

Solubilização de fosfatos naturais por microrganismos isolados de cultivos de *Pinus* e *Eucalyptus* de Santa Catarina⁽¹⁾

Germano Nunes Silva Filho⁽²⁾, Charles Narloch⁽²⁾ e Rosana Scharf⁽²⁾

Resumo – A utilização de microrganismos solubilizadores tem sido sugerida como alternativa ao uso de fertilizantes fosfáticos. Para serem utilizados num programa de inoculação controlada, os microrganismos devem apresentar grande capacidade e potencial de solubilização. O objetivo deste trabalho foi avaliar a capacidade e o potencial de solubilização de 56 isolados inoculados em meio GES contendo fosfato (Anitápolis, Araxá ou Catalão), usando-se um fatorial 57x3 (56 isolados + testemunha e três fosfatos) conduzido em delineamento completamente casualizado com três repetições. Após 15 dias de incubação, determinaram-se as quantidades de P e o pH do meio. Foram verificados efeitos dos fosfatos, dos isolados e da interação. Baixos valores de pH foram obtidos por isolados que apresentaram médio a alto potencial. O teor médio de P foi superior no fosfato de Anitápolis, seguido do Araxá. Trinta e um isolados solubilizaram quantidades significativas. O 310 apresentou o mais alto potencial (média de 263 $\mu\text{g mL}^{-1}$ de P). Quatro isolados (177, 262, 251 e 269) apresentaram alto potencial (120 a 150 μg), e doze (201, 309, 199, 195, 249, 202, 198, 305, 253, 196, 203 e 307), mostraram valores médios (80 a 120 μg). O comportamento dos isolados foi diferente entre os fosfatos. Apenas quatro isolados solubilizaram os três fosfatos (310, 251, 199 e 249). As características apresentadas pelos isolados 310, 251, 199 e 249 os qualificam para um programa de seleção visando à inoculação controlada.

Termos para indexação: solubilizadores de fosfato, fósforo, biologia de solo.

Solubilization of natural phosphates by microorganisms isolated from *Pinus* and *Eucalyptus* plantations in Santa Catarina, Brazil

Abstract – The use of P-solubilizing microorganisms have been suggested as an alternative to replace the utilization of phosphate fertilizers. In order to be used in programs of controlled inoculation, microorganisms must display a high capacity and potential for solubilization. The aim of this study was to evaluate the potential and the capacity of 56 microbial isolates to solubilize different types of phosphates. The evaluation was performed in GES medium supplemented with one of the following phosphates: Anitápolis, Araxá and Catalão, through a factorial experiment [(56 isolates + control) x three phosphates] in a randomized complete design with three replications. After 15 days of inoculation, levels of phosphorus and pH of the media were determined. Effects of phosphates, isolates and the interaction were verified. Low values of pH were obtained by isolates with high and medium potential. The average level of P was superior in Anitápolis phosphate, followed by Araxá. Thirty-one isolates solubilized significant quantities. The isolate 310 showed the highest potential (average of 263 $\mu\text{g mL}^{-1}$ of P). Four isolates (177, 262, 252 and 269) showed high potential (120 to 150 μg), and twelve (201, 309, 199, 195, 249, 202, 198, 305, 253, 196, 203 and 307) showed medium values (80 to 120 μg). Isolates behavior was different among phosphates. Only four isolates solubilized all three phosphates (310, 251, 199 and 249). The characteristics displayed by isolates 310, 251, 199 and 249 qualified them for a screening program aiming controlled inoculation.

Index terms: phosphate-solubilizing microorganism, phosphorus, soil biology.

⁽¹⁾ Aceito para publicação em 14 de novembro de 2001.

Projeto financiado pela International Foundation for Science.

⁽²⁾ Universidade Federal de Santa Catarina, Dep. de Microbiologia e Parasitologia, Centro de Ciências Biológicas, Caixa Postal 476, CEP 88010-970 Florianópolis, SC. E-mail: germano@ccb.ufsc.br, charles@narloch.com

Introdução

O setor florestal constitui um importante segmento econômico do País, pois contribui com 3,3 bilhões de dólares em exportação (Hoeflich et al., 2000) e 4% do Produto Interno Bruto (Brasil, 2000). O Estado de Santa Catarina destaca-se no cenário nacional na produção de papel e celulose, e apresenta 5% de sua superfície coberta por reflorestamentos, especialmente com *Pinus* e *Eucalyptus* (Brandão, 1997). Em face das restrições espaciais e ecológicas ao aumento da produção por expansão da área cultivada, as atenções estão voltadas para o aumento da produtividade.

Um dos fatores que afetam o crescimento vegetal é a disponibilidade de nutrientes, notadamente, no caso dos solos brasileiros, a de fósforo (P). Para suprir essa carência, são utilizados fosfatos solúveis em dosagens superiores às necessidades das culturas, pois a maior parte do P aplicado ao solo não é prontamente disponível às plantas. Embora o Brasil apresente inúmeras reservas, o uso de fosfatos naturais é reduzido. O custo de produção é menor, mas a solubilidade é baixa, o que diminui sua eficiência (Braga et al., 1991), e restringe o seu uso a áreas próximas ao local de beneficiamento e a determinadas culturas.

