

Avaliação do potencial de solubilização de potássio presente em rochas e resíduos de rochas por microrganismos

Assessment of the solubilization potential of potassium present in rocks and rock residue by microorganisms

Mariana Ruiz Frazão do Nascimento

Bolsista PCI, Eng. Química, D.Sc.

Cláudia Duarte Cunha

Supervisora, Eng. Química, D. Sc.

Resumo

O potássio é um nutriente essencial para a agricultura brasileira, porém cerca de 94% do fertilizante potássico consumido no país é importado. Muitos microrganismos presentes no solo têm a capacidade de solubilizar o potássio contido nos minerais. Nesse contexto, o presente estudo buscou avaliar o potencial de bactérias isoladas de um solo tropical, na solubilização do potássio presente em rochas e resíduos de rocha. Os ensaios de biossolubilização de potássio *in vitro* utilizando as estirpes selecionadas foram realizados em meio Aleksandrov, com a adição do pó de rocha como única fonte de potássio no meio. Os resultados mostraram que todas as estirpes bacterianas selecionadas foram capazes de solubilizar o potássio presente nos pós de rocha. Dentre as estirpes testadas, a IA13 se destacou por ter apresentado o maior percentual de extração de potássio em relação ao controle abiótico (259,82% para a Amostra 8, 300% para a Amazonita e 216,13% para o Kamafugito). Dessa forma, as estirpes bacterianas avaliadas neste estudo demonstraram potencial para serem testadas em processos biohidrometalúrgicos.

Palavras-chave: biossolubilização; pó de rocha; potássio, microrganismos.

Abstract

Potassium is an essential nutrient for Brazilian agriculture, but about 94% of the potash fertilizer consumed in the country is imported. Numerous soil microorganisms have the capacity to solubilize potassium found in minerals. In this context, this study sought to evaluate the potential of bacteria isolated from a tropical soil, in solubilizing potassium present in rocks and waste rock. *In vitro* potassium biosolubilization assays employing the selected strains were conducted in Aleksandrov's medium, with rock powder as the sole source of potassium in the culture medium. The results demonstrated that all tested bacterial strains were capable of solubilizing the potassium present in the rock powder. Among the strains tested, IA13 exhibited the highest percentage of potassium extraction in comparison to the abiotic control (259.82% increase for Sample 8, 300% for Amazonite and 216.13% for Kamafugito). Consequently, the bacterial strains tested in this study exhibit potential for further application in biohydrometallurgical processes.

Keywords: biosolubilization; rock powder; potassium; microorganisms.

1. Introdução

O potássio é um macronutriente importante para o desenvolvimento das plantas, pois desempenha papéis significativos na ativação de vários processos metabólicos, incluindo fotossíntese, síntese de proteínas e enzimas, bem como na resistência a doenças, pragas, etc (Meena et al., 2016, Sattar et al., 2018; NAIN et al., 2023).

O Brasil é responsável por cerca de 6% do consumo global de fertilizantes, sendo o segundo maior consumidor do mundo. De acordo com os dados do Ministério de Agricultura e Pecuária (MAPA) do ano de 2020, o país importou cerca de 94% do potássio utilizado na agricultura nacional. Portanto, o Brasil como grande consumidor de fertilizantes, precisa direcionar suas pesquisas para a exploração de fontes alternativas de potássio, com o objetivo de reduzir a dependência das importações de fertilizantes químicos, visando atender à crescente demanda agrícola (BRASIL, 2023).

Dentre as alternativas estão o uso das rochas que contenham teores significativos de potássio, e também dos resíduos gerados no processamento das mesmas (BENEDUZI *et al.*, 2013). No entanto, para que a potencialidade de uso direto das rochas ocorra de forma espontânea, são necessários muitos anos para a natureza fragmentar as rochas, para que, então, ocorra a liberação dos minerais ali presentes. Por essa razão, a baixa solubilidade desses materiais limita o fornecimento de nutrientes diretamente para as plantas (Alves et al., 2010).

Desta forma, uma estratégia para aumentar a disponibilidade destes nutrientes é a aplicação de processos biotecnológicos. Muitos microrganismos já foram descritos na literatura como solubilizadores de potássio (MEENA et al., 2015, PADHAN et al., 2019, BASAK et al., 2020). Os microrganismos envolvidos na biossolubilização operam através de diversos mecanismos para disponibilizar o potássio, entre eles a liberação de ácidos orgânicos, ácidos inorgânicos, produção de exopolissacarídeos (EPS) e formação de biofilme (PADHAN et al., 2019, NAIN et al., 2023).

