soils

Marcelle Lemos Amorim de Cerqueda

Bolsista PCI, Geóloga, M.Sc.

Roberto Carlos da Conceição Ribeiro

Supervisor, Engenheiro Químico, D. Sc.

Resumo

Os solos brasileiros caracterizam-se por serem ácidos, apresentando elevados teores de alumínio e pobres em nutrientes. A rochagem mostra-se como uma técnica interessante para o reaproveitamento dos resíduos provenientes da lavra de rochas ornamentais e como uma alternativa de mitigar os impactos ambientais causados por tal atividade, bem como a redução da demanda por fertilizantes agrícolas. O presente estudo tem como objetivo verificar o processo de fertilização de solos utilizando resíduos da lavra de ardósias, por meio da verificação dos teores de potássio nas raízes, caule e folhas de feijões plantados nesse solo. O solo, proveniente do município de Areal – RJ, foi avaliado por meio das técnicas de difratometria de raios-X e fluorescência de raios-X, antes e após a adição de resíduos de ardósia, oriundos de Trombudo Central – SC. Os resultados obtidos por meio de DRX e FRX indicaram que o solo apresenta uma composição mineralógica caracterizada por microclina, caulinita e quartzo sendo os maiores percentuais de óxidos representados por SiO_2 (~50%) e Al_2O_3 (~24%). O baixo percentual de K_2O (inferior a 6 ppm) mostra que a utilização do resíduo de ardósia como fertilizante é uma alternativa de baixo custo para aumentar o teor de potássio, que chega a valores em torno de 5%, após aplicação do resíduo. As atividades de casa de vegetação estão em andamento, com germinação da espécie *Phaseolus vulgaris*, com crescimento de 3 cm por dia. Após 60 dias, serão avaliados os teores de potássio na planta e no solo a fim de se verificar a contribuição efetiva desse material como fertilizante. No entanto, já se pode verificar a germinação de pés de feijões em vasos contendo apenas resíduos de ardósias, sem a presença de outros nutrientes como fósforo e nitrogênio, indicando a possível potencialidade do resíduo.

Palavras-chave: rochagem; resíduos de ardósia; solos brasileiros.

Abstract

Brazilian soils are characterized by being acidic, presenting high levels of aluminum and poor in nutrients. Rocking is an interesting technique for the reuse of waste from the mining of ornamental rocks and as an alternative to mitigate the environmental impacts caused by such activity, as well as reducing the demand for agricultural fertilizers. The present study aims to verify the soil fertilization process using residues from slate mining, through the verification of potassium levels in the roots, stems and leaves of beans planted in this soil. The soil, from the municipality of Areal - RJ, was evaluated using X-ray diffractometry and X-ray fluorescence

techniques, before and after the addition of slate residues, from Trombudo Central - SC. The results obtained through XRD and XRF indicated that the soil has a mineralogical composition characterized by microcline, kaolinite and quartz, with the highest percentages of oxides represented by SiO_2 (~50%) and Al_2O_3 (~24%). The low percentage of K_2O (less than 6 ppm) shows that the use of slate residue as a fertilizer is a low-cost alternative to increase the potassium content, which reaches values around 5%, after application of the residue. Greenhouse activities are ongoing, with *Phaseolus vulgaris* germinating, growing at 3 cm per day. After 60 days, the levels of potassium in the plant and in the soil will be evaluated in order to verify the effective contribution of this material as a fertilizer.

Key words: rock for crops; slate waste; Brazilian soils.

1. Introdução

A ardósia é uma rocha metamórfica de grau muito baixo apresentando uma granulação muito fina, pouco brilho, cristalinidade baixa, clivagem ardosiana marcada pela presença de minerais micáceos. O protólito geralmente é pelítico e a paragênese mineral apresenta quartzo, sericita/fengita, clorita e pirofilita. A tonalidade da rocha é variada do cinza escuro ao preto, às vezes podendo ser verde, amarela, castanha e vermelha (BINDA, 2020; BRANCO, 2022; WINGE, 2022). As aplicações econômicas da ardósia são diversificadas podendo ser utilizada como telhas por ser um ótimo isolante térmico, para confecção de tampo para mesa de bilhar, peças decorativas, pisos, jazigos, dentre outros. As ardósias apresentam uma participação de cerca de 5% da produção nacional de rochas ornamentais, sendo os Estados de Minas Gerais e Santa Catarina responsáveis por 90% dessa produção (MAIA, 2013; LARROYD et al., 2018; ABIROCHAS, 2022).