No solo, o P é sujeito a inúmeros processos biogeoquímicos que alteram sua disponibilidade. Entre esses processos, destaca-se a dissolução de fosfatos, que os torna disponíveis para as plantas (Whitelaw, 2000). Diversos microrganismos do solo, incluindo bactérias e fungos, possuem capacidade para solubilizar fosfatos por meio de diferentes mecanismos, especialmente pela produção de ácidos (Sperber, 1958; Banik & Dey, 1982; Kucey, 1983; Nahas, 1999; Rodríguez & Fraga, 1999; Silva Filho & Vidor, 2000; Whitelaw, 2000). A inoculação de microrganismos solubilizadores de fosfatos ou o manejo de suas populações têm sido sugeridos como forma de substituir ou diminuir o uso de fertilizantes fosfáticos solúveis, mediante um melhor aproveitamento dos fosfatos naturais existentes ou adicionados ao solo e dos formados pela aplicação de fontes solúveis (Goldstein, 1986; Kim et al., 1998). Para serem utilizados num programa de inoculação controlada, os microrganismos devem apresentar, entre outras características, grande capacidade e alto po-

tencial de solubilização de fosfatos, ou seja: devem solubilizar vários tipos de fosfatos, e a solubilização deve ser de alta intensidade.

O presente trabalho teve por objetivo avaliar a capacidade e o potencial de 56 isolados de microrganismos de solubilizar fosfatos naturais.

Material e Métodos

Cinquenta e seis isolados de microrganismos solubilizadores de fosfatos, bactérias e fungos, obtidos de substrato, solo ou rizosfera de cultivos em sementeiras ou florestas de *Pinus* ou *Eucalyptus* do Estado de Santa Catarina (Tabela 1) foram inoculados em frascos de 100 mL contendo 50 mL de meio Glicose Extrato de Solo (GES) (Sylvester-Bradley et al., 1982) e 0,25 g do fosfato natural de Anitápolis, Araxá ou Catalão, moído e peneirado em malha de 0,053 mm. Os teores P_2O_5 total e solúvel em ácido cítrico (2%) foram de 9,4% e 4,3%; 9,3% e 3,2%; 9,4% e 2,5%, respectivamente, no fosfato de Araxá, Anitápolis e Catalão, respectivamente. As análises foram realizadas pelo Laboratório Físico Químico e Biológico da Companhia Integrada de Desenvolvimento de Santa Catarina. Como inóculo foram utilizadas culturas com 48 horas de incubação. Para as bactérias utilizou-se 1 mL de cultura líquida, e para os fungos, um disco de 4 mm de diâmetro, retirado da borda da colônia crescida em meio sólido.

Após um período de 15 dias de incubação à temperatura de 30°C, o meio GES foi centrifugado a 3.000 rpm durante 15 minutos. Em seguida, o sobrenadante foi utilizado na determinação de P e pH. O P solúvel no extrato foi avaliado por espectrofotometria a 660 nm, segundo procedimento descrito por Tedesco et al. (1995).

O experimento constituiu-se de um fatorial [(56 isolados + testemunha) x três fosfatos] conduzido em delineamento completamente casualizado com três repetições, e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5%.

Resultados e Discussão

Os teores de P presentes no meio GES após a incubação foram superiores no fosfato de Anitápolis, seguidos do fosfato de Araxá, e, por último, do de Catalão (Tabela 2). Estas diferenças provavelmente estão relacionadas à composição do fosfato, como o teor de CO_2 (Alcarde & Ponchio, 1983), e, ou, à presença de nutrientes inorgânicos que acompanham o produto. Diferenças na disponibilização de fosfatos têm sido verificadas no solo e em meios de cultura (Oliveira et al., 1984; Silva Filho & Vidor, 2000).

Tabela 1. Procedência e classificação dos isolados de microrganismos solubilizadores de fosfatos obtidos de cultivos de *Pinus* e *Eucalyptus* de Santa Catarina.

