

Diferentes bactérias solubilizadoras de nutrientes e fertilização fosfatada em soja

Matheus Tansini Silva^{1*}, Nayara Parisoto Boiago¹, Brenda Martinelli Santos¹

¹ Curso de Agronomia, Centro Universitário Assis Gurgacz (FAG), Cascavel, Paraná

* nayrunfree@gmail.com

Resumo: O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de diferentes produtos biológicos solubilizadores de nutrientes associado ou não à adubação fosfatada na produção e teores de nutrientes da soja. O experimento foi conduzido de novembro de 2022 a março de 2023, no CEDETEC do Centro Universitário FAG, localizado no município de Cascavel-PR, o delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, em parcelas subdivididas com os tratamentos organizados em esquema bifatorial sendo que as parcelas representaram as diferentes formas de adubação fosfatada (sem adubação fosfatada, 30 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅) e as subparcelas foram compostas pelos inoculantes solubilizadores de fósforo (testemunha, *P. fluorescens* + *A. brasilense*, *B. subtilis* + *B. megaterium* e Bioproduto *On farm*). Logo, o experimento foi composto de 12 tratamentos com 4 repetições, totalizando 48 unidades experimentais, compostas por cinco linhas com espaçamento de 0,45 m entre linhas, 2,25 m de largura por 3 m de comprimento, totalizando uma área de 6,75 m². A inoculação e aplicação da adubação foram realizadas após a semeadura diretamente no sulco de plantio. Os parâmetros avaliados foram peso de mil grãos, número de vagens por planta, número de grãos por vagem, biomassa seca, produtividade e teor de nutrientes foliares. Os dados foram submetidos às análises estatísticas considerando 5% de significância através do software MINITAB. Segundo a análise de variância o número de vagens por planta se diferiu de acordo com os diferentes inoculantes utilizados e o número de grãos por vagem teve influencia significativa da interação entre os inoculantes e os manejos de adubação fosfatada empregados. Conclui-se que o uso das bactérias solubilizadoras de fósforo não contribuiu para os componentes de produção e nutrição da soja.

Palavras-chave: Inoculantes; Produtividade; Nutrição.

Different nutrient solubilizing bacteria and phosphate fertilization in soybean

Abstract: The objective of this work was to evaluate the effect of different biological products that solubilize nutrients associated or not with phosphorus fertilization on the production and levels of nutrients in soybean. The experiment was conducted from November 2022 to March 2023, at CEDETEC of the Centro Universitário FAG, located in the municipality of Cascavel-PR, the experimental design used was randomized blocks, in subdivided plots with treatments organized in a bifactorial scheme, with the plots represented the different forms of phosphate fertilization (without phosphate fertilization, 30 kg ha⁻¹ of P₂O₅ and 60 kg ha⁻¹ of P₂O₅) and the subplots were composed of phosphorus solubilizing inoculants (control, *P. fluorescens* + *A. brasilense*, *B. subtilis* + *B. megaterium* and Bioproduto on farm). Therefore, the experiment consisted of 12 treatments with 4 repetitions, totaling 48 experimental units, composed of five rows with 0,45 m spacing between rows, 2,25 m wide by 3 m long, totaling an area of 6,75 m². The inoculation and application of fertilizer were performed after sowing directly in the planting furrow. The evaluated parameters were weight of one thousand grains, number of pods per plant, number of grains per pod, dry biomass, yield and foliar nutrient content. The data were submitted to statistical analysis considering 5% of significance through the MINITAB software. According to the analysis of variance, the number of pods per plant differed according to the different inoculants used and the number of grains per pod had a significant influence on the interaction between the inoculants and the phosphate fertilization practices used. It is concluded that the use of phosphate solubilizing bacteria did not contribute to the soybean production and nutrition components.

Keywords: Inoculants; Yield; Nutrition.

Introdução

A soja é uma cultura de grande importância para a economia nacional, sendo um dos grãos mais cultivados, tendo em sua cadeia produtiva uma série de avanços que visam aumentar sua produtividade, reduzir custos e tornar seu cultivo mais sustentável.

Segundo dados da Conab (2023), a produção brasileira de soja na safra 2022/2023 foi de 3.532 kg ha⁻¹, tendo uma área cultivada de 43834 milhões de hectares, já no Paraná a média de produtividade foi de 3.847 kg ha⁻¹ e a área cultivada de 5810 milhões de hectares.

Para bons rendimentos da cultura é necessário que haja um manejo nutricional adequado, sendo que a soja é muito exigente em todos os macronutrientes essenciais, onde o nitrogênio é requerido em maiores quantidades e o fósforo é essencial para os processos de armazenamento e fornecimento de energia tendo sua absorção na forma de fosfato (DOMINGOS; LIMA e BRACCINI, 2015). Embora o fósforo seja um nutriente requerido em grande quantidade pelas culturas, sua disponibilidade em solos brasileiros é baixa, o que ocasiona em aumento nos custos de produção (ROSA; CAPONI e ZANÃO JR, 2015).

De acordo com Mendes *et al.* (2022), existem formas e meios alternativos para tornar a produção mais viável, nesse sentido inúmeros gêneros bacterianos que possuem capacidade de fornecer benefícios para as plantas foram encontrados na rizosfera, estando entre estes as bactérias solubilizadoras de fosfato (BSF) que tem sido empregadas como biofertilizantes por meio de produtos inoculantes. Segundo Owen *et al.* (2015), os microrganismos solubilizadores de fosfato também realizam a mobilização do P orgânico por meio de uma mineralização o que facilita a sua translocação e conseqüentemente a absorção pelas plantas.

