

## Rendimento da alface e atributos químicos de um Latossolo em função da aplicação de biofertilizantes de rochas com fósforo e potássio

Rita de Cássia Matias de Lima; Newton Pereira Stamford; Carolina Etienne de Rosália e Silva Santos; Silvio Henrique Lino Dias

UFRPE, Depto. Agronomia, 52171-900 Recife-PE; newtonps@depa.ufrpe.br

### RESUMO

A produção de biofertilizantes a partir de rochas é um processo prático que reduz o consumo de energia e aumenta a disponibilidade de nutrientes no solo. Realizou-se um experimento em campo, para avaliar a eficiência e o poder residual de biofertilizantes de rochas com fósforo (BP) e com potássio (BK) mais enxofre inoculado com *Acidithiobacillus*, aplicados em diferentes doses, para comparação com os fertilizantes minerais superfosfato simples (SFS) e cloreto de potássio (KCl), no rendimento da alface (cv. Crespa-Grand Rapids), em dois plantios consecutivos, e em alguns atributos químicos do solo (pH, Ca, Mg trocável, P e K disponível). Nos dois ciclos houve efeito dos biofertilizantes BP, BK, e dos fertilizantes solúveis SFS e do KCl no rendimento da alface. Os melhores resultados no 1º ciclo foram com os tratamentos SFS<sub>700</sub> BK<sub>90</sub>, SFS<sub>700</sub> BK<sub>60</sub> e no 2º ciclo com BP<sub>700</sub> BK<sub>90</sub>, SFS<sub>700</sub> BK<sub>60</sub>, e com SFS<sub>700</sub> BK<sub>90</sub>. Observou-se efeito residual quando aplicados os tratamentos BP<sub>1050</sub> BK<sub>90</sub>. No pH do solo não houve efeito dos biofertilizantes, aplicados em mistura com húmus de minhoca, e verificou-se significativo aumento no P e K disponíveis no solo, especialmente para P no 2º ciclo. Concluiu-se que os biofertilizantes de rochas com P e K, em mistura com húmus de minhoca, podem ser usados como alternativa a fertilizantes minerais solúveis.

**Palavras-chave:** *Lactuca sativa*, apatita, biotita, disponibilidade de PK, oxidação do enxofre.

### ABSTRACT

#### Lettuce yield and chemical attributes of an Oxisol by application of biofertilizers from phosphate and potash rocks

Production of rock biofertilizers is a practical process which reduces energy consumption and increases nutrients availability in soils. A field experiment was carried out applying phosphate biofertilizer (PB) and potash biofertilizer (KB) from rocks plus sulfur with *Acidithiobacillus*, applied in different rates, comparing with the mineral fertilizers simple superphosphate (SFS) and potassium chloride (KCl), on yield of lettuce (cv. Crespa-Grand Rapids), in two consecutive crops and in soil chemical attributes (pH, and available P and K). A control treatment was added without P and K (P<sub>0</sub>K<sub>0</sub>). In the two consecutive crops the biofertilizers BP, BK, and chemical fertilizers SFS and KCl were effective on lettuce yield. In the first crop the best results were obtained with the treatments SFS<sub>700</sub> BK<sub>90</sub>, SFS<sub>700</sub> BK<sub>60</sub>, and in the consecutive crop applying the treatments BP<sub>700</sub> BK<sub>90</sub>, SFS<sub>700</sub> BK<sub>60</sub> and SFS<sub>700</sub> BK<sub>90</sub>. In the two crops the positive response of the PK biofertilizers and PK mineral fertilizers was evident. Residual effect was observed when the treatment BP<sub>1050</sub> BK<sub>90</sub> was applied. Soil pH was not affected by application of PK biofertilizers plus worm-compound, increasing available P and K, especially for available P in the consecutive crop. The PK rock biofertilizers, plus worm-compound, may be applied as an alternative to PK mineral soluble fertilizers.

**Keywords:** *Lactuca sativa* L., apatite, available P and K, biotite, sulfur oxidation.

(Recebido para publicação em 11 de julho de 2006; aceito em 2 de abril de 2007)

No Brasil, o cultivo de alface em escala comercial vem crescendo de forma rápida, sendo uma hortaliça de grande expressão na economia brasileira. A utilização de técnicas de cultivo sem uso de produtos tóxicos vem representando um aspecto considerável tanto para o consumidor como para o meio ambiente. Assim, o fornecimento adequado de nutrientes está diretamente relacionado com a fertilização, e torna-se de especial importância verificar a disponibilidade dos elementos essenciais no solo, principalmente com relação ao fósforo e potássio, em plantas de ciclo curto como a alface (Lal, 2000).

O desenvolvimento e aplicação de um manejo integrado de nutrientes, com vista a produtividade e sustentabilidade

agrícola implica na redução do uso de fertilizantes solúveis e incremento de fontes não tradicionais de nutrientes, como adubação orgânica, fixação biológica do N<sub>2</sub>, biofertilizantes, e a reciclagem de resíduos (FAO, 1995).