A exploração da ardósia é uma atividade que apresenta impactos ambientais relacionados à supressão da vegetação nativa aumentando o processo erosivo do terreno, despejo inadequado de bota-fora, assoreamento de corpos d'água, dentre outros. O volume elevado dos resíduos provenientes da exploração da ardósia pode apresentar frações granulométricas diversas, desde pó de rocha a fragmentos provenientes do beneficiamento do minério, tornando-se uma problemática quanto ao descarte desse material (SOUZA, 2007). No entanto, a composição química das ardósias é, geralmente muito semelhante, verificando-se teores de SiO_2 em torno de 60%, Al_2O_3 em torno de 16%, N_2O em torno de 2% e K_2O em torno de 4%, havendo somente alterações nos teores de Fe_2O_3 de acordo com a coloração das mesmas. Dessa forma, uma possível alternativa para esse resíduo seria a extração desse potássio como fertilizante natural.

No Brasil, a maioria dos solos caracteriza-se por serem ácidos e pobres em nutrientes para o crescimento das plantas tornando-se necessária a correção do pH e adubação mineral e orgânica. O aumento da produção agrícola tem impulsionado a demanda nacional pelos adubos e fertilizantes, que na grande maioria, são importados sendo o maior fornecedor a Rússia. Em 2021, as importações brasileiras foram recordes e chegaram a 41,58 milhões de toneladas. De acordo com o Boletim Logístico da Companhia Nacional de abastecimento (Conab) houve alta de 21,4% quando comparado com 2020, ano em que as compras dos produtores brasileiros somaram 34,25 milhões de toneladas (VALVERDE, 2022; OLIVEIRA et al., 2019).

A fim de se diminuir a dependência no processo de importação de fertilizantes, a rochagem, técnica que consiste na adição de pó de rocha ('petrofertilizante') na agricultura, torna-se uma ferramenta interessante, que além de auxiliar na fertilização, contribui para a mitigação do impacto ambiental gerado pela extração e beneficiamento das ardósias (BARROS e RIBEIRO, 2021).

2. Objetivos

O objetivo do trabalho foi avaliar a liberação do potássio, oriundo de resíduos da lavra e beneficiamento de ardósias em solo empobrecido, por meio da avaliação do referido metal na raiz, caule e folhas de feijões cultivados nas unidades de casa-de-vegetação.

3. Materiais e Métodos

3.1. Amostragem

A seleção da área para a coleta do solo avaliou a acessibilidade ao local e a possibilidade de retiradas de volumes consideráveis para ser aplicado na etapa da casa-de-vegetação. A área localiza-se no município de Areal, na mesorregião Centro Fluminense do Estado do Rio de Janeiro, possuindo as coordenadas geográficas 22°12'50"S e 43°05'50"W.

A tipologia pedológica do município é determinada pelas classes de solos identificadas por Argissolo, Cambissolo e Latossolo conforme definido pelo INEA (2011) *apud* Costa et al., 2020. A vegetação da área caracteriza-se por apresentar um predomínio de gramíneas, ciperáceas e tipologias arbóreas de médio a grande porte. A coleta do solo foi efetuada por meio da retirada de 0 – 20cm da camada superficial.

Os resíduos de ardósia são oriundos da empresa Alto Vale de Mineração Ltda, localizada em Trombudo Central – SC e foram coletados pela própria empresa com interesse na aplicação do material como fertilizante. O material foi então britado, moído e peneirado no CETEM até se obter uma amostra com tamanho de partícula inferior a 0,037 mm.

3.2. Difractometria de Raios X

As amostras de solo e resíduo de ardósia foram avaliadas por difratometria de raios X, sendo inicialmente preparadas por meio da desagregação mecânica utilizando gral e pistilo de ágata. Posteriormente foram acondicionadas em um amostrador, com auxílio de um gabarito e submetidas ao equipamento Bruker-D8 Endeavor, com a obtenção dos difratogramas por meio de do método do pó, nas seguintes condições de operação: radiação $\text{CoK}\alpha$ (40 kV/40 mA); velocidade do goniômetro de $0,02^\circ$ (2θ) por passo, com tempo de contagem de 0,5 segundos por passo e coletados de 4 a 80° (2θ), com detector sensível à posição LynxEye.