Há um elevado número de microrganismos que promovem a solubilização do fósforo, onde *Pseudomonas* sp. e *Bacillus* sp. são os principais gêneros de bactérias que atuam contribuindo ativamente no ciclo do fósforo elevando sua disponibilidade para absorção das plantas (SOUZA, 2022).

Desse modo, o *Bacillus subtilis* é uma das bactérias mais estudadas por ser formadora de esporos que demonstram resistência a condições ambientais desfavoráveis e de forma semelhante o *Bacillus megaterium* que apresenta capacidade de solubilizar fosfatos naturais presentes no solo, disponibilizando o P para as plantas (SANTOS *et al.*, 2021).

Diante do exposto e considerando que ainda não há muitos relatos quanto a eficiência do uso destas bactérias e as diferentes quantidades de fósforo presentes no solo, o objetivo deste trabalho é avaliar o efeito de diferentes produtos biológicos solubilizadores de nutrientes associado ou não à adubação fosfatada na produção e teores de nutrientes da soja.

Material e Métodos

O experimento ocorreu no período de novembro 2022 a março de 2023 no Centro de Desenvolvimento Tecnológico (CEDETEC) do Centro Universitário Assis Gurgacz, FAG, localizada em Cascavel, Paraná, PR com latitude de 24°55'46.5''S, com longitude 53°34'07.7''O e uma altitude de 712 metros. A região possui o clima subtropical úmido (Cfa), a temperatura média anual varia entre 20 a 22 °C e precipitação média anual de 1800 a 2000 mm (APARECIDO *et al.*, 2016). O solo da área experimental é classificado como latossolo vermelho distroférrico (EMBRAPA, 2013).

Anteriormente, amostras aleatórias de solo da área foram coletadas, em zigue e zague, com auxílio de um trado holandês em profundidade de 0 a 20 cm, posteriormente homogeneizadas e enviadas para o laboratório para análise. Os resultados da análise de solo estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Análise química do solo da área experimental em profundidade de 0-20 cm.

Prof (cm)	pH (CaCl ₂)	M.O. (g dm ⁻³)	Ca ----- Cmolc dm ⁻³ -----	Mg ----- Cmolc dm ⁻³ -----	K ----- Cmolc dm ⁻³ -----	Al ----- Cmolc dm ⁻³ -----
	5,00	37,63	7,11	1,69	0,57	0,00
0-20	V (%)	P	Fe	Mn	Cu	Zn
	61,93	13,73	18,70	20,10	3,40	3,50

Extrator: P e K (HCl 0,05 mol L⁻¹ + H₂SO₄ mol L⁻¹); Al, Ca, Mg = (KCl 1 mol L⁻¹).

O delineamento utilizado foi de blocos casualizados em parcelas subdivididas com os tratamentos organizados em esquema bifatorial sendo que as parcelas (fator 1) representaram as diferentes formas de adubação fosfatada com 3 níveis (sem adubação fosfatada, 30 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅) e as subparcelas (fator 2) foram compostas pelos inoculantes solubilizadores de fósforo com 4 níveis (testemunha, *Pseudomonas fluorescens* + *Azospirillum brasilense*, *Bacillus subtilis* + *Bacillus megaterium* e Bioproduto *On farm*). Portanto, o experimento foi composto de 12 tratamentos com 4 repetições, totalizando 48 unidades experimentais.

Cada unidade experimental (subparcela) possuiu 2,25 m de largura por 3 m de comprimento, composta de 5 linhas de 0,45 m de espaçamento, totalizando em 6,75 m². O espaçamento entre as unidades experimentais foi de 0,5 metro. A área experimental total foi de 435,75 m².

A cultivar de soja semeada foi BMX Zeus IPRO caracterizada como um material precoce para a região com seu ciclo de mais o menos 125 dias, tendo resistência ao acamamento.

A semeadura foi realizada de forma mecanizada em semeadeira tatu RHP de 5 linhas, semeadeira com uma população de 12 plantas por metro linear.

Os inoculantes solubilizadores de fósforo foram aplicados após a semeadura, diretamente no sulco de forma manual utilizando pulverizador costal Xp20 Jacto de 20 L com a ponta de pulverização duplo leque, 110,02 com vazão de 160 L ha⁻¹. O produto composto por *Pseudomonas fluorescens* CCTB03 e *Azospirillum brasilense* AbV6 foi utilizado na dose recomendada de 0,3 L ha⁻¹. O produto composto por *Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium* foi utilizado na dose recomendada de 0,1 L ha⁻¹.

Já o tratamento com bioproduto produzido em sistema *On farm* foi composto das bactérias *Bacillus megaterium* e *Bacillus subtilis* obtidas na Fazenda Escola do Centro Universitário FAG e utilizadas na dose total de 1 L ha⁻¹ conforme o manejo padrão da fazenda. O manejo de produção *On farm* consiste na adição das cepas dos microrganismos em caixas de água exclusivas para esse fim juntamente com meio de cultura ágar, açúcar, água, seguida de agitação por 24 horas.

Após a aplicação dos inoculantes no sulco, adicionou-se o adubo fosfatado de forma manual. O adubo fosfatado utilizado como fonte de P₂O₅ foi o superfosfato simples com 20% de P₂O₅ aplicado em quantidade proporcional à área da unidade experimental e respectivo tratamento.