Para a produção de fertilizantes fosfatados solúveis é necessário apreciável gasto de energia e mão de obra especializada. A utilização direta dos fertilizantes naturais é muito restrita, principalmente devido à sua baixa solubilidade, sendo mais usados em misturas com os fertilizantes solúveis (Oliveira *et al.* 1977). Dentre os fertilizantes, o potássio é o segundo mais utilizado no Brasil, sendo quase inteiramente atendido por importação, que chega a mais de 6 milhões de t, e o País tem

como produção atual apenas cerca de 650 mil toneladas (Roberts, 2004).

O uso de microrganismos na solubilização de nutrientes de rocha vem recebendo a atenção dos pesquisadores em programas de interação com diferentes microrganismos (Ballesterio *et al.*, 1996; Nahas, 1999). Na solubilização de rochas vêm sendo utilizadas bactérias oxidantes do enxofre do gênero *Thiobacillus*, atualmente classificadas como *Acidithiobacillus* (Kelly & Wood, 2000), as quais podem ocorrer naturalmente nos solos agrícolas. Poucos trabalhos realizados com adição de enxofre sem a inoculação com a bactéria específica mostraram solubilização lenta e resultados bastante variáveis (Lombardi *et al.* 1981). Por outro lado,

a adição da bactéria em concentração conhecida, e aplicada diretamente no enxofre, deverá promover ação mais rápida e eficiente, favorecendo o desenvolvimento das plantas (Stamford *et al.*, 2003, 2004, 2005 e 2006).

O objetivo do presente trabalho foi verificar a eficiência de biofertilizantes produzidos com rocha fosfatada (apatita) e com rocha potássica (biotita xisto), mais enxofre inoculado com *Acidithiobacillus*, em mistura com vermicomposto de minhoca, comparando com os fertilizantes minerais solúveis, no rendimento da alface e em alguns atributos químicos do solo, em dois cultivos consecutivos.

## MATERIAL E MÉTODOS

No experimento aplicou-se biofertilizante de rocha fosfatada (Irecê, Bahia) e de rocha potássica (biotita xisto, Paraíba), produzidos com adição de enxofre elementar inoculado com a bactéria oxidante do enxofre *Acidithiobacillus*. Os biofertilizantes foram produzidos em condições de campo, na horta experimental da UFRPE, utilizando canteiros com 10 m de comprimento, 1 m de largura e 0,5 m de profundidade, seguindo a metodologia descrita em detalhes por Stamford *et al.* (2006a).

O experimento foi conduzido na Escola Agrotécnica Federal de Crato, Ceará, em solo com baixo teor de P disponível e médio teor de K disponível, representativo da região do Cariri, classificado como Latossolo Amarelo húmico, textura média argilosa, fase floresta tropical, sub-perenifolia, com relevo suavemente ondulado, geograficamente localizado na latitude W. Gr. 39° 25' e latitude S 7° 14', com altitude de 422 m, na faixa de clima quente subúmido, com temperaturas máximas de 35°C, mínima de 22°C e média de 27°C, com pluviosidade média de 800 mm anuais. A determinação de alguns atributos químicos do solo, na camada de 0–20 cm, de acordo com a metodologia da Embrapa (1997), apresentou: pH (H<sub>2</sub>O) 6,2; cations trocáveis (cmolc dm<sup>-3</sup>) Ca<sup>2+</sup> 2,0; Mg<sup>2+</sup> 0,8; K<sup>+</sup> 0,2; Al<sup>3+</sup> 0,0; P (mg dm<sup>-3</sup>) 0,6 e M.O. (g kg<sup>-1</sup>) 26.

Utilizou-se a alface (cv. Crespa Grand Rapids-TBR) como planta teste

e, vermicomposto de minhoca na adubação orgânica básica, na quantidade de 600g m<sup>-2</sup>, conforme quadro de utilização do húmus para hortaliças da empresa Febra Húmus que contém 0,5 g kg<sup>-1</sup> de N; 2 mg kg<sup>-1</sup> de P; 5 mg kg<sup>-1</sup> de K, e pH 7,9. Foram realizadas duas aplicações, sendo a primeira no plantio (300 g m<sup>-2</sup>), e 15 dias após o transplante das mudas foi feita a segunda aplicação (300 g m<sup>-2</sup>).

O delineamento experimental adotado foi de blocos casualizados, com quatro repetições, em esquema fatorial 5<sup>2</sup>, sendo dois nutrientes: fósforo (P) e potássio (K). Como fontes de P foram adicionadas: 1) SFS<sub>700</sub>, quantidade de SFS (700 kg ha<sup>-1</sup>), calculada com base na recomendação para alface (IPA, 1998), de acordo com a análise do solo; 2) Biofertilizante BP<sub>350</sub>, correspondente à metade de SFS<sub>700</sub>; 3) Biofertilizante BP<sub>700</sub> biofertilizante, equivalente à quantidade recomendada como SFS; 4) Biofertilizante BP<sub>1050</sub> biofertilizante (BP<sub>3</sub>) 1,5 vez a quantidade calculada para SFS; e 5) controle, sem adição de P (P<sub>0</sub>). Como fontes de K usou-se: KCl<sub>60</sub>, quantidade de KCl (30 kg ha<sup>-1</sup>), calculada com base na recomendação para alface (IPA, 1998), de acordo com a análise do solo; 2) Biofertilizante BK<sub>30</sub>, correspondente à metade de KCl<sub>60</sub>; 3) Biofertilizante BK<sub>60</sub> biofertilizante, equivalente à quantidade de KCl recomendada; 4) Biofertilizante BK<sub>90</sub> biofertilizante equivalente a 1,5 vez a quantidade calculada como KCl; e 5) controle, sem adição de K (K<sub>0</sub>).

