

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

LETICIA FERNANDES DO PRADO TRANKER

**DESENVOLVIMENTO DO MILHO (*Zea mays* L.) COM O USO DE BACTÉRIAS
PROMOTORAS DO CRESCIMENTO EM DIFERENTES TIPOS DE SOLO**

DOIS VIZINHOS

2023

LETICIA FERNANDES DO PRADO TRANKER

**DESENVOLVIMENTO DO MILHO (*Zea mays* L.) COM O USO DE BACTÉRIAS
PROMOTORAS DO CRESCIMENTO EM DIFERENTES TIPOS DE SOLO**

**Development of corn (*Zea mays* L.) with the use of growth-promoting bacteria
in diferente types of soil**

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: Prof. Dr. Paulo Fernando Adami

DOIS VIZINHOS

2023



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

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.

LETICIA FERNANDES DO PRADO TRANKER

**DESENVOLVIMENTO DO MILHO (*Zea mays* L.) COM O USO DE BACTÉRIAS
PROMOTORAS DO CRESCIMENTO EM DIFERENTES TIPOS DE SOLO**

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).

Data de aprovação: 11/dezembro/2023

Prof. Paulo Fernando Adami.
Doutor em Produção Vegetal
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Dois Vizinhos

Prof. Laércio Ricardo Sartor
Doutor em Produção Vegetal
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Dois Vizinhos

Prof. Lucas da Silva Domingues
Doutor em Agronomia
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Dois Vizinhos

DOIS VIZINHOS

2023

AGRADECIMENTOS

Prezados,

Gostaria de expressar meus sinceros agradecimentos a todos que contribuíram para a minha formação acadêmica e pessoal.

Especialmente à minha mãe, Mari, que não mediu esforços para que eu pudesse chegar até aqui, e aos meus irmãos, Eduarda e Djeremy, que são o amor e o orgulho mais puro e sincero dentro de mim. Com vocês sei que nunca estarei só.

Agradeço ao meu orientador Prof. Paulo Adami, pela dedicação, orientação e ensinamentos ao longo de toda a jornada acadêmica. A todos os professores e profissionais que, de alguma forma, contribuíram para a minha formação.

Aos amigos, colegas de curso e de PET - AF, pelo compartilhamento de experiências, apoio e momentos de descontração que tornaram essa jornada mais leve e enriquecedora.

Atenciosamente,

Leticia Tranker

RESUMO

A disponibilidade de fósforo é um dos maiores limitantes a obtenção de altas produtividades na cultura do milho. Neste sentido, as bactérias promotoras de crescimento e solubilizadoras de Fósforo (P), desempenham um papel importante na nutrição das plantas e que podem propiciar um melhor desenvolvimento. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito das bactérias *Azospirillum brasilense*, *Bacillus subtilis* + *megaterium*, *Bacillus subtilis* + *megaterium* com *Azospirillum* no desenvolvimento de plantas de milho, em diferentes tipos de solos com alto (27,7 mg dm³) e baixo teor de fósforo (1,64 mg dm³), argiloso e misto (50% areia). As plantas de milho nos tratamentos com *B. subtilis* + *B. megaterium* demonstraram níveis mais elevados de Clorofila A, indicando eficácia superior desses microrganismos, independentemente dos tipos de solo e teores de fósforo. Não houve diferenças significativas nos parâmetros da parte aérea das plantas entre os tratamentos, sendo observado diferenças entre os níveis de fertilidade do solo, aonde os solos com maiores teores de fósforo, especialmente em solo argiloso e misto apresentaram melhores resultados. Quanto às raízes, os tratamentos com *Azospirillum* e a combinação de *B. subtilis* + *B. megaterium* com *Azospirillum* resultaram em raízes mais longas e maior peso, observadas tanto em solo com alto teor de P quanto em solo com alto teor de P misto.

Palavras-chave: milho; solubilização de fósforo; solo; produtividade.

ABSTRACT

Phosphorus availability is one of the biggest limitations to obtaining high corn yield. In this sense, bacteria that promote growth and solubilize phosphorus (P) may play an important role in plant nutrition allowing better development. Thus, the objective of this work was to evaluate the effect of the bacteria *Azospirillum brasilense*, *Bacillus subtilis* + *megaterium* and *Bacillus subtilis* + *megaterium* with *Azospirillum* on the development of corn plants, in different types of soils with high (27.7 mg dm³) and low phosphorus content (1.64 mg dm³), clayey and mixed (50% sand). Corn plants in treatments with *B. subtilis* + *B. megaterium* showed higher levels of Chlorophyll A, indicating superior efficacy of these microorganisms, regardless of soil types and phosphorus levels. There were no significant differences in the parameters of the aerial part of the plants between the results, with differences being distributed between soil fertility levels, alongside soils with higher phosphorus contents, especially in clayey soil and jointly evaluated as the best. As for roots, treatments with *Azospirillum* and the combination of *B. subtilis* + *B. megaterium* with *Azospirillum* resulted in longer and heavier roots, observed in both high-P and mixed high-P soil.

