

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

LUCAS ALVARENGA SOUTO

MICRORGANISMOS SOLUBILIZADORES DE FOSFATO: USOS E
POTENCIALIDADES NA AGRICULTURA

Monte Carmelo
2020

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
LUCAS ALVARENGA SOUTO

MICRORGANISMOS SOLUBILIZADORES DE FOSFATO: USOS E
POTENCIALIDADES NA AGRICULTURA

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao curso de Agronomia da
Universidade Federal de Uberlândia,
Campus Monte Carmelo, como requisito
necessário para a obtenção do grau de
Engenheiro Agrônomo.

Orientador(a): Gilberto de Oliveira
Mendes

Monte Carmelo
2020

LUCAS ALVARENGA SOUTO

MICRORGANISMOS SOLUBILIZADORES DE FOSFATO: USOS E
POTENCIALIDADES NA AGRICULTURA

Trabalho de Conclusão apresentado ao curso de
Agronomia da Universidade Federal de
Uberlândia, Campus Monte Carmelo, como
requisito necessário para a obtenção do grau de
Engenheiro Agrônomo.

Monte Carmelo, 15 de outubro de 2020

Banca Examinadora

Gilberto de Oliveira Mendes
Orientador (a)

Larissa Lara Rocha
Membro da Banca

Thúlio Pereira Mattos
Membro da Banca

Monte Carmelo
2020

SUMÁRIO

RESUMO.....	5
1 INTRODUÇÃO	6
3 OBJETIVOS	7
4 REVISÃO DA LITERATURA	7
4.1 Microrganismos solubilizadores de fosfato	7
4.2 Desafios da utilização de MSF como biofertilizantes	11
4.3 Produtos no mercado	14
4.4 Considerações finais e perspectivas	15
REFERÊNCIAS	17

RESUMO

Os microrganismos solubilizadores de fosfato (MSF) são importantes para máxima eficiência na adubação fosfatada, devido à alta retenção desse nutriente às partículas do solo, causando perdas econômicas além de prejuízos ambientais graças às aplicações em massa de fertilizantes fosfatados. Muitos microrganismos do solo são capazes de solubilizar formas insolúveis de fosfato por meio de diversos mecanismos dos quais são discutidos neste texto. Porém uma das maiores dificuldades para tal aplicação é a capacidade do microrganismo de se estabelecer no solo rizosférico, sendo complicada por diversos fatores como: competição por recursos do meio, predação por protozoários, falta de entendimento sobre a atividade desses microrganismos e sua relação com comunidades microbianas nativas do solo e com diferentes espécies de planta, além dos fatores abióticos, por exemplo textura do solo, tipo de argila, temperatura, pH, umidade e a disponibilidade e eficiência de diferentes substratos orgânicos e fontes de fosfato a serem solubilizadas. Existem produtos no mercado contendo inóculos de MSF, é necessário maior número de pesquisas sobre a capacidade de diversos microrganismos em solubilizar diferentes fontes de fosfatos naturais, além de sua relação com as culturas anuais mais cultivadas no país.

Palavras chave: fungo, bactéria, fósforo, biofertilizante, agricultura.

1 INTRODUÇÃO

O fósforo está entre os elementos fundamentais para os seres vivos, levando em conta sua atuação estrutural, funcional e na transmissão de energia (NAHAS; 1991). O fósforo do solo é separado em dois grupos, fósforo inorgânico e fósforo orgânico, conforme o composto ao qual está ligado. Como resultado do material de origem e da grande interação do P com o solo, os solos brasileiros sofrem com carência desse elemento (RAIJ; 1991), já que menos de 0,1 % se apresentam em solução (FARDEAU; 1996). Especificamente, os solos do cerrado possuem pouco teor de P total e ainda menor de P solúvel, devido ao forte intemperismo, a mineralogia e a atividade química desses solos que contribuem para complexação desse nutriente especialmente com óxidos de Fe e Al (GOEDERT et al., 1986).

O fósforo é um elemento essencial para o crescimento das plantas e aplicações contínuas são necessárias, já que uma pequena porcentagem do fósforo aplicado fica disponível às plantas (ABD ALLA; 1994). Porém, os fertilizantes fosfatados mais usados, como os superfosfatos ou fosfatos de amônio, são extraídos de rochas fosfáticas em minas, causando despesas consideráveis de energia advindas de fontes não renováveis para seu processamento, transporte e sua distribuição (KHAN et al., 2010). Além disso, essas fontes tendem a se tornar insuficientes até a metade deste século (MURREL; FIXEN, 2006). A quantidade de fósforo acumulado nos solos da agricultura, usando de algum recurso para aproveitá-lo, seria o bastante para suprir a produção agrícola mundial por volta de 100 anos sem aplicações adicionais de fósforo (GOLDSTEIN et al., 1993).

Uma solução para esse problema é a inoculação de microrganismos solubilizadores de fosfato (MSF), aliados ou não a outros organismos benéficos, aumentando assim a taxa de crescimento das plantas (CHABOT et al., 1993; KIM et al., 1998; SINGH; KAPOOR, 1999). Esses microrganismos exercem função significativa no solo, contribuindo com a disponibilização de fósforo para as plantas. A competência desses organismos com relação à solubilização de fosfatos é um importante fator a ser considerado, sendo alterada conforme as condições ambientais e o tipo de microrganismo.

A inoculação de microrganismos solubilizadores de fosfato ou a manipulação de suas populações no solo estão sendo usados cada vez mais como forma de reduzir ou mesmo sobrepor o uso de fertilizantes fosfáticos, já que por meio de seus mecanismos solubilizadores causam melhor rendimento dos fosfatos naturais existentes ou aplicados ao solo (GOLDSTEIN, 1986; KIM et al., 1998).

No grupo dos microrganismos solubilizadores de fosfato inorgânico, algumas bactérias e fungos se evidenciam com as maiores capacidades de solubilização de fosfatos a partir de apatitas, fosforitas, fosfatos bi e tricálcicos. Muitos microrganismos do solo são capazes de solubilizar formas insolúveis de fosfato de cálcio por meio da liberação de ácidos orgânicos, os quais podem diretamente dissolver fosfato de rocha ou quelar íons de cálcio disponibilizando o fósforo na solução (SPERBER, 1958; KATZNELSON; BOSE, 1959).

A relação entre planta e microrganismo é difícil de ser totalmente compreendida e controlada de maneira impecável e muitos experimentos têm resultados contraditórios e incertos (MISHUTIN; NAUMONOVA, 1965; RICHARDSON, 2001). Um dos obstáculos que complicam a inoculação de MSF em campo é a falta de capacidade de muitos deles para se estabelecerem na rizosfera das plantas (RICHARDSON, 1994; VAN VEEN et al., 1997).