Os tratamentos com P e K foram adicionados juntamente com a primeira aplicação do vermicomposto de minhoca (300 g m<sup>-2</sup>), após homogeneização manual, para facilitar a distribuição dos fertilizantes, com adição a lanço. A solubilidade dos fertilizantes e dos biofertilizantes foi feita em água, citrato de amônio (C.N.A.), em ácido cítrico a 2%, e com o extrator Mehlich 1 (Embrapa, 1997) e pelo método biológico com *Aspergillus sidowii* (Dias *et al.* 2005), sendo os teores de fósforo e potássio total apresentados na tabela 1.

As mudas de alface foram produzidas em bandejas de polietileno de 128 células, preenchidas com o substrato "Plantmax". O transplante foi realizado

quando as plantas atingiram a altura de 8 a 10 cm e com 5 a 6 folhas definitivas (cerca de 30 dias). O espaçamento adotado foi de 0,25 x 0,25 m, compreendendo 5 plantas por fileira e 25 plantas por parcela. As plantas foram irrigadas duas vezes ao dia por microaspersão. Através de determinações em amostras de solo, observou-se que a umidade ficou próxima da capacidade de campo, durante a fase experimental. Foram feitos dois plantios consecutivos (ciclo 1 e ciclo 2), sendo o segundo cultivo realizado 15 dias após a colheita do primeiro ciclo, sem fertilização com P e K, para verificação do efeito residual. Não houve necessidade de aplicação de inseticidas nem fungicidas, nos dois cultivos.

Em amostragem com coleta de 4 plantas parcela<sup>-1</sup>, foi feita a determinação da matéria seca (MS) da parte aérea por pé (cabeça). O sistema radicular foi coletado junto com a parte aérea, e, após lavagem em água corrente, a parte aérea foi separada das raízes, e conduzidas para secagem em estufa de circulação de ar forçada (70°C), sendo, posteriormente, determinada a matéria seca da parte aérea (MS). Foram retiradas amostras compostas de solo (6 sub amostras por parcela), com coleta de 0-15 cm, e após secagem ao ar e peneiramento (peneira de 2 mm) foi procedida a determinação de: pH, cations trocáveis (Ca e Mg) e P e K disponíveis, seguindo a metodologia da Embrapa (1997).

A análise estatística foi realizada utilizando o programa SAS (1999), para identificação da necessidade de transformação dos dados e adequação aos requisitos da análise de variância. A comparação de médias foi procedida pelo teste de Tukey (p d" 0,05).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 são apresentados os dados obtidos para a biomassa seca da parte aérea da alface. Verifica-se que houve efeito da fertilização com P e K, na produção de biomassa seca da alface, em relação ao tratamento controle (P<sub>0</sub>K<sub>0</sub>). Os biofertilizantes mostraram efeitos semelhantes ao tratamento com aplicação dos fertilizantes minerais solúveis SFS e KCl, nos dois ciclos. To-

**Tabela 1.** Teor de fósforo e potássio total ( $\text{g kg}^{-1}$ ), nos biofertilizantes e nas rochas com P e K utilizadas no experimento, usando diferentes processos de extração <sup>1</sup> (Total phosphorus and potassium rates ( $\text{g kg}^{-1}$ ), on biofertilizers and P and K rocks applied in the experiment, using different extraction processes). Crato, Escola Agrotécnica Federal de Crato, 2005.

Discriminação	Teor de K			Teor de P			
	Total	H <sub>2</sub> O	Mehlich <sup>1</sup>	Total	H <sub>2</sub> O	Mehlich <sup>1</sup>	CNA+ H <sub>2</sub> O
Biofertilizante K	15,0	0,5	5,0	ND	ND	ND	ND
Biofertilizante P	2,7	ND	ND	106	4,0	17,0	42
Rocha com K	16,2	0,2	ND	ND	ND	ND	ND
Rocha com P	ND	ND	ND	106	0,4	22,0	55

<sup>1</sup> ND = não determinado

**Tabela 2.** Efeitos da aplicação de biofertilizantes de rochas com P e K em comparação com superfosfato simples e cloreto de potássio e sem fertilização com P e K na biomassa seca da alface em 2 ciclos (Effects of P and K rock biofertilizers application compared with triple superphosphate and potassium chloride and without P and K fertilization on dry biomass of lettuce in two consecutive crops). Crato, Escola Agrotécnica Federal de Crato, 2005.

