

BIOSSOLUBILIZAÇÃO DE POTÁSSIO A PARTIR DE AGROMINERAIS

BIOSOLUBILIZATION OF POTASSIUM FROM AGROMINERALS

Karolayne dos Santos Souza

Aluna de Graduação de Ciências Biológicas com ênfase em Biotecnologia

Universidade Federal do Rio de Janeiro

Período PIBIC/CETEM: agosto de 2024 a junho de 2025

karolayne.souza@ufrj.br

Claudia Duarte da Cunha

Orientador, Engenharia Química, D.Sc.

ccunha@cetem.gov.br

Daniele Leonel da Rocha

Orientador, Química, D.Sc.

dleonel@cetem.gov.br

RESUMO

O presente estudo avaliou o processo de biossolubilização de potássio por estirpes bacterianas (*Paenibacillus polymyxa* e *Burkholderia cepacia* ATCC 25416) utilizando resíduos de rochas provenientes de Tanguá/RJ (8,1% de K₂O). Um planejamento fatorial completo foi conduzido utilizando frascos erlenmeyer de 250 mL, empregando variações de densidade da polpa e agitação pelo período de 20 dias, com objetivo de estudar a solubilização biológica do potássio. Para todos os tratamentos, na presença dos diferentes microrganismos, foram alcançados resultados positivos de remoção. Na condição com maior densidade de polpa (10%) em sistemas estáticos, foram obtidos os valores máximos de remoção de potássio, alcançando as médias de 1294 mg.Kg⁻¹ na presença de *P. polymyxa* e 3844 mg.Kg⁻¹ na presença de *B. cepacia*. A partir das análises estatísticas foi possível confirmar o efeito negativo da agitação para os ensaios com maior densidade de polpa. Os resultados encontrados estão em conformidade com os dados descritos na literatura, sendo fundamentais novos estudos para o aperfeiçoamento do processo.

Palavras-chaves: biossolubilização, agromineral, potássio.

ABSTRACT

This study evaluated the process of potassium biosolubilization by bacterial strains (*Paenibacillus polymyxa* and *Burkholderia cepacia* ATCC 25416) using rock waste from Tanguá/RJ (8.1% K₂O content). A complete factorial design was conducted using 250 mL Erlenmeyer flasks, employing variations in pulp density and agitation over a period of 20 days, with the aim of studying the biological solubilization of potassium. For all treatments, in the presence of different microorganisms, positive removal results were achieved. In the condition with the highest pulp density (10%) in static systems, the maximum potassium removal values were obtained, reaching averages of 1294 mg.Kg⁻¹ in the presence of *P. polymyxa* and 3844 mg.Kg⁻¹ in the presence of *B. cepacia*. Statistical analyses confirm the negative effect of agitation on tests with higher pulp density. The results found are in line with the data described in the literature, and further studies are essential to improve the process.

Keywords: Biosolubilization, agromineral, potassium.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil responde por cerca de 8% do consumo mundial de fertilizantes, ficando atrás apenas da China, Índia e Estados Unidos. Aproximadamente 40 milhões de toneladas são aplicadas por ano nos solos brasileiros, contudo mais de 80% desse volume é importado, o que evidencia nossa vulnerabilidade em um mercado dominado por poucos fornecedores. O cenário torna-se mais preocupante com relação aos fertilizantes potássicos uma vez que o potássio é o principal nutriente utilizado no País (representando 38% do consumo total de fertilizantes). Em 2020, a dependência de fornecedores externos alcançou 96,4%, refletida pela importação de 6,80 milhões de toneladas de KCl (equivalente em K₂O), enquanto a produção interna foi de apenas 250 mil toneladas de KCl (BRASIL – SEAE, 2022; CALDEIRA & SERRANO, 2022).

Uma alternativa para o setor é a aplicação de remineralizadores (pó de rocha), fertilizantes minerais silicáticos com teores consideráveis dos elementos essenciais à fertilização dos solos. No entanto, entende-se que a liberação dos nutrientes acontece de maneira gradual e, portanto, é fundamental a realização de estudos relacionados à identificação de mecanismos adequados, que considerem as diferenças nas estruturas mineralógicas dos materiais utilizados, a fim de garantir um processo mais eficiente e seguro. (ARAUJO et al., 2023; CORRÊA & OLIVEIRA, 2024).

Uma outra alternativa que emerge como uma solução seria o uso da bioassolubilização de elementos como o potássio a partir de rochas ou resíduos de rochas. Esse processo biológico consiste no uso de microrganismos que produzem ácidos orgânicos e/ou metabólitos capazes de solubilizar o potássio presente nos minerais. Esses compostos promovem a dissolução do potássio insolúvel presente em feldspato, biotita, muscovita e ortoclase, disponibilizando-o, e assim tornando-o acessível para as plantas. Essa abordagem visa a obtenção de fertilizantes de forma ambientalmente segura, representando uma estratégia sustentável e inovadora para a agricultura moderna (BABAR, et al., 2024; MEENA et al., 2015).