3 OBJETIVOS

Levantamento bibliográfico sobre microrganismos solubilizadores de fosfato e seu potencial de uso na agricultura.

4 REVISÃO DA LITERATURA

4.1 Microrganismos solubilizadores de fosfato

Os microrganismos são fundamentais na agricultura, pois eles têm a capacidade de proporcionar transformações bioquímicas dos nutrientes, disponibilizando-os às plantas (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Além disso, os microrganismos solubilizadores de fosfatos exercem importante papel na disponibilização de formas inorgânicas de fosfatos de baixa solubilidade [$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, AlPO_4 e FePO_4], aumentando o teor de fósforo na solução, ocasionando melhor crescimento e maior rendimento das culturas (RALSTON; MCBRIDE, 1976; KUCEY, 1987; CHABOT et al., 1993). Esses microrganismos solubilizadores têm sido encontrados na maioria dos solos (JONES et al., 1991; NAHAS et al., 1994).

Os MSF interferem na capacidade das plantas em absorver fósforo, principalmente promovendo processos metabólicos importantes na disponibilização, como liberação de ácidos

orgânicos, excreção de íons H, produção de sideróforos, produção de enzimas fosfatases. A solubilização pelos microrganismos além de diferentes processos, se altera conforme o tipo de solo, a espécie e a idade da planta (ODUNFA; OSO, 1978).

A liberação de ácidos orgânicos, como o ácido cítrico, glicônico, glutâmico, oxálico, láctico, fumárico, tartárico e succínico, se apresenta como principal mecanismo de solubilização de fosfato inorgânico pelos microrganismos (SILVA FILHO et al., 2002). Esses ácidos orgânicos disputam com o P pela ligação com óxidos de Fe e Al e/ou atuam como agentes quelantes dos íons Ca, Al e Fe, promovendo a solubilização do fosfato inorgânico do solo (RODRIGUEZ; FRAGA, 1999).

A inoculação com bactérias solubilizadoras de fosfato e fungos micorrízicos arbusculares aumentou a produção de matéria seca e absorção de nutrientes por plantas de trigo em solos carentes nutricionalmente (SINGH; KAPOOR, 1999).

Alguns dos microrganismos mais relatados para solubilização de P inorgânico estão algumas estirpes de bactérias dos gêneros *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Rhizobium*, *Serratia*, *Enterobacter* (RODRIGUEZ; FRAGA, 1999) e fungos, com destaque para os gêneros *Aspergillus* e *Penicillium* (SILVA FILHO et al., 2002).

Tabela 1: Alguns microrganismos solubilizadores de fosfato já inoculados no solo ou testados *in vitro*.

Microrganismos	Fosfato	Cultura	Referência
<i>Bacillus firmus</i>	Fosfato tricálcico	Arroz (<i>Oryza sativa</i>)	(Datta et al., 1992)
<i>Penicillium bilaji</i>	Fosfato de cálcio	**	(Kucey, 1983)
	Fosfato de rocha idaho	**	(Kucey, 1987)
<i>Glomus fasciculatum</i>	Fosfato de ferro e fosfato de ferro cristalino	Trevo (<i>Oxalis pescaprae</i>) e azevém (<i>Lolium multiflorum</i>)	(Bolan et al., 1987)
<i>Penicillium bilaji</i>	Fosfato de rocha Idaho	Trigo (<i>Triticum aestivum</i>)	(Asea et al., 1988)
<i>Penicillium fuscum</i> <i>Pseudomonas striata</i> <i>Bacillus polymyxa</i> <i>Bacillus subtilis</i> <i>Bacillus circulans</i> <i>Aspergillus niger</i>	Fosfato de Potássio	Trigo (<i>Triticum aestivum</i>)	(Gaind & Gaur, 1990)

<i>Bacillus firmus</i>	Fosfato de rocha Mussoorie	Arroz (<i>Oryza sativa</i>)	(Datta <i>et al.</i> , 1992)
<i>Aspergillus niger</i>	Fluorapatita	**	(Nahas & Assis, 1992)
<i>Enterobacter sp.</i> <i>Pseudomonas sp.</i> <i>Rhizopus sp.</i>	Fosfato de potássio	Alface (<i>Lactuca sativa</i>)	(Chabot <i>et al.</i> , 1993)
<i>Bacillus megaterium</i>	Fosfato tricálcico	**	(Zayed, 1997)
<i>Enterobacter sp. e</i> <i>Glomus deserticola</i>	Fluorapatita	**	(Vassileva <i>et al.</i> , 1999)
<i>Aspergillus niger</i> , <i>A. fumigatus</i> e <i>Penicillium pinophilum</i>	Fosfato tricálcico	Trigo (<i>Triticum aestivum</i>) e fava (<i>Vicia faba</i>)	(Wahid & Mehana, 2000)
<i>Mesorhizobium mediterraneum</i>	Fosfato tricálcico	Grão de bico (<i>Cicer arietinum</i>) e cevada (<i>Hordeum vulgare</i>)	(Peix, 2001)
<i>Glomus deserticola</i>	Fluorapatita	**	(Vassilev, 2001)
<i>B. megaterium</i> var. <i>phosphaticum</i>	Fosfato de rocha idaho	Cana-de-açúcar (<i>Saccharum spp</i>)	(Sundara <i>et al.</i> , 2002)
<i>Penicillium sp.</i> <i>Aspergillus sp.</i>	Fosfato de rocha tricálcico	Rabanete (<i>Raphanus sativus</i>)	(Narloch <i>et al.</i> , 2002)
<i>Acidithiobacillus</i>	Fosfato de rocha gafsa	Jícama (<i>Pachyrhizus erosus</i>)	(Stamford <i>et al.</i> , 2003)
<i>Bacillus megaterium</i> <i>Bacillus mucilaginosus</i> <i>Azotobacter chroococcum</i> <i>Glomus mossae</i> <i>Glomus intraradices</i>	Fosfato de potássio	Milho (<i>Zea mays</i>)	(Wu, 2005)
<i>Burkholderia sp.</i>	Fosfato de rocha marroquina	**	(Anandham <i>et al.</i> , 2007)
<i>Enterobacter sp.</i> <i>Arthrobacter sp.</i> <i>Azotobacter sp.</i>	Fosfato tricálcico	**	(Yi Y <i>et al.</i> , 2007)
<i>Advenella incenata</i>	Fosfato tricálcico	**	(Espinosa-Victoria <i>et al.</i> , 2009)