Para aplicações de defensivos agrícolas foi utilizado o pulverizador costal manual. O manejo fitossanitário da área foi realizado em 7 aplicações de inseticida nos dias 28, 49, 57, 63, 75, 84 e 110 após a emergência, com princípios ativo de imidacloprido (0,48 L ha⁻¹), fipronil (40 g ha⁻¹), isolacst (0,3 L ha⁻¹) com observação de percevejo marrom e barriga verde, 970 SG acefato (500 g ha⁻¹), metilcarbamato de oxima (1 L ha⁻¹). Quatro aplicações de fungicida foram realizadas nos dias 26, 46, 57, 110 após a emergência com os princípios ativo de fluxapiraxade (0,35 L ha⁻¹) e fenpropimorfe (0,5 L ha⁻¹) perante a presença de oídio nas folhas inferiores. Duas aplicações de glifosato nos dias 15 e 22 após a emergência foram realizadas com os princípios ativos sal de dimetilamina do ácido 2,4-diclorofenoxiacético (1,5 L ha⁻¹).

Os parâmetros avaliados foram os componentes de produção peso de mil grãos (PMG), vagens por plantas, grãos por vagem e biomassa seca e a produtividade. O teor de nutrientes foliares também foi quantificado através da análise foliar.

Para realizar a análise de biomassa seca, após 74 dias de emergência, 3 plantas foram coletadas de cada subparcela, levadas à estufa por 72 horas em 65 °C e, posteriormente, pesadas em balança de precisão analítica com os resultados expressos em gramas.

Após a maturação fisiológica das vagens, contou-se o número total de vagens por plantas de 3 plantas por subparcela. Para contabilizar o número de grãos por vagens, contou-se o número total de grãos de 15 vagens por subparcela.

A colheita da área experimental foi realizada de forma manual, com foice e facão e, após cortadas, foi colocada na trilhadeira. O total de grãos colhidos na área útil da unidade experimental foi pesado e a quantidade expressa em produtividade de quilos por hectare. O teor de umidade dos grãos foi computado e a produtividade final expressa em base seca.

O peso de mil sementes (PMS) foi realizado com 8 subamostras de cada subparcela composta de 100 grãos que foram pesadas individualmente em balança analítica, expressas em gramas e o peso de mil grãos calculado conforme fórmula de Brasil (2009).

A análise foliar foi realizada por laboratório terceirizado. A coleta das folhas ocorreu de forma aleatória obtendo-se o terceiro trifólio de 20 plantas com pecíolo dentro de cada subparcela. Os resultados de macronutrientes foram quantificados em $g\ kg^{-1}$ de matéria seca e os micronutrientes expressos em $mg\ kg^{-1}$.

Os dados coletados foram submetidos à análise descritiva e teste de normalidade Anderson-Darling, sendo transformados conforme a necessidade de normalidade pelo teste de transformação de Johnson. A análise de variância (ANOVA) foi realizada e, diferença significativa, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey. Todas as análises foram realizadas considerando 5% de significância, pelo software Minitab (MINITAB, 2016).

Resultados e Discussões

O resumo da análise descritiva e análise de variância dos parâmetros produtivos da soja perante o uso de inoculantes para solubilização de fósforo associado ou não à adubação fosfata está apresentado na Tabela 2. Observa-se que, por apresentarem coeficiente de variação menor que 20%, os dados apresentaram boa qualidade em relação à variabilidade (FÁVERO *et al.*, 2009). De acordo com o teste de normalidade Anderson-Darling, todos os dados apresentaram distribuição normal e não necessitaram de transformação.

A análise de variância mostra que o número de vagem das plantas de soja diferiu de acordo com os diferentes inoculantes solubilizadores de fósforo usados nesse trabalho. A interação entre os produtos inoculantes estudados e os diferentes manejos com adubação fosfatada influenciou significativamente no número de grãos por vagem.

Tabela 2 – Resumo da análise descritiva e análise de variância da biomassa seca, número de vagens, número de grãos por vagens (GPV), peso de mil sementes (PMS) e produtividade (Prod) de soja cultivada com inoculantes para solubilização de fósforo e diferentes manejos de adubação fosfatada.

	Biomassa	Vagens	GPV	PMS	Prod
Média	34,36	66,13	2,40	212,38	2500,80
C.V. (%)	14,35	9,86	14,52	4,64	14,71
Anderson-Darling	0,374 ^{ns}	0,675 ^{ns}	0,263 ^{ns}	0,246 ^{ns}	0,909 ^{ns}
Inoculação	0,906 ^{ns}	0,018*	0,304 ^{ns}	0,926 ^{ns}	0,533 ^{ns}
Adubação Fosfatada	0,544 ^{ns}	0,105 ^{ns}	0,459 ^{ns}	0,971 ^{ns}	0,934 ^{ns}
Inoc X Adub	0,990 ^{ns}	0,089 ^{ns}	0,015*	0,314 ^{ns}	0,127 ^{ns}

C.V.: coeficiente de variação. ns = não significativo $p \geq 0,05$; * = significativo $p \leq 0,05$.

Portanto, na Tabela 3, apresenta-se a comparação de médias pelo teste Tukey do número de grãos por vagem de plantas de soja cujas sementes foram inoculadas pré-semeadura com diferentes inoculantes para solubilização de fósforo. Nota-se que nenhum dos inoculantes resultou em aumento significativo no número vagens do que a testemunha, entretanto, há uma diferença significativa entre o inoculante composto por *P. fluorescens* e *A. brasilense* com o uso de bioproduto oriundo do manejo *On farm* onde as plantas inoculadas com o produto *P. fluorescens* e *A. brasilense* produziram, em média, 7 vagens a mais.

Tabela 3 – Média do número de vagens por planta de soja com inoculantes para solubilização de fósforo.

