

Scientific Electronic Archives

Issue ID: Sci. Elec. Arch. Vol. 18 (2)

March/April 2025

DOI: <http://dx.doi.org/10.36560/18220252059>

Article link: <https://sea.ufr.edu.br/SEA/article/view/2059>



Prospecção de bactérias solubilizadoras de fosfato provenientes de biofertilizante bovino

Prospecting of phosphate solubilizing bacteria from bovine biofertilizer

Corresponding author

Humberto Franco Shiomi

Universidade Federal de Mato Grosso – Campus Sinop
hfshiomi@yahoo.com.br

Carlos Vinício Vieira

Universidade Federal de Mato Grosso – Campus Sinop

Daniele Cristina Costa Sabino

Universidade Federal de Mato Grosso – Campus Sinop

Débora Regina Serbai

Universidade Federal de Mato Grosso – Campus Sinop

Júlia Dal Pai Busanelo

Universidade Federal de Mato Grosso – Campus Sinop

Resumo: Tem sido crescente a busca por microrganismos promotores de crescimento vegetal, visando o aumento das produções agrícolas e o uso racional dos recursos naturais. Nesse trabalho 13 isolados bacterianos provenientes de biofertilizante à base de esterco bovino, selecionados previamente quanto à produção de ácido indolacético (AIA), foram avaliados quanto à capacidade de solubilização de fosfato, pela avaliação do halo de transparência em meio de cultura (20 dias) e no desenvolvimento de plantas de soja. Para isso, as sementes foram microbiolizadas com o isolado mais promissor em duas concentrações ($1,5 \cdot 10^8$ ufc.mL⁻¹ e $9 \cdot 10^8$ ufc.mL⁻¹) e avaliadas quanto à capacidade de promoção da germinação em caixas gerbox (10 dias). Da mesma forma, avaliou-se a promoção do crescimento de plantas em condições de casa-de-vegetação com o isolado mais promissor ($1,5 \cdot 10^8$ ufc.mL⁻¹) por 30 dias (peso seco da parte aérea, peso seco das raízes, volume de raízes e altura da planta). Dos isolados testados, BB-4 se destacou dos demais em testes “in vitro”, com o maior índice de solubilização (0,293). Em plantas de soja microbiolizadas com BB-4, observou-se uma inibição no desenvolvimento das plantas. Em caixas gerbox, embora não se tenha observado maior taxa de germinação de sementes, verificou-se que BB-4 reduziu a taxa de inibição da germinação de sementes, decorrente da solução salina utilizada na microbiolização das sementes, indicando potencial de uso na remediação de solos salinos cultiváveis.

Palavras-chave: bactérias promotoras de crescimento vegetal, soja, AIA,

Abstract: The search for plant growth promoting microorganisms have been increasing, aiming the increase of crop production and the rational use of natural resources. In this work, 13 bacterial strains from cattle manure-based biofertilizer, previously selected for the indoleacetic acid (IAA) production, were evaluated for their capacity of phosphate solubilization, by the halo of transparency in medium of culture assay (20 days) and in the development of soybean plants. The seeds were microbiolized with the most promising strain in two concentrations ($1.5 \cdot 10^8$ cfu.mL⁻¹ and $9 \cdot 10^8$ cfu.mL⁻¹) and evaluated for their ability to germination promoting in gerbox box (10 days). Likewise, the plant-growth-promotion bacteria under greenhouse conditions was evaluated with the most promising strain ($1.5 \cdot 10^8$ cfu.mL⁻¹) for 30 days (dry weight of the aerial part and dry weight of roots, roots volume and plant height). Among the strains

tested, BB-4 highlighted from the others in “in vitro” tests, with the highest solubilization index (0.293). In soybean plants microbiolized with BB-4, an inhibition in plant development was observed. In gerbox boxes, although a higher rate of seed germination was not observed, it was found that BB-4 reduced the rate of inhibition of seed germination, resulting from the saline solution used in the seeds microbiolization, indicating potential for use in the remediation of cultivable saline soils conditions.

Keywords: plant growth promoting bacteria, soybean, IAA,

Introdução

Tem sido crescente a busca por microrganismos com ação promotora de crescimento vegetal, visando o aumento das produções agrícolas, o uso racional dos recursos naturais do planeta e a redução dos custos de produção.

Nesse sentido, vários substratos tem se apresentado como fontes potenciais para a prospecção de microrganismos para esse fim, como é o caso dos biofertilizantes, produtos resultantes da digestão aeróbica ou anaeróbica de compostos orgânicos, contendo microrganismos ou compostos provenientes desses agentes microbianos (Asadu et al., 2024; Shawar et al., 2023).