Adição de P e K <sup>(1)</sup> (kg ha <sup>-1</sup> )	Fertilização com P (kg ha <sup>-1</sup> )					
	P <sub>0</sub> (sem P)	BP <sub>350</sub>	BP <sub>700</sub>	BP <sub>1050</sub>	SFS <sub>700</sub>	Médias
<b>Biomassa seca da parte aérea da alface no 1º ciclo (g planta<sup>-1</sup>)</b>						
K0 (sem K)	4,4bB	5,2bAB	5,0bAB	5,4bAB	6,2bA	5,2c
Biofertilizante BK30	6,8aAB	7,0aAB	6,0abB	6,8aAB	8,1aA	6,9a
Biofertilizante BK 60	6,8aA	6,9abA	6,9aA	6,6aA	7,7aA	7,2a
Biofertilizante BK 90	4,8bB	5,5abAB	5,7abAB	6,7aA	7,2abA	6,0b
KCl 60	5,8abA	6,0abA	5,7abA	6,8aA	6,9abA	6,2b
Médias	5,7b	6,2b	5,9b	6,5ab	7,2a	
<b>Biomassa seca da parte aérea da alface no 2º ciclo (g planta<sup>-1</sup>)</b>						
K0 (sem K)	4,6aAB	4,3bB	4,1cB	5,3bcAB	5,9aA	4,8c
Biofertilizante BK 30	5,0aA	5,4abA	5,0bcA	5,1bcA	5,5aA	5,2bc
Biofertilizante BK 60	4,3aB	4,5bB	5,6bAB	6,7aA	6,6aA	5,5ab
Biofertilizante BK 90	4,5aC	5,9aB	7,6aA	5,9bB	6,7aAB	5,5ab
KCl	4,9aA	5,6abA	5,5bA	4,5cA	5,6aA	6,0a
Média	4,7c	5,1bc	5,6ab	5,5ab	6,0a	

<sup>(1)</sup>BP<sub>350</sub>, BP<sub>700</sub>, BP<sub>1050</sub> equivalente a 350, 700 e 1050 kg ha<sup>-1</sup> de biofertilizante de rocha fosfatada, e BK<sub>30</sub>, BK<sub>60</sub>, BK<sub>90</sub> equivalente a 30, 60 e 90 kg ha<sup>-1</sup> de biofertilizante de rocha potássica. Letras maiúsculas mostram diferença significativa na interação entre as fontes de P em cada nível de K e letras minúsculas entre as fontes de K em cada nível de P, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. C.V. (%) no 1º ciclo = 10,69 e no 2º ciclo = 12,64. D.M.S. 1º ciclo nas colunas e linhas = 1,80 e no 2º ciclo nas colunas e linhas = 1,35.

davia, no 1º ciclo foram obtidos melhores resultados quando aplicados os tratamentos SFS<sub>700</sub> BK<sub>30</sub> e SFS<sub>700</sub> BK<sub>60</sub>, e no 2º ciclo BP<sub>700</sub> BK<sub>90</sub>, SFS<sub>700</sub> BK<sub>90</sub>, e BP<sub>1050</sub> BK<sub>60</sub>. De maneira geral os tratamentos com P apresentaram maiores biomassa seca com SFS<sub>700</sub> e com BP<sub>1050</sub>, e os tratamentos com K foram com BK<sub>30</sub> e BK<sub>60</sub>. Os tratamentos que apresentaram os resultados mais baixos na biomassa seca no 1º ciclo foram: BP<sub>0</sub> BK<sub>30</sub>, BP<sub>2</sub> BK<sub>0</sub>, e no 2º ciclo BP<sub>0</sub> BK<sub>30</sub>, BP<sub>700</sub> BK<sub>0</sub>, BP<sub>700</sub> BK<sub>0</sub>, BP<sub>1050</sub> KCl<sub>60</sub>.

Moura (2006), trabalhando para avaliar o efeito de biofertilizantes de rochas

fosfatadas e potássicas na matéria seca da parte aérea de melão cultivado em Argissolo do vale do São Francisco, e Stamford *et al.* (2006a) com cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) em solo de tabuleiro da Zona da Mata de Pernambuco, encontraram resultados semelhantes aos obtidos no presente trabalho.

De maneira geral não houve efeito residual evidenciado, ou seja, com aumento da produção no 2º ciclo, todavia, observa-se que o tratamento BP<sub>700</sub> BK<sub>90</sub> e SFS<sub>700</sub> BK<sub>90</sub> mantiveram o aumento na biomassa seca da parte aérea, apresen-

tando os maiores incrementos em comparação com o tratamento controle, o que evidencia o efeito residual. Dias *et al.* (2005) também constataram efeito residual com aplicação de biofertilizantes de rochas com P e K, na produtividade do caupi (*Vigna unguiculata*), em solo de tabuleiro da Zona da Mata de Pernambuco.

As temperaturas máximas registradas durante o cultivo foram consideradas elevadas, o que pode ter influenciado o desenvolvimento da planta, pois a maioria das cultivares de alface prefere temperaturas amenas sem grandes variações, sendo que uma amplitude de 10 a 24°C é satisfatória para a maior parte das espécies cultivadas na região (Douglas, 1987).

Os dados de pH obtidos em função da aplicação dos tratamentos de fertilização (Tabela 3) revelaram que, de maneira geral, não houve redução no pH, e a variação observada não teve efeito negativo no desenvolvimento da planta, além do que deve ser considerado que foram obtidas satisfatórias produtividades da alface nos níveis calculados com base na recomendação da análise de solo, tanto para os biofertilizantes como para os fertilizantes minerais. A aplicação de níveis elevados de biofertilizantes de rochas com P e K inoculadas com *Acidithiobacillus* não promoveu redução significativa no pH do solo, provavelmente devido à adição conjunta com vermicomposto de minhoca que tem pH médio de 7,8.