<i>Pseudomonas fluorescens</i> <i>Pseudomonas trivialis</i> <i>Pseudomonas sp.</i> <i>Pseudomonas poae</i>	Rocha fosfática de Mussori Rocha fosfática de Udaipur Rocha fosfática da Carolina do Norte Fosfato tricálcico	Milho (<i>Zea mays</i>)	(Vyas & Gulati, 2009)
205 isolados de rizóbio	Fosfato de cálcio	Feijão caupi (<i>Vigna unguiculata</i>)	(Júnior et al., 2010)
<i>Bacillus subtilis</i> <i>Bacillus pumilus</i>	Fosfato de Araxá Fosfato de Itafós	Milheto (<i>Pennisetum glaucum</i>)	(Gomes et al., 2011)
<i>Pseudomonas putida</i> <i>Enterobacter sakazakii</i> <i>Bacillus megaterium</i>	Fosfato de rocha do deserto de Sonora	Cactos (<i>Mammillaria fraileana</i>)	(Lopez et al., 2011)
<i>Staphylococcus arlettae</i>	Fosfato de cálcio	Trigo (<i>Triticum aestivum</i>)	(Sagar, 2012)
<i>Aspergillus niger</i> <i>Penicillium canescens</i> <i>Eupenicillium ludwigii</i> <i>Penicillium islandicum</i>	Fosfato de rocha de Araxá e Catalão	**	(Mendes et al., 2013)
<i>Klebsiella sp.</i>	Fosfato de cálcio	Palmeira de dendê (<i>Elaeis guineensis</i> Jacq.)	(Acevedo et al., 2014)
<i>Ralstonia pickettii</i>	Fosfato tricálcico	Romã (<i>Punica granatum</i>)	(Kailasan & Vamanrao, 2015)
<i>Azospirillum brasiliense</i>	Fosfato de cálcio Apatita de Araxá	Eucalipto (<i>Eucalyptus sp.</i>)	(Silva, 2017)
<i>Providencia rettgeri</i>	Fosfato tricálcico	**	(Jiang et al., 2018)

<i>Staphylococcus haemolyticus</i> <i>Staphylococcus cohnii</i>	Fosfato de alumínio	**	(Hii Siang et al., 2020)
--	---------------------	----	--------------------------

** : Microrganismo não avaliado em cultura específica.

4.2 Desafios da utilização de MSF como biofertilizantes

A aplicação de microrganismos solubilizadores de fosfato (MSF) para a produção vegetal vem sendo constatada por vários pesquisadores (NARLOCH et al., 2002) e constitui importante papel para melhor aproveitamento de fertilizantes minerais, resultando em maior eficiência.

Apesar disso, existem alguns aspectos limitadores desse uso, podendo por exemplo ocorrer baixa parcela de fósforo disponibilizado às plantas, impossibilitando um considerável desenvolvimento vegetal já que a habilidade destes MSF de disputar com os demais microrganismos já estabelecidos na rizosfera pode ser fraca (RICHARDSON et al., 2009). Por exemplo, Leung et al. (1994) e Mendes (1997), evidenciaram uma vantagem competitiva entre serogrupos do gênero *Rhizobium*, onde a espécie *Rhizobium leguminosarum* bv. *trifolii* prevaleceu sobre as demais, quando na rizosfera do trevo.

Postma et al. (1990) ao realizarem um experimento com *R. leguminosarum* bv. *trifolii*, perceberam redução na população bacteriana quando acompanhadas de protozoários. Além disso, foi evidenciada diminuição na colonização do solo pelos *Rhizobium* quando acompanhados por outras bactérias, demonstrando a competição por nutrientes ou mesmo causando uma mudança na atividade predatória dos protozoários.

Bashan (1986) & Li e Alexander (1990) trabalharam com um conceito de vantagem ecológica provocada através de antibiose. Ao usar a streptomycina juntamente com estirpes de microrganismos resistentes a esse antibiótico, observaram maior estabelecimento do inóculo na rizosfera em contraste com a testemunha (sem antibiótico).

Em solo esterilizado não acontece a redução da população de bactérias inoculadas, pois a eliminação de outros microrganismos previamente anula a atividade predatória e aumenta a disponibilidade de substrato. Inclusive com introdução de baixas taxas de inóculo pode-se observar crescimento da população, em contraste com a frequente diminuição de crescimento

em solo comum, exemplificando o papel principal exercido pelos fatores bióticos no estabelecimento desses microrganismos na rizosfera das plantas (VAN VEEN et al., 1997).

Essa inconsistência observada em campo tem várias causas, como a complexidade da atividade de microrganismos e sua relação com comunidades microbianas nativas do solo, a falta de especificidade entre o fungo / bactéria e a planta e a falta de clareza sobre os mecanismos abrangidos (RICHARDSON, 2001).

As raízes das plantas liberam diferentes moléculas na rizosfera que servem como alerta para microrganismos que naquela área existe uma planta hospedeira (ex.: ácidos orgânicos, enzimas, compostos fenólicos, etc.). Os flavonoides, compostos do grupo dos polifenóis, induzem a germinação de esporos e o crescimento de hifas de fungos vesiculares arbusculares (GIANINAZZI-PEARSON et al., 1989; BECARD et al., 1992). A presença de prolina na rizosfera das gramíneas age como um potente indutor do desenvolvimento de *Pseudomonas fluorescens* (VAN OVERBEEK; VAN ELSAS, 1995).

Coelho et al. (2007) constataram diferentes liberações de exsudatos radiculares de duas espécies vegetais da mesma família (alface americana e chicória), aumentando expressivamente a quantidade de *Pseudomonas* spp. nas raízes de alface. Isso pode ser explicado pela liberação de compostos, pelas raízes de alface, que favoreceram especificamente o desenvolvimento desta bactéria.

Dessa maneira, é importante que haja uma relação de simbiose entre o microrganismo aplicado e a espécie vegetal que será cultivada. Uma opção interessante seria a inoculação com grande quantidade e diversidade de microrganismos eficazes na colonização e estabelecimento da rizosfera (MENDES; REIS JUNIOR, 2003).

Além dos fatores bióticos que dificultam a introdução desses MSF na rizosfera, como a competitividade por recursos do meio e a predação por protozoários, existem os fatores abióticos, por exemplo textura do solo, tipo de argila, temperatura, pH e a disponibilidade de substratos orgânicos (VAN VEEN et al., 1997), assim como a presença de defensivos agrícolas também interferem no processo (DAS; MURKHERJEE, 1998; REIS et al., 2008).

A capacidade de solubilização também está relacionada com a fonte de carbono e nitrogênio disponíveis (NAUTIYAL et al., 2000). Ao examinar o solo rizosférico de raízes de trigo, trevo, centeio e *Agrostis* sp, Grayston et al. (1998) observaram uma diversidade grande entre as fontes de carbono consumidas pelos microrganismos estabelecidos nas distintas espécies vegetais.

Marra et al. (2012) ao estudarem a relação do potencial de solubilização de algumas bactérias extraídas de nódulos de feijão-caupi com diferentes fontes de carbono, verificaram

que os valores de fósforo solubilizado eram superiores ao utilizar glicose. No estudo foi demonstrado também que a fonte de carbono pode diminuir drasticamente a produção de ácidos orgânicos, assim como a fonte de fosfato.