Os biofertilizantes apresentam uma elevada e complexa comunidade microbiana, contendo rizobactérias promotoras de crescimento, fungos micorrízicos arbusculares e outros microrganismos benéficos, assim como os seus metabólitos, sendo encontrados quelatos organominerais ricos em enzimas, antibióticos, vitaminas, toxinas, fenóis, ésteres e ácidos, que promovem o crescimento vegetal, pelo fornecimento de nutrientes e pela ação de hormônios de crescimento, como auxina, citocinina e giberelina, capazes de acelerar a disponibilização de fósforo (P) e o desenvolvimento das plantas (Kumar et al., 2022). Da mesma forma, podem agir no controle e supressão de agentes fitopatogênicos, por meio da produção de sideróforos, amônia, compostos cianogênicos, quitinases e antibióticos, além de outros mecanismos, tais como o antagonismo, competição por espaço e nutrientes e indução de resistência sistêmica na planta hospedeira (Silva et al., 2019; Kour et al., 2020; Mahmud et al., 2021, Raimi et al., 2021).

O fósforo é um elemento essencial e requerido em grandes quantidades às plantas, o qual está envolvido em todos os estádios de crescimento vegetal, sendo considerado como um dos mais importantes fatores químicos que limitam a produção agrícola no mundo todo (Anzuay et al., 2017). Esse elemento tem participação em vários processos fisiológicos, incluindo o desenvolvimento das raízes; o estímulo à floração; na regulação de água e de nutrientes essenciais, aumentando a eficiência da execução da fotossíntese e o fortalecimento da estrutura celular. É constituinte dos tecidos vegetais, estando presente, especialmente nas 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, também, é fundamental na síntese de ácidos

nucléicos, tanto do DNA quanto do RNA, assim como nas adenosinas di e trifosfato, responsáveis pelo armazenamento e transferência de energia. A sua falta prejudica o desenvolvimento da planta, assim como o do sistema radicular; causa oretardo da maturidade da planta e o impedimento da floração. Na parte aérea as folhas ficam opacas e há uma redução da transferência de energia, afetando a fotossíntese e a respiração celular (Ferreira-Suarez et al., 2024; Kumaret al., 2020; Malhotra et al., 2018). 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 se converte em frações insolúveis, contribuindo para a redução no rendimento das culturas agrícolas (Khan et al., 2022). Após a aplicação no solo, ele rapidamente se combina com o ferro, alumínio, cálcio e magnésio, entre outros, formando um P insolúvel, que impede a sua absorção e utilização pelas plantas (Tang et al., 2023).

Nesse contexto, alguns microrganismos capazes de auxiliar na solubilização de P no solo, possibilitam o uso mais eficiente dos adubos fosfatados, podendo contribuir para a redução do custo de implantação de lavouras (Khosravi et al., 2024). Embora sejam encontradas bactérias solubilizadoras de fosfato em diversos grupos, aquelas pertencentes aos Gêneros *Bacillus*, *Rhizobium* e *Pseudomonas* são as que apresentam maior interesse para esse fim (Gupta et al., 2022). No caso dos microrganismos solubilizadores de P presentes nos biofertilizantes, são encontrados *Bacillus circulans*, *B. subtilis*, *B. polymyxa*, *Pseudomonas striata*, *Glomus* sp., *Gigaspora* sp. e *Acaulospora* sp. entre outros (Kumar et al., 2022). Esses microrganismos são capazes de secretar ácidos orgânicos, tais como os ácidos acético, glucônico, glicólico, malônico, isobutírico, isovalérico e láctico, entre outros (Lebrazi et al., 2020), que ajudam a solubilizar o fósforo insolúvel presente em fosfatos dicálcicos e tricálcicos, fosfatos naturais e hidroxiapatitas, onde acidificam a rizosfera e promovem a adsorção do P inorgânico e de compostos orgânicos complexos de P das partículas de argila do solo, possibilitando a solubilização dos reservatórios orgânicos de fosfatos e de P precipitado. Da mesma forma, são capazes de secretar compostos fenólicos, prótons, enzimas fitases e nucleases, que mineralizam os reservatórios orgânicos de fosfatos; aumentam a fixação biológica do N; atuam como agentes de biocontrole de fitopatógenos e são capazes de produzir metabólitos secundários, tais como o

fitohormônio ácido indolacético (AIA) e sideróforos, que potencializam a ação solubilizadora de fosfatos na promoção do crescimento vegetal (Alam et al., 2022; Kumaret al., 2022; Li et al., 2023; Shawar et al., 2024).

Assim, tendo em vista a grande importância do fósforo no desenvolvimento de plantas e da necessidade de prospecção de microrganismos capazes de aumentar a eficiência do uso desse elemento no solo, de baixo custo e pouco impactantes ao ambiente, esse trabalho teve como objetivo, selecionar e avaliar a eficácia de bactérias produtoras de auxinas, provenientes de biofertilizantes à base de esterco bovino, na solubilização de fosfatos e na promoção de crescimento vegetal de plantas de soja.

