

## INOCULANTE SOLUBILIZADOR DE FOSFATO COM A FERTILIZAÇÃO QUÍMICA NO SOLO DO CERRADO

Marcelo dos Santos Dondoni<sup>1</sup>, Marcio Roberto Rigotte<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Mato Grosso do Sul – Campus Ponta Porã-MS

marcelodondoni2001@gmail.com, marcio.rigotte@ifms.edu.br

### Resumo

O projeto avalia a utilização de fertilizantes solúveis e de grande valor agrônômico juntamente com inoculação de microorganismos solubilizadores de fosfatos, mediante do melhor aproveitamento dos fertilizantes, para incrementar a concentração de fósforo solúvel na rizosfera e promover a nutrição da planta com fósforo.

Foi considerada a hipótese de que o uso de super simples como fertilizante de solo, associado a inoculação de sementes de soja com solubilizador de fosfatos, favorece a eficiência do fertilizante e o desempenho agrônômico das plantas. Diante disso, o objetivo deste projeto foi avaliar a capacidade do inoculante Biomaphos® em solubilizar fosfatos adicionados ao solo via fertilizante químico e seus efeitos no desempenho agrônômico da soja no solo do cerrado.

Conclui-se que, por razão de adversidades climáticas no desenrolar da safra 2021/22, na região sul fronteira do estado de MS, não é possível estatisticamente afirmar que o inoculante solubilizador de fosfatos aliado a adubação química interferiu significativamente na produtividade da cultura da soja, pois os resultados não são conclusivos nesta área.

**Palavras-chave:** Fósforo, Adubação, Solubilidade.

### Introdução

A soja tem se mostrado bastante viável para os solos de cerrados, tanto no desbravamento, quanto em áreas já abertas com outras culturas, notadamente em substituição às pastagens. No entanto, um importante obstáculo a ser ultrapassado é a baixa quantidade de fósforo prontamente disponível às plantas, o que limita consideravelmente a produtividade.

Após anos de pesquisa e de resultados de experimentos conduzidos em diversas regiões brasileiras, a Embrapa em parceria com a empresa Bioma, acaba de lançar no mercado um inoculante denominado BiomaPhos® que contém bactérias solubilizadoras de fosfatos. Tal produto ao ser aplicado na semente ou no sulco de plantio, se associa à planta desde o início da formação das raízes. As bactérias presentes no produto se multiplicam e colonizam a rizosfera da planta. Durante esse processo, as cepas BRM 119 (*Bacillus megaterium*) e BRM 2084 (*Bacillus subtilis*) iniciam a produção de diferentes ácidos orgânicos. Esses

ácidos atuam na porção do solo que se encontra em contato com as raízes das plantas, iniciando assim o processo de solubilização do fósforo que está retido ao Cálcio, alumínio e ferro presentes no solo, deixando-o prontamente disponível para a absorção e a assimilação pela planta.

Inoculantes a base de microorganismos solubilizadores de fosfato (MSP) são comuns no solo, onde as bactérias constituem um grupo que varia de 1-50% e os fungos de 0,5 a 1,0% da população total destes microorganismos (KUCEY, 1983). A maior proporção de MSP está concentrada na rizosfera, sendo estes metabolicamente mais ativos que aqueles isolados de outros locais (VAZQUEZ et al., 2000; BAREA et al., 2005).

A maioria destes microorganismos solubiliza P ligado ao Ca e somente poucos conseguem solubilizar complexos de P-Al e P-Fe, podendo ser ainda, eficientes na solubilização de fosfatos de rocha (GYANESHWAR et al., 2002). O fosfato insolúvel mobilizado pelos microorganismos pode ser absorvido pelas raízes das plantas, enquanto as plantas exsudam compostos de carbono, principalmente açúcares, que podem ser metabolizados pelos microorganismos da rizosfera (PÉREZ et al., 2007).

MSP são caracterizados pela sua capacidade de solubilizar formas precipitadas de P quando cultivados em meios de cultura em laboratório e incluem uma ampla variedade de organismos simbióticos e não simbióticos, como espécies de *Pseudomonas*, *Bacillus* e *Rhizobium*, actinobactérias e vários fungos como *Aspergillus* e *Penicillium* (RODRIGUEZ; FRAGA, 1999; WHITELAW, 2000; GYANESHWAR et al., 2002). A seleção de MSP é rotineiramente baseada na solubilização de fosfatos de Ca moderadamente solúveis (geralmente, fosfato de tricálcio  $[Ca_3(PO_4)_2]$  e fosfatos contendo hidróxi- e fluorapatitas  $[Ca_5(PO_4)_3OH]$  e  $[Ca_{10}(PO_4)_6F_2]$  e fosfatos de Fe ( $FePO_4 \cdot 2H_2O$ ) e Al ( $AlPO_4 \cdot 2H_2O$ ).