Inoculação	Vagens (un)
Testemunha	65,33 ab
<i>P. fluorescens</i> + <i>A. brasilense</i>	69,33 a
<i>B. subtilis</i> + <i>B. megaterium</i>	67,50 ab
<i>On farm</i>	62,33 b

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey, à 5% de significância.

Apesar de ser uma opção economicamente interessante e também sustentável para a obtenção de microrganismos aplicados na agricultura, a produção e utilização de sistemas *On farm* possui a desvantagem da falta de informações precisas sobre a quantidade de microrganismos presentes no bioproduto obtido, sendo que nem sempre se atinge uma população suficiente para obter o devido efeito promotor de crescimento (GHASEMI; EHSANI e TAGHIPOUR, 2020).

O efeito observado na produção de vagens pode ser resultado da disponibilidade de fósforo proporcionada pelo inoculante a base de *Pseudomonas fluorescens* e *Azospirillum brasilense*, pois, dentre as funções do fósforo estão a síntese de fosfolipídeos, DNA e RNA que

são fundamentais para o pegamento floral e desenvolvimento de vagens. Guareschi *et al.* (2011) observaram aumento no número de vagens com aplicação de adubo fosfatado revestido por polímeros devido à menor adsorção desses e maior disponibilidade. Ainda, Zucareli *et al.* (2011) observaram aumento na produção de vagens de feijão perante aplicação de fósforo. Esses estudos, apesar de não associarem a inoculação de solubilizadores de fosfato, evidenciam que a nutrição da planta com nível adequados fósforo pode estar relacionada à formação de vagens.

Além do efeito na solubilização do fósforo adsorvido no solo, as bactérias presentes no produto citado possuem conhecido efeito de promoção de crescimento em plantas, pois podem potencializar a nodulação em associação com a simbiose de *Bradyrhizobium* sp., produzir fitohormônios, conferir resistência à estresses abióticos e bióticos, entre outros (CHAGAS JUNIOR *et al.*, 2022).

Ressalta-se, conforme apresentado pela análise de variância da Tabela 2, que o peso de mil grãos e a produtividade não foram influenciados pelo uso dos inoculantes, assim, apesar de algumas plantas produzirem maior número de vagens, houve compensação no peso dos grãos. Rossi *et al.* (2016) testando solubilizadores de fosfato inoculados em feijão também não observaram aumento significativo no peso de mil grãos e produtividade. Em relação ao uso de solubilizadores de fosfato em soja, Lima *et al.* (2017) observaram que, mesmo aumentando a solubilização de fosfato no solo, isso não refletiu em aumento da produção de grãos.

A relação entre a adubação fosfatada estudada e o uso dos inoculantes solubilizadores de fósforo com o parâmetro grãos por vagem está apresentada na Tabela 4. Na testemunha, a maior dose de adubação utilizada ($60 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$) resultou na redução do número de grãos por vagem quando comparado à $30 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ da dose sendo que ambos não diferem do manejo sem adubação fosfatada. Sabe-se que adubações em altas doses de nutrientes podem reduzir a produção de culturas agrícolas, pois podem causar inibição do crescimento radicular, inibição competitiva entre nutrientes, entre outros eventos (BATISTA *et al.*, 2018) e, ao serem absorvidos, podem ultrapassar o nível crítico de toxicidade no corpo da planta, levando a redução de produtividade (MALAVOLTA; VITTI e OLIVEIRA, 1997).

Tabela 4 – Média do número de grãos por vagem (GPV) de soja com inoculantes para solubilização de fósforo.

Inoculação	GPV (un)		
	Adubação fosfatada (kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹)		
	Sem	30	60
Testemunha	2,55 aAB	2,87 aA	2,18 aB
<i>P. fluorescens</i> + <i>A. brasilense</i>	2,58 aA	2,30 abA	2,15 aA
<i>B. subtilis</i> + <i>B. megaterium</i>	2,20 aA	2,55 abA	2,53 aA
Bioproduto <i>On farm</i>	2,38 aA	2,10 bA	2,45 aA

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e letra maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste Tukey, à 5% de significância.

Os diferentes inoculantes utilizados influenciaram no número de grãos por vagem somente na adubação fosfatada à 30 kg P₂O₅ ha⁻¹. Nessa condição, o número de grãos por vagem da testemunha não difere conforme o uso entre os inoculantes comerciais, porém, o uso do bioproduto proveniente do manejo *On farm* reduziu o número de grãos por vagem.

Os efeitos de bioprodutos *On farm* variam de acordo com a dose utilizada, estirpes combinadas, temperatura, entre outros aspectos essenciais para a boa interação entre planta e microrganismo (MEDEIROS, 2019). Isso indica que, talvez, a dose utilizada no presente estudo pode não ter sido adequada para a cultura da soja ou, ainda, a proporção entre os microrganismos não tenha beneficiado o desempenho sinérgico entre esses.

A área experimental utilizada possuía 13,43 mg dm⁻³ de fósforo disponível em teor de argila de 650 g kg⁻¹, o que é classificado como teor muito alto de fósforo conforme o Manual de Adubação e Calagem do Estado do Paraná, sendo recomendado 20 a 40 kg de P₂O₅ por hectare para produção de 4 toneladas de grãos de soja (PAULETTI e MOTTA, 2019). As aplicações de 150 e 300 kg ha⁻¹ de superfosfato simples correspondem aproximadamente em 30 e 60 kg de P₂O₅, respectivamente. Portanto, o ambos os tratamentos atenderiam a necessidade da cultura para esse mineral.

