

Seleção de bactérias solubilizadoras de fosfato provenientes de biofertilizantes suíno

Selecting phosphate solubilizing bacteria from suine biofertilizer

Humberto Franco Shiomi^{1*}, Daniele Cristina Costa Sabino¹, Débora Regina Serbail², Júlia Dal Pai Busanelo², Carlos Vinício Vieira¹

¹ Universidade Federal de Mato Grosso, Campus Sinop

² Engenheira Agrônoma, Sinop

Resumo: É amplamente conhecido o uso de microrganismos promotores de crescimento vegetal no meio agrícola. Nesse trabalho, isolados bacterianos, oriundos de biofertilizante à base de esterco suíno, previamente caracterizados como produtores de ácido indolacético (AIA), foram avaliados quanto à capacidade de solubilização de fosfato *in vitro* e de promoção do crescimento de plantas de soja. Os isolados foram transferidos para o meio Extrato de Levedura (EL) suplementado com fontes de fosfato inorgânico e incubados a 28°C por 15 dias. Após, por meio de análise visual, foi avaliada a presença do halo de transparência no meio de cultura, indicativo da solubilização de fosfato. Os dois isolados que apresentaram o maior halo de transparência ao redor da colônia foram selecionados para o teste de quantificação. Com o auxílio de um paquímetro foi realizada a quantificação do halo de transparência e determinado o Índice de Solubilização Médio (ISM). Com o isolado com maior potencial de solubilização de fosfato *in vitro*, foi preparada uma suspensão bacteriana onde as sementes de soja foram imersas e posteriormente colocadas para germinar em caixas gerbox por um período de 10 dias. Foram utilizados 4 tratamentos: T1 – água destilada; T2 – solução salina (0,85% NaCl); T3 – com bactéria ($1,5 \cdot 10^8$ ufc.mL⁻¹ em solução salina) e T4 - com bactéria ($9 \cdot 10^8$ ufc.mL⁻¹ em solução salina) em 4 repetições (cada caixa gerbox representando uma repetição, contendo 25 sementes). Sementes de soja foram imersas em suspensão bacteriana ($1,5 \cdot 10^8$ ufc.mL⁻¹) por um período de 15 minutos e, semeadas em vasos contendo solo não esterilizado. Foi utilizado o adubo supersimples, em meia dose ou dose completa recomendada. O experimento, realizado em condições de casa de vegetação, consistiu em 6 tratamentos: T1 (sem bactéria + adubo fosfatado 0%); T2 (sem bactéria + adubo fosfatado 50%); T3 (sem bactéria + adubo fosfatado 100%); T4 (com bactéria + adubo fosfatado 0%); T5 (com bactéria + adubo fosfatado 50%) e T6 (com bactéria + adubo fosfatado 100%). A coleta foi realizada 30 dias após a semeadura, sendo avaliados: a altura da planta (AP), volume da raiz (VR), massa seca da parte aérea (MSA) e massa seca da raiz (MSR), após secagem em estufa de circulação forçada de ar a 65°C por 48 horas até obtenção de peso constante. Dos 13 isolados testados, o isolado BS-16 se destacou apresentando o maior índice de solubilização (0,396) nos testes “*in vitro*”. Embora não se tenha observado maior taxa de germinação das sementes de soja, verificou-se que BS-16, nas duas concentrações testadas ($1,5 \cdot 10^8$ ufc.mL⁻¹ e $9 \cdot 10^8$ ufc.mL⁻¹) inibiu o efeito redutor da germinação das sementes, decorrente da ação da solução salina. Não se observou ação promotora de crescimento em plantas de soja (altura da planta, volume de raízes e biomassa da parte aérea) na presença de BS-16. No entanto, nos tratamentos envolvendo a aplicação de adubo fosfatado (em meia dose e dose completa) sem a presença do isolado bacteriano, foi observada uma inibição na produção de biomassa das raízes. Dessa forma, verifica-se que o isolado BS-16 promove uma amenização dos efeitos inibitórios decorrente do uso da solução salina e na aplicação de meia dose do adubo fosfatado, indicando potencial de uso na remediação de solos salinos cultiváveis.

