

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**LEONARDO ALVES FAGOTTI**

**BACTÉRIAS SOLUBILIZADORAS DE FÓSFORO NA CULTURA DO MILHO (*Zea mays*) EM SOLOS COM BAIXO E ALTO TEOR DE FÓSFORO**

**DOIS VIZINHOS**

**2023**

**LEONARDO ALVES FAGOTTI**

**BACTÉRIAS SOLUBILIZADORAS DE FÓSFORO NA CULTURA DO MILHO (*Zea mays*) EM SOLOS COM BAIXO E ALTO TEOR DE FÓSFORO**

**PHOSPHORUS SOLUBILIZERS BACTERIA ON CORN (*Zea mays*) CROP IN SOILS WITH LOW AND HIGH LEVEL OF PHOSPOROUS**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentada como requisito para obtenção do título de Bacharel em Agronomia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador(a): Paulo Fernando Adami.

**DOIS VIZINHOS**

**2023**



4.0 Internacional

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

**LEONARDO ALVES FAGOTTI**

**BACTÉRIAS SOLUBILIZADORAS DE FÓSFORO NA CULTURA DO MILHO (*Zea mays*) EM SOLOS COM BAIXO E ALTO TEOR DE FÓSFORO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação/  
apresentado como requisito para obtenção do título  
de Bacharel em Agronomia da Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 20 / junho / 2023

---

Paulo Fernando Adami

Professor Doutor em Agronomia

Universidade Tecnológica Federal do Paraná Câmpus Dois Vizinhos

---

Alfredo de Gouvêa

Professor Doutor em Agronomia

Universidade Tecnológica Federal do Paraná Câmpus Dois Vizinhos

---

Nelto Almeida de Sousa

Doutorando em Agronomia

Universidade Tecnológica Federal do Paraná Câmpus Dois Vizinhos

**DOIS VIZINHOS**

**2023**

## RESUMO

O elemento fósforo é o nutriente mais limitante nos solos brasileiros dada a sua baixa eficiência de uso e grande adsorção. Deste modo, estratégias como o uso de bactérias promotoras de crescimento e solubilizadoras de nutrientes capazes de aumentar a eficiência de uso podem ser a longo prazo a única alternativa viável para manter a capacidade produtiva dos solos. Nesse contexto, este trabalho teve por objetivo avaliar o efeito das bactérias com potencial solubilizador de P (*Azospirillum*, *Pseudomonas* e *Bacillus aryabhattai* e *Pseudomonas* + *Bacillus aryabhattai*) em solos com baixo (2 mg dm<sup>3</sup>) e alto teor de fósforo (32 mg dm<sup>3</sup>). A massa seca da parte aérea e sistema radicular das plantas de milho apresentaram-se superioridade no solo com alto teor de fósforo em relação ao solo com baixo teor de fósforo. Não houve diferença para massa seca da parte aérea das plantas de milho entre o tratamento controle e as bactérias promotoras de crescimento no solo com baixo teor de fósforo. No entanto, para a massa seca de raiz, o *azospirillum* foi superior ao tratamento controle nas condições de solo com baixo teor de fósforo. O uso das bactérias promotoras de crescimento *Azospirillum*, *Pseudomonas* e *Bacillus aryabhattai* apresentaram maior massa seca da parte aérea das plantas de milho em relação ao tratamento com *Pseudomonas* + *Bacillus aryabhattai*, que não diferiu do tratamento controle no solo com alto teor de fósforo. No solo com baixo teor de fósforo, todos os tratamentos foram iguais, porém, todos apresentaram menor massa seca em relação aos tratamentos com alto teor de fósforo. O uso conjunto de *Pseudomonas* + *Bacillus aryabhattai* apresentou massa seca de raiz inferior ao tratamento isolado com *azospirillum* no solo com baixo teor de fósforo. Todos os tratamentos no solo com alto teor de fósforo apresentaram maior massa radicular que os tratamentos no solo com baixo fósforo.

Palavras-chave: *Azospirillum* sp.; *Pseudomonas*; *Bacillus aryabhattai*; massa seca de raiz; parte aérea do milho.

## ABSTRACT

Phosphorus is the most limiting nutrient in Brazilian soils given its low efficiency of use and high soil adsorption. Thus, strategies such as the use of growth-promoting and nutrient-solubilizing bacteria capable of increasing soil efficiency of use may be the only viable alternative for maintaining the productive capacity of soils in the long term. In this context, this work aimed to evaluate the effect of bacteria with P solubilizing potential (*Azospirillum*, *Pseudomonas*, *Bacillus aryabhatai* and *Pseudomonas + Bacillus aryabhatai*) in soils with low (2 mg dm<sup>3</sup>) and high phosphorus content (32 mg dm<sup>3</sup>). Dry mass of the aerial part and root system of the corn plants showed superiority in the soil with high phosphorus content in relation to the soil with low phosphorus content. There was no difference for dry mass of the aerial part of the corn plants between the control treatment and the growth-promoting bacteria in the soil with low phosphorus content. However, for root dry mass, *azospirillum* showed superior values than the control treatment in soil with low phosphorus content. The use of growth-promoting bacteria *Azospirillum*, *Pseudomonas* and *Bacillus aryabhatai* showed a higher dry mass of the aerial part of the corn plants in relation to the treatment with *Pseudomonas + Bacillus aryabhatai*, which did not differ from the control treatment in the soil with high phosphorus content. In the soil with low phosphorus content, all treatments were similar, however, all showed lower dry mass weight in relation to treatments with high soil phosphorus content. The combined use of *Pseudomonas + Bacillus aryabhatai* showed lower root dry mass than the isolated treatment with *azospirillum* in soil with low phosphorus content. All treatments in the high phosphorus soil showed greater root mass than the treatments in the low phosphorus soil.

Keywords: *Azospirillum* sp.; *Pseudomonas*; *Bacillus aryabhatai*; maize root; shoot dry mass.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	6
<b>2. JUSTIFICATIVA</b> .....	8
<b>3. OBJETIVOS</b> .....	10
<b>3.1 Objetivo geral</b> .....	10
<b>3.2 Objetivos específicos</b> .....	10
<b>4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	11
<b>4.1 P em plantas</b> .....	11
<b>4.2 Adubação fosfatada</b> .....	12
<b>4.3 Dinâmica de P no solo</b> .....	13
<b>4.4 Microrganismos solubilizadores de P</b> .....	15
4.4.1 <i>Pseudomonas fluorescens</i> .....	16
4.4.2 <i>Azospirillum sp.</i> .....	17
4.4.3 <i>Bacillus aryabhatai</i> .....	18
<b>5. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	19
<b>5.1 Localização e caracterização da área experimental</b> .....	19
<b>5.2 Avaliações</b> .....	21
<b>5.3 Análise estatística</b> .....	21
<b>6. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	22
<b>7. CONCLUSÕES</b> .....	28
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	29

## 1 INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays*) é o terceiro cereal mais produzido no Brasil, chegando a 125,8 milhões de toneladas na safra 2022/23, tendo um aumento médio de 11,2% em relação a safra anterior (CONAB, 2022). O cultivo do milho no Brasil é difundido em todo o território nacional, sendo de grande importância entre as atividades agrícolas. Ele é produzido em diversos sistemas de produção, níveis tecnológicos e pode ser destinado tanto para a alimentação humana quanto para nutrição animal em geral (EMBRAPA, 2012).

Devido à necessidade de incremento na produtividade agrícola, o suprimento das necessidades nutricionais na cultura do milho, se tornou fator importante e primordial na pesquisa. De acordo com Oliveira et al. (2015), a baixa disponibilidade natural de fósforo (P) em solos das regiões tropicais é consequência dos baixos teores do elemento na forma disponível às plantas e também pela fixação deste em reações com partículas do solo. Sendo assim, o problema com a disponibilidade natural de P à cultura representa um aumento nos custos de produção pelo fato de que os sistemas de cultivos exigem frequentes aplicações em quantidades relativamente elevadas de fósforo para garantir a produtividade das culturas.

Os trabalhos presentes na literatura mostram um efeito positivo decorrente da aplicação de solubilizadores (FERREIRA *et al.*, 2016; LAUTHARTE *et al.*, 2022). Os incrementos são observados na produção do grão como também aumento nos teores totais de P total P remanescente (HEINSCH, 2021). Benefícios como melhora nas condições referentes a sobrevivência e desenvolvimento da microbiota do solo, modificações na morfologia do sistema radicular aumentando a absorção de nutrientes com baixa mobilidade também são relatadas (NOVAKOWISKI *et al.*, 2001; VORPAGEL, 2010).