Isolados	Local	Espécie vegetal	Condição	Amostra	Classificação
119	Mafra, SC	<i>Eucalyptus</i> sp.	Floresta	S ⁽¹⁾	<i>Aspergillus</i>
133	Mafra, SC	<i>Pinus</i> sp.	Floresta	S	<i>Penicillium</i>
138	Mafra, SC	<i>Pinus</i> sp.	Floresta	S	<i>Penicillium</i>
139	Mafra, SC	<i>Eucalyptus</i> sp.	Floresta	S	<i>Penicillium</i>
141	Mafra, SC	<i>Pinus</i> sp.	Floresta	S	<i>Penicillium</i>
142	Mafra, SC	<i>Eucalyptus</i> sp.	Floresta	S	<i>Aspergillus</i>
148	Massaranduba, SC	<i>E. grandis</i>	Viveiro - 120 dias	R ⁽²⁾	<i>Pseudomonas</i>
154	Três Barras, SC	<i>E. dunnii</i>	Viveiro - 15 dias	R	Enterobacteriaceae
155	Barra do Sul, SC	<i>P. elliotti</i>	Floresta - 10 anos	S	- ⁽³⁾
175	Três Barras, SC	<i>E. dunnii</i>	Viveiro - 90 dias	S	-
177	Três Barras, SC	<i>E. dunnii</i>	Viveiro - 75 dias	R	<i>Penicillium</i>
185	Massaranduba, SC	<i>E. grandis</i>	Floresta - 9 anos	R	Enterobacteriaceae
189	Três Barras, SC	<i>P. taeda</i>	Viveiro - 50 dias	R	Enterobacteriaceae
190	Três Barras, SC	<i>E. dunnii</i>	Viveiro - 60 dias	S	<i>Penicillium</i>
191	Três Barras, SC	<i>E. dunnii</i>	Viveiro - 60 dias	S	<i>Rhizopus</i>
192	Correia Pinto, SC	<i>P. taeda</i>	Viveiro - 60 dias	S	<i>Penicillium</i>
195	Correia Pinto, SC	<i>P. taeda</i>	Floresta - 29 anos	R	<i>Aspergillus</i>
196	Massaranduba, SC	<i>E. grandis</i>	Floresta - 5 anos	R	<i>Aspergillus</i>
198	Correia Pinto, SC	<i>P. taeda</i>	Floresta - 20 anos	S	<i>Aspergillus</i>
199	Três Barras, SC	<i>P. taeda</i>	Floresta - 1 ano	S	<i>Aspergillus</i>
200	Três Barras, SC	<i>P. taeda</i>	Floresta - 10 anos	R	<i>Aspergillus</i>
201	Três Barras, SC	<i>E. dunnii</i>	Floresta - 3 anos	S	<i>Aspergillus</i>
202	Três Barras, SC	<i>E. dunnii</i>	Floresta - 5 anos	S	Bastonete Gram +
203	Três Barras, SC	<i>E. dunnii</i>	Floresta - 5 anos	S	-
205	Mafra, SC	<i>E. dunnii</i>	Floresta - 5 anos	S	Bastonete Gram +
215	Três Barras, SC	<i>E. dunnii</i>	Viveiro - 90 dias	S	-
221	Três Barras, SC	<i>P. taeda</i>	Floresta - 1 ano	R	<i>Pseudomonas</i>
222	Três Barras, SC	<i>P. taeda</i>	Floresta - 1 ano	R	Enterobacteriaceae
233	Ilhota, SC	<i>E. grandis</i>	Floresta - 2 anos	S	<i>Penicillium</i>
238	Massaranduba, SC	<i>E. grandis</i>	Floresta - 9 anos	R	<i>Penicillium</i>
239	Correia Pinto, SC	<i>P. taeda</i>	Viveiro - 90 dias	R	<i>Bacillus</i>
240	Três Barras, SC	<i>E. dunnii</i>	Floresta - 9 anos	R	<i>Pseudomonas</i>
249	Três Barras, SC	<i>Eucalyptus</i> sp.	Floresta - 2 anos	S	<i>Aspergillus</i>
250	Massaranduba, SC	<i>E. grandis</i>	Viveiro	S	<i>Aspergillus</i>
251	Massaranduba, SC	<i>P. elliotti</i>	Floresta - 10 anos	S	<i>Aspergillus</i>
253	Três Barras, SC	<i>Pinus</i> sp.	Floresta - 2 anos	S	-
261	Três Barras, SC	<i>P. taeda</i>	Viveiro - Semeadura	R	<i>Penicillium</i>
262	Massaranduba, SC	<i>E. grandis</i>	Viveiro - 45 dias	S	<i>Penicillium</i>
263	Três Barras, SC	<i>P. taeda</i>	Viveiro - 120 dias	S	<i>Penicillium</i>
264	Três Barras, SC	<i>P. taeda</i>	Viveiro	-	<i>Penicillium</i>
269	Três Barras, SC	<i>E. dunnii</i>	Floresta - 9 anos	S	<i>Penicillium</i>
282	Três Barras, SC	<i>Pinus</i> sp.	Viveiro - 150 dias	R	-
290	Correia Pinto, SC	<i>E. viminalis</i>	Floresta - 19 anos	R	-
291	Três Barras, SC	<i>E. dunnii</i>	Floresta - 9 anos	S	-
295	Correia Pinto, SC	<i>P. taeda</i>	Floresta - 29 anos	S	Enterobacteriaceae
297	Três Barras, SC	<i>E. dunnii</i>	Floresta - 9 anos	S	Enterobacteriaceae
300	Barra do Sul, SC	<i>P. elliotti</i>	Floresta - 10 anos	S	<i>Penicillium</i>
301	Massaranduba, SC	<i>E. grandis</i>	Viveiro - 105 dias	S	<i>Penicillium</i>
302	Correia Pinto, SC	<i>E. viminalis</i>	Floresta - 19 anos	R	<i>Penicillium</i>

Continua...