Keywords: corn; phosphorus solubilization; soil; productivity.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: a) Avaliação de teores de clorofila com Clorofilômetro; b) Retirada da terra das raízes com água corrente	25
Figura 2: a) Medição da raiz com trena; b) Pesagem da massa verde da parte aérea (g cano); c) pesagem da massa seca da raiz (g cano); d) pesagem da massa seca da parte aérea (g cano)	26
Figura 3: Teores de Clorofila A em plantas de milho em função das bactérias promotoras do crescimento e os diferentes tipos de solo	27
Figura 4: Teores de Clorofila B em plantas de milho em função das bactérias promotoras do crescimento e diferentes tipos de solo	28
Figura 5: Comprimento (cm) da parte aérea de plantas de milho em função dos diferentes tipos de solos e bactérias.....	30
Figura 6:: Massa (g) verde (A) e seca (B) da parte aérea de plantas de milho em função dos diferentes tipos de solos e bactérias.....	31
Figura 7: Comprimento (cm) de raízes de plantas de milho em função dos diferentes tipos de solos e bactérias.....	33
Figura 8: Massa (g) verde (A) e seca (B) das raízes de plantas de milho em função dos diferentes tipos de solos e bactérias.....	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Análises das amostras de solo com alta e baixa fertilidade	24
---	-----------

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	JUSTIFICATIVA.....	16
3	OBJETIVOS	17
3.1	Objetivo geral.....	17
3.2	Objetivos Específicos	17
4	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
4.1	Cultura do Milho	18
4.2	Importância do Fósforo (P).....	20
4.3	Bactérias promotoras de crescimento vegetal (BPCP).....	20
4.3.1	<i>Bacillus sp.</i>	21
4.3.2	<i>Azospirillum sp.</i>	22
5	MATERIAIS E MÉTODOS	23
5.1	Localização e caracterização da área experimental.....	23
5.2	Delineamento experimental	23
5.3	Avaliações.....	25
5.4	Análise estatística	26
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES	27
6.1	Clorofila A e B.....	27
6.2	Parte aérea	29
6.3	Raízes	32
7	CONCLUSÃO	36
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS	36
	REFERÊNCIAS.....	37

1 INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.), é amplamente reconhecido como uma das culturas mais significativas em termos econômicos em todo o mundo. Isso se deve ao fato de que o grão de milho é utilizado de diversas formas, seja consumido in natura ou processado pela indústria para a fabricação de uma ampla variedade de produtos destinados à alimentação tanto humana quanto animal. Além disso, a cultura do milho desempenha um papel fundamental na geração de empregos e no impulsionamento do setor do agronegócio. O Brasil se destaca como um dos principais produtores mundiais de milho, ocupando a 3ª posição no ranking global de produção. Além disso, o país conta com a maior extensão de terras destinadas ao cultivo de milho. Essa posição de destaque no mercado global de milho é reflexo da importância que essa cultura desempenha na economia brasileira, contribuindo para a segurança alimentar, a geração de receita e o fortalecimento do setor agrícola nacional (EMBRAPA, 2020).

A alta produtividade do milho não é apenas influenciada pela genética natural da planta, mas também depende do uso de várias técnicas no manejo antes e após a semeadura. Nesse contexto, o fósforo (P) é um dos macronutrientes essenciais para o crescimento das plantas, desempenhando um papel crítico em seus processos metabólicos.

No entanto, a disponibilidade de fósforo no solo é frequentemente limitada, apesar de sua presença abundante em formas orgânicas e inorgânicas. Apenas cerca de 0,1% do fósforo presente no solo está prontamente disponível para as plantas, devido à sua capacidade limitada de absorção. Para suprir essa demanda, é necessário o uso de fertilizantes fosfatados, que são produtos formulados para fornecer esse nutriente essencial às plantas. Os fertilizantes fosfatados desempenham um papel fundamental na agricultura, ajudando a superar a limitação natural de disponibilidade de fósforo no solo. Eles são aplicados para garantir que as plantas tenham acesso a uma fonte adequada de fósforo, que é necessário para o desenvolvimento de suas raízes, flores, frutos e sementes. No entanto, o uso excessivo ou inadequado de fertilizantes fosfatados pode resultar em problemas ambientais, como a precipitação de fósforo em corpos d'água, causando poluição (WALPOLA, 2012).