Deste modo, a utilização de microrganismos capazes de solubilizar P presente em formas complexadas torna-se uma alternativa capaz de aumentar a eficiência de utilização de fertilizantes fosfatados. Neste âmbito as bactérias possuem uma alta eficiência no processo de solubilização e mineralização de P, transformando em formas absorvíveis pela planta.

Essa tecnologia apresenta um baixo custo em sua elaboração e baixos impactos ambientais relatados na literatura (KALAYU, 2019; OLIVEIRA *et al.*, 2020). Contudo, em decorrência da dinâmica do P nos solos, o efeito de complexação deste elemento sobre a adubação fosfatada e seu fornecimento adequado as culturas empregadas nas lavouras (GONÇALVES, 2018), associado ao surgimento de novos produtos comerciais com este viés reforça a necessidade de estudos aprofundados sobre a utilização de microrganismos solubilizadores de P na cultura do milho.



## 2 JUSTIFICATIVA

Com a crescente demanda na criação de novos bioinsumos visando a elevação nos índices produtivos das lavouras nacionais, é de extrema importância a comprovação, por meios científico, a real ação destes produtos. Ainda que a literatura mencione os benefícios e seus efeitos positivos para uma agricultura mais sustentável, há extensas lacunas nas informações sobre o assunto (DA SILVA *et al.*, 2022).

Neste âmbito, presente nos bioinsumos responsáveis pela solubilização de formas de P insolúvel, as bactérias, necessitam de especificidades para que sua atividade seja realmente efetiva. Características como o ambiente, pH do solo, concentrações de macro e micronutrientes, doses e aplicações dos bioinsumos bem como sua interação com microrganismos já presentes são fatores que devem ser estudados (MARTIN *et al.*, 2022).

O P na agricultura é um elemento essencial no desenvolvimento fisiológico das plantas, pois atua diretamente no armazenamento e nos processos bioquímicos de transferência de energia desde a fotossíntese até a armazenagem de açúcares. Assim sua disponibilidade nos solos agricultáveis é considerado como fator limitante a produção agrícola (PELEJA *et al.*, 2020)

A dinâmica deste elemento no solo é uma questão relevante que demanda atenção, uma vez que o mesmo tende a precipitar com o alumínio (Al-P), ou mesmo o Ca, formando uma ampla gama de tipos de fosfatos. Ademais, pode sofrer o processo de adsorção (fixado) às argilas de óxidos e hidróxidos de Fe e Al (CATANI *et al.*, 1968; RESENDE *et al.*, 2007).

Deste modo, as bactérias e suas interações a nível de rizosfera podem representar um importante mecanismo de aumento na eficiência do uso de nutrientes. Estes microrganismos atuam diretamente na ciclagem de fósforo nos mais diversos tipos de solo, contudo esta ação está diretamente ligada ao estado nutricional do solo em especial a presença de P e suas formas. (OWEN *et al.*, 2015).

Desta maneira, solos com diferentes características relacionadas a granulometria, textura e presença prévia de P podem apresentar respostas distintas à aplicação de solubilizadores de P. Este fato deve-se à resposta fisiológica das bactérias frente a estas condições impostas (SAMPAIO *et al.*, 2022).

Os inoculantes comercializados contendo essas bactérias estão presentes em boa parte do território nacional, aumentando a rentabilidades das lavouras para os produtores, sendo também uma fonte de iniciativas para a preservação ambiental. Esta classe de produtos não apresenta distúrbios a diversidade microbiológica do solo, sendo aplicados no sulco de plantio ou mesmo no tratamento de sementes (OLIVEIRA *et al.*, 2020).

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo geral**

Avaliar a ação das bactérias *Azospirillum* sp., *Pseudomonas fluorescens*, *Bacillus aryabhatai* e *Bacillus aryabhatai* associado com *Pseudomonas fluorescens* como solubilizadoras de P em solos com diferentes teores fósforo.

#### **3.2 Objetivos específicos**

- Analisar os efeitos sobre o acúmulo de matéria verde e seca da parte aérea de plantas de milho inoculadas com bactérias solubilizadoras de P em solos com diferentes características.

- Analisar os efeitos sobre o acúmulo de matéria verde e seca do sistema radicular de plantas de milho inoculadas com bactérias solubilizadoras de P em solos com diferentes características.

## 4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 4.1 Fósforo nas plantas

O P é um dos principais nutrientes, estando presente em diversos processos metabólicos como fotossíntese, respiração, transferências de genes e processos que envolvem transferência de energia, além de atuar no processo de síntese de macromoléculas e absorção ativa de nutrientes interagindo com outros elementos, afetando a sua disponibilidade no solo e na nutrição vegetal (BULL *et al.*, 2004; BARBOSA *et al.*, 2015). No metabolismo, o fósforo está relacionado ao estabelecimento e desenvolvimento das plantas, estimulando a germinação, melhorando o sistema radicular, especialmente das raízes secundárias que têm função de absorção de água e nutrientes.

As plantas bem nutridas em P resistem melhor a doenças, baixas temperaturas e déficit hídrico (PENATTI, 2013). Os teores de P nas plantas variam de 0,5 a 3,0 g kg<sup>-1</sup> de matéria seca, considerando os teores entre 1,0 e 1,5 g kg<sup>-1</sup> como adequados para o crescimento normal das plantas (DECHEN; NACHTIGALL, 2006).

A deficiência de P na planta pode ser observada por um leve arrouxeamento das extremidades e na nervura central das folhas, as plantas apresentam porte reduzido, exatamente por esse elemento estar associado à função estrutural, ao processo de transferência e de armazenamento de energia, afetando plantas com caules finos, folhas pequenas e crescimento lateral limitado (SICHOCKI *et al.*, 2014). Como o P se move rapidamente dos tecidos mais velhos para os mais jovens, a deficiência aparece primeiro nas partes baixas da planta (folhas velhas).

O P caracteriza-se como um dos macronutrientes exigido em menor quantidade pelas plantas, entretanto, é um dos nutrientes mais usados para a adubação. Este fato ocorre devido a carência de fósforo nos solos brasileiros, pois este elemento apresenta forte interação com o solo, sofrendo intensa fixação (SCHUMACHER; CECONI; SANTANA, 2004).

Para o milho, embora as exigências de P sejam bem menores em relação ao nitrogênio (N) e potássio (K), as doses recomendadas são altas, em função da baixa

eficiência. Somente cerca de 20 a 30% do P aplicado como forma de adubação em 21 solos considerados argiloso é aproveitado pela cultura, decorrente da alta capacidade de adsorção do P adicionado ao solo, reduzindo sua disponibilidade às plantas (CORRÊA; MAUAD; ROSOLEM, 2004).

#### **4.2 Adubação fosfatada**

O fósforo, dentre os macronutrientes primários apresenta diversas fontes como forma de adubação fosfatada, as quais variam quanto à solubilidade e teores. Os fosfatos de alta reatividade correspondem a mais de 90% do P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> utilizado na agricultura brasileira. Apresentam alta eficiência agrônômica em curto prazo e elevado custo por unidade (SANTOS; GATIBONI; KAMINSKI, 2008; FRANDOLOSO *et al.*, 2010).

Os fosfatos solúveis, como o superfosfato simples e superfosfato triplo, têm a sua eficiência diminuída ao passar do tempo, devido ao processo de fixação de P (MARIN *et al.*, 2015). Já os fosfatos naturais, são insolúveis em água, se dissolvem lentamente e tendem a aumentar a disponibilidade de P para as plantas com o passar do tempo (MCLAREN *et al.*, 2014).

Os minerais primários fosfatados mais comuns são as apatitas, de onde o fósforo é liberado durante a intemperização, resultando em minerais secundários mais estáveis, ou incorporados a compostos orgânicos por atividade biológica. A dinâmica do P presente no solo está relacionada as atividades dos organismos, os quais imobilizam ou liberam os íons ortofosfato, atuando nas propriedades físicoquímicas e mineralógicas do solo (SANTOS *et al.*, 2008).

As principais fontes industriais de fertilizantes contendo P utilizadas na agricultura são obtidas por meio do tratamento de rochas fosfáticas (fosfatos naturais). Devido a sua baixa solubilidade em água, os fosfatos naturais podem sofrer processos físicos (lavagem) e químicos (acidulação) com ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) e ácido fosfórico (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) (PRADO *et al.*, 2011).

No Brasil são fabricados principalmente os fertilizantes fosfatados parcialmente acidulados como superfosfato simples e superfosfato triplo, pois apresentam rápida solubilidade no solo (SOUZA *et al.*, 2014). O tratamento dos fosfatos tem a finalidade

de aumentar a solubilidade do fertilizante em água e a concentração de P, produzindo desta forma o superfosfato simples, superfosfato triplo e outros fertilizantes fosfatados, denominados de fertilizantes acidulados ou solúveis (FREITAS *et al.*, 2017).