Palavras-chave: bactéria, fósforo, promoção de crescimento

Abstract: The use of microorganisms to promote plant growth in agriculture is widely known. In this study, bacterial strains from swine manure-based biofertilizers, previously characterized as producers of indoleacetic acid (IAA), were evaluated for their ability to solubilize phosphate *in vitro* and in the growth promoting of soybean plants. The isolates were transferred to Yeast Extract (EL) medium supplemented with inorganic phosphate sources and incubated at 28°C for 15 days. Afterwards, the presence of a transparent halo in the culture medium, indicative of phosphate solubilization, was evaluated by visual analysis. The two strains that presented the largest transparency halo around the colony were selected for the quantification test. With the use of a caliper, the transparency halo was quantified and the Average Solubilization Index (ISM) determined. With the strain with the greatest phosphate solubilization potential *in vitro*, a bacterial suspension was prepared in which the soybean seeds were immersed and subsequently sown in gerboxes for a

period of 10 days. Four treatments were used: T1 - distilled water; T2 - saline solution (0.85% NaCl); T3 - with bacteria ($1.5 \cdot 10^8$ cfu.mL⁻¹ in saline solution); and T4 - with bacteria ($9 \cdot 10^8$ cfu.mL⁻¹ in saline solution) in four replicates (each gerbox representing one replicate, containing 25 seeds). Soybean seeds were immersed in a bacterial suspension ($1.5 \cdot 10^8$ cfu.mL⁻¹) for a period of 15 minutes and sown in pots containing non-sterilized soil. Supersimple fertilizer was used at half or full recommended dose. The experiment, carried out under greenhouse conditions, consisted of 6 treatments: T1 (no bacteria + 0% phosphate fertilizer); T2 (no bacteria + 50% phosphate fertilizer); T3 (no bacteria + 100% phosphate fertilizer); T4 (with bacteria + 0% phosphate fertilizer); T5 (with bacteria + 50% phosphate fertilizer) and T6 (with bacteria + 100% phosphate fertilizer). The collection was carried out 30 days after sowing, and the following were evaluated: plant height (AP), root volume (VR), aerial part dry mass (MSA) and root dry mass (MSR), after drying in a forced air circulation oven at 65°C for 48 hours until constant weight was obtained. Of the 13 strains tested, BS-16 stood out, presenting the highest solubilization index (0.396) in the "in vitro" tests. Although no higher germination rate was observed in soybean seeds, it was found that BS-16, at both concentrations tested ($1.5 \cdot 10^8$ cfu.mL⁻¹ and $9 \cdot 10^8$ cfu.mL⁻¹) inhibited the reducing effect of seed germination resulting from the action of the saline solution. No growth-promoting action was observed in soybean plants (plant height, root volume and shoot biomass) in the presence of BS-16. However, in treatments involving the application of phosphate fertilizer (half and full dose) without the presence of the bacterial strain, an inhibition in root biomass production was observed. Thus, it was found that the BS-16 promotes a reduction in the inhibitory effects resulting from the use of the saline solution and in the application of a half dose of phosphate fertilizer, indicating potential use in the remediation of cultivable saline soils.

Keywords: bacteria, phosphorus, growth promotion

Introdução

A necessidade pela busca de novas tecnologias alternativas visando o aumento da produção de alimentos para as pessoas, de forma sustentável e pouco impactante ao ambiente, tem aumentado o interesse no uso de microrganismos.

No mundo todo, tem-se observado uma demanda crescente pela oferta de alimentos para as pessoas e gerando, com isso, um aumento da necessidade do uso de fertilizantes e pesticidas, o que acarretado uma série de problemas de ordem ambiental, tais como a contaminação da água e redução nas reservas de recursos naturais do planeta (Ferreira-Suarez *et al.*, 2024). Nesse sentido, tem sido crescente a busca por bioprodutos à base de microrganismos visando a promoção de crescimento ou a proteção de plantas, assim como o uso racional de fertilizantes químicos, por meio da associação desses agentes microbianos de diversas naturezas e habitantes da rizosfera, filosfera ou mesmo endofíticos (Negi *et al.*, 2023). Dentre as fontes para prospecção de microrganismos com potencial de uso para esse fim, os biofertilizantes tem se apresentado como uma delas.

Os biofertilizantes são produtos resultantes da digestão aeróbica ou anaeróbica de compostos orgânicos, ou formulados de inoculantes microbianos na forma líquida ou em pó, contendo uma diversidade de microrganismos ou compostos provenientes desses agentes microbianos, que promovem o aumento das produções agrícolas, a fertilidade e a saúde do solo (Dadrasnia *et al.*, 2021; Igiehon *et al.*, 2024). Esses compostos contêm uma diversidade de microrganismos de diferentes grupos, que auxiliam na promoção do crescimento vegetal por meio de diversos mecanismos, tais como: no fornecimento de nutrientes; pela ação de hormônios de crescimento, como auxina, citocinina e giberelina; na disponibilização de fósforo (P); no controle e supressão de agentes fitopatogênicos, por meio da produção de sideróforos, amônia, compostos

cianogênicos, quitinases e antibióticos, além da ação de outros mecanismos, tais como o antagonismo, competição por espaço e nutrientes e indução de resistência sistêmica na planta hospedeira. Esses compostos, também podem conter diversas substâncias, como: quelatos organominerais ricos em enzimas, antibióticos, vitaminas, toxinas, fenóis, ésteres e ácidos, com ação promotora de crescimento vegetal (Allouzi *et al.*, 2022)