Uma abordagem mais sustentável para enfrentar esse desafio tem ganhado espaço no mercado agrícola. Consiste no uso de microrganismos solubilizadores de

fósforo, que são organismos microscópicos presentes no solo capazes de transformar formas insolúveis de fósforo em formas solúveis que as plantas podem absorver. Essa abordagem visa reduzir a dependência de fertilizantes fosfatados convencionais e minimizar os impactos ambientais associados à sua aplicação em excesso. Além disso, a utilização de microrganismos solubilizadores de fósforo pode promover uma gestão mais eficaz e sustentável dos recursos naturais, contribuindo para a conservação do solo e da água (WALPOLA, 2012).

Os microrganismos solubilizadores de fósforo desempenham um papel essencial na conversão do fósforo insolúvel em formas solúveis, tornando-o disponível para as plantas. Esses microrganismos são geralmente de vida livre, mas sua capacidade de realizar essa função depende da presença de material orgânico no solo ou na água. Eles fornecem um importante meio ecológico para transformar o fosfato insolúvel em uma forma que as plantas podem absorver. Além de sua função na disponibilização de fósforo, esses microrganismos desempenham um papel significativo na saúde do solo. Suas atividades têm impactos diretos e indiretos, influenciando processos como a exsudação de compostos solúveis pelas raízes das plantas, a decomposição da matéria orgânica do solo e o armazenamento e liberação de nutrientes e água. Isso contribui para a fertilidade do solo e a capacidade das plantas de acessar os nutrientes de que precisam para crescer de maneira saudável (WALPOLA, C. B.; YOON, M., 2012).

A interação entre *Bacillus subtilis*, *Bacillus megaterium* e *Azospirillum* representa uma abordagem eficaz na promoção do crescimento de plantas de milho (*Zea mays* L.). Essas bactérias benéficas exercem influências positivas por meio de diferentes mecanismos. O *B. subtilis* e *B. megaterium* são reconhecidos por sua capacidade de produzir hormônios vegetais, como auxinas, que estimulam o desenvolvimento radicular e o crescimento das plantas. Além disso, essas bactérias promovem a solubilização de nutrientes, incluindo fósforo, tornando-os mais acessíveis às plantas. O *Azospirillum*, por sua vez, é conhecido por sua habilidade de fixação biológica de nitrogênio e pela produção de substâncias que beneficiam o crescimento das plantas. A combinação sinérgica dessas bactérias cria um ambiente propício para o desenvolvimento saudável das plantas de milho, aumentando a absorção de nutrientes, melhorando a resistência a estresses ambientais e contribuindo para uma maior eficiência no uso de recursos. Essa estratégia, baseada na aplicação desses microrganismos no solo, destaca-se como uma prática

sustentável que pode impulsionar a produtividade agrícola, reduzir a dependência de fertilizantes químicos e promover um equilíbrio ambiental saudável (CASSÁN, 2020).

A qualidade do solo desempenha um papel fundamental na produtividade da cultura do milho, pois o solo é um sistema vivo onde uma vasta gama de reações e transformações ocorrem constantemente. O desenvolvimento bem-sucedido da cultura de milho pode ser dificultado em solos que apresentam características adversas, tais como alta compactação, inadequada drenagem, deficiência de nutrientes, entre outros (conforme observado por FILHO, 2007). Estas condições desfavoráveis no solo podem impactar negativamente o crescimento, o rendimento e a saúde das plantas de milho, tornando a gestão e o cuidado do solo um elemento-chave na busca por uma produtividade agrícola sustentável.

O propósito deste estudo é realizar uma avaliação do crescimento de plantas de milho em vários tipos de solos, empregando diferentes bactérias promotoras de crescimento disponíveis no mercado. O objetivo é investigar técnicas que possam contribuir para o aumento da produtividade da cultura de milho, enquanto minimiza a utilização de fertilizantes químicos e maximiza seus efeitos.

2 JUSTIFICATIVA

A utilização de *Bacillus* e *Azospirillum* na inoculação de sementes de milho, visando promoção de crescimento radicular e absorção de fósforo, fundamenta-se na busca por estratégias sustentáveis e eficientes para otimizar o desenvolvimento das plantas. O fósforo, um nutriente essencial para o crescimento das culturas, desempenha um papel crucial na síntese de compostos energéticos e no transporte de biomoléculas.