As fontes de adubação fosfatada como os fosfatos naturais reativos, são classificados quanto às solubilidades em água, citrato neutro de amônio e ácido cítrico, analisados conforme a legislação brasileira (SOUSA; LOBATO, 2003). De acordo com critérios estabelecidos pela legislação brasileira, os teores mínimos de P solúvel em água são 15% para o superfosfato simples, 36% superfosfato triplo, 38% diamônico (DAP) e 44% monoamônico (MAP) (CHAVES; ZUCARELI; OLIVEIRA JUNIOR, 2013). Estes fosfatos apresentam como característica maior efeito residual, permanecendo na solução do solo por maior período, tornando-se uma alternativa como fontes de adubação fosfatada (SANTOS; GATIBONI; KAMINSKI, 2008).

Em relação aos fosfatos naturais, a dissolução depende da superfície de contato com o solo, das características químicas do solo, sendo aumentada quando o fertilizante for aplicado em área total e incorporado ao solo. Fertilizantes fosfatados de baixa solubilidade em água liberam o P no solo mais lentamente, diminuindo a sua fixação no solo, além de apresentarem menor custo. Os fosfatos acidulados apresentam alta eficiência agrônômica em curto prazo, entretanto apresentam maior custo (PRADO *et al.*, 2001; CAIONE; FERNANDES; LANGE, 2013).

### **4.3 Dinâmica de P no solo**

Uma vez no solo, este elemento pode ser encontrado na fase sólida e líquida, desta maneira complexado nas formas de oxi-hidróxidos de Fe e Al e com a matéria orgânica como também livre na solução do solo. Uma vez que o solo apresenta uma baixa quantidade água armazenada em suas porosidades e baixas concentrações de P, a quantidade prontamente disponível as plantas é relativamente baixa, sendo deslocado da fase sólida para a líquida visando suprir essa carência (ANGHINONI; BISSANI, 2004).

As reações de intemperismo e o grau de incidência sobre os mais diversos tipos de solo podem atribuir aos mesmos as características de fonte ou dreno de P. Deste modo, quando realizada as adubações fosfatadas o solo adquire a função de fonte de

P para as plantas. Entretanto, solos com um alto grau de intemperismo passam a possuir características como maior eletropositividade, menor capacidade de troca de cátions, aumento da adsorção aniônica e diminuição da saturação por bases. Nesta situação o solo passa a disputar com a planta o P adicionado por meio dos fertilizantes fosfatados, tornando-se um dreno (NOVAIS; SMITH, 1999).

A literatura relata que a disponibilidade de P é relacionada com o nível de labilidade do elemento no solo, assim sendo, pelas interações que o P sofre na porção coloidal do solo. Se este elemento está presente em solução ou com baixa adsorção pode ser considerado lábil, se adsorvido com maior força aos colóides nas argilas e óxidos de Fe e Al é considerado não lábil. Conforme os processos de intemperismo agem no solo durante seu processo de formação, há uma diminuição das formas lábeis de P e um aumento das formas não lábeis (CROSS; SCHLESINGER, 1995).

Neste âmbito, os sistemas de cultivo atuam diretamente no gradiente e no comportamento deste nutriente no solo. Nos sistema onde é realizado plantio direto há um acúmulo de material orgânico na superfície, modificando a dinâmica deste elemento, pois o mesmo se acumula na superfície, elevando a fração orgânica, fato este decorrente da ausência de mobilização ou pela a produção de ácidos orgânicos que competem pelos sítios de retenção (RHEINHEIMER, 2000).

Assim como outros nutrientes do solo, o P pode sofrer processos de adsorção e disputa por sítios de absorção com outros compostos químicos presentes no solo. Esse fator está intrinsicamente ligado ao tipo, estado nutricional, condições ambientais, processos de intemperismo e matéria orgânica deste solo (RHEINHEIMER, 2000).

Quando relacionado a matéria orgânica, os solos podem sofrer o processo de adsorção de ácidos orgânicos provenientes da decomposição de matéria orgânica. Estes ácidos apropriam-se dos sítios de adsorção de fosfatos, desta maneira elevando sua disponibilidade para as plantas. Os mesmos podem formar complexos organo-metálicos entre Fe e Al. Contudo o pH do solo, a estrutura e massa molecular deste composto e sua taxa de concentração delimitam sua capacidade de competição pelos sítios de adsorção (ANDRADE *et al.*, 2003; SPOSITO, 1989).

O processo de adsorção competitiva entre o P e os ácidos orgânicos como também os ácidos húmicos e fúlvicos pelos sítios de adsorção nos colóides do solo,

tem como resultado positivo a elevação na concentração de P na solução do solo. Entretanto, estes ácidos podem sofrer uma alta taxa de mineralização, por esse motivo a incrementação de esterco animal, liberação de compostos pelas raízes e os processos fisiológicos dos microrganismos da rizosfera atuam como uma fonte contínua e eficientes de reposição destes ácidos, mantendo ativos os sítios de adsorção de P (ANDRADE *et al.*, 2003).

#### **4.4 Microrganismos solubilizadores de P**

Com o início da Revolução Verde em meados da década de 60, houve uma modernização da agricultura, com a implementação de novas tecnologias como maquinários mais potentes, criação de novos defensivos agrícolas e sementes com algum grau de modificação genética, sempre visando o aumento da produtividade (LOPES *et al.*, 2020).

Contudo, o uso massivo dessas novas tecnologias por grande e pequenos produtores sucitou de modo indireto o aumento da taxa de degradação de extensas faixas agrícolas, contribuindo para o decaimento da produção das culturas nessas áreas. A produção atrelada a essas técnicas, muitas vezes consideradas não sustentáveis, provocam danos ambientais como contaminação de recursos hídricos, solo e ar além dos altos riscos econômicos (RAI *et al.*, 2020).

Da necessidade da elaboração de novas tecnologias mais sustentáveis e menos poluentes aos recursos naturais, foram estabelecidas novas técnicas de manejo como a rotação de culturas, plantio em sistema direto, manejo integrado de pragas e doenças como também o uso de microrganismos capazes de solubilizar nutrientes de formas insolúveis para prontamente disponíveis as plantas, assim diminuindo a necessidade de grandes quantidades de adubações (ABHILASH *et al.*, 2016; LOPES *et al.*, 2020).

Estes microrganismo podem solubilizar as formas insolúveis de P pela produção de ácidos orgânicos, fosfatases ou agentes quelates. Denominadas bactérias solubilizadoras de fosfato (BSF), juntamente com algumas espécies fúngicas podem usar destes compostos para disponibilizar o P. As BSF compreendem de 1% a 50% das bactérias, tendo em mente as demais bactérias da rizosfera, com



ênfoque aos gêneros *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Azotobacter* e *Burkholderia* (OLIVEIRA-PAIVA *et al.*, 2009; GOMES *et al.*, 2014; ETESAMI; MAHESHWARI, 2017; KALAYU, 2019).

No ciclo do P no solo, as BSF realizam um papel fundamental nas fazes de dissolução-precipitação, sorção-dessorção e mineralização-imobilização. Os mecanismos empregados na solubilização podem ser descritos de três principais formas, sendo elas: produção e liberação de ácidos orgânicos, sideróforos, prótons, íons hidroxila, CO<sub>2</sub>; mineralização bioquímica de P por intermédio de ação de enzimas específicas e também mineralização biológica de P durante o processo de decomposição do substrato de crescimento (MCGILL; COLE, 1981).

Efeitos positivos provenientes da inoculação podem ser observados em grandes culturas. Na soja, a inoculação em consórcio ou isolada de espécies de *Bradyrhizobium* e *Pseudomonas* evidenciaram um aumento no rendimento de grãos de 38% em experimentos em vasos e 12% no experimento de campo. Estas cepas exudaram fitormônios como AIA e ácido giberélico, além de elevarem a disponibilidade de P em solução do solo (AFZAL *et al.*, 2010).

Em teste na mesma cultura, Ramesh *et al.* 2015, ao utilizarem cepas de *B. aryabhatai* evidenciaram sua capacidade de mineralizar fitato e solubilizar fosfato tricálcico, decorrendo em um aumento significativo das variáveis de crescimento, produtividade e teor de P disponível no solo.

#### 4.4.1 *Pseudomonas fluorescens*

Descrita pela primeira vez no século XIX pelo professor alemão Dr. Migula, o gênero de bactérias *Pseudomonas* é caracterizado pela presença de flagelo configurando sua motilidade e tem seu desenvolvimento reprodutivo por meio de esporos (KUMAR *et al.*, 2019).