Material e métodos

O estudo foi realizado em condições de laboratório e de casa-de-vegetação, nas dependências do Laboratório de Fitopatologia e Microbiologia da Universidade Federal de Mato Grosso, Campus Sinop, Mato Grosso, onde os microrganismos foram cultivados e multiplicados.

Seleção massal de bactérias solubilizadoras de fosfato

Para a seleção de bactérias para a característica de solubilização de fosfato, foram utilizados 13 isolados provenientes da coleção de culturas do Laboratório de Microbiologia/Fitopatologia da UFMT, campus Sinop. Os isolados foram selecionados previamente para a produção de auxina a partir de biofertilizantes a base de esterco bovino e mantidos em meio NA (nutriente-ágar) em geladeira para posterior utilização.

Os isolados foram multiplicados previamente em meio NA por 48 horas e plaqueados posteriormente em meio extrato de levedura (EL). O meio de cultura foi suplementado, de forma individual, com as fontes de fosfato inorgânico (fosfato de cálcio e fosfato de alumínio), visando observar a habilidade metabólica das bactérias em solubilizar fosfato inorgânico em diferentes fontes, conforme os procedimentos descritos por Souchie et al. (2005).

A seleção massal das bactérias solubilizadoras de fosfato, foi realizada por análise visual, pela presença de um halo transparente ao redor da colônia, em 1 repetição (uma placa), a partir de quatro alçadas contendo colônias bacterianas distribuídas de forma equidistante na placa, por um período de 15 dias. Os dois isolados mais promissores foram selecionados para a avaliação da quantificação do halo de transparência.

Quantificação da solubilização de fosfato em testes in vitro

Os isolados selecionados foram multiplicados previamente em meio NA por 48 horas e,

posteriormente, plaqueados em meio extrato de levedura (EL). O meio de cultura foi suplementado, de forma individual, com as fontes de fosfato inorgânico (fosfato de cálcio e fosfato de alumínio), visando observar a habilidade metabólica das bactérias em solubilizar fosfato inorgânico em diferentes fontes, conforme os procedimentos descritos por Souchie et al. (2005).

Para a quantificação do halo de transparência indicando a ocorrência da solubilização de fosfato no meio de cultura, foi determinado 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, 2005), realizado com o auxílio de um paquímetro. As avaliações foram realizadas aos 20 dias após a repicagem das bactérias para o meio de cultura. Cada isolado foi individualmente avaliado em um delineamento composto por dois tratamentos e cinco repetições, cada placa representando uma repetição (4 colônias por repetição, distribuídas de forma equidistante na placa).

A classificação dos isolados quanto ao seu potencial de solubilização de fosfato foi feita 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 Gerbox–Cultura com o isolado bacteriano selecionado quanto ao potencial de solubilização de fosfato em teste *in vitro*, foi desenvolvida em meio NA (nutriente-ágar) por 48 horas a 25 °C e preparada uma suspensão de células bacterianas em solução salina (0,85%) padronizada com o auxílio da Escala de Mc Farland, estimando-se a sua concentração em $1,5 \cdot 10^8$ ufc mL⁻¹. Sementes de soja foram microbiolizadas por meio da sua imersão na suspensão bacteriana pelo tempo de 15 minutos, seguido de semeadura em caixas Gerbox, contendo papel germitec umedecido, sendo mantidas sob condições controladas pelo período de 10 dias até o momento da 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 o ensaio com plantas de soja, utilizou-se a variedade NEO820 IPRO, de crescimento indeterminado. As sementes de soja foram imersas em suspensão bacteriana, obtida a partir de colônias com 48 horas de crescimento em meio

nutriente-ágar (NA) e padronizada em 10^8 ufc.mL⁻¹, com o auxílio da escala de Mac Farland, sendo mantidas sob agitação por 15 minutos e semeada sem vasos de oito litros de capacidade, contendo solo não esterilizado. Foram colocadas 10 sementes. Oito dias após, foi realizado um desbaste permanecendo três plantas por vaso, mantidas sob irrigação diária até a avaliação do experimento. Os tratamentos consistiram na presença e ausência da bactéria, semeada na ausência ou na presença de adubo fosfatado (super simples), aplicado em meia dose ou dose completa, de acordo com a análise de solo.

A avaliação do experimento foi realizada após 30 dias da semeadura, no qual se avaliou 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.

O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado (DIC), composto por 6 tratamentos (T1- Sem bactéria + Super simples 0%; T2 – Sem bactéria + Supersimples 50%; T3 – Sem bactéria + Supersimples 100%; T4 – Com bactéria + super simples 0%; T5 – Com bactéria + super simples 50% e T6 – Com bactéria + super simples 100%) 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.

