



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA "LUIZ DE QUEIROZ"
LSO - DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA DO SOLO
PACES – PROJETANDO AGRICULTURA COMPROMISSADA EM
SUSTENTABILIDADE

João Gonçalves Oléa Leone

Solubilizadores de Fósforo

Piracicaba

2023

João Gonçalves Oléa Leone

Solubilizadores de Fósforo

Revisão Bibliográfica apresentada ao Grupo PACES – Projetando Agricultura Compromissada em Sustentabilidade da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.

Coordenadores:

Victor Gulgueira Fernandes da Silva

Gustavo Loretto Ribeiro

Piracicaba

2023

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	8
2.	SOLUBILIZADORES DE FÓSFORO.....	10
2.1	MECANISMO DE SOLUBILIZAÇÃO DE FOSFATO.....	10
2.1.1	Liberação de ácidos orgânicos.....	10
2.1.2	Liberação de sideróforos.....	11
2.1.3	Liberação de prótons.....	11
2.1.4	Liberação de enzimas extracelulares.....	11
2.1.5	Produção de ácido indol acético (AIA) e ACC-desaminase.....	11
2.2	USO DE SOLUBILIZADORES DE FÓSFORO.....	12
2.3	RELAÇÃO ENTRE SILÍCIO E O FÓSFORO.....	13
2.4	EFEITOS SINÉRGICOS ENTRE FMA E MSP NA DISPONIBILIDADE DE P..	14
3.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	16
	REFERÊNCIAS.....	17

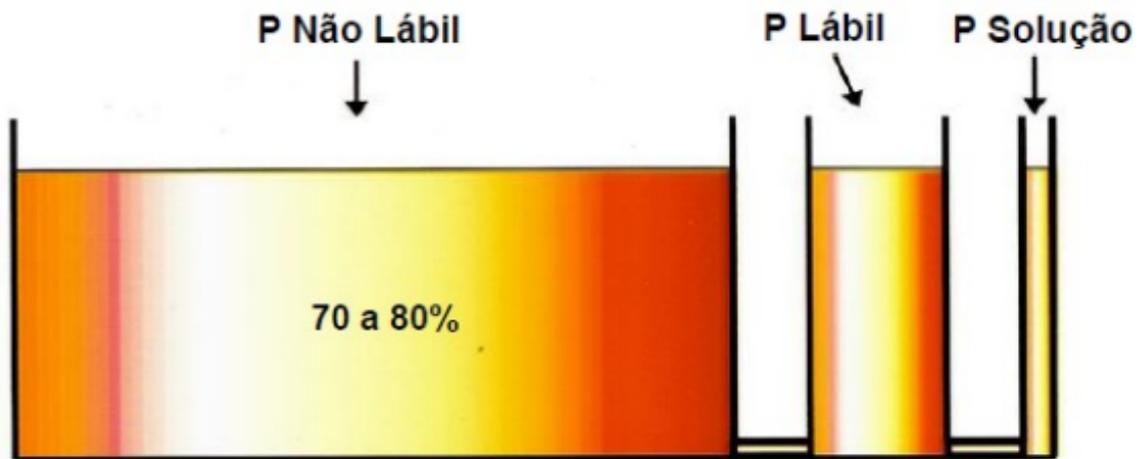
1 INTRODUÇÃO

Em solos tropicais, normalmente, encontram-se situações de baixa concentração de fósforo na forma disponível às plantas e alto potencial de “fixação” do P adicionado via fertilizante, forma a qual é indisponibilizada para as plantas. Essa condição, coloca esse nutriente como um dos principais limitadores de produção no Brasil, sendo assim, para as culturas anuais, solos com concentrações abaixo de 15 mg.dm^{-3} (Método de Resina), são esperadas altas respostas em produtividade para a cultura (PRADO, 2020).

Com o alto grau de intemperismo, alguns solos, se tornam dreno de fósforo, competindo dessa forma com a planta. Segundo Novais *et al.* (2007) em casos extremos, como em Latossolos de cerrado, o solo pode fixar 200 vezes mais P em formas “não-trocáveis”, quando comparada a toda demanda desse nutriente para o desenvolvimento adequado da soja durante todo o seu ciclo (20 Kg. ha^{-1} de P).