A relevância dessa abordagem torna-se ainda mais evidente diante de desafios econômicos e ambientais. O preço elevado do fósforo representa uma carga significativa nos custos de produção, tornando imperativa a busca por alternativas que reduzam essa oneração. Além disso, as fontes de fósforo são limitadas, e a dependência de recursos finitos ressalta a necessidade de práticas agrícolas mais sustentáveis.

Adicionalmente, a eficiência de uso do fósforo nas culturas é historicamente baixa. A inoculação com microrganismos benéficos como *Bacillus* e *Azospirillum* oferece uma abordagem promissora para melhorar a absorção de fósforo pelas plantas, aumentando a eficiência no uso desse nutriente essencial. Essa estratégia não apenas contribui para mitigar os desafios econômicos associados aos altos custos e à escassez de fontes de fósforo, mas também alinha-se com a busca por práticas agrícolas sustentáveis, promovendo um equilíbrio entre produtividade e conservação dos recursos naturais.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

Avaliar a ação das bactérias *Azospirillum sp.*, *Bacillus subtilis* + *magaterium* e *Azospirillum sp.* associado com *Bacillus subtilis* + *magaterium* como promotoras do crescimento em solos com diferentes teores fósforo e argila.

3.2 Objetivos Específicos

- Avaliar a influência das bactérias no teor de clorofila A e B, altura de planta (cm), massa (g) verde e seca da parte aérea e raízes das plantas de milho.
- Avaliar como as características do solo impactam o acúmulo de matéria verde e seca no sistema radicular de plantas de milho que foram inoculadas com bactérias promotoras do crescimento.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Cultura do Milho

O milho (*Zea mays* L.) é uma planta pertencente à família Poaceae e tem uma história de cultivo que remonta a mais de 7.000 anos, sendo particularmente proeminente nos Estados Unidos e no Brasil. A notável adaptabilidade do milho é evidenciada pela diversidade de genótipos disponíveis, o que possibilita o seu cultivo em uma ampla gama de regiões climáticas e geográficas. Essa versatilidade agrícola tornou o milho um pilar essencial na alimentação tanto humana quanto animal. O milho se destaca por sua riqueza em nutrientes, com uma composição que inclui diversos aminoácidos essenciais e a capacidade de fornecer uma fonte significativa de energia. Isso faz com que o milho seja um recurso valioso para garantir a segurança alimentar de populações em todo o mundo, além de desempenhar um papel fundamental na produção de rações para o gado e outros animais. É uma cultura de extrema importância devido à sua longa história de cultivo, adaptabilidade global e seu papel vital na alimentação tanto de seres humanos quanto de animais, graças à sua composição rica em nutrientes e alto valor energético (BARROS, 2014).

No âmbito da agricultura, é importante ressaltar que o cultivo de milho desempenha um papel significativo na dinâmica econômica, uma vez que essa cultura compõe uma cadeia produtiva extensa, influenciando de maneira positiva a geração de um considerável volume de empregos. Os números impressionantes da produção de milho no Brasil, sobretudo durante a safra de 2021/22, merecem destaque, uma vez que registraram uma produtividade excepcional que ultrapassou a marca de 114 mil toneladas, em uma área de produção estimada em torno de 22 milhões de hectares. Esse desempenho expressivo não apenas consolida a importância do milho como cultura agrícola no cenário brasileiro, mas também ressalta o impacto socioeconômico positivo que essa atividade gera ao contribuir para a geração de empregos e a expansão da economia do país (CONAB, 2022).

A estrutura da planta de milho é notável em sua complexidade. Ela é composta por uma haste cilíndrica com nós e entrenós compactos. Cada nó localizado abaixo do solo é responsável pela produção de raízes, enquanto os nós que se encontram ao nível do solo ou acima dele podem dar origem a perfilhos e esporões. As folhas da planta de milho são estreitas e alongadas, podendo permanecer em um estado rudimentar ou desenvolver-se para formar as espigas, que são um dos aspectos mais

distintivos do milho. O sistema radicular do milho exhibe características típicas das gramíneas, com raízes fasciculadas que se desenvolvem a partir dos primórdios presentes no embrião da planta. Esse sistema radicular é capaz de se estender a profundidades de até 2 metros, permitindo uma busca eficaz por nutrientes e água no solo (FILHO, 2007).

De acordo com Filho (2007), o desenvolvimento do milho passa por estágios claramente definidos, com as fases vegetativa (V) e reprodutiva (R) representando marcos importantes. A fase vegetativa é caracterizada pelo crescimento da planta e a formação de folhas, e suas subdivisões ajudam a determinar o número de folhas que surgem antes do florescimento. Já a fase reprodutiva se inicia no florescimento e continua até a maturidade fisiológica da planta, marcando o período em que as espigas se desenvolvem e amadurecem. Essa estrutura complexa e o ciclo de desenvolvimento bem definido do milho desempenham um papel crucial na sua produção e no sucesso das colheitas.