O fósforo (P) é um elemento essencial, requerido em grandes quantidades para o desenvolvimento vegetal, o qual está envolvido em todas as fases de crescimento das plantas, sendo considerado como um dos mais importantes fatores químicos que limitam a produção agrícola no mundo todo. Esse elemento tem participação em vários processos fisiológicos, incluindo: o desenvolvimento das raízes; o estímulo à floração; a regulação de água e de nutrientes essenciais; o aumento da eficiência da realização da fotossíntese e o fortalecimento da estrutura celular. Da mesma forma, participa na constituição dos tecidos vegetais, especialmente o das sementes, contribuindo para a melhoria das condições de saúde da planta e favorecendo a sua capacidade de resistência às condições adversas de ambiente. Esse elemento é fundamental na síntese de ácidos nucleicos, tanto do DNA quanto do RNA, assim como nas adenosinas di e trifosfato, responsáveis pelo armazenamento e transferência de energia (Anzuay *et al.*, 2017).

Na maioria dos solos esse elemento encontra-se em baixa disponibilidade, no qual somente 25-30% do P aplicado na forma de fertilizante inorgânico fica disponível para o uso pelas plantas e o restante é convertido em frações insolúveis, contribuindo para a redução no rendimento das culturas agrícolas (Khan *et al.*, 2022). Após a aplicação no solo, ele pode rapidamente se combinar com o ferro, alumínio, cálcio e magnésio, entre outros, formando um P insolúvel, que impede a sua absorção e utilização

pelas plantas (Bargaz et al., 2021). A deficiência desse elemento causa uma série de prejuízos ao desenvolvimento da planta, assim como o do sistema radicular, causando um retardo da maturidade da planta e o impedimento da floração. Na parte aérea as folhas ficam opacas, ocorrendo uma redução da transferência de energia, afetando a fotossíntese e a respiração celular (Kumar et al., 2020).

Alguns microrganismos são capazes de auxiliar na solubilização desse elemento, possibilitando o uso mais eficiente dos adubos fosfatados e o uso mais racional das fontes naturais fósforo (P), podendo, dessa forma, contribuir para o aumento das produções agrícolas e para a redução do custo de implantação de lavouras, assim como reduzir a pressão sobre as jazidas naturais desse elemento (Khosravi et al., 2024). Dentre eles, destacam-se as Actinobactérias e aquelas bactérias pertencentes aos Gêneros *Bacillus* e *Pseudomonas*, entre outras (Long et al., 2018). No caso dos microrganismos solubilizadores de P presentes nos biofertilizantes, os mais encontrados são: *Bacillus circulans*, *B. subtilis*, *B. polymyxa*, *Pseudomonas striata*, *Glomus* sp., *Gigaspora* sp. e *Acaulospora* sp. entre outros (Kumar et al., 2022). O modo de ação desses microrganismos na solubilização de fosfatos ocorre por meio da produção de ácidos orgânicos, tais como os ácidos acético, glucônico, glicólico, malônico, isobutírico, isovalérico e láctico, entre outros (Lebrazi et al., 2020), que auxiliam na solubilização do fósforo insolúvel presente em fosfatos dicálcicos e tricálcicos, fosfatos naturais e hidroxapatitas, acidificando a rizosfera e promovendo a adsorção do P inorgânico e de compostos orgânicos complexos de P das partículas de argila do solo, dos reservatórios orgânicos de fosfatos e de P precipitado. Da mesma forma, são capazes de produzir hormônios de crescimento vegetal, tais como o ácido indolacético (AIA) e sideróforos, que potencializam a ação solubilizadora de fosfatos na promoção do crescimento vegetal, sendo capazes, também, de secretar compostos fenólicos, prótons, enzimas fitases e nucleases, que mineralizam os reservatórios orgânicos de fosfatos. Adicionalmente, favorecem a fixação biológica do N e o biocontrole de fitopatógenos (Alam, et al., 2022; Li et al., 2023).

Material e métodos

Esse estudo foi realizado em condições de laboratório (Laboratório de Fitopatologia e Microbiologia) e de casa-de-vegetação na Universidade Federal de Mato Grosso, Campus Sinop, Mato Grosso.

Seleção de bactérias solubilizadoras de fosfato in vitro

Para a seleção e quantificação da capacidade de solubilização de fosfato, foram realizados testes em condições de laboratório, com o uso de 13 isolados bacterianos. Os isolados, provenientes de biofertilizante líquido à base de

esterco suíno, foram selecionados previamente quanto à produção de ácido indolacético, e mantidos sob armazenamento em meio de cultura nutriente-ágar (NA) em geladeira.