Resultados e discussão

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

| Tratamento | I.S. ¹ |
|------------|-------------------|
| BB-4 | 0,293 |
| BB-2 | 0,194 |

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)

Germinação de sementes de soja em caixas Gerbox – Como observado na metodologia de preparo dos isolados, ocorreu a adição de solução salina, que, embora em baixa concentração (0,85%) poderia de alguma maneira interferir negativamente no metabolismo germinativo das sementes. Para testar essa sensibilidade em condições de leve salinidade foi empregado um controle de germinação com sementes em água destilada e outra em solução salina de mesma concentração do preparo dos isolados (0,85%). No teste em caixas Gerbox, observou-se uma inibição na taxa de germinação nos tratamentos em que as sementes de soja foram imersas em solução salina (0,85%) e também quando microbiolizadas com uma suspensão bacteriana (9.10^8 ufc.mL⁻¹) preparada em solução salina (0,85%) em relação à testemunha (água destilada), na ordem de 28,95% e 23,52%, respectivamente (Tabela 2). Os efeitos prejudiciais da salinidade, como os observados

Ao se analisar a capacidade de solubilização de fosfato dos isolados testados por meio da presença de halo de transparência ao redor da colônia, observou-se que os isolados BB-4 e BB-2 apresentaram essa característica e foram selecionados para os testes seguintes de quantificação do halo. Segundo Zhu et al. (2011) o desenvolvimento do halo de transparência ao redor da colônia é decorrente da produção de compostos produzidos pelos isolados bacterianos durante o seu desenvolvimento no meio de cultura capazes de solubilizar o fosfato, no qual a eficiência da bactéria em 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. No teste de quantificação do halo de transparência ao redor da colônia bacteriana, verificou-se que, tanto o isolado BB-4 (IS= 0,293), quanto o isolado BB-2 (IS= 0,194) 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) (Tabela 1). 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, conforme o observado por Saranya et al., (2022), sendo necessários estudos adicionais para a verificação do real potencial de solubilização de fosfato desses isolados.

nesse estudo, são relatados por Akbar-Imoghaddam et al. (2011), que incluem a redução drástica no potencial produtivo do solo, devido a efeitos prejudiciais nos processos morfológicos, fisiológicos e bioquímicos, como na absorção de água e nutrientes, germinação das sementes e desenvolvimento da planta.

A presença de NaCl, mesmo que em baixas concentrações, pode causar um desbalanço hormonal entre giberelinas e ácido abscísico (ABA) no metabolismo germinativo de sementes de soja, fazendo com que os níveis endógenos de ABA sejam elevados. Quando isso ocorre, o ABA gera a indução de dormência nas sementes (Shu et al., 2017).

Na germinação de sementes de soja não foi observada diferença significativa entre os tratamentos testemunha (água destilada) e o isolado BB-4 ($1,5.10^8$ ufc.mL⁻¹) (-3,65%), indicando que, embora não tenha ocorrido um aumento na

taxa de germinação de sementes proporcionado pelo isolado bacteriano BB-4, ocorreu uma amenização dos efeitos prejudiciais da solução salina na germinação, indicando um potencial de uso desse isolado no uso em áreas comerciais com problemas de salinização dos solos. Nesse caso, os ácidos orgânicos produzidos pelos microrganismos solubilizadores de fosfato, poderiam desempenhar um papel fundamental na amenização dos efeitos prejudiciais da salinidade, por meio do balanço hormonal durante as fases da germinação das sementes.

Ao se analisar o efeito da bacterização das

sementes de soja com o isolado bacteriano BB-4, não se observou ação promotora de crescimento para as variáveis: altura da planta (HP), volume de raízes (VR), peso seco da parte aérea (PSA) e das raízes (PSR) em relação à testemunha (Tabela 3). Para a variável HP, observou-se um efeito redutor no tratamento envolvendo a microbiolização das sementes com BB-4 + dose cheia de P em relação aos tratamentos sem BB-4, tanto em meia dose, quanto em dose cheia de adubo fosfatado, indicando um efeito redutor de crescimento desse isolado bacteriano.

