

SOLUBILIZAÇÃO DE PÓ-DE-ROCHA POR *ASPERGILLUS NIGER*

**Maria Leonor Lopes-Assad¹, Márcia Maria Rosa², Greice Erler³ &
Sandra Regina Ceccato-Antonini⁴**

¹Universidade Federal de São Carlos, Departamento de Recursos Naturais e Proteção Ambiental. Cx. 153, CEP 13600-970, Araras-SP
assad@cca.ufscar.br

²Pós-graduação da Universidade Estadual Paulista, Centro de Estudos Ambientais
CEP 13506-900, Rio Claro-SP
mrciarosa@yahoo.com.br

³Iniciação Científica (CNPq/PIBIC), Curso de Engenharia Agrônômica da Universidade Federal de São Carlos, Araras-SP
greiceerler@hotmail.com

⁴Universidade Federal de São Carlos, Departamento de Tecnologia Agroindustrial e Sócio-Economia Rural
Cx.153, CEP 13600-970, Araras-SP
antonini@cca.ufscar.br

Recebido 22 de abril de 2006; revisado 27 de maio; aceito 29 de junho

RESUMO – Rochas silicáticas, contendo quantidades razoáveis de flogopita e/ou biotita, podem ser utilizadas como fonte de potássio em sistemas de produção agropecuária convencionais ou orgânicos, mas a disponibilização de elementos para o solo requer longos períodos de tempo. O fungo *Aspergillus niger* tem sido descrito como eficiente na solubilização de rochas fosfáticas, graças à produção de ácidos orgânicos. Este trabalho tem como objetivo avaliar a ação de *A. niger* na solubilização de duas rochas, para a liberação de potássio, via processo biotecnológico. Foram testadas uma rocha ultramáfica alcalina, coletada em Lages, Santa Catarina, e um flogopitito coletado em Carnaíba, na Bahia, contendo 3,32% e 5,13% de K₂O, respectivamente. O experimento *in vitro* foi conduzido em Erlenmeyers de 250ml, com 50ml de meio de cultura, em três tratamentos, com três repetições, envolvendo fungo + meio de cultura, pó de rocha + meio de cultura, fungo + pó de rocha + meio de cultura. A acidificação do meio promovida

por *A. niger* proporcionou aumento da taxa de solubilização de K contido em minerais das rochas estudadas, sendo que ao final de 21 dias o total solubilizado foi maior no tratamento do fungo com rocha ultramáfica alcalina ($1,52 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$) do que no tratamento com flogopitito ($0,52 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$). Houve oscilação do pH ao longo dos tratamentos de pó de rocha com fungo e não houve solubilização de K nos sete primeiros dias do ensaio de *A. niger* com flogopitito.

Palavras-Chave: biossolubilização, *Aspergillus niger*, rocha ultramáfica alcalina, flogopitito.

ABSTRACT – Silicatic rocks containing considerable flogopite and/or biotite amounts can be used as potassium sources in production systems under conventional and organic managements, but the availability of elements for the soil requires long periods of time. Reports have pointed out favorably to the usage of microorganisms in biosolubilization of phosphate rocks, especially the fungus *Aspergillus niger*, which has been described as effective in this process due to the acid production. This work aimed to evaluate the action of *A. niger* in the solubilization of two rocks for potassium release through biotechnological process. An alkaline ultramafic rock collected in Lages, Santa Catarina, and a flogopitite collected in Carnaíba, Bahia, containing 3.32% and 5.13% of K_2O , respectively, were used. *In vitro* experiments were performed in 250 ml-erlenmeyers flasks with 50 ml of a potassium-lacking culture medium, in triplicate, using the following treatments: fungus + culture medium, rock powder + culture medium, and fungus + rock powder + culture medium. Medium acidification has brought about increase in the potassium solubilization rate; with 21 days of cultivation, the rate was higher when alkaline ultramafic rock was used ($1.52 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$) than flogopitite ($0.52 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$). Values of medium pH oscilated in rock powder treatments and there was not potassium solubilization during the first seven days of cultivation with *A. niger* and flogopitite.