As formas que encontramos desse nutriente no solo são na forma sólida, o qual pode ser p-lábil, francamente retido, porém em equilíbrio com a solução do solo ou na sua forma indisponível, também chamada de p-não lábil, a qual não é aproveitada pela planta. Ainda, o fósforo está presente na forma líquida, ou seja, na solução do solo, na forma iônica, predominantemente, de ortofosfato primário e secundário, sendo esta que é prontamente disponível para ser absorvido, contudo, é a sua participação é a menor dentro dos solos brasileiros, como podemos ver na figura abaixo (PRADO, 2020).

Figura 1 – Formas do fósforo no solo



Fonte: Pavinato (2023).

De acordo com GlobalFert (2021) no ano de 2020, os maiores produtores de fertilizantes fosfóricos, foram a China, Estados Unidos e Marrocos, respectivamente. Contudo, a tendência de produção é de que o terceiro país se torne o grande responsável pelo suprimento desse fertilizante, devidos suas grandes reservas de fósforo ainda presentes. Apesar dessa grande reserva, sabe-se que é finita e uma das consequências, seria limitação do crescimento populacional ser ditada pelo esgotamento das jazidas, já que esse nutriente apresenta quantidades grandes de exigência para o seu desenvolvimento e a eficiência de aplicação em solos tropicais é baixa, por causa da fixação (MALAVOLTA, 1980).

2. SOLUBILIZADORES DE FÓSFORO

Uma estratégia possível para aumentar a eficiência do fertilizante fosfatado, seria a utilização de microrganismos que promovam o crescimento radicular das plantas e a disponibilização de formas solúveis desses nutrientes. Os compostos insolúveis de fósforos no solo, podem ser solubilizados por ácidos orgânicos, fosfatases e agentes quelantes que são produzidos por fungos e bactérias solubilizadoras de fosfato, conhecidos como microrganismo solubilizadores de fósforo (MSP) (PAIVA *et al.*, 2013).

As bactérias que ganham destaque são dos gêneros *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Azotobacter* e *Burkholderia*. Algumas espécies de fungos capazes de aumentar a solubilidade dos compostos fosfatos, as quais ganham destaque os gêneros *Aspergillus* e *Penicillium*. E fungos entomopatogênicos (*Beauveria* e *Metarhizium*), os quais já estão bem estabelecidos devido sua característica como biopesticidas, mas também apresentam função de crescimento de plantas, por meio da produção do fitohormônio ácido indol acético (AIA) (ZAIDI *et al.*, 2009).

2.1 MECANISMO DE SOLUBILIZAÇÃO DE FOSFATO

Os microrganismos são capazes de atuar nos três componentes principais no ciclo do P do solo, entre eles no fósforo precipitado, adsorvido e ainda na mineralização do fósforo orgânico (PAIVA *et al.*, 2013).

2.1.1 Liberação de ácidos orgânicos

Os ácidos orgânicos são compostos de baixo peso molecular, excretados por esses microrganismos que resultam em uma acidificação, liberando os fosfatos complexados, pela substituição de fosfato por ânions ácidos. Alguns exemplos de ácidos orgânicos são o ácido 2-cetoglucônico, aspártico, cítrico, glucônico, láctico, málico, malônico, oxálico, succínico e tartárico. Estes são produzidos pelo metabolismo bacteriano, principalmente devido à respiração ou fermentação de fontes de carbono (ETESAMI; JOENG; GLICK, 2021).

2.1.2 Liberação de sideróforos

Esse composto de baixo peso molecular, é liberado em resposta de estresse de ferro no ambiente. Apresentam alta afinidade com o ferro, sendo os agentes complexantes de íons férricos mais fortes, e apresentam uma finalidade de quelar o Fe^{+3} , tornando-o mais disponível para as plantas. Com isso, os sideróforos possuem capacidade de melhorar a disponibilidade de P para as plantas pela troca de ligantes e quelação de elementos, como o cálcio, ferro e alumínio que formam um complexo com o fósforo (SHARMA *et al.*, 2013).