Tabela 1. Continuação.

Isolados	Local	Espécie vegetal	Condição	Amostra	Classificação
303	Correia Pinto, SC	<i>P. taeda</i>	Viveiro - 240 dias	S	<i>Penicillium</i>
305	Correia Pinto, SC	<i>P. taeda</i>	Viveiro - 240 dias	S	<i>Aspergillus</i>
306	Barra do Sul, SC	<i>P. elliotti</i>	Floresta - 10 anos	R	<i>Rhizopus</i>
307	Correia Pinto, SC	<i>E. viminialis</i>	Floresta - 19 anos	S	<i>Aspergillus</i>
308	Três Barras, SC	<i>P. taeda</i>	Floresta - 15 anos	R	<i>Aspergillus</i>
309	Três Barras, SC	<i>E. dun nii</i>	Floresta - 9 anos	R	<i>Aspergillus</i>
310	Três Barras, SC	<i>E. dun nii</i>	Floresta - 9 anos	S	<i>Aspergillus</i>

(¹)Solo. (²)Solo rizosférico. (³)Sem informação.

Dos 56 isolados testados, 31 solubilizaram quantidades significativas de fosfato (Tabela 2). Desses, o 310 apresentou o maior potencial de solubilização, com valor médio superior a 260 $\mu\text{g mL}^{-1}$ de P de meio GES. Quatro isolados (177, 262, 251 e 269) apresentaram alto potencial, com valores variando de 120 a 150 $\mu\text{g mL}^{-1}$ de P, doze (201, 309, 199, 195, 249, 202, 198, 305, 253, 196, 203 e 307) apresentaram valores considerados como médios (80 a 120 $\mu\text{g mL}^{-1}$ de P) e quatorze apresentaram valores baixos (40 a 80 $\mu\text{g mL}^{-1}$ de P). Vinte e cinco isolados, representando 45% do total, apresentaram teores de P no meio GES estatisticamente semelhantes aos da testemunha não-inoculada. Variação no potencial de solubilização de microrganismos tem sido observada por vários autores, e é utilizada como uma das principais características no processo de seleção (Illmer & Schinner, 1992; Mikanová & Kubát, 1994; Silva Filho & Vidor, 2000).

Entre os grupos de microrganismos, destacaram-se os isolados fúngicos, com predomínio do gênero *Aspergillus*, seguido pelo gênero *Penicillium*. Esses gêneros estão entre os mais citados na literatura. No entanto, em relação a sua eficiência, existem controvérsias. Banik & Dey (1982) avaliando diversos isolados de microrganismos solubilizadores verificaram que dois fungos do gênero *Aspergillus* foram os mais eficientes. Nahas (1996), trabalhando com isolados de outras procedências, verificou que os mais eficientes foram os do gênero *Penicillium*. O meio de cultura é um fator decisivo dessa característica. Silva Filho & Vidor (2000), trabalhando em meio sólido, verificaram que o potencial de solubilização destes mesmos isolados era maior no gênero *Penicillium*.

Os isolados diferiram entre si, tanto na capacidade quanto na intensidade (potencial) de solubilização dos fosfatos. Vinte e seis isolados solubilizaram fosfato de Anitápolis, contra 24 de Araxá, e apenas seis de Catalão. Na maioria dos isolados, as quantidades de P solubilizadas no fosfato de Anitápolis foram superiores às do fosfato de Araxá e principalmente às do fosfato de Catalão. Em cerca de 10% dos isolados (201, 253, 309, 200 e 250), as quantidades solubilizadas no fosfato de Araxá foram superiores às apresentadas no fosfato de Anitápolis. Nenhum isolado solubilizou maior quantidade de P no fosfato de Catalão do que no de Anitápolis, e apenas um (305) solubilizou mais no fosfato de Catalão do que no de Araxá.

Alguns isolados solubilizaram somente um tipo de fosfato. Isto ocorreu com sete isolados no fosfato de Anitápolis (238, 240, 221, 264, 189, 306 e 262) e quatro no fosfato de Araxá (309, 190, 233 e 300). Outros solubilizaram dois tipos de fosfatos. Quatorze solubilizaram fosfato de Anitápolis e de Araxá (177, 269, 201, 195, 202, 198, 253, 196, 203, 307, 191, 308, 301 e 303); um, fosfato de Anitápolis e de Catalão (305); e um, fosfato de Araxá e de Catalão (250). Apenas quatro isolados solubilizaram os três fosfatos (310, 251, 199 e 249). Entre estes, apenas o isolado 249 solubilizou quantidades semelhantes em todos os fosfatos.