Keywords: biosolubilization, *A niger*, ultramafic alkaline rock, flogopitite

INTRODUÇÃO

A agricultura é o setor mais importante da economia brasileira e tem contribuído com aproximadamente 30% do produto interno bruto nos últimos 10 anos (Lopes-Assad & Almeida, 2004). Os solos brasileiros são tipicamente intemperizados, com baixos pH e teores de nutrientes, os quais são suplementados com fertilizantes para alcançar o ótimo desenvolvimento das culturas.

O potássio (K) é o segundo macronutriente em quantidade utilizada no manejo da adubação das culturas, ficando atrás apenas do fósforo, e tem fundamental importância para o desenvolvimento de frutos, translocação de metais, balanço iônico e ativação enzimática, os quais são responsáveis por produtos de boa qualidade e alta produtividade. No Brasil, cerca de 90% do K utilizado na agropecuária é importado, na forma de cloreto de potássio (KCl), principalmente do Canadá e da Rússia. Dados do DNPM (Oliveira, 2002) apontam um *deficit* a ser suprido via importação, durante o período 2001-2010, de 39,231 milhões de toneladas, que, a um preço médio FOB de US\$ 223,45/t (base importação 2000), acarretará um dispêndio de divisas total para os próximos 10 anos de 8.766 milhões de dólares. Essa situação induz pesquisas por fontes alternativas de fertilização potássica.

Visando reduzir o custo de produção e os impactos negativos na balança comercial brasileira, no que se refere ao uso de adubos químicos, algumas tentativas têm sido feitas para utilizar rochas *in natura* diretamente no solo. Inúmeros trabalhos, desenvolvidos em países tropicais (Leonardos et al., 1987, 2000; Gillman, 1980; Gillman et al., 2000, 2002), relatam resultados positivos obtidos em experimentos utilizando rochas silicáticas ricas em minerais

ferromagnesianos ou lavas e tufos ultrapotássicos/potássicos. Rochas silicáticas ricas em flogopita ou biotita são abundantes no Brasil e representam, em sua forma moída, importante possibilidade de uso como fertilizante. Estudos evidenciaram o potencial dessas rochas como fontes alternativas de potássio às culturas (Nascimento & Loureiro, 2004) e sugerem que as respostas à aplicação das rochas dependem da natureza da rocha e da combinação do tipo de solo e cultura. Em alguns casos, além do potássio, as rochas podem fornecer outros nutrientes e apresentam efeito alcalinizante, atuando como condicionadores de solo (Resende et al., 2005; Machado et al., 2005).

A aplicação de pó-de-rocha como fertilizante em ambientes tropicais quando comparada com a aplicação em ambientes de clima temperado, tem muitas vantagens, destacando-se a taxa de dissolução das rochas e dos minerais, e a reação entre superfícies minerais e a solução do solo, que são intensificadas em função da temperatura e da umidade (van Straaten, 2006). Ainda assim, os processos liberação dos nutrientes do pó-de-rocha para a solução do solo, na forma adequada para serem absorvidos pelas plantas, podem ser lentos (Theodoro, 2004). Diversos grupos de microrganismos, como as bactérias, fungos e actinomicetos, têm a capacidade de solubilizar o potássio retido em minerais silicatados, por meio de sua decomposição (Weed et al., 1969). Estudos de biossolubilização de fosfatos insolúveis visando à liberação de fósforo solúvel para a solução do solo têm apontado resultados promissores (Nahas & Assis, 1992; Silva Filho & Vidor, 2001; Silva Filho et al., 2002; Souchie et al., 2005) e estimulam as investigações de processos de biossolubilização de minerais portadores de potássio.

Os mecanismos envolvidos na liberação de minerais de rochas pelos microrganismos são i) a produção de ácidos orgânicos e inorgânicos e ii) reações de quelação e trocas iônicas (Nahas et al., 1990). O *Aspergillus niger* é um fungo capaz de produzir ácido cítrico e ácido oxálico (Sayer & Gadd, 1997) e um trabalho testando várias cepas de *A. niger* para produção de ácido cítrico a partir de melaço e vinhaça (Lopes & Ceccato-Antonini, 1996) apontou a linhagem CCT-4355 como a mais promissora para a acidificação do meio de cultura.