3.3. Espectrometria de fluorescência de raios X

As amostras foram preparadas para a análise química por FRX, onde se pesou aproximadamente 5 g de cada amostra em um pesa filtro, sendo submetidas à estufa a 105°C, após o esfriamento efetuou-se a desagregação utilizando gral e pistilo de ágata e preparação das pastilhas na proporção 1:0,3 de amostra e de ácido bórico (H_3BO_3) (MERCK/P.A.) como aglomerante, submetidas à prensagem em uma prensa automática (Modelo VANEON) nas condições de molde de 20 mm, com pressão de 20 toneladas e durante 30 segundos e submetidas ao espectrômetro por fluorescência de raios X, (WDS-1), modelo AXIOS MAX (Panalytical).

3.4. Determinação do potássio disponível no solo

Os métodos de análise de amostras de terra para fins de fertilidade seguem o Manual de Métodos de Análises de Solos (EMBRAPA, 1997). Para determinação de potássio disponível no solo foi realizada a análise por meio do fotômetro de chama no Laboratório de Análises de Solos e Plantas (LASP) na Embrapa Solos.

3.5. Determinação do pH do solo

A determinação do pH foi realizada em suspensão terra-água, na proporção de 1:2,5. Após o preparo da suspensão, foi feita a agitação, seguida de repouso, por período de 1 hora. No momento da leitura em potenciômetro, fez-se nova agitação.

3.6. Testagem em casa-de-vegetação

A efetuação da análise na casa-de-vegetação foi realizada por meio de da utilização do solo coletado *in situ*, e a seleção da espécie *Phaseolus vulgaris* popularmente conhecido por feijão preto para o cultivo.

O ensaio foi realizado em triplicata utilizando as proporções de 0%, 30 e 40%, em massa, de resíduo de ardósia, utilizando o solo proveniente de Areal, com correção prévia de pH, por meio de carbonato de cálcio, e adição de ureia e P_2O_5 em todos os vasos (A00, A30 e A40). Repetiu-se o procedimento em vasos com solo sem adição de ureia e P_2O_5 , mas com correção do pH (A'00, A'30 e A'40). Posteriormente, adicionou-se 7 grãos de feijões, realizando-se a irrigação manualmente. A Tabela 1 apresenta a distribuição em cada um dos vasos.

Tabela 1. Proporções de resíduos e solo em cada vaso.

Amostra	Resíduo de ardósia (g)	Solo tratado (g)	Total
A00 (0%)	0	300	300
A30 (30%)	90	210	300
A40 (40%)	120	180	300
Amostra	Resíduo de ardósia (g)	Solo sem P_2O_5 e ureia (g)	Total
A'00 (0%)	0	300	300
A'30 (30%)	90	210	300
A'40 (40%)	120	180	300

A testagem na casa-de-vegetação foi iniciada em setembro de 2022 e necessitará de 60 dias para serem coletadas partes da planta, como a raiz, folha e caule para analisar as concentrações de potássio presentes no vegetal.

4. Resultados e Discussão

4.1. Difratomia de Raios X

A avaliação mineralógica, por meio de DRX, do solo, indicou uma composição mineralógica caracterizada por microclina em $25,00^\circ$ (2θ), muscovita em $18,00^\circ$ (2θ), caulinita em $14,33^\circ$ (2θ) e quartzo $25,00^\circ$ (2θ).

4.2. Espectrometria de fluorescência de raios X

A tabela 2 apresenta os resultados de fluorescência de raios-X das amostras de resíduos de ardósia, de solo ao natural e de solo após correção de pH e adições de ureia, P_2O_5 e resíduo de ardósia.

Pode-se verificar que o solo é extremamente pobre de nutrientes, contendo cerca de 60% de SiO_2 e 30% de Al_2O_3 , com traços de potássio, imperceptíveis pelo FRX, sendo avaliados somente por fotômetro de chama e sendo inferior a 5 ppm. Os resíduos de ardósia apresentam cerca de 60% de SiO_2 , 27% de Al_2O_3 e 5% de potássio.

Após a correção do pH do solo com dolomita comercial, verifica-se o aumento dos teores de magnésio e cálcio, bem como da perda de calcinação, esta última relacionado com os carbonatos associados a estes metais. Verifica-se que a presença do resíduo de ardósia incorporado ao solo foi capaz de aumentar o teor de potássio no solo para 4,4%. Resta verificar se tal elemento será liberado para a planta nos ensaios em casa de vegetação ou se continuará na sua forma mineral inalterada.