Esse gênero de bacilos pode ser encontrado nos mais variados tipos de solo, água doce ou salgada, sendo agrupadas no grupo de gram-negativas (MICHEL-BRIAND; BAYSSE, 2002). Pertencente a este gênero, a espécie *P. fluorescens* é estudada amplamente, uma vez que apresenta resultados positivos quando inoculadas em plantas agricultáveis. Seus mecanismos de ação são descritos como controle de fitopatógenos mediados pela produção de compostos derivados de seu

metabolismo com ação antipatogênica e com capacidade de solubilizarem forma de P não lábeis presentes no solo (OLIVEIRA *et al.*, 2015; KAZI *et al.*, 2016).

#### 4.4.2 *Azospirillum sp.*

*Azospirillum* é uma das bactérias promotoras do crescimento vegetal mais estudadas, representa um modelo comum para interações planta-bactéria. Embora *Azospirillum brasilense* seja a espécie mais amplamente conhecida, pelo menos 22 espécies, incluindo 17 espécies firmemente validadas, foram identificadas, isoladas de solos agrícolas e habitats tão diversos quanto solos contaminados, produtos fermentados, fontes de sulfeto e combustível microbiano celular (CASSAN *et al.*, 2020).

Nos últimos 40 anos, estudos sobre *Azospirillum* e interações entre plantas introduziram uma ampla gama de mecanismos para demonstrar os impactos benéficos dessa bactéria no crescimento das plantas segundo o autor supracitado. O modo de ação do *Azospirillum* é múltiplo, e a importância de cada um desses mecanismos pode variar dependendo das condições de solo e clima e da solubilização de minerais como ferro e fósforo, que a planta utiliza. (BASHAN & BASHAN, 2010). Esses mecanismos eventualmente produzem plantas maiores e, em muitos casos, mais produtivas (DÍAZ-ZORITA *et al.*, 2015) (GARCÍA *et al.*, 2017). *Azospirillum* melhorou o rendimento das culturas de trigo, milho, arroz e cana-de-açúcar. (BASHAN; BASHAN, 2010).

Segundo Colmer (2005), *Azospirillum sp.* é um dos tipos mais eficientes de bactérias fixadoras de nitrogênio de vida livre, pois pesquisas indicaram que cerca de cem cepas de bactérias fixadoras de nitrogênio podem ser isoladas da rizosfera, mas *Azospirillum* não é considerado o mais eficiente na fixação. Funciona para melhorar o crescimento das plantas através da secreção de alguns hormônios, enzimas, vitaminas e reguladores de crescimento, o que reflete positivamente no estado de crescimento da planta e aumenta sua produtividade ao usar diferentes concentrações de sal.

#### 4.4.3 *Bacillus aryabhatai*

É uma bactéria gram positiva, de formato bastonete, formação de endósporos, e com colônias de 5 a 8 mm de diâmetro. Desde então, algumas estirpes foram isoladas na rizosfera em vários lugares do mundo. A ação promotora de crescimento desta bactéria foi relatada inicialmente em *Xanthium italicum*, na Coreia do Sul (LEE *et al.*, 2012).

No Brasil, a bactéria promoveu o crescimento do milho sob estresse hídrico devido a sua capacidade de formar um biofilme e produção de exopolissacarídeos que protegem a planta contra o impacto da falta de água (KAYAMURA, 2012). Em estudos na década passada, Park *et al.* (2017) demonstraram a promoção de crescimento em plantas de soja em condições de estresse térmico. Desta forma, o presente trabalho teve como objetivo verificar se a bactéria *Bacillus aryabhatai* tem potencial para controle de *Meloidogyne incognita* em milho.

## 5 MATERIAL E MÉTODOS

### 5.1 Localização e caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido na área da Estação Experimental da Universidade Tecnológica do Paraná (UTFPR), Câmpus de Dois vizinhos, coordenadas: 25,693903 S e 53,094609 W, com altitude média de 530 m. O clima da região é classificado como Cfa (subtropical úmido), segundo a classificação de Koeppen (MAACK, 1968). O solo da área é classificado como Latossolo bruno (EMBRAPA, 2006) com textura argilosa e relevo suave.

Foi utilizado delineamento de blocos casualizados com três repetições em arranjo fatorial 4 x 2, 3 x 2 + 1. Sendo 3 bactérias e uma mistura de bactérias e dois tipos de solos (com alto e baixo teor de P) mais um tratamento controle. Para facilitar a visualização, lista-se os seguintes tratamentos:

- 1 – Sementes de Milho sem inoculação (Controle);
- 2 – Sementes de Milho inoculados com *Azospirillum brasilense* Cepas AbV5 e AbV6 em solo argiloso com alto teor de fósforo;
- 3 – Sementes de Milho inoculados com *Azospirillum brasilense* Cepas AbV5 e AbV6 em solo argiloso com baixo teor de fósforo;
- 4 - Sementes de Milho inoculados com *Pseudomonas fluorescens* BR 14810 em solo argiloso com alto teor de fósforo;
- 5 - Sementes de Milho inoculados com *Pseudomonas fluorescens* BR 14810 em solo argiloso com baixo teor de fósforo;
- 6 - Sementes de Milho inoculados com *Bacillus aryabhattai* CMAA 1363 em solo argiloso com alto teor de fósforo;
- 7 - Sementes de Milho inoculados com *Bacillus aryabhattai* CMAA 1363 em solo argiloso com baixo teor de fósforo;
- 8 - Sementes de Milho inoculados com *Bacillus aryabhattai* CMAA 1363 + *Pseudomonas fluorescens* BR 14810 em solo argiloso com alto teor de fósforo;
- 9 - Sementes de Milho inoculados com *Bacillus aryabhattai* CMAA 1363 + *Pseudomonas fluorescens* BR 14810 em solo argiloso com baixo teor de fósforo;

As unidades experimentais (UE) foram compostas por três canos PVC de 150 mm de diâmetro e comprimento de 1,5 m onde foi semeado 4 sementes de milho por cano. A inoculação da semente foi realizada respeitando a dose recomendada do produto (2 ml/kg).

Uma dose conhecida foi diluída em água a fim de que se tenha volume de calda conhecido para tratar 0,5 kg de semente. Logo após a inoculação, as sementes foram semeadas a 4 cm de profundidade nos canos de PVC. Os canos foram irrigados com 300 ml de água a cada 3 dias.

**Imagem 1: a) sementes de milho após inoculação com os respectivos tratamentos; b) esquema de semadura das sementes de milho; c) plântulas de milho 14 dias após semeadura; d) organização dos tubos com as plântulas.**



Fonte: O autor (2022)

Os canos foram previamente preenchidos com diferentes tipos de solo, já analisados. Foram colocados a mesma quantidade de solo nos canos a fim de evitar diferentes densidades e um possível erro experimental.

**Figura 1: Análises das amostras de solo com alto e baixo teor de P**

Solo Alto P								
pH CaCl <sub>2</sub>	MO g/dm <sup>3</sup>	P mg/dm <sup>3</sup>	K cmolc/dm <sup>3</sup>	Cu mg/dm <sup>3</sup>	Fe mg/dm <sup>3</sup>	Zn mg/dm <sup>3</sup>	Mn mg/dm <sup>3</sup>	
4,1	22,78	32,63	0,75	0	0	0	0	
SMP	Al <sup>3+</sup> cmolc/dm <sup>3</sup>	H+Al cmolc/dm <sup>3</sup>	Ca cmolc/dm <sup>3</sup>	Mg cmolc/dm <sup>3</sup>	SB cmolc/dm <sup>3</sup>	V cmolc/dm <sup>3</sup>	Sat. Al cmolc/dm <sup>3</sup>	
5,3	1,05	8,36	1,4	1,3	3,45	29,21	23,33	
Solo Baixo P								
pH CaCl <sub>2</sub>	MO g/dm <sup>3</sup>	P mg/dm <sup>3</sup>	K cmolc/dm <sup>3</sup>	Cu mg/dm <sup>3</sup>	Fe mg/dm <sup>3</sup>	Zn mg/dm <sup>3</sup>	Mn mg/dm <sup>3</sup>	
5	9,38	1,98	0,04	0	0	0	0	
SMP	Al <sup>3+</sup> cmolc/dm <sup>3</sup>	H+Al cmolc/dm <sup>3</sup>	Ca cmolc/dm <sup>3</sup>	Mg cmolc/dm <sup>3</sup>	SB cmolc/dm <sup>3</sup>	V cmolc/dm <sup>3</sup>	Sat. Al cmolc/dm <sup>3</sup>	
6,9	0	2,54	0,8	0,7	1,54	37,75	0	

**Fonte: O autor (2022)**

As amostras de solo utilizadas para os experimentos apresentaram uma grande discrepância entre suas variáveis relacionadas a fertilidade em relação aos solos com alto e baixo teor de P. Esta diferença proporcionou a possibilidade de análise das ação das bactérias em diferentes níveis de fertilidade, evidenciando sua efetividade. Assim sendo a amostra contendo 32,63 P mg/dm<sup>3</sup> é caracterizada como solo com alta concentração de fósforo da mesma maneira, a amostra contendo 1,98 P mg/dm<sup>3</sup> é caracterizada como solo com baixa concentração do elemento.