Em vista do exposto, este trabalho tem por objetivo avaliar o processo de biossolubilização de minerais, a partir da ação de *Aspergillus niger* em dois pós de rochas silicáticas contendo minerais ricos em potássio.

MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Universidade Federal de São Carlos, campus de Araras-SP, no Laboratório de Microbiologia Agrícola e Molecular (LAMAM). A linhagem de *Aspergillus niger* utilizada nos testes de solubilização foi a CCT-4355, isolada de vinhaça de cana-de-açúcar (Ceccato, 1989). O fungo, até o momento de sua utilização, foi mantido em meio de cultura Sabouraud, incubado por 7 a 10 dias a 30°C, e mantido em geladeira (4°C).

As rochas testadas nos ensaios de biossolubilização foram i) uma rocha ultramáfica alcalina, coletada em Lages, Santa Catarina, e ii) um flogopitito, coletado em Carnaíba, na Bahia, moídos até alcançarem granulometria < 0,075 mm. A determinação da composição química das rochas foi feita no Laboratório de Petrologia Aplicada à Pesquisa Mineral, do Centro de Pesquisa em Geofísica e Geologia da Universidade Federal da Bahia, por ICP OES, e os resultados

obtidos indicaram que a rocha ultramáfica alcalina apresentava 3,32% de K_2O enquanto que no flogopitito esse conteúdo era de 5,13% (**Quadro 1**).

Na produção de esporos para inóculo, foi realizado o repique em tubos de ensaio com meio de cultura MYPG, inclinado, constituído de: 3g de extrato de malte, 3g de extrato de levedura, 8g de peptona, 10g de glicose e 20g de ágar, dissolvidos em 1 litro de água destilada. Os tubos foram incubados a 30°C por cinco dias. Foram adicionados 3 ml de Tween 80 (0,1%) nos tubos com os esporos, e realizada a raspagem do meio para a liberação dos esporos do meio. Foi feita a contagem dos esporos, para a obtenção de aproximadamente 107 esporos/ml.

Os experimentos *in vitro* foram conduzidos em Erlenmeyers de 250ml, com 50ml de meio de cultura líquido, adaptado para *Aspergillus niger* (Cerezine et al., 1988). O pH do meio de cultura foi ajustado para 7 com NaOH 0,05N. Foram adicionados ao meio 0,2g de pó-de-rocha triturada e homogeneizada e 2 ml da suspensão de conídios em três tratamentos para cada pó-de-rocha: apenas o fungo *A. niger* (T1), apenas pó-de-rocha (T2) e pó-de-rocha mais o fungo *A. niger* (T3). Os frascos foram incubados a 30°C em agitação a 160 rpm por 21 dias, com análises de triplicatas a cada sete dias. Visando evitar possíveis problemas de contaminação, para cada período de medida, dispunha-se de um conjunto de três tratamentos, em três repetições cada um e, portanto, os resultados obtidos representam uma aproximação da continuidade do processo no tempo.

Quadro 1: Caracterização granuloquímica das rochas ultramáfica alcalina (UA) e flogopitito (FP) para elementos maiores, feitas no Laboratório de Petrologia Aplicada à Pesquisa Mineral, da Universidade Federal da Bahia, por ICP OES, em pós com granulometria < 0,075 mm.

Composição (%)	UA	FP
Al ₂ O ₃	8,20	8,86
CaO	12,41	5,97
Fe ₂ O ₃	12,53	9,32
K ₂ O	3,32	5,13
MgO	20,30	20,43
MnO	0,22	0,18
Na ₂ O	1,71	Nd
P ₂ O ₅	1,53	0,19
SiO ₂	33,26	47,12
TiO ₂	2,37	0,25
PF	3,79	2,28
Total	99,65	99,72

PF = perda ao fogo; nd = não detectado.