Em geral, o milho é adaptável a vários tipos de solo, mas prefere solos profundos com textura intermediária e boa estrutura para armazenar água e nutrientes. Solos compactados, com má drenagem e deficiências nutricionais prejudicam o crescimento do milho. O milho requer vários nutrientes, incluindo nitrogênio, fósforo, potássio, e cálcio, que são acumulados em diferentes partes da planta em diferentes estágios de desenvolvimento. O potássio é absorvido em maior quantidade durante o estágio vegetativo inicial, enquanto o nitrogênio e o fósforo têm dois picos de absorção no estágio vegetativo e no estágio reprodutivo, durante a formação da espiga (CRUZ, 2011).

O desenvolvimento saudável da cultura do milho está diretamente relacionado às condições do solo em que é cultivado. Idealmente, o pH do solo para o milho deve situar-se entre 6 e 7, embora o cultivo possa ser viável em uma faixa mais ampla, variando de 5,5 a 8. Quando o pH do solo se desvia desses valores ideais, podem ocorrer problemas de toxidez com alguns nutrientes em condições extremas ou deficiências na disponibilidade de nutrientes essenciais.

A composição do solo, especificamente o teor de argila, também é um fator determinante na disponibilidade de água e nutrientes. Solos com maior teor de argila tendem a reter mais água e nutrientes, proporcionando um ambiente mais favorável para o crescimento do milho em comparação com solos mais arenosos, onde a disponibilidade de água e nutrientes é geralmente menor. Portanto, a análise e o

manejo adequado do solo desempenham um papel crucial na obtenção de um rendimento satisfatório na cultura do milho (FILHO, 2001).

4.2 Importância do Fósforo (P)

O fósforo (P) desempenha um papel fundamental no crescimento e desenvolvimento dos organismos vivos, sendo um macronutriente essencial para o metabolismo das plantas, especialmente em seus estágios iniciais. É crucial na formação de ATP (trifosfato de adenosina), que é a principal fonte de energia para processos vitais, como a divisão celular, transporte de assimilados e energia para a fotossíntese (FINGER, 2002; SOUSA, 2010; TAIZ & ZEIGER, 2013).

No entanto, os solos geralmente contêm baixos teores de fósforo solúvel, em torno de 0,1 mg de P por litro de solo, devido à sua baixa solubilidade e alta adsorção às partículas do solo. Isso o torna um dos principais limitadores da produtividade, especialmente em solos que não recebem adubações adequadas. Os sintomas de deficiência de fósforo em plantas, como o milho, incluem emergência e crescimento mais lentos, coloração arroxeadas nas folhas mais antigas, necrose subsequente e maior suscetibilidade a doenças, resultando em redução da produtividade (FERREIRA, 2012).

O fósforo no solo pode ser encontrado em duas formas principais: orgânica, originada da decomposição de resíduos vegetais e atividades microbianas, e inorgânica, que pode ser encontrada em solução, precipitada com Al, Fe e Ca ou adsorvida a óxidos de Fe e Al na fração argila do solo. Essas formas coexistem em equilíbrio com a solução do solo e compõem a fração lábil de fósforo no ambiente (MARTINAZZO *et al.*, 2007; GATIBONI *et al.*, 2013).

Devido à baixa disponibilidade de fósforo solúvel no solo, é frequentemente necessário aplicar doses elevadas de fertilizantes fosfatados para atender às necessidades das plantas. No entanto, grande parte desse fósforo aplicado acaba sendo retido no solo e tem baixa absorção pelas plantas. Isso levanta preocupações sobre a eficiência do uso de fósforo em sistemas agrícolas.

4.3 Bactérias promotoras de crescimento vegetal (BPCP)

Uma estratégia para mitigar os impactos ambientais resultantes da utilização contínua de fertilizantes químicos é a adoção de bactérias promotoras de crescimento

de plantas (BPCP). Essas bactérias ocorrem naturalmente no solo, no entanto, em ambientes com condições ambientais desfavoráveis, a contagem das bactérias cultiváveis pode ser notavelmente baixa. Independentemente da quantidade de bactérias presentes em uma determinada fração do solo, elas podem exercer três tipos diferentes de influência sobre as plantas: benéfica, prejudicial ou neutra. Uma bactéria específica pode favorecer o crescimento das plantas ao facilitar a fixação de nitrogênio ou a solubilização do fósforo, embora, frequentemente, essas bactérias sejam escassas no solo.