Para a seleção dos mais promissores, os isolados foram multiplicados em placas de Petri contendo meio NA por um período de 48 horas e, em seguida, transferidos para placas de Petri com o meio extrato de levedura (EL). O meio EL foi suplementado, de forma individual, com fontes de fosfato inorgânico (fosfato de cálcio e fosfato de alumínio), de acordo com os procedimentos descritos por Souchie et al. (2005). Os isolados foram transferidos para o meio EL a partir de quatro alçadas contendo colônias bacterianas distribuídas de forma equidistante na placa e incubados (28°C) por um período de 15 dias, após o qual, se avaliou, por meio de análise visual, a presença do halo de transparência no meio de cultura, indicativo da solubilização de fosfato. Os dois isolados que apresentaram maior halo de transparência ao redor da colônia foram selecionados para o teste de quantificação do halo de transparência.

Visando observar a habilidade metabólica das bactérias, foi realizado o teste de quantificação da solubilização de fosfato. Os isolados foram transferidos, a partir de quatro alçadas contendo colônias bacterianas, distribuídas de forma equidistante na placa contendo o meio de cultura extrato de levedura (EL), suplementado, com fontes de fosfato inorgânico (fosfato de cálcio e fosfato de alumínio), conforme descrito por Souchie et al. (2005). Após um período de 20 dias, as medições foram realizadas com o auxílio de um paquímetro. Para a quantificação do halo de transparência, determinou-se o Índice de Solubilização Médio (ISM), obtido pelo cálculo da razão entre o diâmetro do halo que circunda a colônia bacteriana (halo resultante da solubilização), pelo diâmetro da colônia (mm) (Hara & Oliveira, 2004). Cada isolado bacteriano foi avaliado individualmente, num delineamento experimental composto por dois tratamentos e cinco repetições, com cada placa representando uma repetição (4 colônias por repetição, distribuídas de forma equidistante na placa).

Após a determinação do ISM, as bactérias foram classificadas quanto ao seu potencial de solubilização de fosfato, de acordo com a metodologia descrita por Silva Filho & Vidor (2001): isolados com baixo potencial de solubilização ($ISF < 2$), com médio potencial de solubilização ($2 > ISF < 3$) e com alto potencial de solubilização ($ISF > 3$).

Germinação de sementes de soja em caixas gerbo

Para esse teste, utilizou-se o isolado com maior potencial de solubilização de fosfato "in vitro". Para isso, após o cultivo da bactéria em meio NA (nutriente-ágar) por 48 horas a 25 °C, foi preparada uma suspensão, no qual a concentração de células bacterianas foi padronizada com o auxílio da Escala de Mc Farland. As sementes foram imersas na

suspensão bacteriana por um período de 15 minutos e colocadas para germinar em caixas gerbox contendo papel germitest umedecido, as quais foram mantidas em câmara de germinação por um período de 10 dias até o momento de avaliação. O delineamento estatístico adotado foi o inteiramente casualizado (DIC), composto por 4 tratamentos: T1 –água destilada; T2 – solução salina (0,85% NaCl); T3 –com bactéria ($1,5 \cdot 10^8$ ufc.mL⁻¹ em solução salina) e T4 - com bactéria ($9 \cdot 10^8$ ufc.mL⁻¹ em solução salina) em 4 repetições (cada caixa gerbox representando uma repetição, contendo 25 sementes). Os dados foram submetidos à análise de variância e teste de Tukey (5%), com o uso do programa estatístico Sisvar.

Promoção do crescimento de plantas de soja

Para a microbiolização das sementes, o isolado mais promissor foi multiplicado por 48 horas em meio nutriente-ágar (NA) e preparada uma suspensão bacteriana, a qual foi padronizada em $1,5 \cdot 10^8$ ufc.mL⁻¹, com o auxílio da escala de Mac Farland. Sementes de soja (variedade NEO820 IPRO) foram imersas em suspensão bacteriana por um período de 15 minutos e secas levemente em papel toalha, sendo, em seguida, semeadas em vasos de oito litros de capacidade, contendo solo não esterilizado. A adubação foi realizada, de acordo com análise do solo, conforme as exigências nutricionais da cultura. Para suprir as necessidades de P da cultura, foi utilizado o adubo supersimples, em meia dose ou dose completa recomendada. Em cada vaso foram colocadas 10 sementes e realizado um desbaste oito dias após a semeadura, permanecendo três plantas, as quais foram mantidas sob irrigação diária até a coleta e avaliação do experimento (30 dias após a semeadura). O experimento consistiu de 6

tratamentos: T1 (sem bactéria + adubo fosfatado 0%); T2 (sem bactéria + adubo fosfatado 50%); T3 (sem bactéria + adubo fosfatado 100%); T4 (com bactéria + adubo fosfatado 0%); T5 (com bactéria + adubo fosfatado 50%) e T6 (com bactéria + adubo fosfatado 100%). O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado (DIC), composto por 6 tratamentos e 5 repetições (cada vaso contendo três plantas representou uma repetição). Os dados foram submetidos à análise de variância e teste de Tukey (5%), com o uso do programa estatístico SISVAR. Foram avaliados: a altura da planta (AP), volume da raiz (VR), massaseca da parte aérea (MSA) e massa seca da raiz (MSR), após secagem em estufa de circulação forçada de ar a 65°C por 48 horas até obtenção de peso constante.