As respostas observadas na presente pesquisa podem ser explicadas pela relação entre as bactérias e os teores de fósforo no solo. Maschio (2021) estudando a inoculação com bactérias solubilizadoras de fósforo e sua interação com doses de fósforo em sorgo, constataram que o efeito da inoculação depende da dose utilizada e do parâmetro observado. Para soja, tem-se que a relação entre diferentes doses de P₂O₅ e o inoculante tendem a interferir na altura das plantas e não em componentes de produção, sendo que nesse aspecto produtivo, as diferenças perante o uso das bactérias tendem a estar associadas a condições adversas de cultivos (MENDES *et al.*, 2022).

Furtiri Neto *et al.* (2020), utilizando inoculante comercial constituído de *Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium*, observaram que não houve interação entre diferentes doses de fósforo aplicados via fertilizante mineral e a utilização dos inoculantes solubilizadores em soja. Pereira (2022) também não observou interação entre as doses aplicadas e a utilização do inoculante e não houve efeito dos solubilizadores de P sob os componentes de produção da soja.

Se a atividade metabólica das bactérias solubilizadores pode ser reduzida pelo excesso de fósforo no solo ainda requer compreensão (VASSILEV *et al.*, 2015). Almeida *et al.* (2022), estudando a cultura do milho, observaram que o efeito das bactérias solubilizadoras de fósforo independe da realização ou não da adubação fosfatada. Isso mostra que a dinâmica de utilização desses microrganismos com a finalidade de disponibilizar fósforo para cultura ainda deve ser estudada para que as recomendações sejam eficientes.

Os teores de macronutrientes (Tabela 5) e micronutrientes (Tabela 6) de folhas de soja não diferiram estatisticamente com uso de inoculantes para solubilização de fósforo e diferentes manejos de adubação fosfatada e nem a interação entre eles, com exceção do teor de enxofre que foi influenciado pelos manejos com adubação fosfatada utilizados. E, conforme as tabelas mostram, os conjuntos de dados considerados anormais pelo teste Anderson-Darling foram transformados pela transformação de Johnson e normalizados antes da realização da análise de variância.

Nas condições em que esse experimento foi realizado, não é possível inferir que a inoculação das sementes influenciou no seu estado nutricional. Entretanto, considerando as médias obtidas de macronutrientes, todos encontram-se em teor adequado e suficiente para desenvolvimento da cultura, exceto o teor de potássio que está abaixo da faixa recomendada (EMBRAPA, 2017). Para Malavolta, Vitti e Oliveira (1997), todos os nutrientes encontram-se em teores suficientes para soja.

Tabela 5 - Resumo da análise descritiva e análise de variância do teor foliar (g kg^{-1}) de macronutrientes: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) em soja cultivada com inoculantes para solubilização de fósforo e diferentes manejos de adubação fosfatada.

	N	P	K	Ca	Mg	S
Média	42,75	2,44	14,71	8,85	3,98	5,18
C.V. (%)	12,87	24,24	36,58	23,97	12,89	21,47
Anderson-Darling	0,753 ^{ns}	<0,005*	<0,005*	0,829 ^{ns}	<0,005*	0,502 ^{ns}
Inoculação	0,974 ^{ns}	0,715 ^{ns}	0,630 ^{ns}	0,701 ^{ns}	0,975 ^{ns}	0,598 ^{ns}
Adubação Fosfatada	0,778 ^{ns}	0,700 ^{ns}	0,404 ^{ns}	0,789 ^{ns}	0,335 ^{ns}	0,022*
Inoc X Adub	0,676 ^{ns}	0,530 ^{ns}	0,220 ^{ns}	0,561 ^{ns}	0,902 ^{ns}	0,928 ^{ns}

C.V.: coeficiente de variação. ns = não significativo $p \geq 0,05$; * = significativo $p \leq 0,05$.

Tabela 6 - Resumo da análise descritiva e análise de variância do teor foliar (mg kg^{-1}) de micronutrientes: boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn), molibdênio (Mo) e cloro (Cl) em soja cultivada com inoculantes para solubilização de fósforo e diferentes manejos de adubação fosfatada.

	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Mo	Cl
Média	40,94	28,77	120,64	19,7	17,446	0,9373	94,27
C.V.	36,77	98,57	41,70	24,52	28,01	18,94	30,45
Anderson-Darling	<0,005*	<0,005*	<0,005*	0,382 ^{ns}	0,741 ^{ns}	0,032*	0,016*
Inoculação	0,817 ^{ns}	0,957 ^{ns}	0,220 ^{ns}	0,668 ^{ns}	0,945 ^{ns}	0,524 ^{ns}	0,837 ^{ns}
Adubação Fosfatada	0,209 ^{ns}	0,097 ^{ns}	0,162 ^{ns}	0,614 ^{ns}	0,891 ^{ns}	0,755 ^{ns}	0,761 ^{ns}
Inoc X Adub	0,989 ^{ns}	1,000 ^{ns}	0,486 ^{ns}	0,547 ^{ns}	0,782 ^{ns}	0,373 ^{ns}	0,675 ^{ns}

C.V.: coeficiente de variação. ns = não significativo $p \geq 0,05$; * = significativo $p \leq 0,05$.

Portanto, o uso de bactérias solubilizadores de fósforo não refletiu em um aumento considerável no teor de fósforo das plantas, pois, podem haver limitações nesse tipo de manejo. Mendes e Reis Junior (2003) pontuam que pode não haver sincronia entre a solubilização propiciada pelas bactérias no solo e a captação das raízes pelas plantas. Ainda, os mesmos autores pontuam que pode ser que a quantidade de P solubilizado pelas bactérias fomente suas próprias necessidades metabólicas, não sendo suficientes para promover aumentos consideráveis nas plantas.