Essas bactérias têm a capacidade de promover o desenvolvimento das plantas de maneira favorável, tanto como organismos de vida livre quanto por meio de relações simbióticas específicas com as plantas. Uma característica essencial das BPCP é sua capacidade de solubilizar e mineralizar o fósforo inorgânico. Embora o fósforo seja abundantemente presente no solo, as plantas têm uma capacidade limitada de absorvê-lo devido à sua baixa mobilidade no solo. Isso ocorre frequentemente como resultado da ação de ácidos orgânicos, como discutido por SHODA (2012).

4.3.1 *Bacillus sp.*

O *Bacillus subtilis* e o *Bacillus megaterium* são duas espécies de bactérias Gram-positivas do gênero *Bacillus* que desempenham papéis significativos na promoção do crescimento vegetal e na agricultura sustentável.

O *Bacillus subtilis* é conhecido por sua versatilidade e eficácia em diversas aplicações. Essa bactéria é capaz de produzir uma variedade de compostos, incluindo antibióticos, enzimas e hormônios vegetais, que podem influenciar positivamente o desenvolvimento das plantas. Além disso, o *B. subtilis* tem a capacidade de formar esporos resistentes, permitindo sua sobrevivência em condições adversas do solo. Quando aplicado em sistemas agrícolas, atua como um biofertilizante e promotor de crescimento vegetal. Ele coloniza as raízes das plantas, melhorando a absorção de nutrientes, estimulando o desenvolvimento radicular e aumentando a resistência contra patógenos do solo. Sua presença também pode induzir respostas de defesa nas plantas, fortalecendo seu sistema imunológico natural (OWEN *et al.*, 2015).

O *Bacillus megaterium*, por sua vez, destaca-se pelo seu potencial na promoção do crescimento das plantas e na melhoria da qualidade do solo. Essa bactéria tem a capacidade de solubilizar fosfatos, tornando o fósforo mais acessível

para as plantas, um nutriente essencial para o crescimento saudável. Além disso, o *B. megaterium* contribui para a decomposição da matéria orgânica, favorecendo a ciclagem de nutrientes no solo (GUPTA *et al.*, 2015; RIBEIRO *et al.*, 2018).

A espécie, *Bacillus sp.*, têm sido exploradas como componentes importantes em inoculantes agrícolas. Esses produtos são utilizados para melhorar a saúde do solo, aumentar a eficiência no uso de nutrientes e reduzir a dependência de insumos químicos, contribuindo assim para práticas agrícolas mais sustentáveis e ambientalmente amigáveis.

4.3.2 *Azospirillum sp.*

O *Azospirillum* é um gênero de microrganismos de vida livre amplamente distribuído em diversos ambientes na Terra. Diversas pesquisas indicam que o *Azospirillum* tem a capacidade de estimular o crescimento e aumentar a produtividade em várias culturas, algumas das quais possuem significativa importância agrônômica ou ecológica. Os benefícios proporcionados por esse gênero provavelmente decorrem de uma combinação de fatores (BASHAN *et al.*, 2004).

Os *Azospirillum* desempenham um papel crucial ao produzirem fitormônios que estimulam o desenvolvimento das raízes, resultando em uma maior absorção de água e melhor capacidade de assimilação de nutrientes menos móveis no solo, como o fósforo. Isso confere às plantas uma maior resistência aos estresses ambientais, resultando em uma vigorosidade e produtividade aprimoradas. Além disso, a capacidade do *Azospirillum* de promover a fixação do nitrogênio atmosférico ao associar-se a várias culturas de gramíneas ou plantas não leguminosas indiretamente contribui para a disponibilidade de fósforo para as plantas. Isso ocorre devido à capacidade aprimorada de exploração do solo pelas raízes, criando condições propícias para o desenvolvimento e atividade metabólica da população microbiana na rizosfera. Apesar de várias espécies serem empregadas em diversas culturas como uma alternativa para aumentar a produção com custos reduzidos, é essencial garantir que tais práticas não comprometam o ambiente (REIS, 2007).

5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 Localização e caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental de Culturas Anuais, na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Dois Vizinhos, que possui coordenadas 25°41'33" S e 53°05'36" W e altitude média de 530 metros. Segundo o Köppen, o clima local é classificado como cfa, clima subtropical úmido sem estação definida, temperatura média do mês mais quente de 22°C e com baixa frequência de geadas (ALVARES *et al.*, 2013). O solo da área é classificado como Latossolo Vermelho Distroférico (BHERING; SILVIO, 2008).