Resultados obtidos por Ernani *et al.* (2001) mostram que o pH do solo é afetado pela aplicação de tratamentos fosfatados, sem prejuízo no desenvolvimento das plantas. He *et al.* (1996) relatam que a acidez é um fator de grande importância na solubilidade de fosfatos naturais e Stamford *et al.* (2002), usando S inoculado com *Acidithiobacillus* na recuperação de solos salinos sódicos, observaram que a produção de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> continua a ocorrer até o consumo total do S adicionado, chegando a promover a acidificação do solo com redução do pH inicial 8,2 para 4,5 com adição de 1,8 t ha<sup>-1</sup> de S.

Para P disponível no solo verifica-se que houve efeito da fertilização com P e K, no P disponível no solo, com

maior aumento quando aplicados BP<sub>1050</sub> e SFS<sub>700</sub> (Tabela 4). Observa-se efeito residual no 2º ciclo, especialmente para os tratamentos BP<sub>700</sub> BK<sub>90</sub> e SFS<sub>700</sub> BK<sub>60</sub>, provavelmente devido à menor utilização pela alface no primeiro ciclo, e no caso do biofertilizante pela atuação da bactéria oxidante do enxofre que continua disponibilizando P no solo.

Stamford *et al.* (2005), em experimento com um Espodosolo da Zona da Mata de Pernambuco cultivado com sabiá (*Mimosa caesalpinifolia*), relatam que a utilização de fosfato natural revestido com enxofre inoculado com *Acidithiobacillus* teve efeito significativo e com resposta mais evidenciada do que com aplicação de superfosfato triplo. Moura (2003) trabalhando com as leguminosas jacatupé (*Pachyrhizus erosus*) e caupi relata que o fosfato natural em mistura com S inoculado com *Acidithiobacillus* aumenta a disponibilidade de P.

Lombardi *et al.* (1981) afirmam que devido aos baixos teores de enxofre nos solos, a população de *Acidithiobacillus* é limitada, mas, por outro lado, com a adição desse elemento no solo, pode ocorrer a multiplicação das bactérias oxidantes do enxofre, resultando em melhor aproveitamento do fósforo pelas plantas. Stamford *et al.* (2005) observaram efeito positivo do fosfato natural de Gafsa com adição de S inoculado com *Acidithiobacillus* no P disponível em solo cultivado com sabiá.

Para K disponível verificou-se que houve efeito da fertilização com P e K no 1º ciclo (Tabela 5), sendo obtidos os melhores resultados com os tratamentos BP<sub>0</sub> KCl<sub>60</sub> e BP<sub>1050</sub> KCl<sub>60</sub>. No 2º ciclo não se observou efeito residual, sendo que o tratamento com maior disponibilidade de K no solo foi com aplicação de BP<sub>0</sub> BK<sub>60</sub> e de BP<sub>1050</sub> KCl<sub>60</sub>, provavelmente porque estes tratamentos não promoveram bom crescimento da planta no 1º ciclo, e o K permaneceu disponível no solo.

A ausência de efeito residual (2º ciclo) para os biofertilizantes com P e K é justificada pela diferença no teor de K<sub>2</sub>O solúvel, tendo em vista que na biotita xisto, utilizada para a produção do biofertilizante potássico possui em média 10% de K<sub>2</sub>O, e no KCl é em torno

**Tabela 3.** Efeito de biofertilizantes de rochas com P e K no pH do solo, em comparação com fertilizantes solúveis (superfosfato simples e cloreto de potássio), e sem fertilização com P e K em dois cultivos consecutivos com alface (Effects of P and K rock biofertilizers on soil pH, compared with soluble fertilizers (triple superphosphate and potassium chloride) and without P and K fertilization, in two consecutive crops with lettuce). Crato, Escola Agrotécnica Federal de Crato, 2005

Adição de P e K <sup>(1)</sup> (kg ha <sup>-1</sup> )	Fertilização com P (kg ha <sup>-1</sup> )					Médias
	P <sub>0</sub> (sem P)	BP <sub>350</sub>	BP <sub>700</sub>	BP <sub>1050</sub>	SFS <sub>700</sub>	
<b>pH do solo (H<sub>2</sub>O) no 1º ciclo</b>						
K <sub>0</sub> (sem K)	6,3aA	6,2aA	6,1aA	6,0aA	6,0aA	6,1a
Biofertilizante K30	6,3aA	6,2aA	6,2aA	6,2aA	5,9aA	6,2a
Biofertilizante K 60	6,2aA	6,1aA	6,2aA	6,1aA	5,9aA	6,1a
Biofertilizante K 90	6,1aA	6,4aA	6,1aA	6,2aA	6,0aA	6,2a
KCl 60	6,6aA	6,2aAB	6,5aA	6,0aB	5,9aB	6,2a
Médias	6,3a	6,2ab	6,2ab	6,1bc	5,9c	
<b>pH do solo (H<sub>2</sub>O) no 2º ciclo</b>						
K <sub>0</sub> (sem K)	6,1aA	6,1aA	5,9aA	6,2aA	5,9aA	6,0a
Biofertilizante K 30	6,0aA	6,1aA	6,2aA	6,1aA	6,0aA	6,1a
Biofertilizante K 60	6,0aA	6,0aA	6,1aA	6,2aA	5,9aA	6,1a
Biofertilizante K 90	6,2aA	6,1aA	6,1aA	6,0aA	5,9aA	6,1a
KCl60	6,1aA	5,9aA	6,2aA	6,2aA	5,9aA	6,1a
Médias	6,1a	6,1a	6,1a	6,1a	5,9a	