Resultados e discussão

Seleção de bactérias solubilizadoras de fosfato *in vitro*

A capacidade de solubilização de fosfato dos isolados testados por meio da presença de halo de transparência ao redor da colônia por análise visual, mostrou que os isolados BS-16 e BS-19 apresentaram essa característica e se destacaram dos demais, sendo selecionados para os testes seguintes de quantificação do halo. No teste de quantificação do halo de transparência ao redor da colônia bacteriana, verificou-se que, tanto o isolado BS-16 (IS= 0,396), quanto o isolado BS-19 (IS= 0,197) apresentaram IS < 2,0, sendo classificados como bactérias com baixo potencial de solubilização de fosfato, de acordo com o proposto por Silva Filho & Vidor (2001), sendo o isolado BS-16 selecionado para os testes seguintes (Tabela 1).

Tabela 1. Capacidade de solubilização de fosfato inorgânico por bactérias produtoras de AIA em testes “*in vitro*”

Tratamento	I.S. ¹
BS-16	0,396
BS-19	0,197

¹ I.S.(%) = DH/DC, sendo: IS = Índice de Solubilização (%), DH = Diâmetro do Halo de Transparência da Colônia (mm), DC = Diâmetro da Colônia Bacteriana (mm)

A formação do halo de transparência indica a ocorrência da acidificação do meio ao redor colônia bacteriana, resultando na dissolução dos compostos de fosfato e formação das zonas translúcidas no meio opaco (Lima et al., 2024). De acordo com Zhu et al. (2011) a eficiência da bactéria e m solubilizar o fosfato pode variar de acordo com o tipo de metabólito secundário produzido e com a rapidez com que ela libera esse composto no meio. Embora o potencial de solubilização de fosfato dos isolados testados nesse estudo tenha sido classificado como baixo, alguns fatores podem interferir no crescimento da bactéria, assim como na sua eficiência na solubilização de fosfato, como a temperatura de incubação e o pH do meio, que podem variar entre as espécies bacterianas, possibilitando a otimização dessa

característica visando a promoção de crescimento das plantas (Saranya et al., 2022). Da mesma forma, Lima et al. (2024) ressaltam que o teste de solubilização “*in vitro*”, embora seja um método fenotípico quantitativo que auxilia na seleção de isolados promissores, estabelece um critério discriminatório para essa seleção, não sendo levado em consideração que isolados que apresentem menor potencial de solubilização utilizando esse critério, podem apresentar adaptabilidade fenotípica a fatores abióticos, tais como variações de temperatura ou à exposição a pesticidas (Anzuay et al., 2017). Dessa forma, esses isolados podem se apresentar como solubilizadores de fosfato notavelmente eficazes, especialmente num contexto de mudanças climáticas em que essa adaptabilidade a diferentes temperaturas se

BS-16 (sem adubo)	28,96 a (-15,9%)	1,43 a (-18,1%)	1,31a (-48,6%)	1,93 33,7%
BS-16 + Adubo P(50% dose)	30,00 a (-12,9%)	1,10a (-33,7%)	0,94a (-63,2%)	1,06 63,5%
BS-16+Adubo P (100%dose)	31,20 a(-9,5%)	1,33a (-19,7%)	1,38a (-46,1%)	0,69 76,1%
C.V (%)	35,8	22,7	27,8	25,6

¹Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si ($p < 0,05$; Teste de Tukey).

Alguns fatores podem contribuir para a redução na eficácia da atividade solubilizadora de fosfato por microrganismos com essa característica, como: a temperatura e o tempo de incubação, a concentração de inóculo, assim como o pH, no qual os valores de solubilização aumentamna medida em que o tempo de incubação aumenta até atingirem valores ótimos, podendo, após esse período, ocorrer uma inibição na solubilização de fosfato, decorrente da formação de um composto organofosforado que reduz a quantidade de fósforo disponível (Waday et al., 2022; Elhaisoufi et al., 2022). Da mesma forma, pode-se atribuir a ineficácia na solubilização de P à incapacidade do microrganismo em colonizar de forma eficaz as raízes das plantas; à baixa motilidade bacteriana; baixa capacidade de secretar proteínas eficazes; à produção de pili, ou mesmo, à baixa resposta a exsudatos radiculares ou sementes (Khosravi et al., 2024).