O conteúdo dos frascos foi filtrado em papel filtro Whatman nº01 a vácuo e no filtrado foram feitas as seguintes análises: teor de potássio em espectrofotômetro de chama e determinação do pH final, em pHmetro digital, conforme EMBRAPA (1997).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A quantidade de potássio aplicada nos dois ensaios foi de 2,83 mmol_c.dm⁻³ nos tratamentos com pó-de-rocha ultramáfica alcalina e de 4,37 mmol_c.dm⁻³ nos tratamentos com pó de flogopitito, visto que todos os tratamentos com pó-de-

rocha ultramáfica alcalina e de $4,37 \text{ mmol}_c.\text{dm}^{-3}$ nos tratamentos com pó de flogopitito, visto que todos os tratamentos com pó-de-rocha foram feitos em 50 mL de meio de cultura líquido e que a ultramáfica alcalina e o flogopitito apresentavam, respectivamente, 3,32% e 5,13% de K_2O (**Quadro 1**).

Os resultados obtidos nos dois ensaios indicam que, apesar do flogopitito apresentar um conteúdo de K_2O superior ao da rocha ultramáfica alcalina, ao final do ensaio a quantidade de potássio liberado foi maior no ensaio com ultramáfica alcalina do que com flogopitito (**Figura 1**). Isto se deve à mineralogia dessas duas rochas. O flogopitito utilizado neste ensaio, proveniente de Carnaíba na Bahia e intimamente associado à ocorrência de esmeralda, é praticamente monomineralico (Giuliani & Couto, 1988), formado pela mica flogopita com alto teor de sílica (mais de 47% de SiO_2), conforme o **Quadro 1**. Por outro lado, a rocha ultramáfica alcalina, é um kimberlito de mineralogia complexa que provavelmente possui em sua composição, além da mica flogopita, minerais como olivina, carbonatos e piroxênios, que lhes conferem uma taxa de solubilização mais rápida.

A solubilização das rochas em meio líquido rico em *A. niger* se dá principalmente em função da capacidade desse fungo de produzir ácidos orgânicos (Sayer & Gadd, 1997) que, ao acidificarem o meio, desestabilizam os minerais presentes, liberando o potássio. Essa acidificação é tamponada por sais que venham a ser liberados pelos minerais contidos na rocha.