## 5.2 Avaliações

Para avaliação das variáveis propostas, aos 30 dias após a emergência, as plantas foram retiradas do solo, mantendo sua integridade. Foram lavadas até a retirada total das partículas de solo contidas em suas raízes e folhas, sendo separadas em parte aérea e radicular. Para a análise da biomassa verde das raízes e parte aérea, após a lavagem as plantas coletadas foram secas com o auxílio de papéis e pesadas em seguidas. Já para avaliação da biomassa seca, após a lavagem, as plantas foram postas para secagem em estufa de circulação de ar a uma temperatura de 60 °C por um tempo de 72 horas, depois desse período, as plantas foram pesadas.

## 5.3 Análise estatística

A análise estatística foi feita pelo teste de Tukey a 5% de significância no software Assistat.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em observação aos resultados obtidos, pode-se perceber a interação entre os diferentes níveis de fertilidade do solo e os microrganismos solubilizadores de fósforo (P) para todas as variáveis estudadas.

Em relação a massa verde da parte aérea (tabela 2), é possível observar que houve interação entre os fatores.

**Tabela 1: Massa verde parte área (MVPA - g) de plantas de milho em função dos microrganismos solubilizadores de P e diferentes níveis de fertilidade do solo**

MVPA	Controle	Azospirillum	Pseudomonas	Bac. Aryabhatai	Pse + B. Aryabhatai
Solo Baixo P	19,23 Ba	19,53 Ba	18,66 Ba	18,89 Ba	17,56 Ba
Solo Alto P	29,33 Ac	43,83 Aa	41,86 Aa	37,73 Aab	30,90 Abc

Letras maiúscula diferentes na coluna e minúscula nas linhas diferem pelo teste de tukey a 5% de probabilidade.

**Fonte: O autor (2022)**

Pode-se destacar que a massa verde da parte aérea das plantas de milho foi superior para todos os microrganismos nos tratamentos com solo com alto teor de P, demonstrando a importância da presença do elemento em níveis críticos no solo. Mesmo no tratamento controle, a MVPA no tratamento com alto teor de P foi 10,1g superior ao tratamento com solo com baixo teor de P. Em percentagem, essa diferença é de 65% superior no tratamento com solo com alto P.

Em comparação as bactérias solubilizadoras de P dentro dos diferentes níveis de fertilidade do solo, é possível observar que no solo com baixo teor de P, todas foram estatisticamente iguais, não diferindo do controle sem a adição das bactérias solubilizadoras de P. Este resultado nos mostra que para que haja efeito das bactérias promotoras de crescimento, faz-se necessário haver uma quantidade mínima de P no solo, bem como boas condições para que a mesma consiga se desenvolver e desempenhar seu papel.

Almeida (2020), ao trabalhar com a inoculação de cepas de *Azospirillum* sp., *Pseudomonas* sp. e *Aryabhatai* sp. em sementes de milho observou um incremento acima de 10% em relação ao grupo controle no crescimento foliar, resultando em um

maior peso da matéria verde da parte aérea. Da mesma forma, Silva (2022) ao investigar a ação deste mesmo grupo de bactérias encontrou resultados semelhantes, havendo incremento significativo nas alturas das plantas, área foliar e principalmente relacionado a produção aos grupos de controle sem nenhum tipo de inoculação.

O fato da baixa resposta a inoculação em solos com baixo P pode estar associado as bactérias precisarem inicialmente do P para seu metabolismo, e somente em um segundo momento desempenharem seu papel como promotoras de crescimento (RICHARDSON; SIMPSON, 2011). Deste modo, o menor efeito para a MVPA pode ter relação direta com a baixa presença de P, limitando de certa maneira a ação das bactérias inoculadas previamente.

No tratamento com alto teor de P, apenas a mistura da *Pse* + *B. Aryabhatai* não diferiram do controle. No entanto, o uso de *Azospirillum* e *Pseudomonas* isolados apresentaram incremento de 33 e 29,9% respectivamente, demonstrando resultado, efeito do seu uso em condições com boa fertilidade do solo.

Quando observados os dados relacionados a massa seca das plantas analisadas (tabela 2), pode-se perceber um maior acúmulo de material vegetal em indivíduos presentes em condições de solo com alta concentração em Fósforo. Nos tratamentos com baixa concentração em Fósforo, não houve diferença estatística entre as bactérias promotoras de crescimento e o tratamento controle, com valores de variaram de 2,1 a 2,4 gramas de peso total de massa seca da biomassa aérea das plantas.

**Tabela 2: Massa seca (g) da parte área de plantas de milho em função dos microorganismos solubilizadores de P e diferentes níveis de fertilidade do solo.**

MSPA	Controle	Azospirillum	Pseudomonas	Bac. Aryabhatai	Pse. + B. Aryabhatai
Solo baixo P	2,2 Ba	2,2 Ba	2,4 Ba	2,3 Ba	2,1 Ba
Solo Alto P	3,7 Ab	5,1 Aa	4,6 Aa	4,7 Aa	3,5 Ab

Letras maiúscula diferentes na coluna e minúscula nas linhas diferem pelo teste de tukey a 5% de probabilidade.

**Fonte: O autor (2022)**

Para esta variável (tabela 2), as bactérias *Azospirillum* sp., *Pseudomonas* sp. e *Aryabhatai* sp. obtiveram um aumento respectivo de 1.4, 0.9 e 1.0 g em relação ao controle, demonstrando assim um efeito positivo das mesmas quando presentes em solos com alta concentração de Fósforo disponível. O incremento de massa seca foi de 27,4, 19,6 e 21,3% respectivamente. Tratamentos esses, foram estatisticamente



iguais entre si, sendo superiores à coinoculação entre *Pseudomonas* sp. e *Aryabhattai* sp. e ao controle.

Mediante as funcionalidades e aplicações das bactérias solubilizadoras de Fósforo, a literatura relata um grande interesse do setor agrícola nacional relacionado a sua pesquisa para o melhor aproveitamento dos campos produtivos e redução das adubações realizadas. Brito *et al.*, (2022), constataram o acúmulo de MS na parte área de plantas de milho inoculadas previamente com cepas de *Bacillus* sp. Da mesma forma, Martins (2020), ao trabalhar com *Pseudomonas* sp. *Azospirillum* sp. obtiveram resultados semelhantes ao presente trabalho.

De acordo com Somers *et al.*, 2004; Novo *et al.*, 2018, estas espécies de microrganismos possuem diversas atividades biológicas que denotam um efeito positivo sobre a fisiologia e o desenvolvimento da cultura as quais são inoculadas. Estes benefícios são descritos como, além de solubilizarem formas não-lábeis de Fósforo, fitoestimuladores, favorecendo o crescimento das plantas por meio da ação de hormônios; rizorremediadoras, realizando a clivagem de moléculas de substâncias poluentes como também biopesticidas, beneficiando no controle de doenças e patógenos.

Desta forma, o acúmulo expressivo de matéria seca e verde da parte aérea notado nos tratamentos presentes em solos com alto teor de Fósforo, podem ser associados com a ação dos fitohormônios no alongamento celular e tecidual das plantas inoculadas bem como a produção de ácidos orgânicos pelas mesmas e sua ação na solubilização de formas não-lábeis de Fósforo. Somado a isso, as diferenças na parte área muitas vezes ocorrem como um efeito indireto das mudanças e interações que ocorrem a nível de rizosfera.

Para a variável referente a massa verde das raízes (tabela 3), de forma similar aos resultados obtidos para parte aérea, é possível notar que em solos com baixa presença de Fósforo as plantas de milho apresentaram resultados similares quando comparados as diferentes bactérias promotoras de crescimento e o tratamento controle.

**Tabela 3: Massa verde das raízes de plantas de milho em função dos microorganismos solubilizadores de P e diferentes níveis de fertilidade do solo**

MVRaíz	Controle	Azospirillum	Pseudomonas	Bac. Aryabhatai	Pse. + B. Aryabhatai
Solo baixo P	17,93 Aa	17,8 Ba	19,73 Ba	18,06 Ba	17,33 Ba
Solo Alto P	18,33 Ac	36,36 Aa	36,23 Aa	27,00 Ab	28,06 Ab

Letras maiúscula diferentes na coluna e minúscula nas linhas diferem pelo teste de tukey a 5% de probabilidade.