Assim, o desenvolvimento de processos biotecnológicos para solubilização de potássio a partir de rochas ou de resíduos de rochas configura-se como uma alternativa sustentável atrativa frente à utilização de fertilizantes comerciais, contribuindo, também para o aproveitamento de resíduos da área de exploração mineral, que hoje se configuram como passivos ambientais geradores de possíveis impactos ambientais.

2. Objetivos

O presente estudo teve como objetivo avaliar a eficácia de diferentes estirpes bacterianas isoladas de solo agrícola na solubilização *in vitro* de potássio presente em diferentes rochas e resíduos de rochas brasileiras, e identificar as condições de processo mais adequadas para promover uma maior liberação desse elemento específico.

3. Material e Métodos

Em estudos anteriores realizados no Laboratório de Biotecnologia (Labiotec) do CETEM, foram isoladas 72 estirpes bacterianas de um solo rizosférico, das quais 5 apresentaram resposta no teste de halo. A formação do halo é um indicativo da produção de ácidos orgânicos pelos microrganismos, como mecanismo para solubilizar principalmente P e K contidos nas rochas e resíduos de rochas (ARIA et al., 2010; BASHIR et al., 2018). As estirpes bacterianas isoladas foram testadas em ensaios de biossolubilização, em meio Aleksandrov (HU et al., 2006). Além das estirpes isoladas, foi testada também uma estirpe do gênero *Paenibacillus* proveniente do banco de coleção de culturas do Labiotec, conhecidamente solubilizadora de potássio. O pH do meio de cultura foi ajustado para 7,0 antes da esterilização. No experimento foram utilizadas 3 amostras de rochas e resíduos minerais: Amazonita, que é uma variedade do feldspato microclínio, proveniente de Potiraguá, BA; Kamafugito, uma rocha de origem vulcânica, máfica e ultramáfica, e a Amostra 8 (pó de brita), um resíduo obtido de uma mineradora localizada na região Centro-Oeste do Brasil. As amostras continham 5.28%, 3% e 1.18% de teor de K₂O em suas composições, respectivamente. Os pós de rochas testados (1.0 % p/v) foram esterilizados separadamente antes da adição ao meio de cultura, como única fonte de potássio. Os experimentos foram conduzidos em frascos erlenmeyer de 250 mL contendo 100 mL de meio de cultura. O inóculo foi padronizado em 10% (v/v) para cada estirpe após a realização das suas curvas de crescimento. Os frascos foram agitados por 10 dias a 30 °C e 150 rpm. Ensaio controle foram realizados contendo apenas o meio de cultura e o pó de rocha, e todas as condições (bióticas e abióticas) foram feitas em triplicata. Ao final do experimento, as amostras foram centrifugadas a aproximadamente 4500 rpm à 4 °C por 20 minutos e os sobrenadantes foram filtrados utilizando membranas de 0.22 µm. A concentração de potássio em solução (mg. L⁻¹) foi determinada por espectrometria de absorção atômica (LIU et al., 2006).

4. Resultados e Discussão

Os resultados da solubilização de potássio pelas estirpes bacterianas estão apresentados na Tabela 1. É possível observar que todos os microrganismos testados foram capazes de remover potássio das três rochas utilizadas nos ensaios. As concentrações de K obtidas pelos microrganismos variaram de 200 a 500 mg.kg⁻¹. Os maiores valores de solubilização foram obtidos pela bactéria isolada da rocha Amazonita (IA13) nos três pós de rochas testados, alcançando valores de solubilização de 500 mg.kg⁻¹ para a Amazonita, 490 mg.kg⁻¹ para o Kamafugito e 340 mg.kg⁻¹ para a Amostra 8, após 10 dias de ensaio utilizando meio Aleksandrov. Os resultados obtidos foram satisfatórios quando comparados aos resultados recentes obtidos na literatura (AZIZAH et al. 2020; SUN et al. 2020; BOUBEKRI et al. 2021; CHINACHANTA; SHUTSRIRUNG 2021).