<sup>(1)</sup> BP<sub>350</sub>, BP<sub>700</sub>, BP<sub>1050</sub> equivalente a 350, 700 e 1050 kg ha<sup>-1</sup> de biofertilizante de rocha fosfatada, e BK<sub>30</sub>, BK<sub>60</sub>, BK<sub>90</sub> equivalente a 30, 60 e 90 kg ha<sup>-1</sup> de biofertilizante de rocha potássica. Letras maiúsculas mostram diferença significativa na interação entre as fontes de P em cada nível de K e letras minúsculas entre as fontes de K em cada nível de P, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. C.V. (%) no 1º ciclo = 4,12 e no 2º ciclo = 4,63. D.M.S. no 1º ciclo nas colunas e linhas = 0,50 e no 2º ciclo nas colunas e linhas = 0,56.

**Tabela 4.** Efeito de biofertilizantes de rochas com P e K no P disponível do solo, em comparação com fertilizantes solúveis (superfosfato simples e cloreto de potássio) e sem P e K, em dois cultivos consecutivos com alface (Effects of P and K rock biofertilizers on soil available P, compared with soluble fertilizers (triple superphosphate and potassium chloride) and without P and K fertilization, in two consecutive crops with lettuce). Crato, Escola Agrotécnica Federal de Crato, 2005.

Adição de P e K <sup>(1)</sup> (kg ha <sup>-1</sup> )	Fertilização com P (kg ha <sup>-1</sup> )					Médias
	P <sub>0</sub> (sem P)	BP <sub>350</sub>	BP <sub>700</sub>	BP <sub>1050</sub>	SFS <sub>700</sub>	
<b>P disponível no solo (mg dm<sup>-3</sup>), no 1º ciclo</b>						
K <sub>0</sub> (sem K)	1,4aC	2,7cC	6,2bB	11,1aA	6,4cdB	5,5c
Biofertilizante K30	1,9aC	4,5bB	4,6cB	7,8bA	7,5bcA	5,3c
Biofertilizante K 60	2,0aC	6,3aB	7,5abB	10,6aA	9,6aA	7,2a
Biofertilizante K 90	2,7aD	4,4bC	6,5abB	9,8aA	5,9dB	5,8bc
KCl 60	2,1aD	4,9bC	7,7aB	9,9aA	7,9bB	6,5b
Médias	2,0e	4,6d	6,5c	9,8a	7,5b	
<b>P disponível no solo (mg dm<sup>-3</sup>), no 2º ciclo</b>						
K <sub>0</sub> (sem K)	1,0aC	2,2cC	4,3cB	7,1aA	5,2cB	3,9c
Biofertilizante K 30	2,0aC	4,4bB	6,6bA	7,6aA	6,8bA	5,5b
Biofertilizante K 60	1,5aE	4,9bD	6,5bC	8,5aB	10,9aA	6,5a
Biofertilizante K 90	1,8aC	8,6aB	10,5aA	7,7aB	7,0bB	7,0a
KCl 60	2,2aB	2,4cB	2,6cB	4,7bA	5,0cA	3,3c
Médias	1,7d	4,4c	6,1b	7,1a	7,0a	

<sup>(1)</sup> BP<sub>350</sub>, BP<sub>700</sub>, BP<sub>1050</sub> equivalente a 350, 700 e 1050 kg ha<sup>-1</sup> de biofertilizante de rocha fosfatada, e BK<sub>30</sub>, BK<sub>60</sub>, BK<sub>90</sub> equivalente a 30, 60 e 90 kg ha<sup>-1</sup> de biofertilizante de rocha potássica. Letras maiúsculas mostram diferença significativa na interação entre as fontes de P em cada nível de K e letras minúsculas entre as fontes de K em cada nível de P, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. C.V. (%) no 1º ciclo = 11,73 e no 2º ciclo = 14,47. D.M.S. no 1º ciclo nas colunas e linhas = 0,22 e no 2º ciclo nas colunas e linhas = 0,22

**Tabela 5.** Efeito de biofertilizantes de rochas com P e K no K disponível do solo, em comparação com fertilizantes solúveis (superfosfato simples e cloreto de potássio) e sem P e K, em dois cultivos consecutivos com alface (Effects of P and K rock biofertilizers on soil available K, compared with soluble fertilizers (triple superphosphate and potassium chloride) and without P and K fertilization, in two consecutive crops with lettuce). Crato, Escola Agrotécnica Federal de Crato, 2005.