**Fonte: O autor (2022)**

Para as bactérias em solos com alto teor de Fósforo, o uso de *Azospirillum* sp. e *Pseudomonas* sp. resultaram em maiores incrementos no desenvolvimento radicular (36,36 e 36,23 g), quando comparados ao controle. O uso conjunto da *Pseudomonas* sp. + *Aryabhatai* sp. ou o uso isolado do *B. Aryabhatai*. apesar de apresentar incrementos de massa verde de raiz de 32,2 e 34% respectivamente em relação ao controle, não diferiram do mesmo.

O Fósforo participa ativamente no metabolismo e crescimento vegetal, formando diretamente a molécula energética do ATP (Adenosina Trifosfato), composto esse que fornece energia para processos como fotossíntese, divisão celular, transporte de assimilados e carga genética. Com a disponibilidade deste mineral em níveis adequados, o organismo vegetal cresce e desenvolve suas partes aéreas e radiculares sem nenhuma interferência (CABRAL *et al.*, 2020).

Com a ação das bactérias em solubilizar fontes de Fósforo, a quantidade deste elemento é elevada no solo e sua absorção pelas plantas aumenta conseqüentemente. Deste modo, o fósforo manifesta suas ações biológicas na planta. O organismo vegetal tem energia suficiente para processos de alongamento, expansão e diferenciação celular do meristema radicular (VASCONCELOS; FIGUEIREDO; de OLIVEIRA, 2021). Assim o aumento no acúmulo de massa verde nas raízes é decorrente do aumento da disponibilização de Fósforo vinda da solubilização das bactérias.

Para Almeida, (2020); Silva, (2022), é possível perceber o efeito citado anteriormente. Sementes de milho inoculadas com bactérias das espécies *Azospirillum* sp., *Pseudomonas* sp. e *Aryabhatai* sp. resultaram em plantas com um maior acúmulo de matéria verde em suas raízes, fato este em decorrência da ação positiva da maior disponibilidade de Fósforo para a planta.

De modo semelhante aos demais resultados encontrados, os dados obtidos para a variável da matéria seca (tabela 4), é possível observar que o maior acúmulo de material vegetal foi encontrado em plantas inoculadas com microrganismo em solo com alta concentração de Fósforo (32 mg dm<sup>3</sup>).

O maior valor (8,03 g) observado no tratamento com *Azospirillum* sp. quando comparado ao tratamento controle, demonstra o grande potencial de uso desta bactéria como promotora de crescimento. Todos os demais microrganismos, apesar de serem semelhantes segundo a análise estatística, demonstraram superioridade no acúmulo de matéria seca nas raízes, em uma média de 24,03%.

Para os resultados referentes as plantas inoculadas presentes no solo com baixa concentração em Fósforo, nota-se que mesmo tendo um acúmulo menor que os tratamentos em solo com alta concentração de Fósforo, houve um acúmulo de matéria seca nas raízes maior que o tratamento controle apenas para o microrganismo *Azospirillum* sp. (6,06 g) evidenciou o maior aumento de matéria seca nas raízes, diferenciando-se estatisticamente dos demais microrganismos inoculados. Os demais tratamentos permaneceram semelhante ao grupo controle, de maneira estatística.

**Tabela 4: Massa seca das raízes de plantas de milho em função dos microrganismos solubilizadores de P e diferentes níveis de fertilidade do solo**

MSRaíz	Controle	Azospirillum	Pseudomonas	Bac. Aryabhatai	Pse. + B. Aryabhatai
Solo baixo P	3,53 Bb	4,1 Ba	3,63 Bab	3,97 Bab	3,76 Bb
Solo Alto P	6,0 Ab	8,03 Aa	7,36 Aab	6,70 Aab	6,23 Ab

Letras maiúscula diferentes na coluna e minúscula nas linhas diferem pelo teste de tukey a 5% de probabilidade.

**Fonte: O autor (2022)**

De modo geral, a mistura das bactérias *Pseudomonas* + *B. Aryabhatai* apresentou para todas as variáveis uma resposta intermediária em relação ao seu uso isolado. Importante destacar que ocorrem a nível de rizosfera, diversas interações e que estas são muito afetadas pelas condições do ambiente. Não descarta a hipótese de competição entre as bactérias por recursos e/ou mesmo antagonismo entre as mesmas.

Dentre as funcionalidades fisiológicas do Fósforo no tecido vegetal, está a regulação da síntese proteica, sendo fundamental na formação e estruturação dos

ácidos nucleicos. De modo, a atuar diretamente na criação de novos tecidos e na divisão celular dos tecidos pré-existentes (BULL *et al.*, 2004; BARBOSA *et al.*, 2015).

Com o aumento da solubilização das formas de Fósforo presentes no solo, os microrganismos disponibilizam este elemento de maneira a suprir as necessidades fisiológicas da planta, fazendo com que o Fósforo desempenhe suas funções biológicas com êxito. Neste âmbito, em trabalho realizado por Porto *et al.* (2020), ao analisarem a aplicação de diferentes microrganismos eficazes na solubilização assim como *Azospirillum brasiliense*, observaram que para as variáveis de matéria seca de parte aérea, matéria seca da raiz e comprimento da raiz ocorreu aumento expressivo em relação aos demais tratamentos.

Assim, pode-se perceber que com o aumento da disponibilidade de fósforo ocasionado pela bactéria *Azospirillum sp.*, as plantas presentes mesmo na presença do solo com baixo teor de Fósforo absorveram esse elemento, dispondo em desenvolvimento. Uma vez alocado no metabolismo, pode-se inferir pelos resultados obtidos, que o elemento atuou no meristema radicular, promovendo um aumento na diferenciação celular e tecido radicular, deste modo elevando o volume de raízes e conseqüentemente seu peso seco.

Importante seguir as avaliações para novos protocolos que avaliem o potencial produtivo das espécies de grãos, a fim de entender processos de uso das bactérias promotoras de crescimento.

## 7 CONCLUSÕES

A massa seca da parte aérea e sistema radicular das plantas de milho apresentaram-se superioridade no solo com alto teor de fósforo em relação ao solo com baixo teor de fósforo.

Não houve diferença para massa seca da parte área das plantas de milho entre o tratamento controle e as bactérias promotoras de crescimento no solo com baixo teor de fósforo. No entanto, para a massa seca de raíz, o *Azospirillum* foi superior ao tratamento controle nas condições de solo com diferentes teores de fósforo..

O uso das bactérias promotoras de crescimento *Azospirillum*, *Pseudomonas* e *Bacillus aryabhatai* apresentaram maior massa seca da parte área das plantas de milho em relação ao tratamento com *Pseudomonas* + *B. aryabhatai*, que não diferiu do tratamento controle no solo com alto teor de fósforo. No solo com baixo teor de fósforo, todos os tratamentos foram iguais, porém, todos apresentaram menor massa seca em relação aos tratamentos com alto teor de fósforo.

O uso conjunto de *Pseudomonas* + *B. aryabhatai* apresentou massa seca de raíz inferior ao tratamento isolado com *Azospirillum* no solo com baixo teor de fósforo. Todos os tratamentos no solo com alto teor de fósforo apresentaram maior peso radicular que os tratamentos no solo com baixo fósforo.