Tabela 2. Germinação de sementes microbiolizadas com bactéria solubilizadora de fosfato em caixas Gerbox

| Tratamentos | % Germinação |
|---|-------------------|
| Água Destilada (Testemunha) | 92 a ¹ |
| Solução salina (0,85%) | 58 b (-28,95%) |
| BB-4 (1,5.10 ⁸ UFC. mL ⁻¹ + solução salina) | 88 a (-3,65%) |
| BB-4 (9.10 ⁸ UFC. mL ⁻¹ + solução salina) | 63 b (-23,52%) |
| CV (%) | 8,60 |

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

Tabela 3 - Promoção do crescimento de plantas de soja microbiolizadas com bactéria solubilizadora de fosfato em diferentes doses de adubo superfosfato simples.

| Tratamentos | Altura da planta (cm) | Volume da raiz (mL) | Peso seco da parte aérea (g) | Peso seco da raiz (g) |
|---------------------------|-----------------------|---------------------|------------------------------|-----------------------|
| Água (Testemunha) | 38,71 ab ¹ | 1,62 a | 1,73 ab | 0,85 a |
| Adubo P (1/2 dose) | 43,62 a (+12,7%) | 1,08 b (-33,4%) | 3,20 a (+85,0%) | 2,07 a (+143,5%) |
| Adubo P (1/1 dose) | 44,74 a (+15,6%) | 1,38 ab (-14,8%) | 3,16 a (+82,7%) | 1,74 a (+104,7%) |
| BB-4 (sem adubo) | 27,15 ab (-30,0%) | 0,53 c (-67,3%) | 0,57 b (-67,1%) | 1,09 a (+28,2%) |
| BB-4 + Adubo P (1/2 dose) | 24,50 ab (-36,7%) | 0,55 c (-66,0%) | 0,59 b (-65,9%) | 1,31 a (+54,1%) |
| BB-4 + Adubo P (1/1 dose) | 20,15 b (-47,9%) | 0,48 c (-70,4%) | 0,53 b (-69,4%) | 1,08 a (+27,1%) |
| CV (%) | 32,6 | 27,7 | 57,9 | 70,0 |

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

Quando se analisa o efeito de BB-4 sobre a variável VR, observa-se, um efeito redutor em todos os tratamentos envolvendo a microbiolização com o isolado bacteriano (sem adubo, meia dose e dose cheia de P) em relação à testemunha, na ordem de 66,0% a 70,0%, indicando um efeito antagônico no desenvolvimento de raízes. Da mesma forma, verificou-se uma redução de VR no tratamento contendo apenas o adubo fosfatado (meia dose) em relação à testemunha, na ordem de 33,4%.

Para a variável (PSA) verificou-se uma diferença de produção biomassa da parte aérea entre os tratamentos envolvendo a presença e a ausência de BB-4, no qual se observou um aumento de PSA nos tratamentos contendo adubo fosfatado, tanto em meia dose, quanto em dose cheia de P, contrastando com os tratamentos em que BB-4 estava presente (sem adubo, meia dose e dose cheia de P), indicando que BB-4 atua como um agente redutor de produção de biomassa da parte aérea. Ao se analisar a variável PSR, não se observou aumento ou redução de produção de biomassa de raízes em quaisquer tratamentos testados, tanto na presença, como na ausência de BB-4.

A ineficácia de isolados bacterianos na promoção de crescimento vegetal, pode ser

atribuída a diversos fatores, tais como a incapacidade desses microrganismos em colonizar de forma eficaz as raízes das plantas, devido à baixa motilidade bacteriana, baixa capacidade de secretar proteínas eficazes, produção de pili ou mesmo à baixa resposta aos exsudatos radiculares ou das sementes (Khosravi et al., 2024). Os mesmos autores também relatam outros casos de insucesso de microrganismos presentes em biofertilizantes na promoção de crescimento vegetal. Fatores abióticos estressantes, tais como salinidade, pH e temperatura, também podem interferir negativamente no estabelecimento e performance de microrganismos solubilizadores de fosfato, resultando em pouco crescimento e sobrevivência desses agentes (Srinivasan et al., 2012). Da mesma forma, algumas rizobactérias também podem ter uma influência neutra ou mesmo deletéria na promoção de crescimento vegetal (Lelapalli et al., 2021), mesmo sendo um isolado produtor de hormônio de crescimento vegetal, como parece ser o que foi observado nesse estudo. Agroquímicos utilizados na agricultura moderna para o aumento das produções agrícolas, podem resultar na retenção de pesticidas nas partículas de solo e em mudanças bioquímicas, que diminuem o efeito promotor de crescimento

vegetal desses microrganismos. Também podem causar danos ao seu habitat e diminuir a sua densidade populacional, resultando numa redução do seu potencial de efeito benéfico nas plantas (Anzuay et al., 2017).

Embora BB-4 testado no presente trabalho tenha sido selecionado previamente para a característica de produção de ácido indolacético, onde era de se esperar um comportamento promotor de crescimento vegetal, por meio da ação desse fitohormônio, especialmente sobre as raízes, no qual é relatado o aumento, tanto no tamanho, quanto no peso das raízes, assim como o de pêlos radiculares e no número de raízes laterais de plantas (Lebrazi et al., 2020), não se observou esse comportamento, mesmo quando o isolado bacteriano foi utilizado isolada ou conjuntamente com o adubo fosfatado.