Devliegher e Verstraete (1995) mostraram uma relação de vantagem ecológica envolvendo combinação de substrato específico junto com bactéria especializada na degradação dessa fonte. O tratamento do solo com alguns tipos de detergentes como fonte de carbono aumentou consideravelmente a população de *Pseudomonas* spp. e sua colonização das raízes de milho.

Alguns materiais de transporte podem ser usados junto com o inóculo para possibilitar inicialmente um ambiente seguro e favorável, fisicamente através da disponibilização de micro-habitats, além de substratos específicos para os microrganismos (VAN ELSAS; HEIJNEN, 1990; TREVORS et al., 1992; WALTER; PAU, 1993). Por exemplo, o uso de turfa para o inóculo de *Rhizobium*, que aumenta consideravelmente sua efetividade em comparação com o não uso da turfa (BERGERSEN; BROCKWELL; THOMPSON, 1958; ROUGHLY, 1970; THOMPSON, 1980; WALTER; PAU, 1993).

A origem de nitrogênio utilizado no meio de cultura interfere na capacidade de solubilização dos microrganismos, já que quando se utiliza sais de amônio em detrimento ao nitrato, é proporcionada maior disponibilização de fósforo, devido à redução do pH extracelular que é causado pela liberação de prótons para neutralizar a absorção de amônio (ROSS; LUCKNER, 1984). De maneira contrária, Gahoonia et al. (1992) afirmam que com o aumento do pH em solos ácidos, ocasionado pela adubação com nitrato, a disponibilidade de fósforo também pode aumentar possivelmente pela substituição de HCO_3^- por fosfato adsorvido por óxidos de Fe e Al.

A liberação de ácidos orgânicos pelas raízes promove uma mudança na rizosfera, estimulando indiretamente a capacidade de sobrevivência e estabelecimento dos microrganismos no local. Diretamente, essa mudança causa redução no pH rizosférico, aumentando a capacidade dos microrganismos de solubilizarem fosfato (BAR-YOSEF, 1991; RICHARDSON, 1994; JONES; DARRAH, 1994; LAN et al., 1995; JONES, 1998). Porém, levando em conta ainda que o solo do cerrado já é ácido e pobre em fósforo, a redução do pH para valores abaixo de 5.5 pode agravar a deficiência de macronutrientes e elevar as concentrações de Mn, Fe e Al acarretando em efeitos fitotóxicos nas raízes e em microrganismos benéficos como os MSF (BRADY, 1990; DAKORA; PHILIPS, 2002).

A textura do solo afeta a capacidade de colonização pelos microrganismos, de modo que quanto mais fino (argila), maior será esse potencial (VAN ELSAS et al., 1986). No experimento

o inóculo com estirpes de *Pseudomonas fluorescens* teve seu desenvolvimento monitorado por três anos em solo argiloso arenoso e também em solo argiloso siltoso e os resultados comprovaram a maior sobrevivência do inóculo neste último cuja textura é mais fina.

Kilbertus (1980), através de estudo sobre a introdução de *Rhizobium* no solo, verificou que poros com diâmetro entre 0.8 μm e 3 μm são mais seguros para essas bactérias pois são locais inacessíveis para seus predadores. Similarmente, Foster (1988), por meio de pesquisas utilizando solo tratado com clorofórmio notou a sobrevivência apenas dos microrganismos localizados em mucigel ou nos pontos mais interiores dos microporos, mostrando a existência de locais mais seguros no solo, onde microrganismos sobrevivem às condições adversas.

A umidade do solo também é um fator importante que determina a sobrevivência dos microrganismos no solo, por exemplo no caso de *Pseudomonas* spp. (BAKER, 1980; ZECHMAN; CASIDA, 1982; DUPLER; BAKER, 1984). Postma et al. (1989) usando de diferentes níveis de umidade no momento da introdução das bactérias notou a mudança de localização das mesmas entre partes mais ou menos protegidas do solo. Quando o solo estava inicialmente mais seco, o inóculo de *Rhizobium* conseguiu alcançar os microporos mais facilmente e após 60 dias essa população foi consideravelmente maior.

4.3 Produtos no mercado

Há muito tempo se sabe da competência que alguns microrganismos têm de solubilizar fosfato para plantas e com o passar dos anos os pesquisadores vem se empenhando em produzir inoculantes de MSF. Apesar de ser uma tecnologia ainda em processo de otimização e de aceitação pelos agricultores, já existem alguns produtos no mercado, como por exemplo o JumpStart desenvolvido e comercializado pela empresa canadense Philom Bios em parceria com a Bayer. O JumpStart contém o microrganismo *Penicillium bilaiae*, podendo ser usado para culturas como milho, canola, trigo, leguminosas, dentre outras. Na Austrália o PR-70 Release é produzido pela Bio-Care Technology usando *Penicillium radicum*. No Brasil existe o BiomaPhos, resultado de parceria entre a Embrapa e a empresa Bioma, à base de *Bacillus megaterium* e *Bacillus subtilis*.

O *Bacillus subtilis* tem alta capacidade de sobrevivência e de se estabelecer na rizosfera em locais especiais pois se sobressai na formação de endósporo e possui muitos mecanismos

antagônicos (CAMPOS SILVA et al., 2008). Esse microrganismo faz parte das rizobactérias promotoras do crescimento de plantas (RPCPs). O aumento da solubilização de fósforo no solo acontece também através da presença ativa de RPCPs na rizosfera das plantas, enriquecendo a nutrição e elevando a produção vegetal (ARAÚJO et al., 2008).

Batista et al. (2018) observaram boa capacidade de solubilização de fósforo por *Bacillus megaterium*, especialmente fosfato de ferro, graças a alta produção de substâncias quelantes de ferro como os sideróforos, que juntando-se a outras características benéficas para a solubilização de fósforo dessa espécie, fica constatado a viabilidade para uso da mesma como bioinoculante.

De acordo com Cook (1994), é importante levar em consideração alguns fatores práticos do uso desses inoculantes, como por exemplo conhecer a estabilidade genética dos microrganismos para saber a longevidade do inóculo e avaliar sua viabilidade, determinar o melhor material de transporte em cada ocasião (inoculante líquido ou sólido; além de qual substrato usar), escolher o modo de aplicação mais adequado (sementes ou linha de plantio), informar-se sobre qual o melhor microrganismo ou mistura deles mais apropriada para cada situação, além de conhecer as técnicas de manejo que causam melhor aproveitamento do inóculo.

4.4 Considerações finais e perspectivas

A importância do uso de biofertilizantes contendo microrganismos solubilizadores de fosfato é evidente devido ao fato de que as reservas desse nutriente não são renováveis, além de que o aproveitamento dos fertilizantes fosfatados como os superfosfatos ou fosfatos de amônio muitas vezes são insatisfatórios em função da adsorção de fósforo às partículas do solo.