5.2 Delineamento experimental

O delineamento experimental adotado foi o de blocos ao acaso, seguindo um esquema fatorial 4 x 4, com três repetições, totalizando 48 parcelas (canos de PVC). Foram consideradas duas bactérias distintas (presentes em produtos comerciais), uma mistura dos produtos e um controle sem inoculação em quatro tipos de solo. Para melhor compreensão, enumeram-se os seguintes tratamentos:

- 1 – Sementes de Milho sem inoculação (controle) em solo argiloso com alto teor de fósforo (SAP);
- 2 - Sementes de Milho sem inoculação (controle) em solo argiloso com alto teor de fósforo e 50% de areia (SAPM);
- 3 - Sementes de Milho sem inoculação (controle) em solo argiloso com baixo teor de fósforo (SBP);
- 4 - Sementes de Milho sem inoculação (controle) em solo argiloso com baixo teor de fósforo e 50% de areia (SBPM);
- 5 - Sementes de Milho inoculadas com *Azospirillum brasilense* em solo argiloso com alto teor de fósforo (SAP);
- 6 - Sementes de Milho inoculadas com *Azospirillum brasilense* em solo argiloso com alto teor de fósforo e 50% de areia (SAPM);
- 7 - Sementes de Milho inoculadas com *Bacillus subtilis* (cepas BRM 2084) e *megaterium* (cepas BRM 119) em solo argiloso com baixo teor de fósforo (SBP);
- 8 - Sementes de Milho inoculadas com *Bacillus subtilis* (cepas BRM 2084) e *megaterium* (cepas BRM 119) em solo argiloso com baixo teor de fósforo e 50% de areia (SBPM);

9 - Sementes de Milho inoculadas com *Bacillus subtilis* (cepas BRM 2084) e *megaterium* (cepas BRM 119) + *Azospirillum brasilense* e em solo argiloso com alto teor de fósforo (SAP);

10 - Sementes de Milho inoculadas com *Bacillus subtilis* (cepas BRM 2084) e *megaterium* (cepas BRM 119) + *Azospirillum brasilense* e em solo argiloso com alto teor de fósforo e 50% de areia (SAPM);

11 - Sementes de Milho inoculadas com *Bacillus subtilis* (cepas BRM 2084) e *megaterium* (cepas BRM 119) + *Azospirillum brasilense* e em solo argiloso com baixo teor de fósforo (SBP);

12 - Sementes de Milho inoculadas com *Bacillus subtilis* (cepas BRM 2084) e *megaterium* (cepas BRM 119) + *Azospirillum brasilense* e em solo argiloso com baixo teor de fósforo e 50% de areia (SBPM);

As unidades experimentais (UE) foram constituídas por tubos de PVC, cada um com 150 mm de diâmetro e comprimento de 1,5 m, nos quais foram plantadas quatro sementes de milho por tubo. A aplicação dos produtos na semente (Híbrido AG 9021) seguiu a quantidade recomendada pelo fabricante e foi de 2 ml kg de semente.

Uma quantidade conhecida foi diluída em água para obter um volume de solução conhecido, destinado a tratar 0,5 kg de semente. Após a inoculação, as sementes foram plantadas a uma profundidade de 4 cm nos canos de PVC. Os canos foram irrigados com 300 ml de água em intervalo de três dias.

Os solos escolhidos foram coletados da camada superficial convencional e das encostas, representando solos com diversos níveis de fertilidade, já previamente analisados. Adicionalmente, foram misturados com 50% de areia para gerar solos com texturas médias, simulando assim o comportamento das bactérias em solos arenosos.

As amostras de solo passaram por análise de fertilidade, cujos resultados podem ser consultados na tabela 1.

Tabela 1: Análises das amostras de solo com alta e baixa fertilidade

Solo Alta Fertilidade					
pH CaCl ₂	MO g/dm ³	P mg/dm ³	K cmolc/dm ³	SMP	Al ³⁺ cmolc/dm ³
4,5	33,51	27,70	0,28	6,5	0,22
H+Al cmolc/dm ³	Ca cmolc/dm ³	Mg cmolc/dm ³	SB cmolc/dm ³	V cmolc/dm ³	Sat. Al cmolc/dm ³
3,42	1	1,1	2,38	41,03	8,46
Solo Baixa Fertilidade					

pH CaCl ₂	MO g/dm ³	P mg/dm ³	K cmolc/dm ³	SMP	Al ³⁺ cmolc/dm ³
4,9	17,42	1,64	0,07	6	0,08
H+Al cmolc/dm ³	Ca cmolc/dm ³	Mg cmolc/dm ³	SB cmolc/dm ³	V cmolc/dm ³	Sat. Al cmolc/dm ³
4,96	2,1	1,7	3,87	43,83	2,03