Resultados semelhantes foram obtidos por Lapeyrie et al. (1991), que verificaram que o potencial de solubilização variou com os isolados de *Paxillus involutus*, e Storkánová et al. (1999) e Mikanová & Kubát (1994), com espécies de *Rhizobium* e *Bradyrhizobium*. Diferenças entre as fontes de fosfato com o mesmo microrganismo foram verifica-

Tabela 2. Teor de P ($\mu\text{g mL}^{-1}$ de P) e pH do meio Glicose Extrato de Solo (GES) suplementado com fosfatos naturais (Anitápolis, Araxá, Catalão) e submetido à inoculação de microrganismos solubilizadores de fosfatos isolados de florestas de *Pinus* e *Eucalyptus* em Santa Catarina, após 15 dias de incubação⁽¹⁾.

Isolados	Anitápolis			Araxá			Catalão			Média		
	P	pH	P	P	pH	pH	P	pH	P	pH	P	pH
310	480 a A	2,26 vwxz B	180 abc B	3,41 lmnopq A	129 a C	3,20 nopqrstuv A	263 a	2,96 vwxz				
177	319 b A	2,08 z B	90 defgh B	3,64 jklmno A	24 efg C	3,49 ijklmnop A	144 b	3,07 stuvwx				
262	305 b A	2,23 wxyz C	61 efghijklmn B	3,68 ijklmn A	18 efg C	3,05 tuvwxyz B	128 bc	2,99 uvwxz				
251	188 cd A	2,64 opqrstuv B	86 defgh B	3,42 lmnopq A	106 abc B	3,33 klmnopqrstuv A	127 bc	3,13 pqrstuvw				
269	206 c A	2,68 opqrstuv B	119 cde B	2,74 s B	39 cdefg C	3,45 ijklmnopqrs A	122 bcd	2,96 vwxyz				
201	90 efghijklm B	2,81 nopqrs B	202 ab A	3,30 nopq A	46 bcdefg C	2,95 vwxyz B	113 bcde	3,02 uvwxz				
309	36 klmnopqrs B	3,69 ghi A	238 a A	3,32 mnopq B	44 cdefg B	3,59 ghijklm A	106 bedef	3,54 ijk				
199	133 defgh A	3,28 jklm B	91 defg AB	3,49 pq AB	80 abcde B	3,55 ghijklmno A	102 cdef	3,44 ijklm				
195	143 cdef A	2,80 nopqrs C	111 cde A	3,34 mnopq A	48 bcdefg B	3,07 stuvwxz B	101 cdef	3,07 stuvwxz				
249	100 efghijkl A	2,86 nopqr B	83 efghi A	3,38 efghijklmnopq A	102 abcd A	3,03 uz B	95 cdefg	3,09 rstuvwx				
202	146 cde A	2,15 yz C	106 def B	3,70 ijklm A	32 efg C	2,69 yz B	95 cdefg	2,85 yz				
198	118 efghi A	2,95 lmnop B	153 bcd A	3,34 mnopq A	7 fg B	3,09 rstuvwx B	93 cdefgh	3,13 pqrstuvw				
305	109 efghij A	2,79 nopqrs C	54 efghijklmn B	4,17 efgh A	115 ab A	3,14 pqrstuvw B	93 cdefgh	3,37 jklmno				
253	99 efghijkl B	2,40 tuvwxyz C	155 bcd A	3,64 ijklmno A	19 efg C	3,23 mnopqrstuvw B	91 cdefgh	3,09 rstuvwx				
196	116 efghi A	2,91 mnopq B	102 def A	3,45 klmnopq A	40 cdefg B	3,05 tuvwxyz B	86 defghi	3,14 pqrstuvw				
203	138 cdef A	2,47 stuvwxz C	82 efghi B	3,64 ijklmno A	31 efg C	2,70 yz B	84 defghij	2,94 wxyz				
307	99 efghijkl A	2,18 yz B	100 def A	3,17 pqr A	44 cdefg B	3,35 klmnopqrstuv A	81 efghij	2,90 xyz				
191	89 efghijklm A	2,61 pqrstuvw B	90 defgh A	3,16 pqr A	46 bcdefg B	3,36 klmnopqrstuv A	75 efghijk	3,04 tuvwxy				
306	123 defghi A	2,87 nopqr B	64 efghijklmn B	3,33 mnopq A	36 defg B	3,27 lmnopqrstuvw A	74 efghijk	3,16 opqrstuvw				
308	99 efghijkl A	2,66 opqrstuv B	72 efghijkl AB	3,25 pq A	51 bcdefg B	3,30 klmnopqrstuv A	74 efghijk	3,07 stuvwxz				
250	45 klmnopqrs B	3,44 hijk B	92 defg A	3,81 hijk A	72 abcdef AB	2,73 xyz C	70 fghijkl	3,33 klmnop				
190	61 ijklmnopqrs AB	3,04 lmn A	101 def A	3,25 pq A	47 bcdefg B	3,22 mnopqrstuvw A	70 fghijkl	3,17 opqrstuv				
301	103 efghijk A	2,74 nopqrst B	80 efghij A	3,54 jklmnop A	17 efg B	3,50 hijklmnop A	67 fghijklm	3,26 mnopqrst				
303	111 efghij A	2,35 uvwxz B	62 efghijklmn B	3,47 jklmnopq A	26 efg B	3,48 ijklmnop A	66 fghijklm	3,10 rstuvwxz				
200	35 klmnopqrs B	3,48 hij A	88 defgh A	3,42 lmnopq A	49 bcdefg AB	3,35 klmnopqrstuv A	58 ghijklmn	3,42 ijklmn				
189	82 efghijklmn A	2,31 uvwxz C	69 efghijklmn A	3,69 ijklm A	17 efg B	3,27 lmnopqrstuvw B	56 ghijklmn	3,09 rstuvwx				
233	62 ijklmnopqrs AB	3,43 hijk A	70 efghijklm A	2,80 rs C	30 efg B	3,17 opqrstuvw B	54 hijklmno	3,14 pqrstuvw				
300	55 ijklmnopqrs AB	2,52 rstuvwxz B	78 efghijk A	3,73 ijk A	16 efg B	3,57 ghijklm A	50 ijklmno	3,27 mnopqrs				
264	76 efghijklmn A	2,55 pqrstuv B	58 efghijklmn AB	3,15 pqr A	10 fg B	3,36 klmnopqrstuv A	48 ijklmno	3,02 uvwxz				
221	78 efghijklmn A	2,14 yz C	42 efghijklmn AB	3,32 mnopq A	23 efg B	2,91 wxyz B	44 ijklmno	2,79 z				
240	98 efghijkl A	2,83 nopqrs B	23 ghijklmn B	4,13 fgh A	13 efg B	2,67 z B	44 klmnopq	3,21 nopqrst				
261	66 hijklmnopqrs A	3,01 lmnno B	36 efghijklmn AB	3,50 jklmnopq A	16 efg B	3,28 lmnopqrstuvw A	39 klmnopqr	3,26 mnopqrst				
238	69 ghijklmnopqr A	3,08 lmn B	37 efghijklmn AB	3,18 pqr B	10 fg B	3,64 ghijkl A	39 klmnopqr	3,30 lmnopqr				
142	66 hijklmnopqrs A	2,88 nopqr C	26 ghijklmn AB	4,17 efgh A	14 fg B	3,68 ghijk B	35 klmnopqr	3,58 ij				
133	64 hijklmnopqrs A	2,67 opqrst C	21 hijklmn B	3,26 opq B	10 fg B	3,67 ghijkl A	32 lmnopqr	3,20 nopqrst				
138	31 lmnopqrs A	2,67 opqrst C	8 klmn A	4,52 de A	42 cdefg A	3,43 klmnopqrst B	27 mnopqr	3,54 ijk				
141	43 klmnopqrs A	2,66 opqrst C	26 ghijklmn A	3,84 hij A	9 fg A	3,46 ijklmnopqr B	26 nopqr	3,32 klmnopqr				
263	33 lmnopqrs A	2,87 m B	30 ghijklmn A	3,81 hijk A	9 fg A	3,82 fghi A	24 nopqr	3,50 ijkl				