2.1.3 Liberação de prótons

Uma forma indireta seria por meio da extrusão de prótons H^+ , isso porque esse excesso é liberado no citoplasma da célula microbiana, que por resultado, acidifica a célula microbiana e auxilia na dissolução dos fosfatos insolúveis. Como na assimilação de amônio, que leva à excreção de um próton para manter a eletroneutralidade (ETESAMI; JOENG; GLICK, 2021).

2.1.4 Liberação de enzimas extracelulares

Essas enzimas irão atuar principalmente na solubilização do fosfato orgânico, no processo de mineralização. Entre elas, temos as fosfatases ácidas não específicas (NSAPs), que realizam a desfosforilação de fosfoésteres ou ligações fosfoanidrido presentes em compostos orgânicos. E as fitases, que catalisa a reação que remove o fósforo do composto fitato, o qual é abundante no solo (PAIVA *et al.*, 2022).

2.1.5 Produção de ácido indol acético (AIA) e ACC-desaminase

Uma estratégia adotada pela planta que está em deficiência de fósforo, é alocar grande parte do fotoassimilados para o crescimento radicular e desenvolvimento de raízes finas com maior área superficial para explorar esse nutriente. Os MSP podem auxiliar no crescimento radicular das plantas (ramificação

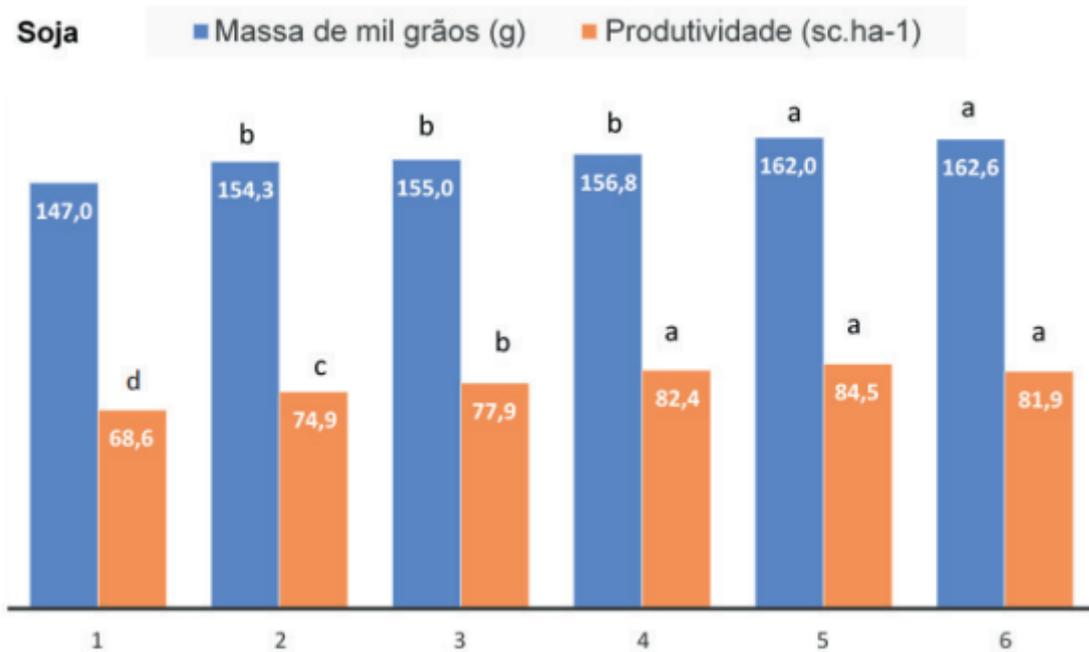
e desenvolvimento de pelos radiculares), por meio de fitoestimulação, pela produção do AIA bacteriano ou de enzimas que alterem a produção de etileno na planta, como a ACC-desaminase (EMAMI *et al.*, 2019).

2.2 USO DE SOLUBILIZADORES DE FÓSFORO

A Embrapa Milho e Sorgo, vem realizando experimentos com o uso de inoculantes, contendo estirpes de *Bacillus subtilis* (CNPMS B2084) e *B. megaterium* (CNPMS B119). Essas estirpes foram isoladas e testadas em diferentes regiões do Brasil, para se entender a função específica de cada. A primeira é capaz de solubilizar fosfato de cálcio e ferro, apresenta a produção de ácidos orgânicos e produz enzima fitase. Enquanto que a segunda estirpe tem a capacidade de solubilizar o fosfato de cálcio e produzir a enzima fosfatase. Além disso, estas bactérias possuem propriedades distintas que promovem o crescimento da superfície radicular (ABREU *et al.*, 2019).