Tabela 1. Concentração e percentual de solubilização de potássio pelas estirpes isoladas e pela estirpe de *Paenibacillus polymyxa* após 10 dias de incubação em meio Aleksandrov.

Pó de rocha	Estirpes bacterianas	K (mg.kg ⁻¹)	Extração (%)
Amostra 8	Controle	94,5 ± 07,77	0,96 ± 0,00
	IA4	270,0 ± 14,14	2,76 ± 0,14
	IA13	340,0 ± 00,00	3,47 ± 0,00
	IK7	245,0 ± 21,21	2,50 ± 0,08
	IK10	205,0 ± 21,21	2,09 ± 0,21
	IK16	280,0 ± 70,71	2,86 ± 0,72
	<i>Paenibacillus polymyxa</i>	210,0 ± 14,14	2,14 ± 0,02
Amazonita	Controle	125,0 ± 07,07	0,26 ± 0,01
	IA4	395,0 ± 07,07	0,82 ± 0,01
	IA13	500,0 ± 14,14	1,04 ± 0,03
	IK7	295,0 ± 21,21	0,61 ± 0,04
	IK10	310,0 ± 14,14	0,64 ± 0,03
	IK16	250,0 ± 42,42	0,52 ± 0,09
	<i>Paenibacillus polymyxa</i>	200,0 ± 28,28	0,41 ± 0,06
Kamafugito	Controle	155,0 ± 07,07	0,62 ± 0,03
	IA4	330,0 ± 00,00	1,33 ± 0,00
	IA13	490,0 ± 42,42	1,97 ± 0,17
	IK7	270,0 ± 00,00	1,08 ± 0,00
	IK10	275,0 ± 07,07	1,1 ± 0,03
	IK16	285,0 ± 35,35	1,14 ± 0,14
	<i>Paenibacillus polymyxa</i>	260,0 ± 28,28	1,04 ± 0,11

Isolado Amazonita 4: IA4; Isolado Amazonita 13: IA13; Isolado kamafugito 7: IK7; Isolado kamafugito 10: IK10; Isolado kamafugito 16: IK16.

Dentre os valores de concentração de potássio obtidos nos ensaios de biossolubilização com o isolado IA13, o maior valor (3,47% p/p) foi alcançado na presença da Amostra 8. Em um estudo realizado por Matias et al. (2019) foi avaliado o desempenho do isolado bacteriano *Acidithiobacillus thiooxidans* FG-01 na biossolubilização de potássio, utilizando 20 g/L de rocha verdete, por 49 dias, em meio de cultura 9 K (SILVERMAN; LUNDGREN, 1959). Nesse estudo foram obtidos 6,6% de potássio a partir da rocha verdete. Embora o resultado tenha sido superior aos obtidos pelas estirpes bacterianas deste estudo, é importante notar que o tempo de ensaio foi cinco vezes superior, o que aumenta significativamente os custos do processo. Além disso, em um estudo realizado por Schueler et al. (2021) foram avaliadas as estirpes bacterianas *Burkholderia* sp., *Bacillus* sp., *C. Glathei*, *P. caribensis* isoladamente, além de um consórcio contendo todas, nos ensaios de biossolubilização utilizando meio Aleksandrov, e a rocha verdete, por 15 dias. Os resultados do percentual de extração de potássio foram de 0,68%, 0,61%, 0,48%, 0,50% e 0,58%, respectivamente. Estes resultados mostram que, apesar do tempo de

processo ter sido maior, os valores percentuais de extração de potássio foram inferiores aos obtidos no presente estudo.

Vale ressaltar, que apesar de o maior valor de concentração de potássio no meio (500 mg.kg^{-1}) ter sido obtido para o isolado IA13 na presença da rocha Amazonita, o percentual de extração foi o menor (1,04%) em função do maior teor de K_2O presente nesta amostra, quando comparado a Amostra 8. Da mesma forma, observou-se que com o uso da Amazonita, os menores percentuais de extração de potássio foram obtidos para todos os microrganismos testados. Isto pode ter ocorrido devido as diferentes composições mineralógicas das amostras testadas.