Uma possível explicação para esse comportamento conferido por alguns isolados testados, é que as auxinas são essenciais para a iniciação de raízes adventícias, desempenhando fundamental importância no estímulo à divisão celular. Uma alta relação auxina/citocinina favorece a formação de raízes, enquanto o ácido indolacético, por si só, não é suficiente para promover a rizogênese, sendo necessária a presença de cofatores de enraizamento de ocorrência natural (terpenoides oxigenados, compostos fenólicos e ácido isoclorogênico), que atuam sinergicamente com as auxinas e necessários para que se tenha o enraizamento (Hartmann et al., 1997). Outra possível explicação é que a presença de auxina, quando aplicada em doses excessivas, pode inibir o crescimento radicular (Iritani, 1981). Segundo Alvarenga & Carvalho (1983) o estímulo ao enraizamento se dá até uma determinada concentração do regulador, que é diferente para cada espécie, a partir da qual o efeito passa a ser inibitório. Em altas concentrações, as auxinas induzem à biossíntese de etileno, que pode inibir o crescimento vegetal (Fachinello & Kersten, 2014).

De acordo com Gontijo et al. (2003) deve haver um adequado balanço hormonal endógeno, especialmente entre auxinas, giberelinas e citocininas, ou seja, um equilíbrio entre promotores e inibidores do processo de iniciação radicular. A formação de raízes é, aparentemente, dependente de um nível ótimo de auxina em relação a estas substâncias, onde a concentração ótima para o alongamento celular pode variar bastante e de acordo com o tipo de tecido vegetal, uma vez que, diferentes órgãos vegetais possuem diferente sensibilidade à concentração de auxina. O mecanismo interno que controla o crescimento das raízes é pouco conhecido, sendo elas extremamente sensíveis às auxinas (Taiz & Zeiger, 2009).

Outra possível explicação para o comportamento redutor do crescimento de plantas seria a sua ação como rizobactérias deletérias,

podendo inibir o crescimento da parte aérea e de raízes, sem causar qualquer sintoma visual. Elas são capazes de produzir diversos compostos que podem atuar negativamente no desenvolvimento de plantas, como as fitotoxinas (cianida) e fitormônios (ácido indolacético). Essas rizobactérias também afetam o crescimento de plantas por competição por nutrientes, reduzindo a absorção de fósforo, e, conseqüentemente o crescimento da planta (Bass, 1990).

Embora as respostas de solubilização em meio sólido, tenham sido consideradas baixas, há necessidade de estudos adicionais para se verificar o real potencial de uso desses isolados, como a verificação da solubilização em testes em plantas em diferentes concentrações de inóculo, ou mesmo, a verificação da ação de outros mecanismos em conjunto, como a produção de hormônios de crescimento, de onde as mesmas foram selecionadas previamente, ou para outras características, como o antagonismo a agentes fitopatogênicos, indução de resistência na planta ou mesmo, a tolerância a fatores ambientais estressantes, como a salinidade dos solos.

Conclusões

O isolado bacteriano BB-4 não promove o aumento da altura e de biomassa de raízes de plantas de soja.

O isolado bacteriano BB-4 diminui o volume de raízes e de biomassa da parte aérea de plantas de soja em associação com superfosfato simples.

O isolado bacteriano BB-4 ($1,5 \cdot 10^8$ 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*, v. 9, n. 1, p. 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*, v. 21, p. 339-348, 2022.
- ALFENAS, A. C. et al. *Clonagem e doenças do eucalipto*. 2. ed. Viçosa: UFV, 2009. 500 p.
- ANZUAY, M. S.; CIANCIO, M. G. R.; LUDUEÑA, L. M.; ANGELINI, J. G.; BARROS, G.; PASTOR, N.; TAURIAN, T. Growth promotion of peanut (*Arachis hypogaea* 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*, v. 199, p.

98-109, 2017.

ASADU, C. O.; EZEMA, C. A.; EKWUEME, B. N.; ONU, C. E.; ONOH, I. M.; ADEJOH, T.; EZEORBA, T. P. C.; OGBONNA, C. C.; OTUH, J. O. O.; EMMANUEL, U. O. Enhanced efficiency fertilizers: Overview of production methods, materials used, nutrients release mechanisms, benefits and considerations. *Environmental Pollution and Management*, v. 1, p. 32-48, 2024.

BASS, R. Effects of *Glomus fasciculatum* and isolated rhizosphere microorganisms on growth and phosphate uptake of *Plantago major* ssp. *pleiosperma*. New York: McGraw-Hill, 1990. p. 283-307.