A manipulação genética pode ser usada para melhorar características favoráveis dos MSF, como aumento da produção de ácidos orgânicos, interferir em características que aumentem a capacidade de colonização da rizosfera pelo microrganismo (LUGTENBERG et al., 2001). Por exemplo, López-Bucio et al. (2000) observaram que o gene bacteriano da citrato sintase amplia a exsudação desse ácido orgânico, aumentando consideravelmente o acesso de raízes de tabaco ao fósforo. As técnicas genéticas geram otimismo com relação às perspectivas para o futuro da bioinoculação. Por exemplo, Rodríguez et al. (2002) transferiram o gene da

fosfatase (napA) da bactéria de solo *Morganella morganii* para uma linhagem de *Burkholderia cepacia* (IS-16) para ser usada como inóculo. Isso ampliou consideravelmente a capacidade de disponibilização de P por essa bactéria devido a intensificação da atividade da enzima transferida.

A ideia de misturar microrganismos também é intrigante. Nesse tipo de fusão uma opção seria misturar organismos naturais e com função diferente ou mesmo usar estirpes diferentes nas quais tenham sido projetadas com funções semelhantes. Dessa maneira, funções benéficas como solubilização de fosfato para a planta, podem ser expressas mais continuamente na rizosfera mesmo sob condições variadas (VAN VEEN et al., 1997).

Como as condições bióticas e abióticas são diversas e variáveis, não existe uma regra geral sobre como otimizar a inoculação, necessitando o estudo de cada caso. Futuros estudos com objetivo de conhecer melhor os mecanismos de interação solo-microrganismo-planta em um nível detalhado são necessários para melhorar o funcionamento dessa atividade. Além de avaliar a compatibilidade entre o microrganismo a ser inoculado e a espécie vegetal que será cultivada, é importante também observar quais os microrganismos que já são presentes no solo em questão para que seja possível o agricultor estimular a atividade das espécies benéficas como os MSF, através de manejos apropriados para cada situação. Por exemplo, a escolha da fonte de P que será disponibilizada na rizosfera, o uso do conceito de antibiose mencionado anteriormente, favorecendo o inóculo resistente, a combinação de substrato específico junto com microrganismos especializados na degradação dessa fonte, a escolha de inóculos comprovadamente eficientes em se estabelecerem na rizosfera e mais resistentes às condições adversas caso seja acessível, dentre outros.

Como foi demonstrado nesse resumo, a literatura contém muitos relatos de microrganismos solubilizadores de fosfato, porém poucas pesquisas foram conduzidas em solos mais carentes desse nutriente como acontece nos solos do cerrado devido à alta taxa de adsorção de P aos óxidos de Fe e Al. Além disso, é importante que haja mais pesquisas sobre a capacidade de diversos microrganismos em solubilizar diferentes fontes de fosfatos naturais, além de sua relação com as culturas anuais mais cultivadas no país.

REFERÊNCIAS

- ABD-ALLA, M. H. Use of organic phosphorus by *Rhizobium leguminosarum* biovar *viceae* phosphatases. 1994. **Biology and Fertility of Soils**, v. 18, n. 3, p. 216–218.
- ACEVEDO, E.; GALINDO-CASTAÑEDA, T.; PRADA, F.; NAVIA, M.; ROMERO, H. M. Phosphate-solubilizing microorganisms associated with the rhizosphere of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) in Colombia. **Applied Soil Ecology**, v. 80, p. 26-33, 2014.
- ANANDHAM, R.; CHOI, K. H.; GANDHI, P. I.; YIM, W. J.; PARK, S. J.; KIM, K. A.; MADHAIYAN, M.; SA, T. M. Evaluation of shelf life and rock phosphate solubilization of *Burkholderia* sp. in nutrient-amended clay, rice bran and rock phosphate-based granular formulation. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, Oxford v. 23, p. 1121-1129, 2007.
- ARAUJO, F. F. Inoculação de sementes com *Bacillus subtilis*, formulado com farinha de ostras e desenvolvimento de milho, soja e algodão. **Ciências e Agrotecnologia**, v. 32, n. 2, p. 456-462, 2008.
- ASEA, P. E. A.; KUCEY, R. M. N.; STEWART, J. W. B. Inorganic phosphate solubilization by two *Penicillium* species in solution culture and soil. **Soil Biology and Biochemistry**, v.20, p.459-464, 1988.
- BAKER, K.F. Microbial antagonism--the potential for biological control. **Contemporary Microbial Ecology**, Academic Press, New York, p. 327-347, 1980.
- BAR-YOSEF, B. Root excretions and their environment effects. Influence on availability of phosphorus. In: WAISEL, Y.; ESHEL, A.; KAFKAFI, U. (Ed.). **Plant roots: the hidden half**. New York: Dekker, 1991. p. 529-557.
- BASHAN, Y. Enhancement of wheat root colonization and plant development by *Azospirillum brasilense* Cd. following temporary depression of rhizosphere microflora. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 51, p. 1067–1071, 1986.
- BATISTA, F. de C. et al. Potencial de Microrganismos Rizosféricos e Endofíticos de Milho em Solubilizar o Fosfato de Ferro e Produzir Sideróforos. **Boletim de pesquisa e desenvolvimento** n. 166, Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas /MG, 2018.
- BECARD G.; DOUDS D. D.; PFEFFER P. E. Extensive in vitro hyphal growth of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in the presence of CO₂ and flavonols. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 58, p. 821–825, 1992.
- BERGERSEN, F. J.; BROCKWELL, J.; THOMPSON, J. A. Clover seed pelleted with bentonite and organic material as an aid to inoculation with nodule bacteria. 1958. **Journal of the Australian Institute of Agricultural Science**, v. 24, p. 158–160.
- BOLAN, N. S.; ROBSON, A. D.; BARROW, N. J. Effects of vesicular-arbuscular mycorrhiza on the availability of iron phosphates to plants. **Plant Soil**, v.99, p.401-410, 1987.

BRADY, N. C. **The nature and properties of soils**. 10. ed. Macmillan Publishing Company, New York, 1990. 621 p.

CAMPOS SILVA, J. R.; SOUZA, R. M.; ZACARONE, A. B.; SILVA, L. H. C. P.; CASTRO, A. M. S. Bactérias endofíticas no controle e inibição in vitro de *Pseudomonas syringae* pv. tomato, agente da pinta bacteriana do tomateiro. **Ciência e Agrotecnologia**, v.32, p.1062-1072, 2008.

CHABOT, R.; ANTOUN, H.; CESCAS, M.P. Stimulation de la croissance du maïs et de la laitue romaine par des microorganismes dissolvant le phosphore inorganique. 1993. **Canadian Journal of Microbiology**, v. 39, n. 10, p. 941-947, Canada.