O maior percentual de extração de potássio em relação ao controle foi obtido com a utilização da rocha Amazonita na presença do microrganismo IA13 (aumento de 300%). Além disso, todos os ensaios conduzidos na presença dos diferentes microrganismos apresentaram percentuais de extração de potássio superiores a 50% quando comparados ao ensaio controle. Em um estudo conduzido por Sarikhani et al. (2018), o potencial de biossolubilização de potássio por um isolado bacteriano do gênero *Pseudomonas* foi avaliado em meio de cultura Aleksandrov, utilizando os minerais moscovita e biotita. Nesse estudo foram observados aumentos na extração de potássio de 127% e 188% em relação ao controle, respectivamente.

Neste contexto, o presente trabalho demonstrou a potencialidade de diferentes microrganismos isolados de um solo suplementado com pó de rocha, na biossolubilização de potássio *in vitro*. Foi observado que os valores de remoção de potássio obtidos estão de acordo com os encontrados na literatura. Com isso, tais resultados impulsionam a adoção de novas estratégias e rotas de biossolubilização para obter maiores valores de remoção de potássio a partir das rochas.

5. Conclusão

De acordo com os resultados obtidos, os ensaios de biossolubilização de potássio foram considerados positivos quando comparados ao ensaio controle, em relação à disponibilização de potássio. Todas as estirpes bacterianas apresentaram potencial nos ensaios *in vitro*, ressaltando que os melhores resultados encontrados ocorreram na presença da estirpe isolada IA13, onde foram alcançados 500 mg.kg^{-1} de potássio em solução para a amostra de Amazonita, 490 mg.kg^{-1} para a amostras de Kamafugito e 340 mg.kg^{-1} para a Amostra 8. A partir destes resultados, ensaios complementares deverão ser realizados com o intuito de otimizar o processo para obtenção de maiores valores de remoção.

6. Agradecimentos

Agradeço ao Centro de tecnologia Mineral pela estrutura para realização dos ensaios, a Dra. Sandy Sampaio pelo suporte nos ensaios em casa de vegetação no âmbito do Projeto Universal, a orientação da Dra. Cláudia Duarte da Cunha, ao CNPq pelo apoio financeiro, a Coordenação de análises minerais (COAMI) pela realização das análises dos resultados e aos pesquisadores Marisa Bezerra de Mello Monte e Luiz Carlos Bertolino pelo fornecimento das amostras utilizadas no estudo.

7. Referências Bibliográficas

ALVES, L.; OLIVEIRA, V. L.; SILVA FILHO, G. N. Utilization of rocks and ectomycorrhizal fungi to promote growth of eucalypt. **Brazilian Journal of Microbiology**. v. 41, p. 676-684, 2010.

ARIA, M.M.; LAKZIAN, A.; HAGHNIA, G.H.; BERENJI, A.R.; BESHARATI, H.; FOTOVAT, A. Effect of *Thiobacillus*, sulfur, and vermicompost on the water-soluble phosphorus of hard rock phosphate. **Bioresource Technology**. v. 101, p. 551-554, 2010.

AZIZAH, H.; RAHAJENG, S. M.; JATMIKO, Y. D. Isolation and screening of phosphate and potassium solubilizing endophytic bacteria in Maize (*Zea mays* L.). **The Journal of Experimental Life Science**. v. 10, n. 3, p. 165- 170, 2020.

BASAK, B. B.; MAITY, A.; RAY, P.; BISWAS, D. R.; ROY, S. Potassium supply in agriculture through biological potassium fertilizer: A promising and sustainable option for developing countries. **Archives of Agronomy and Soil Science**. v. 68, p. 101-114, 2020.

BASHIR, Z.; ZARGAR, M. Y.; BABA, Z. A.; MOHIDDIN, F. A.; PEER, F. A.; MIR, S. A.; NAJAR, G. R. Solubilization of potassium containing mineral by bacteria from Kashmir iris (*Iris kashmiriana*) rhizosphere. **The Pharma Innovation Journal**. v. 7, n. 4, p. 747-750, 2018.

BENEDUZI, A.; MOREIRA, F.; COSTA, P.B.; VARGAS, L.K.; LISBOA, B.B.; FAVRETO, R.; BALDANI, J.I.; PASSAGLIA, L.M.P. Diversity and plant growth promoting evaluation abilities of bacteria isolated from sugarcane cultivated in the South of Brazil. **Appl. Soil Ecol**. v. 4, p. 94-104, 2013.