Tabela 2. Composição química (%) do resíduo, do solo e do solo tratado.

Elementos (%)	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	ZrO ₂	*PPC
Resíduo de ardósia	--	26,6	61,2	--	5,1	--	0,8	4,5	--	--
Solo	0,3	32,1	57,2	--	--	0,5	1,8	5,8	0,2	0,3
Solo com resíduo e correção de P/N e pH	1,4	20,1	46,2	5,14	4,4	2,1	1,1	5,5	0,15	13,9

*PPC perda por calcinação.

4.3. Determinação do potássio disponível no solo

Após a análise foi quantificada a concentração de potássio do solo estudado em 5,8 ppm, indicando se tratar de um solo bastante empobrecido, pois segundo FREIRE *et al*, 2013, valores inferiores a 45 ppm já caracterizam o solo com teores muito baixos.

4.4. Determinação do pH do solo

O pH obtido do solo foi de 4,90, valor considerado fortemente ácido e, após tratamento com carbonato de cálcio o mesmo se encontrava em 7,00.

4.5. Casa-de-vegetação

Os resultados obtidos em casa de vegetação indicam que a espécie *Phaseolus vulgaris* germinaram, com um crescimento em aproximadamente em 5 cm por dia, como indicado na Figura 1. Os ensaios estão em andamento, com monitoramento da umidade e controle de pH para posterior avaliação do potássio na massa seca das plantas (raiz, caule e folhas). No entanto, é possível verificar que no vaso onde não havia adição de ureia, fósforo e resíduo de ardósia (A'00) não houve germinação de feijões e que nos vasos contendo 30% e 40% de resíduo de ardósia, há germinação dos feijões, mesmo sem a adição de fósforo e ureia, o que se leva a concluir que o único nutriente disponível era o potássio oriundo dos resíduos de ardósias, que foi capaz de permitir a germinação dos feijões. No entanto, apenas as avaliações das plantas permitirão confirmar a presença do potássio em sua estrutura.

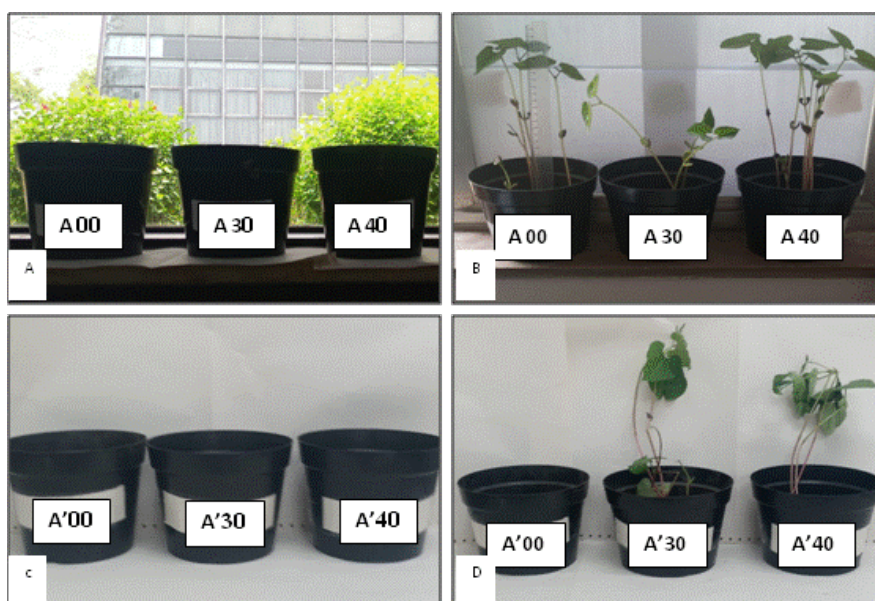


Figura 2. (A) Início das atividades em casa-de-vegetação (solo com adição de N e P), (B) germinação da espécie *Phaseolus vulgaris*; (C) Início das atividades em casa-de-vegetação (solo sem adição de N e P), (D) germinação da espécie *Phaseolus vulgaris* nos vasos sem adição de N e P.