COELHO, L. F.; FREITAS, S. dos S.; MELO, A. M. T. de; AMBROSANO, G. M. B. Interação de bactérias fluorescentes do gênero *Pseudomonas* e de *Bacillus* spp. com a rizosfera de diferentes plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 1413-1420, 2007.

COOK, R. J. Introduction of soil organisms to control root diseases. In: PANKHURST, C. E.; DOUBE, B. M.; GUPTA, V. V. S. R.; GRACE, P. R. (Ed.). **Soil biota management in sustainable farming systems**. Melbourne: CSIRO, 1994. p. 13-22.

DAKORA, F. D.; PHILLIPS, D. A. Root exudates as mediators of mineral acquisition in low-nutrient environments. **Plant and Soil**, v. 245, p. 35–47, 2002.

DAS, A. C.; MUKHERJEE, D. Insecticidal effects on soil microorganisms and their biochemical processes related to soil fertility. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 14, n. 6, p. 903-909, 1998.

DATTA, M.; BANIK, S.; LASKAR, S. Effect of inoculation of phosphate-dissolving bacteria on rice (*Oryza sativa*) in acid soil. **Indian Journal of Agricultural Sciences**, v.62, p. 482-485, 1992.

DEVLIEGHER, W.; ARIF, M. A. S.; VERSTRAETE, W. Survival and plant growth promotion of detergent-adapted *Pseudomonas fluorescens* ANP15 and *Pseudomonas aeruginosa* 7NSK2. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 61, p. 3865–3871, 1995.

DUPLER, M.; BAKER, R. Survival of *Pseudomonas putida*, a biological control agent, in soil. **Phytopathology**, v. 74, p. 195-200, 1984.

ESPINOSA-VICTORIA; DAVID; LÓPEZ-REYES; LUCÍA; DE LA CRUZ-BENÍTEZ; ALDO. Use of 16S rRNA gene for characterization of phosphate-solubilizing bacteria associated with corn. **Revista Fitotecnia Mexicana**, v. 32, n. 1, p. 31-37, Chapingo /México, 2009.

FARDEAU, J.C. Dynamics of phosphate in soils: an isotopic outlook. **Fertility Research**, v.45, p.91-100, 1996.

FOSTER, R. C. Microenvironments of soil microorganisms. **Biology and Fertility of Soils**, v. 6, p. 189–203, 1988.

GAHOONIA, T. S.; CLAASSEN, N.; JUNGK, A. Mobilization of phosphate in different soils by ryegrass supplied with ammonium or nitrate. 1992. **Plant and Soil**, The Hague, v. 140, n. 2, p. 241-248.

GAIND, S.; GAUR, A. C. Shelf life of phosphate-solubilizing inoculants as influenced by type of carrier, high temperature, and low moisture. **Canadian Journal of Microbiology**, v.36, p.846-849, 1990.

GIANINAZZI-PEARSON V.; BRANZANTI B.; GIANINAZZI S. In vitro enhancement of spore germination and early hyphal growth of a vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus by host root exudates and plant flavonoids. **Symbiosis**, v. 7, p. 243–255, 1989.

GOEDERT, W. J; SOUSA, D. M. G; LOBATO, E. Fósforo. In: GOEDERT, W. J. (Ed.). **Solos dos cerrados: tecnologias e estratégias de manejo**. Planaltina: Embrapa-CPAC; São Paulo: Nobel, 1986. p. 129-163.

GOLDSTEIN, A. H. Bacterial solubilization of mineral phosphates: historical perspective and future prospects. 1986. **American Journal of Alternative Agriculture**, v. 1, n. 2, p. 51-57, United States.

GOLDSTEIN, A.H; ROGERS, R.D; MEAD, G. Mining by microbe. 1993. **Nature BioTechnology**, v. 11, n. 11, p. 1250–1254.

GOMES, E. A.; PAIVA, C. A. O.; DIAS, F. E. S.; SANTOS, F. C.; MARRIEL, I. E.; Efeito da inoculação de bactérias solubilizadoras de fosfato sobre o crescimento de milheto (*Pennisetum glaucum*) fertilizado com fosfato de rochas. Boletim de pesquisa e desenvolvimento n. 43, **Embrapa Milho e Sorgo**, Sete Lagoas /MG, 2011.

GRAYSTON, S.J.; WANG, S.; CAMPBELL, C.D.; EDWARDS, A.C. Selective influence of plant species on microbial diversity in the rhizosphere. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 30, p. 369-378, 1998.

HII, Y. S.; SAN, C. Y.; LAU, S. W.; DANQUAH, M. K. Isolation and characterisation of phosphate solubilizing microorganisms from peat. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 26, n. 101643, 2020.

JIANG, H.; QI, P.; WANG, T.; WANG M.; CHEN, M.; CHEN, N.; PAN, L.; CHI, X. Isolation and characterization of halotolerant phosphate-solubilizing microorganisms from saline soils. **3 Biotech**, v. 8, n. 461, 2018.

JONES, D. L. Organic acids in the rhizosphere – A critical review. **Plant and Soil**, The Hague, v. 205, n. 1, p. 25-44, Aug. 1998.

JONES, D. L.; DARRAH, P. R. Influx and efflux of organic acids across the soil-root interface of *Zea mays* L. and its implications in rhizosphere C flow. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 173, n. 1, p. 103-109, Aug. 1995.

JONES, D.; SMITH, B.F.L.; WILSON, M.J.; GOODMAN, B.A. Phosphate solubilizing fungi in a Scottish upland soil. **Mycological Research**, Cambridge, Grã-Bretanha, v.95, n.9, p.1090-1093, 1991.

JÚNIOR, A. F. C.; OLIVEIRA, L. A.; DE OLIVEIRA, A. N.; WILLERDING, A. L.; Capacidade de solubilização de fosfatos e eficiência simbiótica de rizóbios isolados de solos da Amazônia. **Acta Scientiarum. Agronomy Maringá**, v. 32, n. 2, p. 359-366, 2010.

KAILASAN, N. S.; VAMANRAO, V. B. Isolation and Characterization of *Ralstonia Pickettii* - A Novel Phosphate Solubilizing Bacterium from Pomegranate Rhizosphere from Western India. **International Journal of Life Sciences Biotechnology and Pharma Research**, v. 4, n. 1, p. 1-9, 2015.

KATZNELSON, H; BOSE, B. Metabolic activity and phosphate-dissolving capability of bacterial isolates from wheat root, rhizosphere and non-rhizosphere soil. 1959. **Canadian Journal of Microbiology**, v. 5, n. 1, p.79-85, Canada.

KHAN, M. S.; ZAIDI, A.; AHMED, M.; OVES, M.; WANI, P. A. Plant growth promotion by phosphate solubilizing fungi – current perspective. 2010. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 56, n. 1, p. 73–98.