A junção dessas duas estirpes, deu a promoção de um produto comercial chamado BiomaPhos, o qual é um inoculante recomendado para o tratamento de semente ou realizado via sulco no durante o plantio. Em um experimento realizado em Lavras (MG), em parceria com a Embrapa, na safra de 2018/19, realizou a inoculação do produto na dosagem no sulco de semeadura ou no tratamento da semente, promoveu um maior enchimento de grãos e produção de massa seca da parte área e sistema radicular. O experimento foi dividido em seis tratamentos, sendo que o T1 foi realizada 50% da dose necessária de superfosfato triplo (SPT), T2 foi 100% da dose de SPT, T3 foi realizado 50% da dose de SPT e BiomaPhos (2mL.Kg⁻¹ de semente), T4 foi realizado 100% da dose de SPT e BiomaPhos (2mL.Kg⁻¹ de semente), T5 foi realizado 100% da dose de SPT e BiomaPhos (100mL.ha⁻¹) e T6 foi realizado 100% da dose de SPT e BiomaPhos (150mL.ha⁻¹). O melhor resultado observado foi a dosagem cheia do fertilizante mineral fosfatado em conjunto com o inoculante, como pode ser observada na figura abaixo, porém outra conclusão que se pode tirar desse experimento que a redução das doses de fósforo devido ao uso dos MSP não é o recomendado, já que uma diferença em produtividade e massa de mil grãos. (PAIVA *et al.*, 2022).

Figura 2. Produtividade da soja em função do tratamento utilizado na safra 2018/2019 em Lavras-MG



Fonte: Paiva *et al.* (2022).

Apesar desse experimento ter apresentado resultado positivo em relação ao uso do inoculante, as condições nutritivas do meio (solo ou substrato) são determinantes na demonstração de efeitos na inoculação, isso porque quanto maior o teor de fósforo disponível presente no solo, menor a chance se observar um efeito significativo (PAIVA *et al.*, 2022).

2.3 RELAÇÃO ENTRE SILÍCIO E O FÓSFORO

O silício é um elemento benéfico, ou seja, não é essencial para o desenvolvimento das plantas, porém traz funções que pode auxiliar bastante durante o seu ciclo e estabelecimento. Suas principais funções estão ligadas ao status hídrico da planta, garantindo um maior tempo de estômato aberto em comparação sem este elemento, diminuição na severidade de doenças e menor ataque de pragas raspadoras, devido ao desgaste do aparelho bucal (MALAVOLTA, 2006).

Além dessas funções, o Si também influencia na absorção de fósforo em diferentes culturas, aumentando a disponibilidade desse nutriente para a planta. Em um experimento realizado por Greger (2018), a adubação com Si aumentou a disponibilidade de fósforo no solo e aumentou os níveis na parte aérea do trigo. A explicação para isso é que o elemento benéfico aumentou a exsudação de ácidos

orgânicos como malato e citrato, que disponibilizou maior quantidade de fósforo para o trigo.

Outro motivo, é que o silício diminui a disponibilidade de ferro e manganês no solo, que possuem a capacidade de se fixar e indisponibilizar o fósforo. Reduzindo o número de hidróxidos e, dessa forma, pode aumentar indiretamente a disponibilidade de fósforo (YANG; POST, 2011).