## REFERÊNCIAS

- ABHILASH, P. C. C.; DUBEY, R. K.; TRIPATHI, V.; GUPTA, V. K. & SINGH, H.B. Plant Growth-Promoting Microorganisms for Environmental Sustainability. **Trends in Biotechnology**, 34 (11), 847-850, nov. 2016.
- AFZAL, A.; BANO, A., & FÁTIMA, M. Higher soybean yield by inoculation with N-fixing and P-solubilizing bacteria. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 30, p. 487-495, jul. 2010.
- ALMEIDA, I. V. **Bactérias promotoras de crescimento vegetal em milho: absorção de nitrogênio, solubilização de fosfato e produção**. 2020. Tese (Mestrado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2020.
- ANDRADE, F. V.; MENDONÇA, E. S.; ALVAREZ, V. H., & NOVAIS, R. F. Adição de ácidos orgânicos e húmicos em latossolos e adsorção de fosfato. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.1003-1011, dez. 2003.
- ANGHINONI, I.; BISSANI, C.A. Fósforo e adubos fosfatados. In: BISSANI, C.A *et al.*, F.A.O. (Org.). Fertilidade do solo e Manejo da Adubação de Culturas. 1 ed. Porto Alegre, **Genesis**, v.1, 2004. p.117-138.
- BARBOSA, N. C.; ARRUDA, E. M., BROD, E., & PEREIRA, H. S. Distribuição vertical do fósforo no solo em função dos modos de aplicação. **Bioscience Journal**, v. 31, n. 1, p. 87-95, jan. 2015.
- BASHAN, Y.; BASHAN, L. E. Como a bactéria promotora do crescimento vegetal *Azospirillum* promove o crescimento vegetal — uma avaliação crítica. Em *Avanços em Agronomia; Faíscas*, DL, Ed.; Elsevier Inc.: Amsterdã, Holanda, 2010; Volume 108, pp. 78–122.
- BRANCO, S. M.; MURGEL, P. H., & CAVINATTO, V. M. Compostagem: solubilização biológica de rocha fosfática na produção de fertilizante organomineral. **Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 6, n. 3, p. 115-122, agos. 2001.
- BRITO, L. E. M.; da MATA REZENDE, A. L. A., da SILVA, C. O. C., da SILVA, H. D., da SILVA, C. D. R., & da LUZ, J. H. S. Desenvolvimento e nutrição inicial do milho com inoculação do biomaphos® associado a fontes fosfatadas. **Agri-environmental sciences**, v. 8, n. 2, p. 12-12, set. 2022.
- BULL, L. T.; COSTA, M. C. G.; NOVELLO, A., FERNANDES, D. M.; & VILLAS BÔAS, R. L. Doses and forms of application of phosphorus in vernalized garlic. **Scientia Agrícola**, v. 61, n. 5, p. 516-521, oct. 2004.
- CABRAL, F. L.; BASTOS, A. V. S.; TEIXEIRA, M. B.; da SILVA, E. C.; SOARES, F. A. L.; & SANTOS, L. N. S. Níveis de fertilização de fósforo mineral e organomineral na cultura do milho. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 6, p. 36414-36426, jun. 2020.
- CASSÁN, F *et al.*, Tudo o que você deve saber sobre *Azospirillum* e seu impacto na agricultura e além. **Biol Fertil Soils** 56, 461–479 (2020).
- CATANI, R. A.; BATAGLIA, O. C. **Formas de ocorrência de fósforo no solo Latossólico Roxo**. An. Esc. Super. Agric. Luiz de Queiroz, Piracicaba, v.25, p.99-119, out. 1968
- COLMER, T. D.; MUNNS, R.; & FLOWERS, T. J. Improving salt tolerance of wheat and barley: further prospects. **Aust J Exp Agr** 45:1425– 1443, dez. 2005.

CONAB (Companhia Nacional do Desenvolvimento) Conab prevê novo recorde na produção de grãos em 312,4 milhões de toneladas na safra 2022/23. **Últimas notícias**. Outubro 2022. Disponível em: < <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/4774-conab-preve-novo-recorde-na-producao-de-graos-em-312-4-milhoes-de-toneladas-na-safra-2022-23>>. Acesso em: 08 nov. 2022.

COSTA, P. B.; BENEDUZI, A.; de SOUZA, R.; SCHOENFELD, R.; VARGAS, L. K.; & PASSAGLIA, L. M. The effects of different fertilization conditions on bacterial plant growth promoting traits: guidelines for directed bacterial prospection and testing. **Plant and Soil**, v.368, n.1-2, p.267-280, nov. 2013.

CROSS, A. F.; SCHLESINGER, W. H. A literature review and evaluation of the Hedley fractionation: Applications to the biogeochemical cycle of soil phosphorus in natural ecosystems, **Geoderma**, v.64, p.197-214, jan. 1995.

da SILVA, A. C. B.; COELHO, T. N.; FERREIRA, E. L.; & de SOUZA, P. E. **CIÊNCIAS AGRÁRIAS: O AVANÇO DA CIÊNCIA NO BRASIL - USO E EFEITO DOS BIOINSUMOS NA AGRICULTURA**. 4. ed. São Paulo: Ed. Científica Digital, 2022, p. 192-205.

DANTAS JUNIOR, E. E.; CHAVES, L. H. G.; & FERNANDES, J. D. Lâminas de irrigação localizada e adubação potássica na produção de milho verde, em condições semiáridas. **Espacios**, v.37, n.27, p.26, set. 2016.

de VASCONCELOS, M. J. V.; FIGUEIREDO, J.; & de OLIVEIRA, M. F. Estudos bioquímicos e morfológicos em genótipos de milho contrastantes para eficiência no uso de fósforo. set. 2021.

DÍAZ-ZORITA, M, *et al.*, Avaliação de Campo de Culturas Extensivas Inoculadas com *Azospirillum* sp. No Manual do *Azospirillum*, Questões Técnicas e Protocolos ; Cassan, FD. *et al.*, Eds.; **Springer**: Cham, Suíça, 2015; pp. 435–445.

ETESAMI, H.; EMAMI, S.; & ALIKHANI, H.A. Potassium solubilizing bacteria (KSB): mechanisms, promotion of plant growth, and future prospects: a review. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 17, n. 4, p. 897-911, abr. 2017.

FERREIRA, F. N.; RIBEIRO, V. P.; MELO, I. G.; MARRIEL, I. E.; de SOUZA, F. A.; & de OLIVEIRA, C. A. Avaliação do crescimento de milho co-inoculado com microrganismos solubilizadores de fósforo, fungos micorrízicos e *Azospirillum*. In: **Congresso nacional de milho e sorgo**, 31., 2016, Bento Gonçalves. Milho e sorgo: inovações, mercados e segurança alimentar. Sete Lagoas: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2016.

GARCÍA, J. E.; MARONICHE, G.; CREUS, C.; SUÁREZ-RODRÍGUEZ, R.; RAMIREZ-TRUJILLO, J. A.; & GROPPA, M. D. Propriedades PGPR in vitro e tolerância osmótica de diferentes cepas nativas de *Azospirillum* e seus efeitos no crescimento do milho sob estresse hídrico. **Microbiol. Res.** v. 202, 21–29. set. 2017.

GOMES, E.; SILVA, U. D. C.; MARRIEL, I. E.; de OLIVEIRA, C. A.; & LANA, U. G. D. P. Rock phosphate solubilizing microorganisms isolated from maize rhizosphere soil. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 13, n. 1, p. 69-81, jul. 2014.

GONÇALVES, F. A. R. **Modos de aplicação de fósforo na cultura da cenoura e adsorção iônica em Biochar de batata**. 2018. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal de Viçosa, Rio Paranaíba, 2018.

HEINSCH, R. L. **Uso de inoculante para a solubilização de fósforo em cultivo do milho**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Faculdade da Amazônia, Vilhena, 2021.

HUSSAIN, A. A.; ABO GHALIA, H. H.; & ABDALLAH, S. A. Rock phosphate solubilization by Aspergilli species grown on olive-cake waste and its application in plant growth improvement. **Egyptian Journal of Biology**, v. 3, p. 89-86, ago. 2001.

KALAYU, G. Phosphate solubilizing microorganisms: promising approach as biofertilizers. **International Journal of Agronomy**, v. 2019, p. 1-7, jun. 2019.

KAVAMURA, V.N. **Bactérias associadas às cactáceas da Caatinga: promoção de crescimento de plantas sob estresse hídrico**. Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba – SP. 244p. 2012

KAZI, N.; DEAKER, R.; WILSON, N.; MUHAMMAD, K.; & TRETOWAN, R. Response of wheat genotypes to inoculation with *Azospirillum brasilense* in the field. **Field Crops Research**, 196,368-378, set. 2016.

KUMAR, H.; FRANZETTI, L.; KAUSHAL, A.; & KUMAR, D. *Pseudomonas fluorescens*: A potential food spoiler and challenges and advances in its detection. **Annals of microbiology**, 69(9), 873-883, jul. 2019.

LAUTHARTE, D.; QUISINSKI, A.; HAUSCHILD, F. E. G.; & PORTELA, E. F. M. A avaliação da eficiência do uso de solubilizador de fósforo no desenvolvimento da cultura da soja em São Luiz Gonzaga-RS. **Salão Integrado de Ensino, Pesquisa e Extensão da Uergs (SIEPEX)**, v. 1, n. 10, nov. 2021.

LEE S, K. A.; JO, SONG H. G. GROWTH promotion of *Xanthium italicum* by application of rhizobacterial isolates of *Bacillus aryabhattai* in microcosm soil. **J Microbiol**. p. 45–49, fev. 2012

MARTIN, T. N.; STECCA, J. D. L.; DEAK, E. A.; SINTRA, F. F.; MARTINS, M. F.; & VEY, R. T. Microrganismos promotores de crescimento, fixadores de nitrogênio e solubilizadores na cultura da soja. **Tecnologias Aplicadas para o Manejo Rentável e Eficiente da Cultura da Soja**, p. 69, fev. 2022.