KILBERTUS, G. E'tude des microhabitats contenus dans les agre'gats du sol. Leur relation avec la biomasse bacte'rienne et la taille des procaryotes pre'sents. **Revue d'Ecologie et de Biologie du Sol**, v. 17, p. 543–557, 1980.

KIM, K. Y; JORDAN, D; McDONALD, G. A. Effect of phosphate-solubilizing bacteria and vesicular-arbuscular mycorrhizae on tomato growth and soil microbial activity. 1998. **Biology and Fertility of Soils**, v. 26, n. 2, p. 79-87, Germany.

KUCEY, R.M.N. Increased phosphorus uptake by wheat and field beans inoculated with a phosphorus-solubilizing *Penicillium bilaji* strain and with vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. 1987. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v. 53, n. 12, p. 2699-2703.

KUCEY, R. M. N. Phosphate-solubilizing bacteria and fungi in various cultivated and virgin Alberta soils. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 63, p. 671-678, 1983.

LAN, M.; COMERFORD, N. B.; FOX, T. R. Organic anions effect on phosphorus release from spodic horizons. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 59, n. 6, p. 1745-1749, 1995.

LEUNG, K.; YAP, K.; DASHTI, N.; BOTTOMLEY, P. J. Serological and ecological characteristics of a nodule-dominant serotype from an indigenous soil population of *Rhizobium leguminosarum* bv. *trifolii*. **Applied and Environmental. Microbiology**, v. 60, p. 414-424, 1994.

LI, D.-M.; ALEXANDER, M. Factors affecting co-inoculation with antibiotic-producing bacteria to enhance rhizobial colonization and nodulation. **Plant Soil**, v. 129, p. 195–201, 1990.

LOPEZ B. R.; BASHAN Y; BACILIO M. Endophytic bacteria of *Mammillaria fraileana*, an endemic rock-colonizing cactus of the southern Sonoran desert. **Archives of Microbiology**, v. 193, p. 527-541, 2011.

LÓPEZ-BUCIO, J.; DE LA VEGA, O. M.; GUEVARA-GARCÍA, A.; HERRERA-ESTRELLA, L. Enhanced phosphorus uptake in transgenic tobacco plants to overproduce citrate. **Nature Biotechnology**, New York, v. 18, p. 450-453, 2000.

LUGTENBERG, B. J. J.; DEKKERS, L.; BLOEMBERG, G. V. Molecular determinants of rhizosphere colonization by *Pseudomonas*. **Annual Reviews of Phytopathology**, Palo Alto, v. 39, p. 461-490, 2001.

MARRA, L. M. **Solubilização de fosfatos por bactérias e sua contribuição no crescimento de leguminosas e gramíneas**. 2012. 142 f. Tese (Doutorado em Microbiologia e Bioquímica do Solo). Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

MENDES G. O.; DIAS C. S.; SILVA I. R.; JUNIOR J. I. R.; PEREIRA O. L.; COSTA M. D. Fungal rock phosphate solubilization using sugarcane bagasse. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 29, n. 1, p. 43-50, 2013.

MENDES, I. C. **Microbiology of soil aggregates recovered from different crop management systems**. 1997. 138 f. Thesis (PhD) – Oregon State University, Corvallis, 1997.

MENDES, I. de C; REIS JUNIOR, F. B. dos. **Microrganismos e disponibilidade de fósforo (P) nos solos: uma análise crítica**. Embrapa Cerrados, Planaltina/DF. 2003.

MOREIRA, F. M. S; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e Bioquímica do solo**. Lavras, 2. Ed. Universidade Federal de Lavras, 2006. p.316.

MURREL, T. S.; FIXEN, P. E. Improving fertilizer P effectiveness: challenges for the future. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PHOSPHORUS DYNAMICS IN THE SOIL-PLANT CONTINUUM, 3., 2006, Uberlândia. **Proceedings...** Sete Lagoas: EMBRAPA Milho e Sorgo, 2006. p. 150-151.

NAHAS, E. **Ciclo do fósforo**: transformações microbianas. Jaboticabal, Funep, 1991. 67p.

NAHAS, E.; ASSIS, L. C. Solubilização de fosfatos de rochas por *Aspergillus niger* em diferentes tipos de vinhaça. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 27, n. 2, p.325- 331, 1992.

NAHAS, E.; CENTURION, J.F.; ASSIS, L.C. Microrganismos solubilizadores de fosfato e produtores de fosfatases de vários solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.18, n.1, p.43-48, 1994.

NARLOCH, C.; OLIVEIRA, V. L.; ANJOS, J. T.; SILVA FILHO, G.N. Respostas da cultura do rabanete à inoculação com fungos solubilizadores de fosfatos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 6, p. 841-845, 2002.

NAUTIYAL, C. S. et al. Stress induced phosphate solubilization in bacteria isolated from alkaline soils. **FEMS Microbiology Letters**, v. 182, p. 291-296, 2000.

ODUNFA, V.S.A.; OSO, B.A. Bacterial population in the rhizosphere soils of cowpea and sorghum. **Revue d'Ecologie et de Biologie du Sol**, Paris, v.15, n.4, p.413-420, 1978.

PEIX, A. et al. Growth promotion of chickpea and barley by a phosphate solubilizing strain of *Mesorhizobium mediterraneum* under growth chamber conditions. **Soil Biology and Biochemistry**, v.33, p.103-110,2001.

POSTMA, J; HOK-A-HIN, C.H; VAN VEEN, J.A. Role of microniches in protecting introduced *Rhizobium leguminosarum* biovar *trifolii* against competition and predation in soil. 1990. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 56, n. 2, p. 495–502, Netherlands.

POSTMA, J; WALTER, S; VAN VEEN, J.A. Influence of different initial soil moisture contents on the distribution and population dynamics of introduced *Rhizobium leguminosarum* biovar *trifolii*. 1989. **Elsevier**, v. 21, n. 3, p. 437 – 442, United Kingdom.

RAIJ, B. V. Fertilidade do solo e adubação. 1991. **Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fósforo**, p. 329-343, Piracicaba/SP.

RALSTON, D.B; Mc BRIDE, R.P. Interaction of mineral phosphate-dissolving microbes with red pine seedlings. 1976. **Plant Soil**, v. 45, n. 2, p. 493-507, Canada.

REIS, M. R.; SILVA, A. A.; GUIMARÃES, A. A.; COSTA, M. D.; MASSENSINI, A. M.; FERREIRA, E. A. Ação de herbicidas sobre microrganismos solubilizadores de fosfato inorgânico em solo rizosférico de cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 26, n. 2, p. 333-341, 2008.

RICHARDSON, A. E. Prospects for using soli microorganisms to improve the acquisition of phosphorus by plants. 2001. **Australian Journal of Plant Physiology**, v. 28, n. 9, p. 897 – 906, Australia.