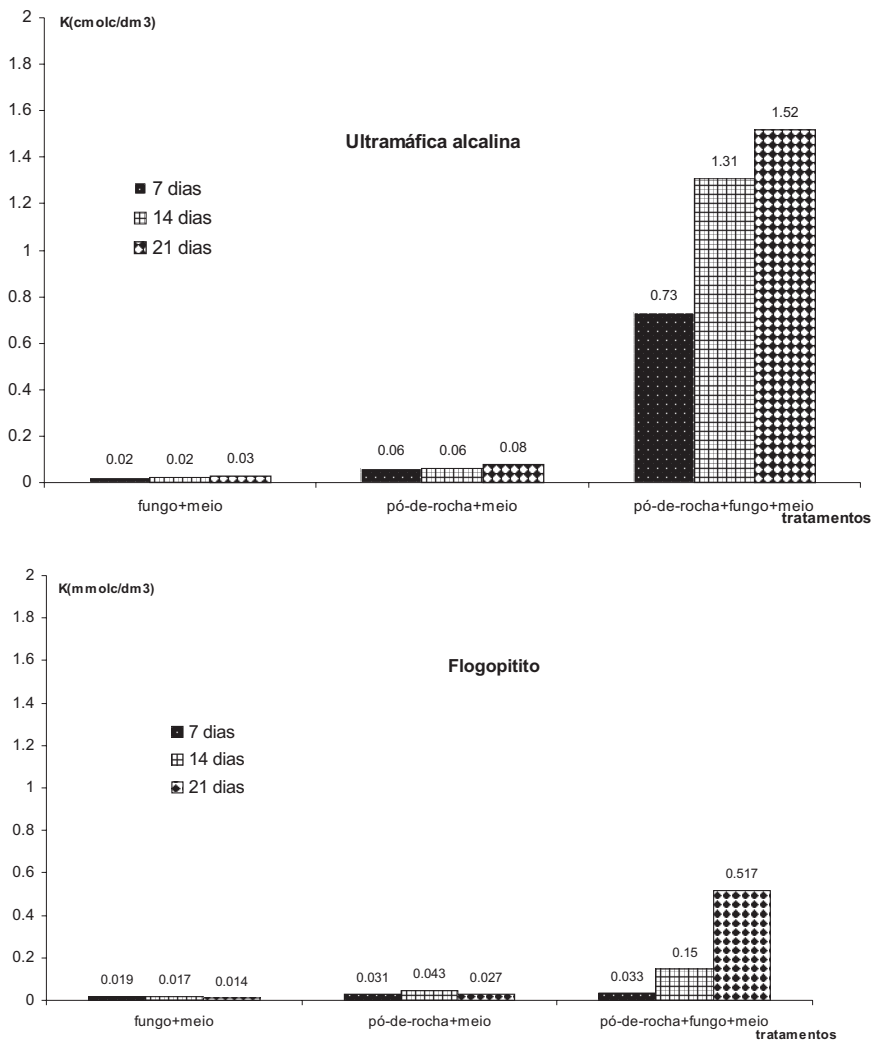


Figura 1: Quantidade de potássio solúvel (K em $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$) determinada aos 7, aos 14 e aos 21 dias nos ensaios com rocha ultramáfica alcalina e com flogopitito.

Da observação da **Figura 2**, constata-se que o poder de *A. niger* de acidificar o meio é relativamente grande, pois nos dois ensaios, no tratamento fungo + meio, o pH caiu bastante já nos primeiros sete dias (de 7 para 2,3 no ensaio com rocha ultramáfica e de 7 para 3,6 no ensaio com flogopitito). Quando se observam os tratamentos pó-de-rocha + meio (**Figura 3**), constata-se que, nos primeiros sete dias, no ensaio com rocha ultramáfica alcalina o pH sobe (7,9), indicando uma possível liberação de sais para a solução, e mantém-se praticamente o mesmo no ensaio com flogopitito. Essas diferenças de comportamento se refletem nos tratamentos de pó-de-rocha + fungo + meio. No ensaio com o pó-de-rocha ultramáfica alcalina o pH cai drasticamente nos primeiros sete dias (2,7), refletindo a ação acidificante do fungo, e aumenta pouco a pouco até o 21º dia (3 e 3,7), provavelmente devido à liberação de bases contidas nos minerais dessa rocha. Já no flogopitito, o pH cai nos primeiros sete dias, passando a 3,5 e, portanto refletindo uma condição menos ácida do que no ensaio com ultramáfica alcalina, mas continua caindo até o 21º dia, indicando que na ausência de bases, o poder acidificante do fungo continua a prevalecer. No tratamento com flogopitito e *A. niger* não houve solubilização de K nos primeiros sete dias de ensaio (**Figura 1**), indicando uma resistência maior à solubilização do que aquela observada na ultramáfica alcalina.

Esse comportamento do pH pode explicar as diferentes taxas de liberação de K obtidas nos dois ensaios. Embora esses tenham sido conduzidos em frascos diferentes para medidas aos 7, aos 14 e aos 21 dias, em três repetições, e portanto sem continuidade do processo ao longo dos 21 dias de ensaio, buscou-se entender a cinética de dissolução de potássio contido nos pós-de-rocha quando em presença de *A. niger* (**Figura 3**)