Adição de P e K <sup>(1)</sup> (kg ha <sup>-1</sup> )	Fertilização com P (kg ha <sup>-1</sup> )					Médias
	P <sub>0</sub> (sem P)	BP <sub>350</sub>	BP <sub>700</sub>	BP <sub>1050</sub>	SFS <sub>700</sub>	
<b>K disponível no solo (mg dm<sup>-3</sup>), no 1º ciclo</b>						
K <sub>0</sub> (sem K)	0,28cC	0,43aAB	0,39cAB	0,46aA	0,36bBC	0,47a
Biofertilizante K30	0,51abA	0,47aA	0,47abcA	0,44aA	0,31bB	0,46a
Biofertilizante K 60	0,46bA	0,42aA	0,43bcA	0,49aA	0,46aA	0,47a
Biofertilizante K 90	0,46bA	0,47aA	0,48abA	0,47aA	0,39abA	0,48a
KCl 60	0,56aA	0,48aA	0,55aB	0,53aB	0,46aB	0,50a
Médias	0,45b	0,44b	0,45b	0,45b	0,54a	
<b>K disponível no solo (mg dm<sup>-3</sup>), no 2º ciclo</b>						
K <sub>0</sub> (sem K)	0,26bA	0,27aA	0,27aA	0,25bA	0,23aA	0,26b
Biofertilizante K 30	0,38aA	0,27aB	0,26aB	0,24bB	0,22aB	0,27b
Biofertilizante K 60	0,29bA	0,27aA	0,27aA	0,30abA	0,26aA	0,28b
Biofertilizante K 90	0,26bA	0,27aA	0,31aA	0,25bA	0,26aA	0,27b
KCl 60	0,33abAB	0,32aAB	0,31aAB	0,36aA	0,28aB	0,32a
Médias	0,3a	0,28ab	0,28ab	0,28ab	0,25b	

<sup>(1)</sup> BP<sub>350</sub>, BP<sub>700</sub>, BP<sub>1050</sub> equivalente a 350, 700 e 1050 kg ha<sup>-1</sup> de biofertilizante de rocha fosfatada, e BK<sub>30</sub>, BK<sub>60</sub>, BK<sub>90</sub> equivalente a 30, 60 e 90 kg ha<sup>-1</sup> de biofertilizante de rocha potássica. Letras maiúsculas mostram diferença significativa na interação entre as fontes de P em cada nível de K e letras minúsculas entre as fontes de K em cada nível de P, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. C.V. (%) no 1º ciclo = 10,54 e no 2º ciclo = 14,00. D.M.S. no 1º ciclo colunas e linhas = 0,09 e no 2º ciclo nas colunas e linhas = 0,08.

de 58% de K<sub>2</sub>O. O potássio do KCl encontra-se prontamente disponível, e pode ter sido lixiviado, o que pode ser observado, inclusive no tratamento com os fertilizantes solúveis (superfosfato simples e cloreto de potássio).

De acordo com Malavolta (1989) a alface é muito sensível à falta de potássio, e com deficiência do nutriente a planta mostra aparência seca, crestamento nas bordas das folhas, e superfícies foliares desigualmente cloróticas, todavia a sintomatologia característica de deficiência de potássio não foi observada no presente trabalho.

O efeito dos biofertilizantes, de forma similar aos fertilizantes minerais solúveis, também pode ser explicado levando em consideração que no solo ocorrem bactérias oxidantes do enxofre, além de *Acidithiobacillus*, e fungos que produzem fosfatases, quitina e quitosana, como *Aspergillus* e *Cunninghamella* (Franco et al., 2005), os quais podem atuar na solubilização de P e K dos biofertilizantes, e, portanto, podem participar efetivamente no

aumento da disponibilidade de P e de K para as plantas.

De acordo com Raij (1986) é recomendável o uso de fontes alternativas de P como fosfato de rocha, quando são obtidos rendimentos de 80% a 90% em comparação com o apresentado pela fonte solúvel. Conclui-se que os biofertilizantes de rochas com fósforo e com potássio além de enxofre inoculado com *Acidithiobacillus*, em mistura com vermicomposto de minhoca, podem ser aplicados como fonte alternativa em substituição a fertilizantes minerais solúveis, sem afetar o pH e a produtividade da alface. A fertilização com P e K mostra efeito residual, especialmente quando aplicados os biofertilizantes com P e K de rochas, com maior aumento para o P disponível.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pelas bolsas de produtividade e de Iniciação Científica (PIBIC) e pelo apoio concedido à pesquisa.