Continua...

Tabela 2. Continuação

Isolados	Antiápolis		Araxá		Catalão		Média	
	P	pH	P	pH	P	pH	P	pH
119	24 mnopqs A	2,90 mnopqr C	37 fghijklmn A	3,42 lmnopq B	3 g A	3,92 defg A	22 nopqr	3,41 jklmn
139	34 klmnopqs A	2,79 nopqrs C	12 jklmn A	4,40 def A	15 efg A	3,44 ijklmnopqrs B	20 nopqr	3,54 ijk
192	13 nopqs A	4,11 def A	29 ghijklmn A	4,13 fgh A	1 g A	4,28 d A	14 opqr	4,17 ef
205	11 opqs A	3,30 jkl C	10 klmn A	3,54 jklmnop B	5 fg A	4,07 def A	8 pqr	3,64 hi
154	7 pqs A	3,33 ijkl C	8 klmn A	4,33 def A	6 fg A	3,77 ghi B	7 qr	3,81 gh
215	11 opqs A	3,71 ghi B	5 lmn A	4,30 defg A	5 fg A	3,88 efgh B	7 qr	3,97 fg
239	2 rs A	3,28 jklm C	15 ijklmn A	4,88 c A	2 g A	4,24 de B	6 qr	4,13 ef
302	16 nopqs A	2,81 nopqrs C	0 n A	4,57 d A	1 g A	4,26 de B	6 qr	3,88 g
175	1 rs A	3,94 efg B	11 klmn A	4,24 defg A	2 g A	4,25 de A	4 qr	4,14 ef
290	3 rs A	4,25 cde C	9 klmn A	5,15 bc A	1 g A	4,71 c B	4 qr	4,70 bcd
222	1 rs A	5,61 b A	8 lmn A	3,26 opq C	3 fg A	3,89 efg B	4 qr	4,25 e
295	1 rs A	4,46 cd C	10 klmn A	5,43 b A	1 g A	4,86 c B	4 qr	4,91 b
185	1 rs A	5,61 b A	2 lmn A	3,67 ijklmn B	6 fg A	3,28 lmnopqrstuvw C	3 r	4,19 ef
291	2 rs A	4,27 cde C	5 lmn A	5,26 bc A	1 g A	4,87 c B	3 r	4,80 bcd
148	1 rs A	3,80 fgh C	3 lmn A	5,36 b A	0 g A	4,87 c B	2 r	4,68 d
297	1 rs A	4,53 c B	3 lmn A	5,09 bc A	1 g A	5,05 c A	2 r	4,89 bc
282	0 s A	3,77 fgh C	3 lmn A	5,10 bc B	1 g A	5,68 b A	1 r	4,85 bc
155	0 s A	5,74 b A	2 lmn A	3,94 ghi C	1 g A	4,68 c B	1 r	4,74 bcd
Test.	0 s A	6,78 a A	3 lmn A	6,92 a A	0 g A	6,91 a A	1 r	6,87 a
Média	78 A	3,21 C	59 B	3,86 A	27 C	3,67 B	55	3,58