BOUBEKRI, K.; SOUMARE, A.; MARDAD, I.; LYAMLOULI, K.; HAFIDI, M.; OUHDOUCH, Y.; KOUISNI, L. The screening of potassium- and phosphate- solubilizing actinobacteria and the assessment of their ability to promote wheat growth parameters. **Microrganisms**. v. 9, n. 470, p. 1-16, 2021

BRASIL. Ministério da Indústria Comércio Exterior e Serviços. Governo Federal. Comex Stat. Disponível em: <http://comexstat.mdic.gov.br/pt/comex-vis>. Acesso em maio de 2023.

CHINACHANTA, K.; SHUTSRIRUNG, A. Screening for P- and K- solubilizing and siderophore producing capacity of rhizobacteria from Khao Dawk Mali 105 Aromatic Rice. **IOP Conf. Series: Earth Environmental Science**. p. 1-13, 2021.

GROUDEV, S. N. Use of heterotrophic microorganisms in mineral biotechnology. **Acta Biotechnology**. v.17, p. 299-306, 1987.

Hu, X., Chen, J., Guo, J. Two phosphate- and potassium-solubilizing bacteria isolated from Tianmu Mountain, Zhejiang, China. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**. v. 22, p. 983–990, 2006..

LIU, D.; LIAN, B.; DONG, H. Isolation of *Paenibacillus* sp. and assessment of its potential for enhancing mineral weathering. **Geomicrobiology Journal**. v. 29, p. 413-421, 2012.

MATIAS, P. C.; MATTIELLO, E. M.; SANTOS, W. O.; JADEL, J. L.; ALVAREZ, V. H. Solubilization of a K-silicate rock by *Acidithiobacillus thiooxidans*. **Minerals Engineering**. v. 132, p. 69-75, 2019.

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.

MEENA V. S., BAHADUR I., MAURYA B. R., KUMAR A., MEENA R. K., MEENA S. K., VERMA J. P. Potassium-solubilizing microorganism in evergreen agriculture: An overview. In: Meena V, Maurya B, Verma, J, Meena R (eds). **Potassium solubilizing microorganisms for sustainable agriculture**. p. 1-20, 2016.

NAIN, A.; CHAUDHARY, K.; SHARMA, C.; SHEORAN, H. Potassium solubilization in soils. **Ecofarming**. v. 3, n. 1, p. 58-63, 2023.

PADHAN, D.; SEN, A.; KUNDU, R.; YADAV, V. K. Potassium solubilisation in soils: mechanisms, effect on plant growth and future prospects. **Current Research in soil fertility**. AkiNik Publications. Chapter 3. p. 37-59, 2019.

PARMAR, P.; SINDHU, S. S. Potassium solubilization by rhizosphere bacteria: influence of nutritional and environmental conditions. **Journal of Microbiology Research**. v. 3, n. 1, p. 25-31, 2013.

SARIKHANI, M. R.; OUSTAN, S.; EBRAHIMI, M.; ALIASGHARZAD, N. Isolation and identification of potassium-releasing bacteria in soil and assessment of their ability to release potassium for plants. **European Journal of soil Science**. p. 1-9, 2018.

SATTAR, A.; NAVEED, M.; ALI, M.; ZAHIR Z. A.; NADEEM, S. M.; YASEEN, M.; MEENA, V. S.; FAROOQ, M.; SINGH, R.; RAHMANF, M.; MEENA, H. N. Perspectives of potassium solubilizing microbes in sustainable food production system: A review. **Applied Soil Ecology**. p. 1-14, 2018.

SCHUELER, T. A.; DOURADO, M. L.; VIDEIRA, S. S.; CUNHA, C. D.; RIZZO, A. C. L. Biosolubilization of verdete: An alternative potassium source for agriculture fertilizer. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**. v. 34, p.1-6, 2021.

SILVERMAN, M.P.; LUNDGREN, D.G. Studies on the chemoautotrophic iron bacterium *Ferrobacillus ferrooxidans*. I. An improved medium and a harvesting procedure for securing high cell yields. **Journal of Bacteriology**. v. 77, p. 642–647, 1959.

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.

ZARJANI, J. K.; ALIASGHARZAD, N.; OUSTAN, S.; EMADI, M.; AHMADI, A. Isolation and characterization of potassium solubilizing bacteria in some Iranian soils. **Archives of Agronomy and Soil Science**. v. 77, p. 75-89, 2013.