BETTIOL, W. Controle de doenças de plantas com agentes de controle biológico e outras tecnologias. In: CAMPANHOLA, C.; BETTIOL, W. (Eds.). Métodos alternativos de controle fitossanitário. Jaguariúna: Embrapa, 2003. p. 191-215.

COLLARD, F. H.; ALMEIDA, A.; COSTA, M. C. R.; ROCHA, M. C. Efeito do uso de biofertilizante Agrobio na cultura do maracujazeiro amarelo (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Deg.). *Revista Biociências*, v. 7, n. 1, p. 15-21, 2001.

FACHINELLO, J. C.; KERSTEN, E. Fruticultura: Fundamentos e Prática. 2015.

FERNANDES, E. R. K.; MARANGONI, C.; SOUZA, O.; SELLIN, N. Thermochemical characterization of banana leaves as a potential energy source. *Energy Conversion and Management*, v. 75, p. 603-608, 2013.

FERRARI, E.; VALIATI, S.; SHIOMI, H. F. Efeito de biofertilizantes no biocontrole de *Penicillium* sp. em laranja "pêra". *Scientific Electronic Archives*, v. 1, p. 1-5, 2012.

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

GHAG, S. B.; GANAPATHI, T. R. Genetically modified bananas: to mitigate food security concerns. *Scientia Agricultura*, v. 214, p. 91-98, 2017.

GONTIJO, T. C. A. et al. Enraizamento de diferentes tipos de estacas de aceroleira utilizando ácido indolbutírico. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 25, p. 290-292, 2003.

GOVINDARAJAN, M.; BANLANDREAU, J.; MUTHUKUMARASAMY, R.; REVATHI, G.; LAKSMINARASIMHAN, C. Improved yield of

micropropagated sugarcane following inoculation by endophytic *Burkholderia vietnamiensis*. *Plant and Soil*, v. 280, p. 239-252, 2006.

GUPTA, R.; KUMARI, A.; SHARMA, S.; ALZAHIRANI, O. M.; NOURELDEEN, A. Identification, characterization and optimization of phosphate solubilizing rhizobacteria (PSRB) from rice rhizosphere. *Saudi Journal of Biological Sciences*, v. 29, p. 35-42, 2022.

HARTMANN, H. T.; KESTER, D. E.; DAVIES JUNIOR, F. T. *Plant propagation: principles and practices*. New Jersey: Prentice-Hall International, 1997. 770 p.

IRITANI, C. Ação de reguladores de crescimento na propagação vegetativa por estaquia de *Ilex paraguariensis* Saint Hilaire e *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. 163 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, 1981.

KAVINO, M.; HARISH, S.; KUMAR, N.; SARAVANAKUMAR, D.; DAMORADAN, T.; SOORIANATHASUNDARAM, K.; SAMIYAPPAN, R. Rhizosphere and endophytic bacteria for induction of systemic resistance of banana plantlets against bunchy top virus. *Soil Biology & Biochemistry*, v. 39, p. 1087-1098, 2007.

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. *Heliyon*, v. 8, p. 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*, v. 7, p. 1-9, 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. *Heliyon*, v. 6, p. 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*, v. 3, p. 1-26, 2022.

KUPPER, K. C.; BETTIOL, W.; GÓES, A.; SOUZA, P. S.; BELLOTTE, J. A. M. Biofertilizer for control of *Guignardia citricarpa*, the causal agent of citrus black spot. *Crop Protection*, v. 25, p. 569-573, 2006.