2. OBJETIVO

O objetivo do trabalho é avaliar o potencial das estirpes bacterianas, *Paenibacillus polymyxa* e *Burkholderia cepacia* ATCC 25416, na solubilização do potássio contido em resíduos de rochas provenientes de Tanguá/RJ, além de identificar os parâmetros que possibilitam a otimização do processo de bioassolubilização.

3. METODOLOGIA

3.1. Resíduos de Rocha

Os resíduos de rochas utilizados no presente estudo foram provenientes de Tanguá/RJ, contendo o teor de 8,1% de K₂O, com faixa granulométrica de 0,3 a 2,0 mm. Apresenta como principais fases minerais a microclina, albita, biotita, hornblendita e pirita, conforme observado nas análises de DRX realizadas pelo setor de caracterização tecnológica do CETEM (BERTOLINO, 2023).

3.2. Microrganismos

Nos ensaios de bioassolubilização mineral foram usadas estirpes bacterianas do banco de coleção de culturas do Laboratório de Biotecnologia (LABIOTEC) do CETEM, especificamente *Paenibacillus polymyxa* e *Burkholderia cepacia* ATCC 25416. Para a seleção das linhagens foram considerados estudos presentes na literatura, os quais destacam uma relação de microrganismos capazes de produzir compostos químicos, como substâncias poliméricas extracelulares e ácidos orgânicos.

3.3. Ensaios de Bioassolubilização

Os ensaios de bioassolubilização foram executados com base no planejamento fatorial de 2² sendo admitidas variações para os parâmetros de agitação (estático e 150rpm) e densidade de

polpa (1% e 10%). Todos os ensaios foram conduzidos em duplicatas, com quadruplicadas do ponto central, e controle abiótico. Os experimentos foram conduzidos em frascos erlemeyer de 250 mL compondo 100 mL de Bushnell-Haas modificado (Glicose 30 g/L; MgSO₄.7H₂O 0,2 g/L; CaCl₂ 0,02 g/L; NaNO₃ 0,88 g/L; Na₂HPO₄ 1,35 g/L; NaH₂PO₄ 0,88 g/L; pH 7) e o resíduo de rocha em diferentes densidades de polpa, como a única fonte mineral de potássio. A partir de um pré-cultivo (24h), o inóculo de 10% (v/v) foi adicionado nos frascos e os sistemas foram então incubados nas condições previamente estabelecidas por 20 dias. Após o período de incubação foram retiradas amostras, para avaliação do pH e para a quantificação do potássio em solução. Em função da liberação de substâncias poliméricas extracelulares produzidas pelos microrganismos testados, foram adicionados 4 mL de peróxido de hidrogênio (H₂O₂) nos frascos e, aquecendo-os por 20 minutos. Em seguida as amostras foram centrifugadas a 7000 rpm, a 4 °C por 20 minutos e os respectivos sobrenadantes foram filtrados em membranas de 0,22 µm. Por fim, o material obtido foi acidulado com ácido nítrico 2M e armazenado para análises posteriores.

3.4. Análises

As análises de quantificação do potássio em solução foram realizadas no Laboratório de Análises Químicas COAMI-CETEM, empregando a técnica de absorção atômica com chama de ar-acetileno. O delineamento experimental, assim como as análises estatísticas de variância (ANOVA) e regressão múltipla, foram efetuados com o software STATISTICA versão 7 (StatSoft Inc., 2001).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme detalhado na Tabela 1, para as condições avaliadas nesse estudo foram alcançados resultados positivos de remoção de potássio presente no resíduo oriundo de Tanguá/RJ. Nos ensaios de biossolubilização na presença do microrganismo *P. polymyxa*, a maior média de remoção alcançada foi de 1294 mg/Kg na ausência de agitação e com 10% de densidade de polpa, subtraindo o valor obtido no controle abiótico. De forma semelhante, na presença do microrganismo *B. cepacia*, a maior remoção ocorreu nos ensaios sem agitação e com 10% de densidade de polpa, alcançando 3844 mg/Kg.

Tabela 1: Valores médios obtidos através do planejamento fatorial 2² realizado na presença das estirpes bacterianas *P. polymyxa* e *B. cepacia*, visando a remoção do potássio oriundo do resíduo de Tanguá/RJ.