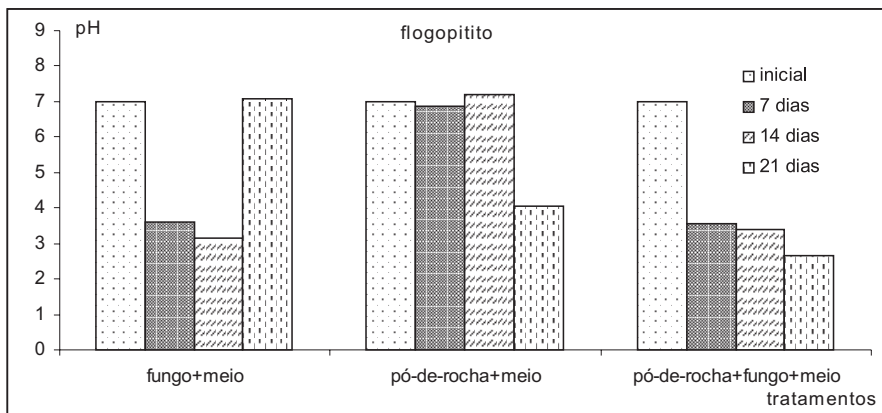
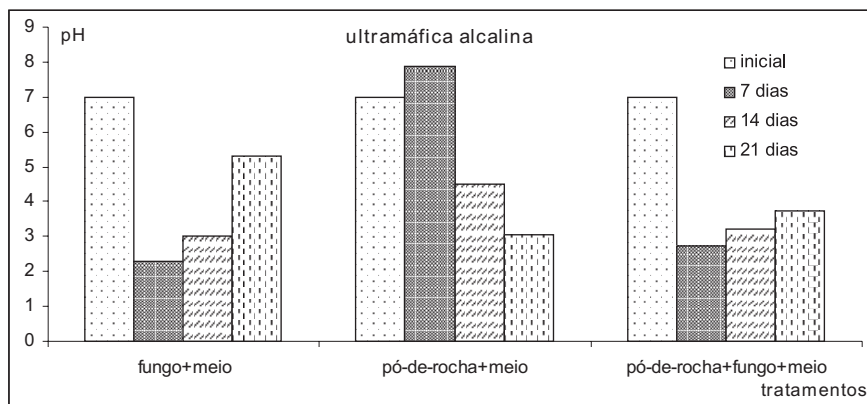


Figura 2: pH medido no início, aos 7 dias, aos 14 dias e aos 21 dias nos ensaios com rocha ultramáfica alcalina e com flogopitito.

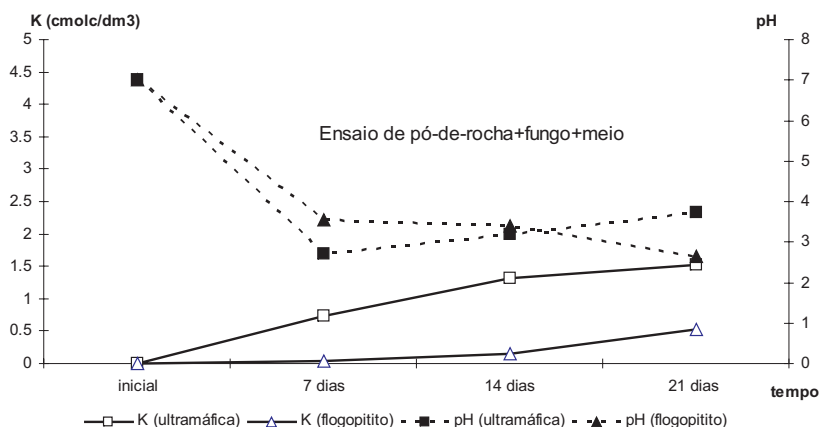


Figura 3: Variação de pH e de conteúdo de potássio em solução no ensaio de pó-de-rocha + fungo + meio.

Constata-se que em 21 dias, houve solubilização de 53,7% do potássio total contido no pó-de-rocha ultramáfica alcalina enquanto que no flogopitito apenas 11,8% foi solubilizado. Nota-se que enquanto a taxa de solubilização na ultramáfica tende a estabilizar no tempo (passa de 0,1 cmol_c/dm³ na 1ª semana para 0,19 cmol_c/dm³ na 2ª semana e 0,22 cmol_c/dm³ na 3ª semana), no flogopitito essa taxa cresce com o tempo (passa de 0,005 cmol_c/dm³ na 1ª semana para 0,02 cmol_c/dm³ na 2ª semana e 0,07 cmol_c/dm³ na 3ª semana). Esse comportamento é coerente com a acidez do meio, que tende a diminuir no tempo para a ultramáfica alcalina e aumentar no tempo para o flogopitito, (**Figura 3**), bem como com a mineralogia das rochas estudadas.