Com o aumento da dose de fosfato aplicada, houve aumento no teor de S foliar de soja (Tabela 7). Isso sugere que houve uma relação de sinergismo entre o fósforo e enxofre no solo, mas essa interação ainda é pouco discutida em literatura (SILVA e TREVIZAM, 2015), uma vez que, em pH ácido no solo, o fosfato reage com íons de hidrogênio formando íons de sulfato que podem ser absorvidos pela planta (NOVAIS e SMYTH, 1999). Outro fator que pode ter contribuído para este aumento é que na composição do superfosfato simples se tem 10% de S e o mesmo de acordo com Kappes *et al.* (2013), se trata de um fertilizante de rápida solubilidade, disponibilizando facilmente o enxofre para as culturas.

Tabela 7 – Teor de enxofre foliar de soja sob diferentes manejos de adubação fosfatada.

Adubação	S (g kg^{-1})
Sem adubação	4,65 b
50% fosfatado	5,09 ab
100% fosfatado	5,77 a

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey, à 5% de significância.

Ressalta-se que a dinâmica de disponibilização de fósforo pelas bactérias ao longo do tempo ainda requer respostas e o manejo integrado entre adubação fosfatada e o uso dos microrganismos solubilizadores de fósforo se faz necessário, uma vez que a solubilização

microbiológica não satisfaz totalmente a necessidade das culturas. A tendência, conforme Oliveira-Paiva *et al.* (2021) é que a redução da adubação fosfatada acontece nos anos subsequentes após o início da adoção desse tipo de manejo biológico.

Ademais, as médias de todos os parâmetros avaliados estão apresentadas nas Tabelas 8, 9 e 10.

Tabela 8 – Médias gerais de biomassa seca, vagens por planta, grãos por vagem (GPV), peso de mil sementes (PMS) e produtividade de soja cultivada com inoculantes para solubilização de fósforo e diferentes manejos de adubação fosfatada.

Inoculação	Adubação	Biomassa (g)	Vagens (un)	GPV (un)	PMS (g)	Prod (kg ha ⁻¹)
Testemunha	Sem adubação	33,59	58,00	2,55	207,09	2457
	30 kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹	34,00	65,25	2,88	215,61	2815
	60 kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹	32,54	72,75	2,18	211,63	2378
<i>P. fluorescens</i> + <i>A. brasilense</i>	Sem adubação	36,47	67,00	2,58	209,73	2660
	30 kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹	34,89	69,75	2,30	206,34	2482
	60 kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹	34,18	71,25	2,15	218,28	2388
<i>B. subtilis</i> + <i>B. megaterium</i>	Sem adubação	39,50	72,25	2,20	219,82	2433
	30 kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹	33,97	65,00	2,55	213,75	2668
	60 kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹	33,04	65,25	2,53	207,91	2612
Bioproduto <i>On farm</i>	Sem adubação	34,82	61,75	2,38	214,84	2345
	30 kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹	35,14	60,50	2,10	213,34	2089
	60 kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹	30,13	64,75	2,45	210,25	2681

Tabela 9 – Médias gerais do teor de macronutrientes foliares de soja cultivada com inoculantes para solubilização de fósforo e diferentes manejos de adubação fosfatada.

Inoculação	Adubação	-----g kg ⁻¹ -----					
		N	P	K	Ca	Mg	S
Testemunha	Sem adubação	45,50	2,49	16,88	8,59	4,63	4,88
	30 kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹	43,47	2,67	14,13	8,95	3,89	4,92
	60 kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹	41,27	2,13	12,38	9,34	3,75	5,17
<i>P. fluorescens</i> + <i>A. brasilense</i>	Sem adubação	46,41	2,65	11,63	9,09	4,11	4,31
	30 kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹	39,26	2,30	10,63	7,95	3,79	4,94
	60 kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹	42,53	2,49	19,13	7,56	3,95	5,57
<i>B. subtilis</i> + <i>B. megaterium</i>	Sem adubação	41,23	2,17	18,00	7,65	4,12	4,70
	30 kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹	43,47	2,74	16,13	10,54	3,90	5,28
	60 kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹	42,84	2,22	12,63	8,99	3,92	6,41
Bioproduto <i>On farm</i>	Sem adubação	41,30	2,24	16,63	9,89	3,87	4,74
	30 kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹	43,26	2,63	14,50	9,13	3,91	5,25
	60 kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹	42,52	2,62	13,88	8,53	3,97	5,96

N: nitrogênio, P: fósforo, K: potássio, Ca: cálcio, Mg: magnésio, S: enxofre

Tabela 10 – Médias gerais do teor de macronutrientes foliares de soja cultivada com inoculantes para solubilização de fósforo e diferentes manejos de adubação fosfatada.