De acordo com Srinivasan et al. (2012) fatores abióticos estressantes, tais como salinidade, pH e temperatura, podem interferir negativamente no estabelecimento e performance de microrganismos solubilizadores de fosfato, resultando em pouco crescimento e sobrevivência desses agentes, embora possam apresentar uma tolerância variável a esses fatores (Kouas et al., 2024). Dessa forma, a salinidade poderia estar atuando negativamente na eficácia da atividade solubilizadora de fosfato de BS-16, assim como, reduzindo a disponibilidade de minerais como o Ca e P, devido à alta resistência iônica do meio (Sun et al., 2024), contribuindo, assim, para a inibição da produção de biomassa das raízes (PSR), mesmo nos tratamentos em que se realizou a adubação química, como o que foi observado no presente trabalho.

Embora se tenha observado um efeito de amenização dos efeitos da salinidade no desenvolvimento das plantas de soja pela ação de BS-16, a sua a ineficácia na promoção do crescimento vegetal também pode atribuída a fatores que podem ter atuado, não apenas de forma isolada, mas, por meio de uma combinação de estresses. De acordo com Yun et al. (2024), a exposição do sistema radicular à salinidade, tem um efeito negativo, tanto no desenvolvimento da raiz principal, quanto das raízes laterais, reduzindo o comprimento e a densidade dos pêlos radiculares e,

conseqüentemente, levando à uma redução na produção de biomassa radicular. Da mesma forma, altas temperaturas, como as que ocorrem na região norte matogrossense, onde o ensaio foi realizado, juntamente com a salinidade do meio, poderiam interferir negativamente no desenvolvimento das plantas de forma conjunta. Nesse sentido, Mesa et al. (2024) relatam que os impactos de combinações de fatores estressantes sobre o metabolismo fotossintético e o rendimento de plantas, geralmente, são mais impactantes negativamente sobre as plantas, do que fatores abióticos estressantes atuando isoladamente. Auache et al. (2025) ao avaliarem a tolerância às alinidade e a diferentes temperaturas na germinação e pós-germinação de *Anabasis articulata*, verificaram que, tanto a salinidade, quanto as altas temperaturas, reduziram ou atrasaram a germinação e o desenvolvimento das planta sem relação a condições não salinas e temperaturas moderadas. Sun et al. (2024) observaram que, ao inocularem o solo com bactérias solubilizadoras de fosfato, houve uma redução na produção de biomassa vegetal de *Suaeda salsa* (L.) Pall., especialmente na biomassa radicular, em condições não salinas e não alcalinas. De acordo com os autores, o isolado bacteriano alterou a fertilidade do solo, levando à uma realocação de elementos essenciais, como N e P, fazendo com que a raiz da planta passasse a competir com o microrganismo por nutrientes. Da mesma forma, os mesmos autores observaram uma remodelação da composição da comunidade microbiana, com uma alteração na proporção de microrganismos benéficos e prejudiciais, no qual aqueles tidos como patogênicos poderiam causar doenças e reduzir, assim, a biomassa radicular. Esse mesmo comportamento de competição de microrganismos com as raízes das plantas por P, também foi relatado por Bargaz et al. (2021), devido à capacidade desses microrganismos de imobilizar esse elemento em suas células, especialmente em solos com baixos teores de P.

Embora as respostas de solubilização por parte de BS-16 em testes “in vitro” e em plantas de soja tenham sido consideradas baixas, há necessidade de estudos adicionais para se verificar seu real potencial de solubilização de fosfato, especialmente em ambiente sob estresse salino; adaptação a outros fatores ambientais estressantes, como temperaturas elevadas, variações de pH do solo; exposição a pesticidas ou a combinação de fatores estressantes; diferentes tempos de incubação e de concentração de inóculo,

ou mesmo, a sua interferência na microbiota do solo.

Conclusões

O isolado bacteriano BS-16 não promove o aumento da altura, do volume de raízes e de biomassa da parte aérea de plantas de soja.

O isolado bacteriano BS-16 ameniza a inibição da produção de biomassa das raízes de soja por superfosfato simples, quando aplicado em meia dose.

O isolado bacteriano BS-16 ($1,5 \cdot 10^8$ ufc.mL⁻¹ qwr¹ e 87 mL^{-1} e $9 \cdot 10^8$ ufc.mL⁻¹) reduz o efeito inibidor da solução salina na germinação de sementes de soja em caixas gerbox.

Referências

AKBARIMOGHADDAM, H.; GALAVI, M.; GHANBARI, A.; PANJEHKEH, N. Salinity effects on seed germination and seedling growth on bread cultivars. *Trakia Journal of Sciences*, 9(1), 43:50, 2011.