Agitação	Densidade de polpa	Microrganismo	Remoção média de K (mg/Kg ⁻¹)	D.P	pH
-1	-1	<i>P. polymyxa</i>	500,00	-	3,50
-1	+1	<i>P. polymyxa</i>	1294,00	183,80	6,00
+1	-1	<i>P. polymyxa</i>	945,00	70,70	3,50
+1	+1	<i>P. polymyxa</i>	316,50	22,60	5,50
0	0	<i>P. polymyxa</i>	320,50	31,10	5,50
-1	-1	<i>B. cepacia</i>	515,00	148,50	3,75
-1	+1	<i>B. cepacia</i>	3844,00	141,40	5,25
+1	-1	<i>B. cepacia</i>	1020,00	77,80	3,00
+1	+1	<i>B. cepacia</i>	359,50	62,20	5,00
0	0	<i>B. cepacia</i>	570,50	26,60	5,50

Os valores são indicados já com a diferença em relação ao controle abiótico. Identificação para parâmetro de agitação: 0 rpm (-1), 150 rpm (+1) e 75 rpm (0); Identificação para parâmetro de densidade de polpa: 1 % (-1), 10% (+1) e 5,5 % (0).

Para o microrganismo *P. polymyxa*, os ensaios realizados sem agitação e com maior densidade de polpa apresentaram maiores valores de remoção de potássio. No entanto, com menor densidade de polpa, os resultados mais satisfatórios foram observados com agitação de 150 rpm. Essas observações sugerem a atuação de diferentes mecanismos de bioassolubilização dependendo das condições operacionais. No cenário de menor densidade de polpa e maior agitação a solubilização mineral pode estar relacionada principalmente à produção de ácidos orgânicos. Enquanto em maiores densidades de polpa e na ausência de agitação, a formação de biofilme é facilitada junto a produção de ácidos orgânicos. Tais considerações são evidenciadas pela superfície de resposta indicada na Figura 1 (A).

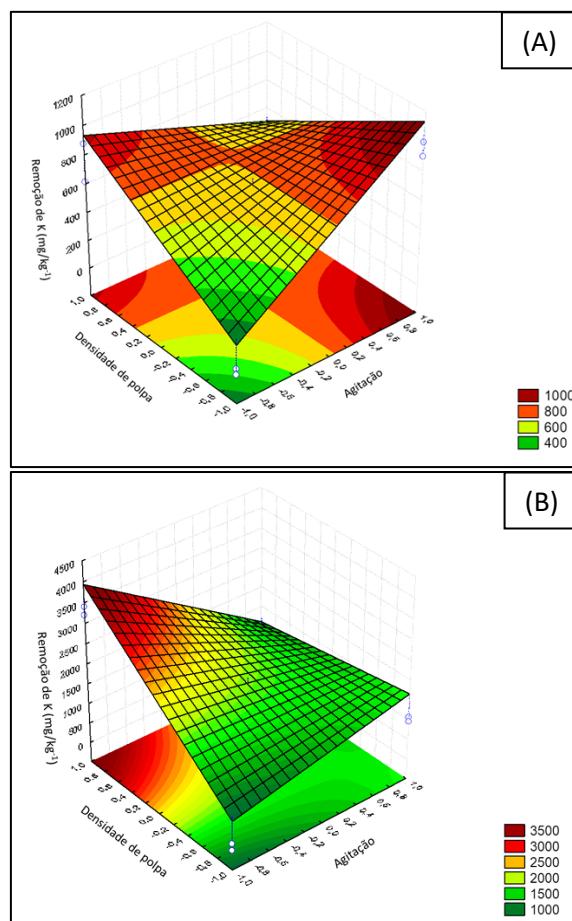


Figura 1: Gráfico de superfície de resposta para os parâmetros (agitação e densidade de polpa) avaliados no planejamento fatorial 2^2 ; (A) tratamento por *Paenibacillus polymyxa* e (B) tratamento por *Burkholderia cepacia* ATCC 25416.

Na presença de *B. cepacia*, verificou-se que o aumento da densidade de polpa resultou em melhores valores de remoção de K durante os ensaios estáticos, conforme demonstrado pela superfície de resposta indicada pela Figura 1(B). Uma possível justificativa para o impacto negativo da agitação pode estar associada à interação entre as substâncias poliméricas extracelulares (EPS) e as partículas minerais. A maior intensidade de agitação pode ter dificultado a aderência do EPS ao resíduo, comprometendo o contato entre o microrganismo e as partículas minerais, sendo assim ocasionada a redução dos valores de remoção observados nos experimentos conduzidos a 150 rpm.