Inoculação	Adubação	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Mo
		-----mg kg ⁻¹ -----					
Testemunha	Sem adubação	44,04	17,17	147,9	18,87	18,17	0,82
	30 kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹	41,99	39,70	94,9	20,54	18,43	0,85
	60 kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹	57,70	37,30	93,8	18,03	14,90	0,99
<i>P. fluorescens</i> + <i>A. brasilense</i>	Sem adubação	33,66	15,13	103,6	21,02	19,23	0,98
	30 kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹	38,53	33,10	90,4	14,07	14,98	0,91
	60 kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹	42,89	33,50	112,9	20,76	18,74	0,97
<i>B. subtilis</i> + <i>B. megaterium</i>	Sem adubação	32,95	12,11	134,0	20,67	15,42	1,03
	30 kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹	40,52	35,60	165,1	21,26	18,18	0,92
	60 kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹	39,30	29,10	113,1	21,14	17,00	1,03
Bioproduto <i>On farm</i>	Sem adubação	31,60	16,74	167,3	19,72	19,05	0,91
	30 kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹	46,28	42,90	119,6	18,86	17,24	10,04
	60 kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹	41,80	33,00	105,2	21,39	18,01	0,80

B: boro, Cu: cobre, Fe: ferro, Mn: manganês, Zn: zinco, Mo: molibdênio

Na Tabela 11 seguem expostos os dados meteorológicos obtidos ao longo do período de condução do experimento, onde se verifica que as condições apresentadas foram ideais para o desenvolvimento da cultura. Já que de acordo com Lopes (2013), as temperaturas ótimas para o seu desenvolvimento estão entre 20 e 30 °C e a necessidade hídrica varia entre 450 e 800 mm por ciclo. Desse modo, as condições climáticas favoráveis podem possuir influencia quanto aos resultados pouco expressivos das bactérias.

Tabela 11 – Dados meteorológicos para o município de Cascavel-PR no período de novembro de 2022 a março de 2023.

Período	Temp. Máxima (°C)	Temp. Mínima (°C)	Temp. Média (°C)	Precipitação (mm)
Novembro (1-31)	31,2	16,3	20,08	177,5
Dezembro (1-31)	32,9	16,5	24,6	89,4
Janeiro (1-21)	32,1	19,1	25,8	16,8
Fevereiro (1-28)	29,3	17,8	22,8	98,6
Março (1-7)	31,8	17,3	22,8	25,4
Total				407,7

Onde segundo Furmam (2019), as bactérias podem melhorar consideravelmente o desempenho de plantas em condições de seca quando comparado às condições de suficiência hídrica.

Conclusão

O uso de bactérias solubilizadoras de fosfato não influenciou nos componentes de produção e nutrição das plantas de soja. O uso de bioproduto *On farm* reduziu o número de grãos por vagem e diferiu negativamente do uso do inoculante composto por *Pseudomonas fluorescens* e *Azospirillum brasilense*. A adubação fosfatada influenciou o número de grãos por vagens e o teor de enxofre nas folhas de soja.

Referências

- ALMEIDA, K. R.; SANTOS, M. G. P.; CEZÁRIO, M. D.; MOREIRA, M. O. Z. G.; ARAÚJO, M. A. F. Efeito da inoculação com bactérias solubilizadoras de fosfato sobre o crescimento de plantas de milho. **Revista Multidisciplinar De Educação E Meio Ambiente**, v. 2, n. 4, p. 19, 2022.
- APARECIDO, L. E. O.; ROLIM, G. S.; RICHETTI, J.; SOUZA, P. S.; JOHANN, J. A. Classificações climáticas de Köppen, Thornthwaite e Camargo para o zoneamento climático do Estado do Paraná, Brasil. **Ciência e Agroecologia**, v. 40, n. 4, p. 405-417, jul./ago. 2016.
- BATISTA, M. A.; INOUE, T. T.; ESPER NETO, M.; MUNIZ, A. S. Princípios de fertilidade do solo, adubação e nutrição mineral. In: BRANDÃO FILHO, J. U. T.; FREITAS, P. S. L.; BERIAN, L. O. S.; GOTO, R. **Hortaliças-fruto**. Maringá: EDUEM, p. 113-162, 2018.
- BRASIL. **Regras para análises de sementes/ Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília: MAPA/ACS, 2009.
- CHAGAS JUNIOR, A. F.; BRAGA JUNIOR, G. M.; LIMA, C. A.; MARTINS, A. L. L.; SOUZA, M. C.; CHAGAS, L. F. B. *Bacillus subtilis* as a vegetable growth promoter inoculant in soybean. **Diversitas Journal**, v. 7, n. 1, p. 1-16, 2022.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Boletim da Safra de Grãos**. Brasília, 2023.
- DOMINGOS, C. S.; LIMA, L. H. S.; BRACCINI, A. L. Nutrição mineral e ferramentas para o manejo da adubação na cultura da soja. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 14, n. 3, p. 132-140, 2015.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**- 3 ed. Ver. Ampl. Brasília, DF: EMBRAPA, 2013. 353 p.
- EMBRAPA. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 2ª aproximação. Campinas: Embrapa Informação Tecnológica; São Paulo: Fundação IAC, 2017. 285 p.
- FÁVERO, L. P.; BELFIORE, P.; SILVA, F. L.; CHAN, B. L. **Análise de dados: Modelagem multivariada para tomada de decisões**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

FURMAN, F. G. **Desenvolvimento e produtividade do trigo em função da inoculação de bactérias promotoras do crescimento vegetal**. 2019. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa.

FURTIRI NETO, A. E.; ALMEIDA, D. P.; FERNANDES, R. H.; LIMA, D. T.; ROSA, V. C. S.; FREITAS, B. V. Doses de fósforo e inoculante solubilizador de fosfato sobre a produtividade da soja. In: FURTIRI NETO, A. E.; LIMA, D. T.; ALMEIDA, D. P.; NASCIMENTO, H. L. B.; FERNANDES, R. H.; BILEGO, U. O. **Anuário de Pesquisa Agricultura – Resultados 2020**. Rio Verde: Instituto de Ciência e Tecnologia COMIGO, v. 3, p. 108-112, 2020.

GHASEMI, S.; EHSANI, A.; TAGHIPOUR, S. Microbiological and chemical safety of organic fertilizers: A comprehensive review. **Environment, Development and Sustainability**, v. 22, p. 565-590, 2020.