(⁰)Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha (quanto a P ou pH), não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

das por Nahas & Assis (1992), Whitelaw et al. (1999), e Silva Filho & Vidor (2000), e interações entre fontes e microrganismos foram encontradas por Lapeyrie et al. (1991), Nahas (1996) e Silva Filho & Vidor (2000).

Não houve relação entre as procedências dos isolados e sua eficiência (Tabelas 1 e 2). Assim, não se observou predomínio de isolados mais eficientes entre os obtidos de rizosfera, como foi sugerido por Sperber (1958). Com relação à planta, embora entre os isolados com maior potencial de solubilização (310, 177, 262, 251 e 269) haja um predomínio dos obtidos de *Eucalyptus*, particularmente de *E. dunnii*, isto não indica relação direta da fonte de isolamento e o potencial, uma vez que da mesma procedência ocorrem isolados com baixa capacidade de solubilização (297, 291, 215 e 154).

Todos os isolados diminuíram o pH do meio durante o cultivo (Tabela 2). As menores alterações ocorreram com os isolados 295, 297, 282, 291, 155 e 290. Os menores valores de pH foram obtidos nos meios submetidos à inoculação dos isolados 221, 202, 307, 203, 310, 269 e 262. Nenhum dos primeiros solubilizou quantidades significativas de P, e entre os últimos, estão os de médio a alto potencial de solubilização. Isto sugere um efeito da produção de ácidos na solubilização dos fosfatos (Sperber, 1958; Illmer et al., 1995; Nahas, 1996; Whitelaw et al., 1999), o que é confirmado pela análise de correlação entre o pH e o teor de P no meio ($r = -0,54^{**}$). No entanto, este não deve ser o único mecanismo utilizado, uma vez que o coeficiente de determinação linear (R^2) foi de 0,294, indicando, assim, que a diminuição do pH do meio de cultura foi responsável por 29,4% do aumento linear do P solubilizado (Illmer & Schinner, 1992; Mikanová & Kubát, 1994; Illmer et al., 1995). Vários fatores podem ter afetado esta relação; entre eles, as quantidades de P imobilizadas pelos microrganismos durante o crescimento. Outros fatores, como o tipo de fósforo e a interação deste com os isolados, também podem contribuir na relação. Embora a média de P no meio com fósforo de Araxá tenha sido superior à média no meio com fósforo de Catalão, a acidez foi menor. Os efeitos da interação ficam claros quando se comparam, por exemplo, os isolados 269, 309, 199 e 191 com os isolados 201, 202, 198 e 253.

Conclusões

1. A produção de ácidos é um dos mecanismos utilizados pelos microrganismos na solubilização de fosfatos naturais.

2. Não há relação entre a solubilização e a procedência dos isolados.

3. Fungos dos gêneros *Aspergillus* e *Penicillium* têm maior capacidade e potencial para a solubilização de fosfatos naturais.

4. A capacidade e o potencial de solubilização dos isolados 310, 251, 199 e 249 os tornam aptos a participarem de um programa de seleção visando à inoculação controlada.