É interessante observar que mesmo nos tratamentos sem fungo e nos tratamentos sem pó-de-rocha, o conteúdo de K na solução não é nulo (**Figura 1**). Como os ensaios foram mantidos em agitação, pode ter havido solubilização

de K nos tratamentos de pó-de-rocha+meio, por ação do meio líquido. Já nos tratamentos sem pó-de-rocha é possível que, mesmo com todos os cuidados tomados, algum potássio residual tenha permanecido no meio de cultura. De todo modo, são valores muito pequenos quando comparados aos tratamentos de pó-de-rocha com *A.niger*, em meio de cultura líquido.

Assim, o processo de solubilização de minerais a partir da ação de microrganismos, especialmente *A. niger*, tem grande potencial, pois é de baixo custo e de alta eficiência. O estudo deve prosseguir objetivando o aperfeiçoamento de métodos para aplicação efetiva dessa tecnologia, por meio do teste de outros microrganismos, outros meios de cultura e outros pós-de-rocha, com avaliação destes em biorreatores para efetivar o aproveitamento desta tecnologia na fertilização agrícola dos solos brasileiros.

CONCLUSÕES

A acidificação do meio promovida por *Aspergillus niger* aumentou a taxa de solubilização de K contido em minerais das rochas estudadas. Ao final de 21 dias o total de potássio solubilizado foi maior no tratamento do fungo com rocha ultramáfica alcalina ($1,52 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$) do que com flogopitito ($0,52 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$). Houve oscilação do pH ao longo tempo com aumento de acidez e conseqüente aumento da taxa de solubilização de K, no tratamento com flogopitito e *A. niger*. No tratamento de ultramáfica alcalina com *A. niger* a tendência foi de diminuição da acidez e conseqüente diminuição da velocidade de solubilização de K. São necessários estudos em períodos de tempo mais longos, analisando outros compostos presentes no soluto, e aperfeiçoamento do processo visando à obtenção de fertilizante na forma desejada.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Ministério de Ciência e Tecnologia, fundos setoriais Mineral e do Agronegócio pelo suporte financeiro (Contratos FINEP 2883/03 e CNPq 506313/2003-4) ao Projeto “Rochas brasileiras como fontes alternativas de potássio para uso em sistemas agropecuários”. Os autores agradecem ainda ao CNPq à concessão da bolsa de Greice Erler.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CECCATO, S. R. (1989) *Produção de biomassa e depuração biológica da vinhaça de cana-de-açúcar por cultura mista de fungos filamentosos e leveduras*. Dissertação de Mestrado, UNESP.
- CEREZINE, P. C.; NAHAS, E.; BANZATTO, D. A. (1988) Phosphate accumulation by *Aspergillus niger* from fluorapatite. *Applied Microbiology and Biotechnology*, v. 29, p. 501-505.
- EMBRAPA – Centro Nacional de Pesquisa de Solos. (1997) *Manual de Métodos de Análise de Solos*. Rio de Janeiro: EMBRAPA/CNPS. 212 p. Documentos 1. 2ª.edição.
- GILLMAN, G.P. (1980) The effect of crushed basaltscoria on the cation exchange properties of a highly weathered soil. *Soil Science Society of American Journal*, 44: 465-468.
- GILLMAN, G.P.; BUEKKETT, D.C.; COVENTRY, R. J. (2000) A laboratory study of application of basalt dust to highly weathered soils: effects ion soil cation chemistry. *Australian Journal of Soil Research*, 39: 799-811.
- GILLMAN, G.P.; BUEKKETT, D.C.; COVENTRY, R.J. (2002) Amending highly weathered soils with finely ground basalt rock. *Applied Geochemistry* 17: 987-1001.
- GIULIANI, G.; COUTO, P. (1988) O metassomatismo de infiltração e sua importâncias nos depósitos de esmeralda no Brasil. In: Congresso Latino-Americano de Geologia,