A quantidade de P solubilizado é altamente dependente da fonte (solubilidade) do P e, para diferentes microorganismos, é influenciada pelas condições de cultivo. Por exemplo, comumente relata-se serem os fungos mais eficientes na solubilização de fosfatos de Fe e Al, enquanto a capacidade dos diferentes organismos de solubilizar fosfatos de Ca é influenciada pela fonte de carbono e nitrogênio no meio, pela capacidade de tamponamento do meio e da fase em que as culturas são amostradas (KUCEY, 1983; ILLMER et al., 1995; WHITELAW et al., 1999, NAHAS, 2007).

Sob condições controladas de crescimento, vários estudos têm demonstrado um maior crescimento e uma maior nutrição de P das plantas inoculadas com MSP, fato que é muitas vezes atribuído à atividade de solubilização de P dos microrganismos envolvidos (RODRIGUEZ; FRAGA, 1999; WHITELAW, 2000; GYANESHWAR et al., 2002).

O fósforo é um dos macronutrientes essenciais menos absorvido pelas plantas. Em contrapartida é o elemento mais utilizado no Brasil para a adubação de manutenção e correção de grandes culturas. Esta controvérsia se dá pela intensa interação que o fósforo apresenta com os solos altamente intemperizados (VILAR et al., 2010).

Esses solos estão presentes em condições de clima tropical e subtropical onde a precipitação é superior à evapotranspiração o que favorece a lixiviação de cátions básicos e sílica, resultando na formação de reduzido número de minerais (ALLEN et al., 1989). Com isso, estes minerais apresentam grande capacidade de adsorver ânions como o fosfato nesses solos. Pode-se observar que solos com diferentes características apresentam diferentes capacidades em adsorver o fósforo. Solos que apresentam elevada adsorção do fósforo propiciam baixa disponibilidade desse nutriente para a planta (NOVAIS et al., 2007).

Um dos principais métodos para se avaliar a necessidade de elementos pela planta por meio de análise de solo é a definição de níveis críticos para esses elementos. O nível crítico, geralmente, é considerado o teor no solo capaz de propiciar 90 ou 100 % de produção relativa (NOVAIS et al., 2007).

Os solos das regiões com clima tropical e subtropical apresentam elevado grau de desenvolvimento pedogenético. Nesses solos, o intenso intemperismo leva à formação de um número reduzido de minerais (ALLEN et al., 1989). Os principais minerais encontrados podem ser divididos em dois grupos: a) os filossilicatos e b) os oxi-hidróxidos de ferro e alumínio (óxidos de Fe e Al). (Vilar, Cesar & Moreira-Vilar, Flavia. 2013). Filossilicatos são representados pelos minerais de argila 2:1 (vermiculitas, montmorilonitas, etc) encontrados em baixas concentrações nos solos altamente intemperizados e pela caulinita que é um filossilicato do tipo 1:1 encontrado em maior abundância nesses solos. Hematita, goethita e maghemita são os principais óxidos de Fe e a gibbsita é o principal óxido de Al encontrado na fração argila desses solos (KER, 1995).

Nos solos, a retenção do P pode ocorrer de diversas formas. Existem dois termos utilizados para se definir a disponibilidade do elemento às plantas, como já citado anteriormente, P-lábil e P-não-lábil. O primeiro é utilizado para definir as formas em equilíbrio rápido com a solução do solo e o último para representar compostos insolúveis e que só lentamente podem passar para a solução do solo (RAIJ, 1991). O P-lábil é aquele que, geralmente, está adsorvido às cargas eletropositivas presentes nos solos, principalmente, pela ocorrência de cargas dependentes de

pH, em minerais como os óxidos de Fe e Al. Este fenômeno é denominado de adsorção não específica ou por formação de complexos de superfície de esfera externa (SPOSITO, 1989). Já a fração não-lábil de P é retida, principalmente, pela adsorção específica ou por formação de complexo de esfera interna. Esta reação ocorre com troca de ligantes do fosfato por hidroxila, causando a formação de uma, duas ou três ligações covalentes entre o ânion fosfato e os minerais predominantes nestes solos. (Vilar, Cesar & Moreira-Vilar, Flavia. 2013).

A baixa disponibilidade de fósforo no solo exige um mecanismo de absorção muito eficiente. As plantas adquirem fósforo contra um elevado gradiente de concentração. Geralmente a concentração de fósforo inorgânico (Pi) no interior das células vegetais é 100 vezes maior do que na solução do solo (RAGHOTHAMA, 2000). Estudos de cinéticas de absorção indicam que as plantas apresentam tanto sistemas de baixa (Km entre 50 e 300 micromol L<sup>-1</sup>) quanto de alta afinidade (Km entre 1 e 10 micromol L<sup>-1</sup>). De acordo com as concentrações na solução do solo o de alta afinidade são os que mediam a absorção de fósforo.