ALAM, F.; KHAN, A.; FAHAD, S.; NAWAZ, S.; AHMED, N.; ALI, M.A.; ADNAN, M.; DAWAR, K.; SAUD, S.; HASSAN, S.; RAZA, M.A.S.; NAVEED, K.; ARIF, M.; DATTA, R.; DANISH, S. Phosphate solubilizing bacteria optimize wheat yield in mineral phosphorus Applied alkaline soil, *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 21: 339-348, 2022.

ALLOUZI, M.M.; ALLOUZI, S.M.A.; KENG, Z.X.; SUPRAMANIAM, C.V.; SINGH, A.; CHONG, S. Liquid biofertilizers as a sustainable solution for agriculture, *Helyon*, 8: 1-13, 2022.

ANZUAY, M.S.; CIANCIO, M.G.R.; LUDUEÑA, L.M.; ANGELINI, J.G.; BARROS, G.; PASTOR, N.; TAURIAN, T. Growth promotion of peanut (*Arachis hypogea* L.) and maize (*Zea mays* L.) plants by single and mixed cultures of efficient phosphate solubilizing bacteria that are tolerant to abiotic stress and pesticides. *Microbiological Research*, 199: 98-109, 2017.

AOUACHE, M.; TRABELSI, H.; KHERRAZE, M.E.; CHAFOU, A.; GUERBAZI, A.; YOUCEF, B.; GRIGORE, M.N.; EL-KEBLAWY, A. Effect of salinity and temperature on germination and post germination of *Anabasis articulata* (Forssk.) Moq. (Amaranthaceae): An important salt tolerant plant in Algeria, *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 45: 1-12, 2025.

BARGAZ, A.; ELHAISSOUFI, W.; KHOURCHI, S.; BENMRID, B.; BORDEN, K.A.; RCHIAD, Z. Benefits of phosphate solubilizing bacteria on belowground crop performance for improved crop acquisition of phosphorus, *Microbiological Research*, 252: 1-21, 2021.

DADRASNIA, A.; MUNÔZ, I.B.; YÁÑEZ, E.H.;

LAMKADDAM, I.U.; MORA, M.; PONSÁ, S.; AHMED, M.; ARGELAGUET, L.L.; WILLIAMS, P.M.; OATLEY-RADCLIFFE, D.L. Sustainable nutrient recovery from animal manure: A review of current best practice technology and the potential for freeze concentration, *Journal of Cleaner Production*, 315: 1-17, 2021.

ELHAISSOUFI, W.; KHOURCHI, S.; IBNYASSER, A.; GHOULAM, C.; RCHIAD, Z.; ZEROUAL, Y.; LYAMLOULI, K.; BARGAZ, A. Phosphate solubilizing rhizobacteria could have a stronger influence on wheat root traits and aboveground physiology than rhizosphere P solubilization. *Frontiers in Plant Science*, 11: 1-15, 2020.

FERREYRA-SUAREZ, D.; GARCÍA-DEPRAECT, O.; CASTRO-MUÑOZ, R. A review on fungal-based biopesticides and biofertilizers production. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 283:1-18, 2024.

HARA, F. A. dos S.; OLIVEIRA, L. A. de. Características fisiológicas e ecológicas de isolados de rizóbios oriundos de solos ácidos e alcalinos. Presidente Figueiredo, Amazonas. *Acta Amazonica*, 34(3): 343-357, 2004.

IGIEHON, B.C.; BABALOLA, O.O.; HASSEM, A.I. Rhizosphere competence and applications of plant growth-promoting rhizobacteria in food production – A review, *Scientific African*, 23: 1-16, 2024.

KHAN, H.; AKBAR, W.A.; SHAH, Z.; RAHIM, H.U.; TAJ, A.; ALATALO, J.M. Coupling phosphate-solubilizing bacteria (PSB) with inorganic phosphorus fertilizer improves mungbean (*Vigna radiata*) phosphorus acquisition, nitrogen fixation, and yield in alkaline-calcareous soil, *Helyon*, 8: 1-10, 2022.

KHOSRAVI, H.; KHOSHROU, B.; NOSRATABAD, A.F.; MITRA, D. Exploring the landscape of biofertilizers containing plant growth-promoting rhizobacteria in Iran: Progress and research prospects, *Current Research in Microbial Sciences*, 7: 1-9, 2024.

KOUAS, S.; DJEDIDI, S.; DEBEZ, I.B.S.; SBISSI, I.; ALYAMI, N.M.; HIRSCH, A.M. Halotolerant phosphate solubilizing bacteria isolated from arid area in Tunisia improve P status and photosynthetic activity of cultivated barley under P shortage, *Helyon*, 10:1-19, 2024.

KUMAR, P.; AERON, A.; SHAW, N.; SINGH, A.; BAJPAI, V.K.; SHAILJA, P. Seed bio-priming with tri-species consortia of solubilizing rhizobacteria (PSR) and its effect on plant growth promotion. *Helyon*, 6: 1-8, 2020.