Sun et al. (2020) avaliaram o processo de bioassolubilização de potássio em rocha feldspática (8,03% K₂O). No estudo foram isoladas 18 estirpes bacterianas do solo rizosférico. Os ensaios foram realizados por 7 dias a 30°C e agitação de 150 rpm, com uso de 5 g de rocha em 50 mL de meio de cultivo. A estirpe identificada como *B. cepacia* removeu, em média, 17,5 mg.Kg⁻¹ de potássio, valor inferior ao observado no presente estudo sob condições semelhantes. Diferenças

no tempo de tratamento e na mineralogia da rocha reforçam a importância de investigar esses parâmetros para otimizar a biossolubilização do potássio. Adicionalmente, Nascimento et al. (2023) avaliaram a biossolubilização de potássio em três tipos de pó de rocha (Amazonita, Kamafugito e Amostra 8) utilizando estirpes isoladas da rizosfera, incluindo *Paenibacillus polymyxa*, também empregada neste estudo. Em 10 dias de ensaio, com o uso de 1% do resíduo a 30°C, sob agitação (150rpm), a maior remoção de potássio (500 mg.Kg⁻¹) foi obtida com aplicação do isolado IA13 com Amazonita (5,28% de K₂O contido), enquanto *P. polymyxa* alcançou 260 mg.Kg⁻¹ com Kamafugito (3% de K₂O contido). No presente trabalho, utilizando o resíduo de Tanguá, obteve-se remoção média de 945 mg.Kg⁻¹ após o dobro do tempo de tratamento. Tal resultado sugere que as condições adotadas favorecem as dinâmicas de solubilização mineral, contudo, vale salientar, que as diferenças estruturais entre as rochas avaliadas podem influenciar diretamente a eficiência do processo.

5. CONCLUSÕES

O estudo demonstrou que as estirpes *P. polymyxa* e *B. cepacia* são eficazes na biossolubilização de potássio a partir de resíduos de rocha. As maiores médias de remoção alcançadas (3844 mg/kg para *B. cepacia* e 1294 mg/kg para *P. polymyxa*) ocorreram nos ensaios com densidade de polpa de 10% e sem agitação. A análise estatística confirmou que o aumento da densidade de polpa favorece a remoção de potássio nessas condições. Novos estudos são recomendados para avaliar outros parâmetros operacionais e otimizar o processo em escala industrial.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à COITS/SETEC/MCTI pelo apoio financeiro e ao Centro de Tecnologia Mineral (CETEM – MCTI) pela infraestrutura disponibilizada. Agradecem ainda à COAMI/CETEM pela execução das análises, ao pesquisador Luiz Carlos Bertolino pelo fornecimento e caracterização dos resíduos de rocha utilizados neste trabalho.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAUJO, C. Patricia *et al.* Remineralizadores de solos: Importância e perspectivas futuras. 2023.
- BABAR, S.; BALOCH, A.; QASIM, M.; WANG, J.; WANG, X.; LI, Y.; KHALID, S.; JIANG C. Unearthing the Soil-Bacteria Nexus to Enhance Potassium Bioavailability for Global Sustainable Agriculture: A Mechanistic Preview. *Microbiol. Res.*, 288, 127885. 2024.
- BERTOLINO, L.C.; LICURSI, E.A. Caracterização Mineralógica de Amostras de Rochas do Rio de Janeiro - Relatório Interno de Projeto. Rio de Janeiro, [s.n.], maio 2023.
- BRASIL. Secretaria Especial de Assuntos Estratégicos. Plano Nacional de Fertilizantes 2050 (PNF 2050). Brasília: SAE, 2022.
- CALDEIRA, C.; SERRANO L.R. O Brasil tem capacidade de ser autossuficiente na produção de fertilizantes? *Jornal da USP*. Universidade de São Paulo. Disponível em: <https://jornal.usp.br/actualidades/o-brasil-tem-capacidade-de-ser-autossuficiente-na-producao-de-fertilizantes/>.
- CORRÊA, S.R.; OLIVEIRA, G. Claudinei. Classificação dos remineralizadores. *Geologia USP. Série Científica*, v. 24, n. 2, p. 23-37, 2024.

MEENA, V.S.; MAURYA, B.R.; VERMAC, J.P.; AEROND, A.; KUMARA, A.; KIM, K.; BAJPAIF, V.K. Potassium solubilizing rhizobacteria (KSR): isolation, identification, and K-release dynamics from waste mica. **Ecological Engineering**. v. 81, p. 340-347, 2015.

NASCIMENTO, M.R.F.; ROCHA, D.L.; VIDEIRA, S.S.; SOUZA, I.M.; CUNHA, C.D. Biossolubilização de rochas e resíduos de rochas como fontes alternativas de fertilizantes para a agricultura. **Revista Ensaios Pioneiros**, 7(2). 2023.

SUN, F.; OU, Q.; WANG, N.; GUO, Z.X.; OU, Y.; LI, N.; PENG, C. Isolation and identification of potassium solubilizing bacteria from *Mikania micrantha* rhizospheric soil and their effect on *M. micrantha* plants. **Global Ecology and Conservation**. v. 23, p. 1-9, 2020.