Referências

- ALCARDE, J. C.; PONCHIO, C. O. Conteúdo de “carbonato ligado” em fosfatos naturais brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 7, p. 341-343, 1983.
- BANIK, S.; DEY, B. K. Available phosphate content of an alluvial soil as influenced by inoculation of some isolated phosphate-solubilizing microorganisms. **Plant and Soil**, The Hague, v. 69, n. 3, p. 353-364, 1982.
- BRAGA, N. R.; MASCARENHAS, H. A. A.; BULISANI, E. A.; RAIJ, B. van; FEITOSA, C. T.; HIROCE, R. Eficiência agrônômica de nove fosfatos em quatro cultivos consecutivos de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 15, n. 3, p. 315-319, 1991.
- BRANDÃO, L. G. Desafio florestal brasileiro. **Silvicultura**, São Paulo, v. 73, p. 23-29, 1997.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Programa nacional de florestas**. Brasília, 2000. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/sbf/pnf/politica.html>. Acesso em: set. 2000.
- GOLDSTEIN, A. H. Bacterial solubilization of mineral phosphates: historical perspective and future prospects. **American Journal of Alternative Agriculture**, Greenbelt, v. 1, n. 2, p. 51-57, 1986.
- HOEFLICH, V. A.; SCHAITZA, E. G.; MATTOS, P. P. **Pesquisa florestal no Brasil: uma visão preliminar**. Brasília: Instituto de Pesquisas Florestais, 2000. Disponível em: <http://www.ipef.br>. Acesso em: set. 2000.

- ILLMER, P.; BARBATO, A.; SCHINNER, F. Solubilization of hardly-soluble $AlPO_4$ with P-solubilizing microorganisms. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 27, n. 3, p. 265-270, 1995.
- ILLMER, P.; SCHINNER, F. Solubilization of inorganic phosphates by microorganisms isolated from forest soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 24, n. 4, p. 389-395, 1992.
- KIM, K. Y.; JORDAN, D.; McDONALD, G. A. Effect of phosphate-solubilizing bacteria and vesicular-arbuscular mycorrhizae on tomato growth and soil microbial activity. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 26, p. 79-87, 1998.
- KUCEY, R. M. N. Phosphate-solubilizing bacteria and fungi in various cultivated and virgin Alberta soils. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 63, n. 4, p. 671-678, 1983.
- LAPEYRIE, F.; RANGER, J.; VAIRELLES, D. Phosphate solubilizing activity of ectomycorrhizal fungi *in vitro*. **Canadian Journal of Botany**, Ottawa, v. 69, n. 2, p. 342-346, 1991.
- MIKANOVA, O.; KUBAT, J. Phosphorus solubilization from hardly soluble phosphates by soil microflora. **Rostlinná Výroba**, Prague, v. 40, n. 9, p. 833-840, 1994.
- NAHAS, E. Factors determining rock phosphate solubilization by microorganisms isolated from soil. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, Oxford, v. 12, n. 6, p. 567-572, 1996.
- NAHAS, E. Solubilização microbiana de fosfatos e de outros elementos. In: SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S.; LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G.; FAQUIN, U.; FURTINI NETO, A. E.; CARVALHO, J. G. (Ed.). **Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Ufla, 1999. p. 467-486.
- NAHAS, E.; ASSIS, L. C. Efeito da concentração de fosfato na solubilização de fluorapatita por *Aspergillus niger*. **Revista de Microbiologia**, São Paulo, v. 23, n. 1, p. 37-42, 1992.
- OLIVEIRA, E. L. de; MUZILLI, O.; IGUE, K.; TORNERO, M. T. T. Avaliação da eficiência agrônômica de fosfatos naturais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 8, n. 1, p. 63-67, 1984.
- RODRÍGEZ, H.; FRAGA, R. Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. **Biotechnology Advances**, New York, v. 17, p. 319-339, 1999.
- SILVA FILHO, G. N.; VIDOR, C. Solubilização de fosfatos por microorganismos na presença de fontes de carbono. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 24, n. 2, p. 311-329, 2000.
- SPERBER, J. I. The incidence of apatite-solubilizing organisms in the rhizosphere and soil. **Australian Journal of Agricultural Research**, Melbourne, v. 9, n. 6, p. 778-781, 1958.
- STORKÁNOVÁ, G.; VORÍSEK, K.; MIKANOVA, O.; RANDOVÁ, D. P-solubilization activity of *Rhizobium* species strains. **Rostlinná Výroba**, Prague, v. 45, n. 9, p. 403-406, 1999.
- SYLVESTER-BRADLEY, R.; ASAKAWA, N.; LA TORRACA, S.; MAGALHÃES, F. M. M.; OLIVEIRA, L. A.; PEREIRA, R. M. Levantamento quantitativo de microorganismos solubilizadores de fosfatos na rizosfera de gramíneas e leguminosas forrageiras na Amazônia. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 12, n. 1, p. 15-22, 1982.
- TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEIS, S. J. **Análise do solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 174 p.
- WHITELAW, M. A. Growth promotion of plant inoculated with phosphate-solubilizing fungi. **Advances in Agronomy**, New York, v. 69, p. 99-151, 2000.
- WHITELAW, M. A.; HARDEN, T. J.; HELYAR, K. R. Phosphate solubilization in solution culture by the soil fungus *Penicillium radicum*. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 31, p. 655-665, 1999.