5. Conclusões

Os resultados obtidos por meio das análises por DRX e FRX mostraram uma composição mineralógica do solo caracterizada por microclina, caulinita e quartzo sendo os maiores percentuais de óxidos representados por SiO_2 (~50%) e Al_2O_3 (~24%), com baixo percentual de K_2O , não atingindo 6 ppm.

Após aplicação dos resíduos de ardósia no solo, verificou-se o aparecimento de teores de potássio mais expressivos no solo, chegando-se a cerca de 5%. Observou-se também a germinação da espécie *Phaseolus vulgaris*, indicando que o solo tratado apresentou condições do desenvolvimento do vegetal, mesmo em solos onde não houve correção com nutrientes (P_2O_5 e ureia) indicando a possível potencialidade de utilização do resíduo como fonte de fertilizante de potássio. No entanto, somente os resultados de avaliação dos teores de potássio na planta poderão confirmar tal eficácia.

6. Agradecimentos

Ao CETEM e a Embrapa Solos pela infraestrutura e ao CNPq pelo apoio financeiro.

7. Referências Bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS. **Balanco das Exportações e Importações Brasileiras de Materiais Rochosos Naturais e Artificiais de Revestimento no 1º Trimestre de 2022**. Informe 02/2022. ABIROCHAS. 2022.3p.

BARROS, M.M.; RIBEIRO, R.C.C. **Fertilização e correção de solos utilizando resíduos de rochas ornamentais – Estado da Arte**. Série Tecnologia Ambiental. 116 ed. 2021.98 p.

BINDA, F.F.; OLIVEIRA, V.A.; FORTULAN, C.A.; PALHARES, L.B.; SANTOS, C.G. **Frictionelements based on phenolic resin and slate poder**. J. of Materials Research and Technology. 2020.6 p.

BRANCO, P.M. **Características de Usos das Pedras Ornamentais**. Serviço Geológicos do Brasil. CPRM. 2022. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/SGB-Divulga/Canal-Escola/Caracteristicas-e-Usos-das-Pedras-Ornamentais-143.html>>. Acesso em 22 de outubro de 2022.

COSTA, I.R.P.; MENEZES, S.J.M.C.; MARTINS, Y.T.; PINHEIRO, B.F. **Análise da Base Cartográfica Uso no Mapeamento de Movimento de Massa**. XI Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, ES, 2020. 6 p.

FILHO, C.C. **O Setor Brasileiro de Rochas Ornamentais**. ABIROCHAS, 2021. 3 p.

FREIRE, L. R. Recomendações gerais. In: FREIRE, L. R. *et al.* **Manual de calagem e adubação do Estado do Rio de Janeiro**. Brasília, DF: Embrapa; Seropédica, Ed. Universidade Rural, 2013. p. 243-256.

IBGE. **Cidades**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rj/areal/panorama>> Acesso em 25 de outubro de 2022.

LARROYD, F. RECUERO, J.C.; CENTENO, C.L.; HEIDER, M. **“Ardósia” de Trombudo Central (SC) –Varvito**. Extensionismo Mineral e Sustentabilidade da Mineração. Florianópolis, DNPM, 2018. 39 p.

MAIA, C.M. **Rochas Ornamentais e de Revestimentos**. Sumário Mineral 2013. DNPM. 2 p.

OLIVEIRA, M.P.; MALAGOLLI, G.A.; CELLA, D. MERCADO DE FERTILIZANTES: dependência de importações do Brasil. **Revista Interface Tecnológica**. v. 16, n. 1. 2019. 489-498p.

SAMPAIO, J.A.; FRANÇA, S.C.; BRAGA, P.F.A. **Tratamento de Minérios: Práticas Laboratoriais**. CETEM-MCT. Rio de Janeiro. 2007. 570p.

SOUZA, L.P., MANSUR, H.S. **Caracterização de pó de ardósia proveniente de rejeitos quanto à cristalinidade e comportamento térmico**. Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências dos Materiais. v. 14. 9p. 2000.

VALVERDE, M. Importações de fertilizantes e adubos batem o recorde no Brasil. 2022. Disponível em <https://diariodocomercio.com.br/agronegocio/importacoes-de-fertilizantes-e-adubos-batem-o-recorde-no-brasil> Acesso em: 26 de outubro de 2022.

WINGE, M. **Glossário Geológico Dinâmico ilustrado**. Disponível em: <<http://sigep.cprm.gov.br/glossario/index.html>> Acesso em: 25 de novembro de 2022.