Portanto, o objetivo deste projeto foi avaliar a capacidade do inoculante Biomaphos® em solubilizar fosfatos adicionados ao solo via fertilizante químico e seus efeitos no desempenho agrônômico da soja no solo do cerrado

## Metodologia

O experimento foi conduzido no Instituto Federal de Mato Grosso do Sul, Campus de Ponta Porã – MS, localizado a 22° 44' 47,40'' S e 55° 31' 33,34'' W, com altitude média de 560 metros, cujo solo foi classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico, de textura arenosa. O clima de acordo com a classificação de Koppen é considerado do tipo Cwa, com temperatura média anual de 18 °C e pluviosidade média de 1500 mm anuais.

Foi utilizado o fertilizante químico Super Simples Granulado (22 % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), juntamente com o inoculante, e estes serão comparados com somente a aplicação do fertilizante.

Foi utilizada a cultivar de soja Monsoy 5705 IPRO®, semeada em sistema de plantio direto na palha, sendo conduzida conforme as orientações da EMBRAPA para o manejo fitossanitário. O delineamento utilizado foi em blocos casualizados com quatro repetições e um tratamento controle, em esquema fatorial (4 x 2), sendo 3 combinações de fertilizante, com e sem o uso do inoculante Biomaphos®. As parcelas foram constituídas de 4 linhas espaçadas de 0,5 metros entre si por 3 metros de comprimento, totalizando 6 m<sup>2</sup> por parcela. As duas linhas centrais foram utilizadas como área útil de coleta dos dados experimentais.

As combinações foram assim definidas: Tratamento 1: uso exclusivo de fertilizante (100 kg ha<sup>-1</sup>); Tratamento 2: sem

fertilizante e sem inoculação (0 kg ha<sup>-1</sup>); Tratamento 3: uso exclusivo de fertilizante (50 kg ha<sup>-1</sup>); Tratamento 4: uso exclusivo de fertilizante (150 kg ha<sup>-1</sup>); Tratamento 5: uso de fertilizante com inoculação (100 kg ha<sup>-1</sup>); Tratamento 6: uso de fertilizante com inoculação (50 kg ha<sup>-1</sup>); Tratamento 7: uso exclusivo de inoculante; Tratamento 8: uso de fertilizante com inoculação (150 kg ha<sup>-1</sup>).

## Resultados e Discussão

Considerando-se os resultados obtidos para a variável peso dos grãos da parcela, pode-se observar pela Tabela 1., que contém a análise de variância para os valores obtidos no experimento, que o valor de F (5,537) foi significativo sendo P < 0,0010. Isto indica que pelo menos um dos tratamentos difere dos demais, restando, no entanto, continuar as análises estatísticas de modo a determinar quantos e quais dos tratamentos diferem estatisticamente entre si.

**Tabela 1.** Tabela de análise de variância (ANOVA)

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Blocos	3	7.205,32	2.401,77	1,473	0,2506
Doses	7	63.193,97	9.027,71	5,537	0,0010
erro	21	34.239,22	1.630,44		
Total Corrigido	31	104.638,52			
CV (%)		24,42			
Média Geral		165,35			

Foi realizado então um comparativo da média dos tratamentos de modo a determinar quantos e quais dos tratamentos diferem estatisticamente entre si. Para tanto aplicou-se o Teste de Tukey para a variável analisada peso dos grãos colhidos na parcela, em gramas. Pela Tabela 2., pode-se observar que apenas o tratamento T5 diferiu estatisticamente dos demais, sendo, porém, semelhante ao tratamento T6, enquanto o tratamento T6 não apresenta diferenças estatísticas de qualquer dos outros tratamentos, segundo o teste de Tukey a 95% de significância.

**Tabela 2.** Comparativo das médias dos tratamentos

Tratamento	Médias*
T5	268,925 a
T6	189,825 ab
T4	161,750 b
T1	157,025 b
T8	155,700 b
T7	146,225 b
T2	129,525 b
T3	113,900 b

\*Resultados na Coluna seguidos pela mesma letra, não apresentam diferença significativa pelo Teste de Tukey a 5% de significância

Pela análise estatística dos resultados obtidos, não é possível inferir eficiência quanto ao uso de inoculação objetivando

maior aproveitamento do nutriente fósforo pela planta. Destaca-se, porém, que o ano agrícola 2021/22 passou por determinadas intercorrências que acabam por interferir de forma a impedir uma plena obtenção de dados que permitam uma resposta clara ao objetivo proposto.