## REFERÊNCIAS

- BALLESTERO SD; JORGE JA; NICOLINO CAC; FILLIETTAZ EVV; ONO RK. 1996. Efeito da compostagem na solubilização de rochas fosfatadas e potássicas. *Biociência* 2: 12-22.
- DIAS SHL; STAMFORD NP; FERREIRA AR; BEZERRA RV; SOUSA LQ. 2005. Determinação do K disponível por método biológico com *Aspergillus sidowii* em função da adubação com biofertilizantes e fertilizantes (KCl e SFT) em dois cultivos consecutivos com caupi (*Vigna unguiculata*). In: XV CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UFRPE, 15. Anais... Recife:UFRPE. p. 145-146.
- DOUGLAS JS. 1987. *Hidroponia*. Cultivo sem terra. São Paulo: Livraria Nobel S.A. 144p.
- EMBRAPA. 1997. *Manual de Métodos de Análise de solo*. 2. ed. Brasília: Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 212 p.
- ERNANI PR; STECLING C; BAYER C. 2001. Características químicas de solo e rendimento de massa de milho em função do método de aplicação de fosfatos, em dois níveis de acidez. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 25: 939-946.
- FAO. 1995. *World agriculture: towards 2010*, by N. Alexandratos. ed. New York. John Wiley & Sons.
- FILGUEIRA FAR. 1982. *Manual de olericultura cultivo e comercialização de hortaliças*. 2 ed. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres.v. 2.
- FRANCO LO; STAMFORD TCM; STAMFORD NP; TAKAKI, GMC. 2005. *Cunninghamella elegans* (IFM 46109) como fonte de quitina e quitosana. *Analytica* 4: 40-44.
- HE ZL; BALIGAR VC; MARTENS DC; RITCHEY KD; KEMPER WD. 1996. Factors affecting phosphate rock dissolution in acid soil amended with liming materials and cellulose. *Soil Science Society of American Journal* 60: 1596-1601.
- IPA. 1998. *Recomendações de adubação para o estado de Pernambuco*. 2 ed. Recife: Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária. 198p.
- KELLY DP; WOOD AP. 2000. Reclassification of some species of *Thiobacillus* to the newly designated genera *Acidithiobacillus* gen. nov., *Halothiobacillus* gen. nov. and *Thermithiobacillus* gen. nov., *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*. 50:511-516.
- LAL R. 2000. Soil management in the developing countries. *Soil Science* 165: 319-350.
- LIMA RA. 2005. *Biofertilizante produzidos com fosfato natural e enxofre inoculado com Acidithiobacillus em solo de tabuleiro com baixo P disponível cultivado com cana-de-açúcar*. Recife: UFRPE. 69p (Tese mestrado).
- LOMBARDI MLCO; LOPES ES; CARDOSO EJB; SILVA MTR. 1981. *Eficiência da dissolução de três fosfatos naturais no solo, pela atividade microbiológica de oxidação de enxofre elementar*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 18. Anais... Salvador: Resumos. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo p38.

- MALAVOLTA E. 1989. *ABC da adubação*. São Paulo: Agronômica Ceres. 4 ed.
- MOURA PM. 2006. *Uso de biofertilizantes de rochas com enxofre e Acidithiobacillus em Argissolo Acinzentado do Vale do São Francisco cultivado com melão*. Recife: UFRPE. 73p. (Dissertação Mestrado).
- NAHAS E. 1999. Solubilização microbiana de fosfatos e de outros elementos. In: SIQUEIRA JO; MOREIRA FMS; LOPES AS; GUILHERME LRG; FAGUIEN U; FURTINI NETO AE; CARVALHO JG. (Ed.). *Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas*. Viçosa: SBCS p. 467-486.
- OLIVEIRA MCC; LOPES ES; SILVA MTR; NAGAI R. 1977. Influência de oxidação microbiana do enxofre na solubilização de apatita de Araxá. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 1: 24-28.
- RAIJ B van. 1986. Condições mínimas de eficiência para fosfatos alternativos ao superfosfato. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 10: 235-239.
- ROBERTS T. 2004. *Reservas de minerais potássicos e a produção de fertilizantes potássicos do mundo*. Potafos: Informações agronômicas 107: 2-3.
- SAS INSTITUTE. 1999. *The SAS System for Windows*. CD – ROM for Windows 32 – bits.
- STAMFORD NP; LIMA RA; SANTOS CERS; DIAS SHL. 2006a. Rock biofertilizers with *Acidithiobacillus* on sugarcane yield and nutrient uptake in a Brazilian soil. *Geomicrobiology Journal* 23: 261-265.
- STAMFORD NP; SANTOS PR; SANTOS CERS; FREITAS ADS; DIAS SHL; LIRA JUNIOR MA. 2006b. Agronomic effectiveness of biofertilizers with phosphate rock, sulphur and *Acidithiobacillus*, for yam bean grown on a Brazilian tableland acidic soil. *Bioresource Technology* 98: 1311-1318.
- STAMFORD NP; SANTOS CERS; SANTOS PR; SANTOS KSR; MONTENEGRO A. 2005. Effects of rock phosphate, sulphur with and without *Acidithiobacillus* and organic by-products on mimosa (*Mimosa caesalpinifolia*) grown in a Brazilian tableland soil. *Tropical Grasslands* 39: 54-61.
- STAMFORD NP; SANTOS CERS; STAMFORD JUNIOR WP; DIAS SL. 2004. Biofertilizantes de rocha fosfatada com *Acidithiobacillus* como adubação alternativa de caupi em solo com baixo P disponível. *Analytica* 9: 48-53.
- STAMFORD NP; FREITAS ADS; SANTOS CERS; FERRAZ DS; MONTENEGRO A. 2003. Nitrogen fixation and growth of cowpea and yam bean in a sodic soil as affected by gypsum and sulphur inoculated with *Thiobacillus* and rhizobia. *Tropical Grasslands* 37: 11-17.
- STAMFORD NP; FREITAS ADS; FERRAZ DS; SANTOS CERS. 2002. Effect of sulphur inoculated with *Thiobacillus* on saline soils amendment and growth of cowpea and yam bean legumes. *Journal of Agricultural Science* 139: 275-281.