MARTINS, D. N. **Comparação entre o *Bacillus megaterium* e *Pseudomonas fluorescens* no desenvolvimento e reprodução da cultura do milho**. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Agrônoma) – Centro Universitário Sul de Minas, Varginha, 2020.

MCGILL, W. B.; COLE, C. V. Comparative aspects of cycling of organic C, N, S and P through soil organic matter. **Geoderma**, v. 26, n. 4, p. 267-268, nov. 1981.

MENDES, W. D.; SOBRINHO, C. A. M.; MARTINS, W. S.; MURAISHI, C. T.; de SOUZA, M. P.; ADAMS, G. S.; & de 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, p. e65111637828-e65111637828, nov. 2022.

MICHEL-BRIAND, Y.; & BAYSSE, C. The pyocins of *Pseudomonas aeruginosa*. **Biochimie**, 84(5-6),499-510, jun. 2002.

MORAES, G. A. **Corretivos incorporados ou não no preparo do solo para a cultura do milho (*Zea mays*)**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia). Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, Rio Verde, GO, 2022.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa: UFV, DPS, 1999. 399p.



NOVAKOWISKI, J. H.; SANDINI, I. E.; FALBO, M. K.; de MORAES, A.; NOVAKOWISKI, J. H.; & CHENG, N. C Efeito residual da adubação nitrogenada e inoculação de *Azospirillum brasilense* na cultura do milho. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 32, dez. 2011.

NOVO, L. A.; CASTRO, P. M.; ALVARENGA, P.; & da SILVA, E. F. Plant growth-promoting rhizobacteria-assisted phytoremediation of mine soils. In: Bio-geotechnologies for mine site rehabilitation. **Elsevier**, p. 281-295,

OLIVEIRA, M. A.; ZUCARELI, C.; FERREIRA, A. S.; DOMINGUES, A. R.; SPOLAOR, L. T.; & NEVES, C. S. Adubação fosfatada associada à inoculação com *Pseudomonas fluorescens* no desempenho agrônômico do milho. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 38, n. 1, p. jan. 18-25, 2015.

OLIVEIRA, C. A.; COTA, L. V.; MARRIEL, I. E.; GOMES, E. A.; de SOUSA, S. M.; LANA, U. D. P.; & ALVES, V. M. C. Viabilidade técnica e econômica do Biomaphos® (*Bacillus subtilis* CNPMSB2084 e CNPMSB119) nas culturas de milho e soja. Embrapa Milho e Sorgo, **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, nov. 2010.

OLIVEIRA, C. A.; MARRIEL, I. E.; GOMES, E. A.; COTA, L. V.; dos SANTOS, F. C.; de SOUSA, S. M.; & VASCO JUNIOR, R. Recomendação agrônômica de cepas de *Bacillus subtilis* (CNPMS B2084) e *Bacillus megaterium* (CNPMS B119) na cultura do milho. Milho e Sorgo, fev. 2020.

OLIVEIRA-PAIVA, C. A.; ALVES, V. M. C.; MARRIEL, I. E.; GOMES, E. A.; SCOTTI, M. R.; CARNEIRO, N. P.; & SÁ, N. M. H. Phosphate solubilizing microorganisms isolated from rhizosphere of maize cultivated in an oxisol of the Brazilian Cerrado Biome. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 41, n. 9, p. 1782-1787, set. 2009.

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

PELEJA, V. L.; REGO, A. K. C.; da SILVA JÚNIOR, M. L.; FURTADO, A. C. S.; FELSEMBURGH, C. A.; & TRIBUZY, E. S. Interferência do alumínio no crescimento radicular, absorção e acúmulo de fósforo em plantas de paricá. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 11, n. 1, p. 1-8, jan. 2020.

PORTO, L. S.; COSTA, R. R. G. F.; SILVA, F. V.; & ROCHA, A. F. S. Micro-organismos eficazes e *Azospirillum brasilense*: efeitos sobre a produtividade do milho. **Revista de Biotecnologia & Ciência**, v. 9, n. 2, p. 11-21, set. 2020.

RAI, P. K.; SINGH, M.; ANAND, K.; SAURABH, S.; KAUR, T.; KOUR, D.; & KUMAR, M. Role and potential applications of plant growthpromoting rhizobacteria for sustainable agriculture. **Trends of Microbial Biotechnology for Sustainable Agriculture and Biomedicine Systems: Diversity and Functional Perspectives**, Elsevier, 2020. p. 49-60.

RAMESH, A.; SHARMA, S. K.; & SHARMA, M. P. Isolation and characterization of phytate-mineralizing and phosphate-solubilizing *Bacillus aryabhatai* strains associated with rhizosphere of soybean cultivated in Vertisols of Central India. **International Journal of Basic and Applied Agricultural Research**, v. 13, p. 263-282, set. 2015.

RESENDE, A. V.; & FURTINI NETO, A. E. Aspectos relacionados ao manejo da adubação fosfatada em solos do cerrado. Planaltina: **Embrapa Cerrados**, dez. 2007.

RHEINHEIMER, D. S. **Dinâmica do fósforo em sistemas de manejo de solos**. 2000. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2000.

- RICHARDSON, A. E.; SIMPSON, R.J. Soil microorganisms mediating phosphorous underexploited benefits for plants. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 34, n. 7, p. 94-102, fev. 2020.
- RODRIGUES, V. S.; SOUSA, G. D.; SARAIVA, S. E. L.; CARDOSO, E. D. C.; PEREIRA FILHO, J. V.; & VIANA, T. D. A. Atributos químicos do solo em área cultivada com milho sob irrigação com água salina. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza. v.12, n.27, p.3129-3138, nov. 2018.
- SAMPAIO, L. A.; de OLIVEIRA, R. G.; CAMPOLINO, M.; GOMES, E.; LANA, U. D. P.; OLIVEIRA-PAIVA, C. A.; & de SOUSA, S. M. Responsividade de genótipos de sorgo à inoculação com microrganismos solubilizadores de fosfato em solos argiloso e arenoso. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 33., 2022, Sete Lagoas. Brasil: 200 anos de independência: sustentabilidade e desafios para a cadeia produtiva de grãos: resumos. Sete Lagoas: **Associação Brasileira de Milho e Sorgo**, 2022.
- SANTOS, A. O.; PRADO, H., Análise de interações solo-planta-clima em zonas diferenciadas de área de cultivo de milho, **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 1, p 101–106, abr. 2002.
- SILVA, A. S. L. **Promoção de crescimento em milho pela inoculação e coinoculação de Azospirillum, Bacillus E Pseudomonas**. 2022. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Curso de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, 2022.
- SILVA, S.; SOARES, M. A. S.; NASCIMENTO, R.; TEODORO, I.; SILVA, C.; COSTA, C. T. S.; & MOURA, A. Physiological and productive responses of maize submitted to irrigation depths at diferente seasons of cultivation. **International Journal of Development Research**, v. 09, n. 12, p. 32529- 32536, set. 2019.
- SOMERS, E.; VANDERLEYDEN, J.; & SRINIVASAN, M. Rhizosphere bacterial signalling: a love parade beneath our feet. **Critical reviews in microbiology**, v. 30, n. 4, p. 205-240, out. 2004.
- SOUZA, G. P.; FIGUEIREDO, C. C. D.; & SOUSA, D. M. G. D. Soil organic matter as affected by management systems, phosphate fertilization, and cover crops. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 51, n. 9, p. 1668-1676. Set. 2016.
- SPOSITO, G. The Chemistry of Soils. **Oxford University Press**, New York, p. 304, 1989.
- TIRITAN, C. S. et al. Adubação fosfatada mineral e organomineral no desenvolvimento do milho. **Colloquium Agrariae**, Presidente Prudente, v. 6, n. 1, p. 8-14. 2010.
- VAN RAIJ, B.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; & FURLANI, A. M. C. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo Campinas: IAC, 1997.
- VASSILEV, N.; MEDINA, A.; AZCON, R.; & VASSILEVA, M. Microbial solubilization of rock phosphate on media containing agro-industrial wastes and effect of the resulting products on plant growth and P uptake. **Plant and Soil**, v. 287, n. 1, p. 77-84, mai. 2006.
- VORPAGEL, A. G. **Inoculação de azospirillum, isolado e associado à bioestimulante, em milho**, 2010. Trabalho de Conclusão de curso (Graduação em Agronomia) - Curso de Agronomia, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí. 2010.