GIOVELLI, J.; TABALDI, L. A. Níveis de fósforo e inoculação de sementes por *Bacillus megaterium* (CNPMSB119) e *Bacillus subtilis* (CNPMS B2084) no crescimento e desenvolvimento de plantas de soja. **Ensaio e Ciências**, v. 26, n. 4, p. 451-4568, 2022.

GUARESCHI, R. F.; GAZOLLA, P. R.; PERIN, A.; SANTINI, J. M. K. Adubação antecipada na cultura da soja com superfosfato triplo e cloreto de potássio revestidos por polímeros. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 4, p. 643-648, 2011.

KAPPES, C.; ZANCANARO, L.; JESUS, F. V.; FRANCISCO, E. A. B. Fornecimento de Enxofre no Sistema de Cultivo Soja-Milho. **XXXIV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**, Florianópolis, 2013.

LOPES, A. L. C. Cultivo e manejo da soja. **Dossiê Técnico**. Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais/CETEC, Belo Horizonte, Minas Gerais, 2013. 8 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.

MASCHIO, H. A. **Fornecimento de fósforo mineral associado à inoculação de microrganismos solubilizadores de fosfato na cultura do sorgo**. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Agrônoma – Universidade Estadual Paulista (UNESP), Dracena, São Paulo, 2021. 49 p.

MEDEIROS, L. B. **Bioprodutos com *Bacillus* sp. e *Trichoderma* sp. no desenvolvimento inicial de lentilha**. Dissertação do Curso de Pós-graduação em Agrobiologia – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2019. 55p.

MENDES, I. C.; REIS JUNIOR, F. B. **Microrganismos e disponibilidade de fósforo (P) em solos: uma análise crítica**. Documento 85. Planaltina: Embrapa cerrado, 2003. 26p.

MENDES, W. D.; SOBRINHO, C. A. M.; MARTINS, W. S.; MURAISHI, C. T.; SOUZA, M. P.; ADAMS, G. S.; SILVA, I. H.; OLIVEIRA, A. G.; PEREIRA, D. D.; CARVALHO, L. C. Efeito de bactérias solubilizadoras de fósforo na cultura da soja no Brasil: revisão de literatura. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 16, e65111637828, 2022.

MINITAB. **Getting Started with Minitab 17**. Minitab, 2017. 82 p.

NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. **Fósforo em solos e planta em condições tropicais**. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399p.

OLIVEIRA-PAIVA, C. A.; ALVES, V. M. C.; GOMES, E. A.; SOUSA, S. M.; LANA, U. G. P.; MARRIEL, I. E. Microrganismos solubilizadores de fósforo e potássio na cultura da soja. IN: MEYER, M. C.; BUENO, A. F.; MAZARO, S. M.; SILVA, J. C. **Bioinsumos na cultura da soja**. Brasília: Embrapa Soja, 2022. 550p.

OLIVEIRA-PAIVA, C. A.; BINI, D.; MARRIEL, I. E.; GOMES, E. A.; SANTOS, F. C.; COTA, L.V.; SOUSA, S. M.; ALVES, V. M. C.; LANA, U. G. P.; SOUZA, F. F. **Inoculante à base de bactérias solubilizadoras de fosfato nas culturas do milho e da soja (BiomaPhos): dúvidas frequentes e boas práticas de inoculação**. Comunicado Técnico 252. Sete Lagoas: Embrapa, 2021. 19p.

OWEN, D.; WILLIAMS, A. P.; WITHERS, P. J. A. Use of commercial bio-inoculants to increase agricultural production through improved phosphorus acquisition. **Applied Soil Ecology**, v. 86, p. 41-54, 2015.

PAULETTI, V. P.; MOTTA, A. C. V. **Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná**. 2 ed. Curitiba: Núcleo Estadual Paraná da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo-NEPAR-SBCS, 2019. 289p.

PEREIRA, G. M. F. **Desenvolvimento vegetativo e reprodutivo da soja em função da inoculação de bactérias solubilizadoras de fósforo e adubação fosfatada**. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Agrônômica da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Dracena, São Paulo, 2022. 64p.

ROSA, A.; CAPONI, L. H.; JR ZANÃO, L. A. Disponibilidade de fósforo em um Latossolo Vermelho em função do pH do solo. **Acta Iguazu**, v.5, p. 108-115, 2016.

SANTOS, A. F.; CORRÊA, B. O.; KLEIN, J.; BONO, J. A. M.; PEREIRA, L. C.; GUIMARÃES, V. F.; FERREIRA, M. B. Biometria e estado nutricional da cultura da aveia branca (*Avena sativa* L.) sob inoculação com *Bacillus subtilis* e *B. megaterium*. **Society and Development**, v. 10, n. 5, 2021.

SILVA, M. L. S.; TREVIZAM, A. R. **Interações iônicas e seus efeitos na nutrição das plantas**. Informações Agrônômicas 149. Lavras: International Plant Nutrition Institute, 2015. 7p.

SOUZA, E. **Inoculação pré-semeadura da soja com *Bradyrhizobium* e solubilizadores de fosfato**. 2022. Tese (TCC Bacharelado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Catarina. Curitibanos, Santa Catarina.

VASSILEV, N. et al. Unexploited potential of some biotechnological techniques for biofertilizer production and formulation. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 99, n. 11, p. 4983-4996, 2015.

ZUCARELI, C.; PRANDO, A. M.; RAMOS JUNIOR, E. U.; NAKAGAWA, J. Fósforo na produtividade e qualidade de sementes de feijão carioca precoce cultivado no período das águas. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 1, 2011.