Nosso objetivo foi avaliar a capacidade do inoculante em solubilizar fosfatos adicionados ao solo via fertilizante químico e seus efeitos no desempenho agrônomico da soja no solo do cerrado. Entretanto a planta para completar seu ciclo necessita mais do que somente a nutrição mineral, sendo fundamental a disponibilidade hídrica para a mesma, e devido à grande estiagem que afetou a maioria das áreas produtivas de sul do Mato Grosso do Sul, não se obteve resultados que expressassem a diferença do inoculante na planta.

Para o mês de dezembro, a situação seguiu crítica, com valores de precipitação abaixo da média histórica, devido à atuação de massas de ar seco e quente, associadas a um bloqueio atmosférico que favoreceu os dias mais quentes e secos no estado. Além disso, também houve a atuação do fenômeno climático La Niña, que é um fenômeno oceânico-atmosférico de resfriamento das águas do Pacífico, e por consequência, gera mudanças nos padrões de precipitação, favorecendo chuvas abaixo da média climatológica no sul/sudeste do estado. Nos municípios do sul do estado, os valores de precipitação acumulada variaram de 0 a 35 mm (APROSOJA-MS, 2022).

## Considerações Finais

Conclui-se que, por razão de adversidades climáticas no desenrolar da safra 2021/22, na região sul fronteira do estado de MS, não é possível estatisticamente afirmar que o inoculante solubilizador de fosfatos aliado a adubação química interferiu significativamente na produtividade da cultura da soja, pois os resultados não são conclusivos nesta área.

## Referências

- ALLEN, B. L.; HAJEK, B. F. Mineral occurrence in soil environments. In: DIXON, J. B.; WEED, S. B. (Eds.). *Minerals in soil environments*. 2. ed. **Madison: Soil Science Society of America**. p. 199-278, 1989.
- BAREA, J.-M.; POZO, M. J.; AZCÓN, R.; AGUILAR, C. A. Microbial cooperation in the rhizosphere. **Journal of Experimental Botany, London**, v. 56, n. 417, p. 1761-1778, 2005.
- GYANESHWAR, P.; NARESH KUMAR, G.; PAREKH; L. J.; POOLE, P. S. Role of soil microorganisms in improving P nutrition of plants. **Plant and Soil, The Hague**, v. 245, p. 83-93, 2002.

ILLMER, P.; BARBATO, A.; SCHINNER, F. Solubilization of hardlysoluble  $AlPO_4$  with P-solubilizing microorganisms. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 27, p. 265-270, 1995

KER, J. C. **Mineralogia, sorção e dessorção de fosfato, magnetização e elementos traços de Latossolos do Brasil**. 1995. 181p. (Tese de Doutorado). Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1995.

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.

NAHAS, E. Phosphate solubilizing microorganisms: effect of carbon, nitrogen and phosphorus sources. In: VALÁZQUEZ, E.; RODRÍGUEZBARRUECO, C. (Ed.). **Developments in plant and soil science**. Dordrecht: Springer. **First international meeting on microbial phosphate solubilization**. p. 111-115, 2007.

NOVAIS, R. F. et al. Fósforo. In: **Fertilidade do solo**. Viçosa:Viçosa. p.472-537,2007.

PÉREZ, E.; SULBARÁN, M.; BALL, M. M.; YARZÁBAL, L. A. Isolation and characterization of mineral phosphate-solubilizing bacteria naturally colonizing a limonitic crust in the south-eastern Venezuelan region. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 39, p. 2905-2914, 2007.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Ceres, 1991.

RAGHOTHAMA, K. G. Phosphate transport and signaling. **Curr. Opin. Plant Biol.**, v. 3, p.182-187, 2000.

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

SPOSITO, G. **The chemistry of soils**. New York: Oxford University Press, 1989.

VAZQUEZ, P.; HOLGUIN, G.; PUENTE, Y.; LOPEZ CORTES, A.; BASHAN Y. Phosphate solubilizing microorganisms associated with the rhizosphere of mangroves in a semi arid coastal lagoon, **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 30, p. 460-468, 2000.

VILAR, C.C.; VILAR, F.C.M. Comportamento do fósforo em solo e planta. Campo Digital: **Revista Ciências Exatas e da Terra e Ciências Agrárias**, v.8, p.37-44, 2013.

VILAR, C. C. et al . Capacidade máxima de adsorção de fósforo relacionada a formas de ferro e alumínio em solos

subtropicais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa , v. 34, p. 1059-1068, 2010.

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.

WHITELAW, M. A. Growth promotion of plants inoculated with phosphate-solubilizing fungi. **Advances in Agronomy**, New York, v. 69, p. 99-151, 2000.