- KUPPER, K. C.; BELLOTTE, J. A. M.; GÓES, A. Controle alternativo de *Colletotrichum acutatum*, agente causal da queda prematura dos frutos cítricos. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 31, n. 4, p. 1004-1015, 2009.
- 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*, v. 18, n. 71, p. 2-12, 2020.
- LELAPALLI, S.; BASKAR, S.; JACOB, S. M.; PARANTHAMAN, S. Characterization of phosphate solubilizing plant growth promoting rhizobacterium *Lysinibacillus pakistanensis* strain PCPSMR15 isolated from *Oryza sativa*. *Current Research in Microbial Sciences*, v. 2, p. 1-6, 2021.
- 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*, v. 272, p. 1-11, 2023.
- LI, L. F.; GE, X. J. Origin and domestication of cultivated banana. *Ecological Genetics and Genomics*, v. 2, p. 1-2, 2017.
- MANTOVANELLO, C. M.; MELO, I. S. Isolamento e seleção de rizobactérias promotoras de crescimento de plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum*). *Summa Phytopathologica*, v. 20, n. 2, p. 123-126, 1994.
- MARCANO, I. E.; ALCÁNTARA, C. A. D.; URBANO, B.; ANDRÉS, F. G. Assessment of bacterial populations associated with banana tree roots and development of successful plant probiotics for banana crop. *Soil Biology & Biochemistry*, v. 99, p. 1-20, 2016.
- MARROCOS, S. T. P.; NOVO JUNIOR, J.; GRANGEIRO, L. C.; AMBRÓSIO, M. M. Q.; CUNHA, A. P. A. Composição química e microbiológica de biofertilizantes em diferentes tempos de decomposição. *Revista Caatinga*, v. 25, n. 4, p. 34-43, 2012.
- MEDEIROS, M. B.; LOPES, J. S. Biofertilizantes líquidos e sustentabilidade agrícola. *Bahia Agrícola*, v. 7, n. 3, p. 24-26, 2006.
- MEDEIROS, M. B.; WANDERLEY, P. A.; WANDERLEY, M. J. A. Biofertilizantes líquidos. *Revista Biotecnológica Ciência e Desenvolvimento*, n. 31, 2003.
- ORTAS, I.; RAFIQUE, M.; AKPINAR, C.; KACAR, Y. A. Growth media and mycorrhizal species effect on acclimatization and nutrient uptake of banana plantlets. *Scientia Horticulturae*, v. 217, p. 55-60, 2017.
- PEREIRA, A.; MARASCHIN, M. Banana (*Musa spp.*) from peel to pulp: ethnopharmacology, source of bioactive compounds and its relevance for human health. *Journal of Ethnopharmacology*, v. 160, p. 149-163, 2015.
- 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*, v. 261, p. 1-11, 2022.
- SHAWAR, D.; MUSHTAQ, Z.; MUSHTAQ, H.; ALQARAWI, A. A.; PARK, Y.; ALSHAHRANI, T. S.; FAIZAN, S. Role of microbial inoculants as biofertilizers for improving crop productivity: A review. *Heliyon*, v. 9, p. 1-14, 2023.
- SHU, K.; QI, Y.; CHEN, F.; MENG, Y.; LUO, X.; SHUAI, H.; ZHOU, W.; DING, J.; DU, J.; LIU, J.; YANG, F.; WANG, Q.; LIU, W.; YONG, T.; WANG, X.; FENG, Y.; YANG, W. Salt stress represses soybean seed germination by negatively regulating GA biosynthesis while positively mediating ABA biosynthesis. *Frontiers in Plant Science*, v. 8, 2017. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01372>
- SILVA, A. F.; PINTO, J. M.; FRANÇA, C. R. R. S.; FERNANDES, S. C.; GOMES, T. C. A.; SILVA, M. S. L.; MATOS, A. N. B. Preparo e uso de biofertilizantes líquidos. 1. ed. Petrolina: CPATSA-EMBRAPA, 2007. (Comunicado Técnico 130).
- SILVA, H. S. A.; VIEIRA, R. S.; CARDOSO, K. G. V.; ARAÚJO, K. S. Processo de produção de mudas micropropagadas de bananeira por microbiolização com rizobactérias produtoras de ácido indolacético. Cruz das Almas: EMBRAPA Mandioca e Fruticultura, 2016. (Circular Técnica 117).
- SINGH, B.; SINGH, J. P.; KAUR, A.; SINGH, N. Bioactive compounds in banana and their associated health benefits – a review. *Food Chemistry*, v. 206, p. 1-11, 2016.
- SOUZA, G. L. O. D.; NIETSCHKE, S.; XAVIER, A. A.; COSTA, M. R.; PEREIRA, M. C. T.; SANTOS, M. A. Triple combinations with PGPB stimulate plant growth in micropropagated banana plantlets. *Applied Soil Ecology*, v. 103, p. 31-35, 2016.
- SRINIVASAN, 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, v. 19, p. 427-434, 2012.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia vegetal. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 722 p.

TANG, Y.; CHE, Y.; BAI, X.; WANG, Z.; GU, S. Effects of application of phosphate-solubilizing bacteria on bacterial diversity and phosphorus fractions in a Phaeozems. Heliyon, v. 9, p. 1-8, 2023.

TRATCH, R.; BETTIOL, W. Efeito de biofertilizantes sobre o crescimento micelial e germinação de esporos de alguns fungos fitopatogênicos. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 32, n. 11, p. 1131-1139, 1997.

TRINDADE, A. V.; LINS, G. M. L.; MAIA, I. C. S. Substratos e fungo micorrízico arbuscular em mudas micropropagadas de bananeira na fase de aclimação. Revista Brasileira de Fruticultura, v. 25, n. 1, p. 137-142, 2003.

YOHALEM, D. S.; NORDHEIM, E. V.; ANDREWS, J. H. The effect of water extracts of spent mushroom compost on scab in the field. Phytopathology, v. 86, p. 914-922, 1996.

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, p. 1-6, 2011.