- KUMAR, S.; DIKSHA. SHINDHU, S.S.; KUMAR, R. Biofertilizers: an ecofriendly technology for nutrient recycling and environmental sustainability, *Current Research in Microbial Sciences*, 3: 1-26, 2022.
- LEBRAZI, S.; NIEHAUS, K.; BEDNARZ, H.; FADIL, M.; CHRAIBI, M.; FIKRI-BENBRAHIM, K. Screening and optimization of indole-3-acetic acid production and phosphate solubilization by rhizobacterial strains isolated from *Acacia cyanophylla* root nodules and their effects on its plant growth. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*, 18(71): 2-12, 2020.
- LI, H.P.; HAN, Q.Q.; LIU, Q.M.; GAN, Y.N.; RENSING, C.; RIVERA, W.L.; ZHAO, Q.; ZHANG, J.L. Roles of phosphate-solubilizing bacteria in mediating soil legacy phosphorus availability, *Microbiological Research*, 272: 1-11, 2023.
- LIMA, J.D.; MONTEIRO, P.H.R.; RIVADAVEA, W.R.; BARBOSA, M.; CORDEIRO, R.D.; GARBOGGINI, F.F.; AUER, C.G.; SILVA, G.J. Potential of endophytic bacteria from *Acacia mearnsii*: phosphate solubilization, indole acetic acid production, and application in wheat, *Applied Soil Ecology*, 196: 1-13, 2024.
- LONG, X.E.; YAO, H.; HUANG, Y.; WEI, W.; ZHU, Y.G. Phosphate levels influence the utilization of rice rhizodeposition carbon and the phosphate-solubilizing microbial community in paddy soil, 118: 103-114, 2018.
- MESA, T.; ROMERO, A.; MUNNÉ-BOSCH, S. Differential response of roots and leaves to combined heat and salinity stresses in tomato plants, *Environmental and Experimental Botany*, 226: 1-11, 2024.
- NEGI, R.; KAUR, T.; DEVI, R.; KOUR, D.; YADAV, A.N. Assessment of nitrogen-fixing endophytic and mineral solubilizing rhizospheric bacteria as multifunctional microbial consortium for growth promotion of wheat and wild wheat relative *Aegilops kotschyi*, *Helyon*, 8: 1-9, 2023.
- PRIYA, P.; ANEESH, B.; SIVAKUMAR, K.C.; HARIKRISNAN, K. Comparative proteomic analysis of saline tolerant, phosphate solubilizing endophytic *Pantoea* sp., and *Pseudomonas* sp. isolated from *Eichhornia* rhizosphere, *Microbiological Research*, 265:1-13, 2022.
- SARANYA, K.; SUNDARAMANICKAM, A.; MANUPOORI, S.; KANTH, S.V. Screening of multifaceted phosphate-solubilizing bacterium from seagrass meadow and their plant growth promotion under saline stress condition. *Microbiological Research*, 261: 1-11, 2022.
- SILVA FILHO, G. N.; VIDOR, C. Atividade de microorganismos solubilizadores de fosfatos na presença de nitrogênio, ferro, cálcio e potássio. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 36: 1495-1508, 2001.
- SOUCHIE, E. L.; AZCÓN, R.; BAREA, J. M.; SAGGINJÚNIOR, O. J.; SILVA, E. M. R. Solubilização de fosfatos em meios sólido e líquido por bactérias e fungos do solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 40(11): 1149-1152, 2005.
- SRNIVASAN, R.; YANDIGERI, M.S.; KASHYAP, S. Effect of salt on survival and P-solubilization potential of phosphate solubilizing microorganisms from salt affected soils, *Saudi Journal of Biological Sciences*, 19: 427-434, 2012.
- SUN, X.; WANG, W.; YI, S.; ZHENG, F.; ZHENG, Z.; ZHANG, Z.; ALHARB, S.A.; FILIMONENKO, E.; WANG, Z.; KUZYAKOV, Y. Microbial composition in saline and alkaline soils regulates plant growth with P-solubilizing bacteria. *Applied Soil Ecology*, 203: 1-12, 2024.
- WADAI, Y.A.; AKLILU, E.G.; BULTUM, M.S.; ANCHA, V.R. Optimization of soluble phosphate and IAA production using response surface methodology and ANN approach, *Helyon*, 8: 1-11, 2022.
- YUN, P.; KAYA, C.; SHABALA, S. Hormonal and epigenetic regulation of root responses to salinity stress, *The Crop Journal*, 12: 1309-1320, 2024.
- ZHU, F.; QU, L.; HONG, X.; SUN, X. Isolation and characterization of phosphate-solubilizing halophilic bacterium *Kushneria* sp. YCWA18 from Daqiao Saltern on the coast of Yellow Sea of China. *Evidence Based Complementary and Alternative Medicine*, 1-6, 2011.