7. Belém: *Anais*. p. 459-475. acessado em 21/05/2007: http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_5/b_fdi_20-21/26742.pdf
- LEONARDOS, O.H.; FYFE, W.S.; KRONBERG, B.I. (1987) The use of ground rocks in laterite systems: an improvement to the use of conventional soluble fertilizers? *Chemical Geology*, 60: 361-370.
- LEONARDOS, O.H.; THEODORO, S.H.; LOPES-ASSAD, M.L. (2000) Remineralization for sustainable agriculture: A tropical perspective from a Brazilian viewpoint. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 56: 3-9.
- LOPES, F.; CECCATO-ANTONINI, S. R. (1996) *Avaliação da possibilidade de substituição total ou parcial do melaço pela vinhaça como substrato para a fermentação cítrica*. Relatório Final – PIBIC, CNPq.
- LOPES-ASSAD, M. L.; ALMEIDA, J. (2004) Agricultura e sustentabilidade: contexto, desafios e cenários. *Ciência e Ambiente*, v.29, n.1, p.1-17.
- MACHADO, C.T.T.; RESENDE, A.V.; MARTINS, E.S.; SOBRINHO, D.A.S.; NASCIMENTO, M.T.; FALEIRO, A.S.G.; LINHARES, N.W.; SOUZA, A.L.; CORAZZA, E.J. (2005) Potencial de rochas silicáticas no fornecimento de potássio para culturas anuais: ii. Fertilidade do solo e suprimento de outros nutrientes. In: *Congresso Brasileiro de Ciência do Solo*, 30. Recife. Anais. Recife: UFRPE/SBCS, 2005. (cd-rom).
- NAHAS, E.; ASSIS, L. C. (1992) Solubilização de fosfatos de rochas por *Aspergillus niger* em diferentes tipos de vinhaça. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 27 (2), p. 325-331.
- NAHAS, E.; BANZATTO, D. A.; ASSIS, L. C. (1990) Fluorapatite solubilization by *Aspergillus niger* in vinasse medium. *Soil Biology & Biochemistry*, v. 22, n. 8, p. 1097-1101.

- NASCIMENTO, M.; LOUREIRO, F.E.L. (2004) *Fertilizantes e sustentabilidade: o potássio na agricultura brasileira, fontes e rotas alternativas*. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 66p. (Série Estudos e Documentos, 61).
- OLIVEIRA, L.A.M. (2003) *Potássio*. In: Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM). Sumário Mineral 2002. Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br>. Acesso em: 13 de outubro de 2003.
- RESENDE, A.V.; MACHADO, C.T.T.; MARTINS, E.S.; NASCIMENTO, M.T.; SOBRINHO, D.A.S.; FALEIRO, A.S.G.; LINHARES, N.W.; SOUZA, A.L.; CORAZZA, E.J. (2005) Potencial de rochas silicáticas no fornecimento de potássio para culturas anuais: i. Respostas da soja e do milheto. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 30. *Anais*. Recife: UFRPE/SBCS, 2005. (cd-rom).
- SAYER, J. A.; GADD, M. G. (1997) Solubilization and transformation of insoluble inorganic metal compounds to insoluble metal oxalates by *Aspergillus niger*. *Mycological Research*, v. 101 (6), p 653-661.
- SILVA FILHO, G.N.; VIDOR, C. (2001) Atividade de microrganismos solubilizadores de fosfatos na presença de nitrogênio, ferro, cálcio e potássio. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 36 (12), p. 1495-1508.
- SILVA FILHO, G.N.; NARLOCH, C.; SCHARF, R. (2002) Solubilização de fosfatos naturais por microrganismos isolados de cultivos de *Pinus* e *Eucalyptus* de Santa Catarina. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 37 (6), p. 847-854.
- SOUCHIE, R.A.; BAREA, J.M.; SAGGIN JÚNIOR, O.J.; SILVA, E.M.R. (2005) Solubilização de fosfatos em meios sólidos e líquidos por bactérias e fungos do solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 40 (11), p. 1149-1152.
- THEODORO, S.C.H. (2005) *Fertilização da terra pela terra: uma alternativa de sustentabilidade para o pequeno produtor rural*, disponível em: http://www.universia.com.br/html/materia/materia_daih.html, consultado em 12/12/2005.

VAN STRAATEN, P. (2006) Farming with rocks and minerals: challenges and opportunities. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 78 (4): p. 731-747.

WEED, S. B.; DAVEY, C. B.; COOK, M. G. (1969) Weathering of mica by fungi. *Soil Science Society American Procedures*, v. 33, p. 702-706.