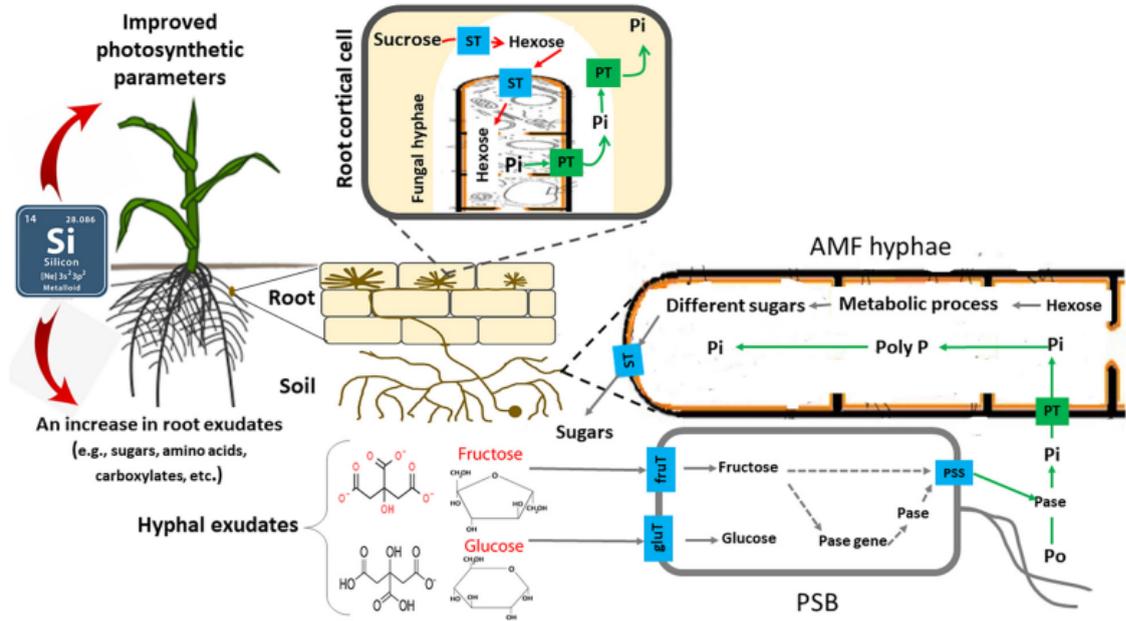
2.4 EFEITOS SINÉRGICOS ENTRE FMA E MSP NA DISPONIBILIDADE DE P

Os fungos micorrízicos arbusculares, de maneira isolada, só pode absorver o fósforo que está em solução, porém com o auxílio de MSP podem disponibilizar os menos solúveis, levando um efeito sinérgico. Uma das principais funções das micorrizas é aumentar a disponibilidade de fósforo para as plantas, devido à maior exploração do sistema radicular, no entanto, esses fungos não são capazes de liberar fosfatases no solo, sendo por isso a interação entre os dois ser sinérgica (ETESAMI; JEONG; GLICK, 2021).

As micorrizas geram uma vasta hifa extrarradicular no solo que os microrganismos podem habitar. As bactérias solubilizadoras, podem crescer ao lado das hifas de FMA dentro e fora da raiz, concretizando a estreita relação entre elas. Com isso, as bactérias são capazes de utilizar os fungos para atingir áreas mais distantes da raiz e acessar o P-não lábil. Esse fósforo que será solubilizado, consegue ser absorvido pela planta, através do canal formado pelas micorrizas. Por fim, outra relação é que essas bactérias são capazes de decompor a matéria orgânica, melhorando a disponibilidade, principalmente, de N e P, que é fundamental para os fungos micorrízicos se desenvolverem (ORDOÑEZ *et al.*, 2018).

Na figura abaixo, conseguimos relacionar as interações entre o papel do Si, com os fungos micorrízicos e as bactérias solubilizadoras de fosfato. Isso porque o silício irá auxiliar no aumento da eficiência da fotossíntese pela planta, melhorando a excreção de exsudatos radiculares pela planta. Esses exsudatos, podem ser liberados pelo FMA, como a frutose, que estimula a expressão de genes de fosfatase nas bactérias solubilizadoras, com a atividade mais alta, a mineralização do fósforo orgânico em fósforo que será assimilado pela planta (ZHANG *et al.*, 2018).

Figura 3 – Relação Si x FMA X MSP



Fonte: Zhang *et al.* (2018).

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O fósforo é um elemento vital para as plantas, pois ele realiza funções que não pode ser substituído por nenhum outro elemento. Além disso, os solos tropicais possuem alto poder de fixação desse nutriente, e conseqüentemente, menos disponível ele está para a planta. Portanto, fica claro que se deve atentar e buscar formas de aumentar a eficiência de adubação fosfatada, visando uma agricultura mais sustentável e resiliente.