RICHARDSON, A. E. Soil microorganisms and phosphorus availability. In: PANKHURST, C. E; DOUBE, B.M; GUPTA, V. V. S. R; GRACE, P. R. (Ed.). **Soil Biota Management in Sustainable Farming Systems**. Melbourne: CSIRO, 1994. p. 50 – 62.

RICHARDSON, A. E.; BAREA, J.; McNEILL, A. M.; PRIGENT-COMBARET, C. Acquisition of phosphorus and nitrogen in the rhizosphere and plant growth promotion by microorganisms. **Plant and Soil**, The Hague, v. 322, p. 17-24, 2009.

RODRÍGUEZ, H.; FRAGA, R. Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. **Biotechnology Advances**, New York, v. 17, p. 319-339, 1999.

RODRÍGUEZ, H.; FRAGA, R.; GONZALEZ, T.; BASHAN, Y. Genetic modifications of phosphate solubilizing bacteria to be used as agricultural inoculants. In: INTERNATIONAL

MEETING ON MICROBIAL PHOSPHATE SOLUBILIZATION, 1., 2002. Salamanca, Spain. **Abstracts...** Salamanca: [s. n.], 2002. p. 23-24.

ROOS, W.; LUCKNER, M. Relationships between proton extrusion and fluxes of ammonium ions and organic acid in *Penicillium cyclopium*. 1984. **Journal of General Microbiology**, London, v. 130, p. 1007-1014.

ROUGHLY, R. J. The preparation and use of legume seed inoculants. 1970. **Plant Soil**, v. 32, p. 675–701.

SAGAR, S.; DWIVEDI, A.; YADAV, S.; TRIPATHI, M.; KAISTHA, S. D. Hexavalent chromium reduction and plant growth promotion by *Staphylococcus arlettae* Strain Cr11. **Elsevier**, v. 86, n. 8, p. 847-852, 2012.

SILVA FILHO, G. N.; NARLOCH, C.; SCHARF, R. Solubilização de fosfatos naturais por microrganismos isolados de cultivos de Pinus e Eucalyptus de Santa Catarina. **Pesquisa Agropecuária Brasil**, Brasília, 2002. v. 37, n. 6, p. 847-854.

SILVA, J. T. da. *Azospirillum brasilense e Bacillus subtilis solubilizadores de fósforo em mudas de eucalipto*. Dissertação (Mestrado em Biologia). Universidade Estadual Paulista – UNESP, Jaboticabal, 2017.

SINGH, S; KAPOOR, K. K. Inoculation with phosphate solubilizing microorganisms and a vesicular arbuscular mycorrhizal fungus improves dry matter yield and nutrient uptake by wheat grown in a sandy soil. 1999. **Biology and Fertility of Soils**, v. 28, n. 2, p. 139-144, United States.

SPERBER, J. I. The incidence of apatite-solubilizing organisms in the rhizosphere and soil. 1958. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 9, n. 6, p. 778- 781, Australia.

STAMFORD, N. Biofertilizers with natural phosphate, sulphur and *Acidithiobacillus* in a soil with low available-P. **Scientia Agricola**, v. 60, p.767-773, 2003.

SUNDARA, B.; NATARAJAN, V.; HARI, K. Influence of phosphorus solubilizing bacteria on the changes in soil available phosphorus and sugarcane and sugar yields. **Field Crops Research**, v.77, p.43-49, 2002.

THOMPSON, J. A.; BERGERSEN, F. J. (Ed.). Production and quality control of legume inoculants. 1980. **Methods for evaluating biological nitrogen fixation**, p. 489–533, John Wiley & Sons, Inc., New York, N.Y.

TREVORS, J. T.; VAN ELSAS, J. D.; LEE, H.; VAN OVERBEEK, L. S. Use of alginate and other carriers for encapsulation of microbial cells for use in soil. 1992. **Microbial Releases**, v. 1, p. 61–69.

VAN ELSAS, J. D.; DIJKSTRA, A. F.; GOVAERT, J. M.; VAN VEEN, J. A. Survival of *Pseudomonas fluorescens* and *Bacillus subtilis* introduced into two soils of different texture in field microplots. **FEMS Microbiology Ecology**, v. 38, p. 151–160, 1986.

VAN ELSAS, J. D.; HEIJNEN, C. E. Methods for the introduction of bacteria in soil: a review. 1990. **Biology and Fertility of Soils**, v. 10, p. 127–133.

VAN OVERBEEK, L. S.; VAN ELSAS, J. D. Root exudate induced promoter activity in *Pseudomonas fluorescens* mutants in the wheat rhizosphere. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 61, p. 890–898, 1995.

VAN VEEN, J.A.; VAN OVERBEEK, L.S; VAN ELSAS, J.D. Fate and Activity of Microorganisms Introduced into Soil. 1997. **Microbiology and Molecular Biology Reviews**, v. 61, n. 2, p. 121 – 135, Netherlands.

VASSILEV, N. Application of free and Ca-alginate-entrapped *Glomus deserticola* and *Yarrowia lipolytica* in a soil-plant system. **Journal of Biotechnology**, v.91, p.237-242, 2001.

VASSILEVA, M. Effect of encapsulated cells of *Enterobacter* sp on plant growth and phosphate uptake. **Bioresource Technology**, v.67, p.229-232, 1999.

VYAS, P.; GULATI, A. Organic acid production in vitro and plant growth promotion in maize under controlled environment by phosphate solubilizing fluorescent *Pseudomonas*. **BMC Microbiology**, London, v. 9, p. 174-188, 2009.

WAHID, O. A. A.; MEHANA, T. A. Impact of phosphate-solubilizing fungi on the yield and phosphorus-uptake by wheat and faba bean plants. **Microbiological Research**, v.155, n.3, p.221-227, 2000.

WALTER, J. F.; PAU, A. S.; METTING, F. B. (Ed.). Microbial inoculant production. 1993. **Soil microbial ecology**, p. 579-594, Marcel Dekker, Inc., New York, N.Y.

WU, S.C. Effects of biofertilizer containing N-fixer, P and K solubilizers and AM fungi on maize growth: a greenhouse trial. **Geoderma**, v.125, p.155-166, 2005.

YI, Y.; HUANG, W.; GE, Y. Exopolysaccharide: a novel important factor in the microbial dissolution of tricalcium phosphate. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 24, p. 1059–1065, 2008.

ZAYED, G. Can immobilization of *B. megaterium* cells in alginate beads protect them against bacteriophages. **Plant Soil**, v.197, p.1-7, 1997.

ZECHMAN, J. M.; CASIDA, L. E. J. Death of *Pseudomonas aeruginosa* in soil. **Canadian Journal of Microbiology**, v. 28, p. 788-794, 1982.