O uso de solubilizadores de fósforo, pode ser uma alternativa que o produtor pode escolher para melhorar a sua eficiência. No entanto, ainda é algo que deve ser mais testado para apresentar dados mais concretos na literatura. Entender em quais situações o solo deve estar para apresentar um melhor resultado, em relação ao teor disponível desse nutriente no solo. Outro questionamento é sua capacidade de solubilizar o fósforo, não se sabe se é devido a maior exploração de raízes ou se de fato está ocorrendo a solubilização do nutriente. A recomendação, não é abaixar a dose de fósforo que seria utilizada, isso porque ainda não se sabe como e nem quanto de fósforo, esses microrganismos estão disponibilizando para a planta.

REFERÊNCIAS

ABREU, C. S. **Seleção de estirpes bacterianas rizosféricas e não rizosféricas com potencial para biossolubilização de fosfato e produção de inoculantes visando aumento do crescimento e nutrição do milho.** Dissertação de Doutorado em Microbiologia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2019.

EMAMI, S., ALIKHANI, H. A., POURBABAEI, A. A., ETESAMI, H., SARMADIAN, F., MOTESSHAREZADEH, B. **Effect of rhizospheric and endophytic bacteria with multiple plant growth promoting traits on wheat growth,** 2019.

ETESAMI, H.; JEONG, B.R.; GLICK, B.R. **Contribution of Arbuscular Mycorrhizal Fungi, Phosphate–Solubilizing Bacteria, and Silicon to P Uptake by Plant.** *Frontiers in Plant Science*, 2021.

GREGER, M., LANDBERG, T., and VACULÍK, M. **Silicon influences soil availability and accumulation of mineral nutrients in various plant species,** 2018.

MENDES, W. D. *et al.* **Efeito de bactérias solubilizadoras de fósforo na cultura da soja no Brasil: revisão de literatura.** *Research, Society and Development*, v. 11, n. 16, p, 2022.

NAHAS, E.; FORNASIERI, D. J.; ASSIS, L. C. **Resposta à inoculação de fungo solubilizador de fósforo em milho.** *Scientia Agricola*, v. 51, p. 463-469, 1994.

OLIVEIRA-PAIVA, C. A. *et al.* **Metodologia de aplicação de microrganismos solubilizadores de fósforo em sementes visando melhor aproveitamento deste nutriente pelas plantas,** 2013.

ORDOÑEZ, Y. M., FERNANDEZ, B. R., LARA, L. S., RODRIGUEZ, A., URIBE-VÉLEZ, D., SANDERS, I. R. **Bacteria with phosphate solubilizing capacity**

alter mycorrhizal fungal growth both inside and outside the root and in the presence of native microbial communities, 2016.

PAIVA, C A O *et al.* **Microrganismos solubilizadores de fósforo e potássio na cultura da soja: bioinsumos na cultura da soja.** Brasil: Embrapa, 2022. 18 p.

SHARMA, S. B., SAYYED, R. Z., TRIVEDI, M. H., GOBI, T. A. **Phosphate solubilizing microbes: sustainable approach for managing phosphorus deficiency in agricultural soils.** SpringerPlus 2:587, 2013.

YANG, X., POST, W. M. **Phosphorus transformations as a function of pedogenesis: a synthesis of soil phosphorus data using Hedley fractionation method,** 2011. 9 p.

ZAIDI, A.; KHAN, M. S.; AHMED, M.; OVES, M.; WANI, P. A. **Recent advances in plant growth promotion by phosphate-solubilizing microbes.** In: KHAN, M. S.; ZAIDI, A.; MUSARRAT, J. (Ed.). *Microbial strategies for crop improvement.* Berlin: Springer-Verlag, 2009. p. 23-50.

ZHANG, L., SHI, N., FAN, J., WANG, F., GEORGE, T. S., FENG, G. **Arbuscular mycorrhizal fungi stimulate organic phosphate mobilization associated with changing bacterial community structure under field conditions.** *Environ. Microbiol.* 20, 2639–2651, 2018.