Fonte: Autoria própria (2023)

Os solos utilizados no experimento apresentaram notáveis disparidades em suas variáveis relacionadas à fertilidade, especialmente nos solos com teores elevado e reduzido de fósforo (P), potássio (K) e matéria orgânica (MO). Essa divergência permitiu a análise das ações das bactérias em diferentes níveis de fertilidade, destacando sua eficácia. Portanto, a amostra com 27,70 mg dm³ de fósforo é classificada como solo com elevada concentração de fósforo, enquanto a amostra com 1,64 mg dm³ é caracterizada como solo com baixa concentração do referido elemento.

5.3 Avaliações

Cerca de 30 dias após a emergência da cultura, quando as plantas de milho estavam no estágio vegetativo V4, procedeu-se à avaliação dos teores de clorofila nas folhas (figura 1). Para isso, utilizou-se o Clorofilômetro ClorofiLOG Falker® CFL 1030, um instrumento que permitiu medições indiretas, sem causar danos às plantas, com base nas propriedades óticas das folhas, conforme descrito por ARGENTA *et al.* (2001). As leituras foram realizadas na penúltima folha expandida de duas plantas por vaso.

Figura 1: a) Avaliação de teores de clorofila com Clorofilômetro; b) Retirada da terra das raízes com água corrente

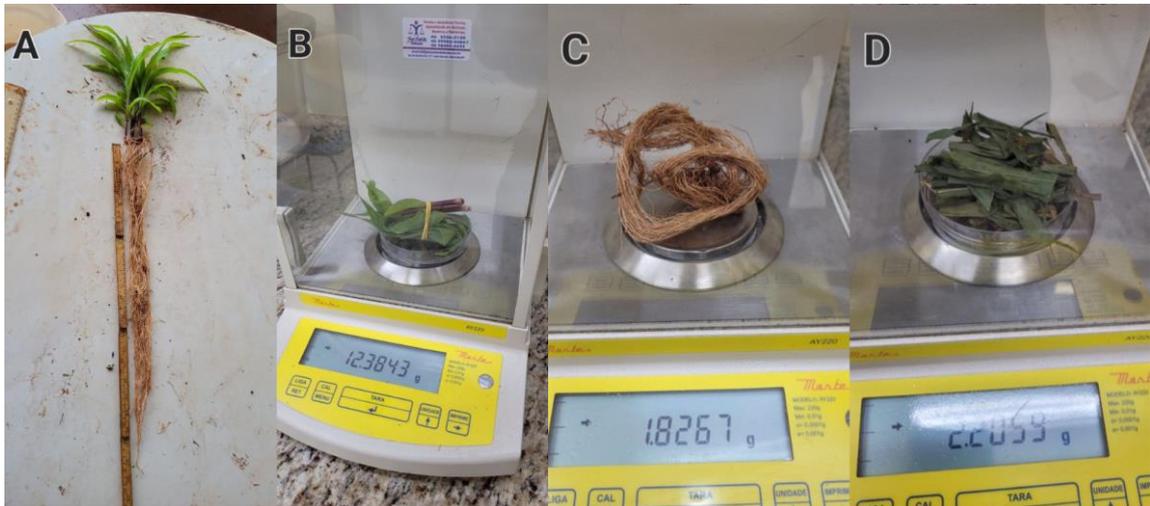


Fonte: Autoria própria (2022)

Aos 35 dias, as plantas foram cuidadosamente retiradas dos vasos e lavadas com água corrente para remover o solo aderido às raízes (figura 1). Em seguida, procedeu-se às medições da parte aérea e das raízes com o auxílio de uma trena. As partes foram separadas e colocadas em sacos de papel Kraft para secar em estufa à 60°C, até o peso constante.

Com as plantas ainda em estado verde, realizou-se a pesagem com uma balança de precisão fornecida pelo Laboratório de Análise de Sementes do campus. O material foi então acondicionado em uma estufa para secagem, seguida pela pesagem final da matéria seca.

Figura 2: a) Medição da raiz com trena; b) Pesagem da massa verde da parte aérea (g cano); c) pesagem da massa seca da raiz (g cano); d) pesagem da massa seca da parte aérea (g cano)



Fonte: Autoria própria (2022)

5.4 Análise estatística

A análise estatística foi feita pelo teste de Scott-Knott, a 5% de significância no software Rbio.

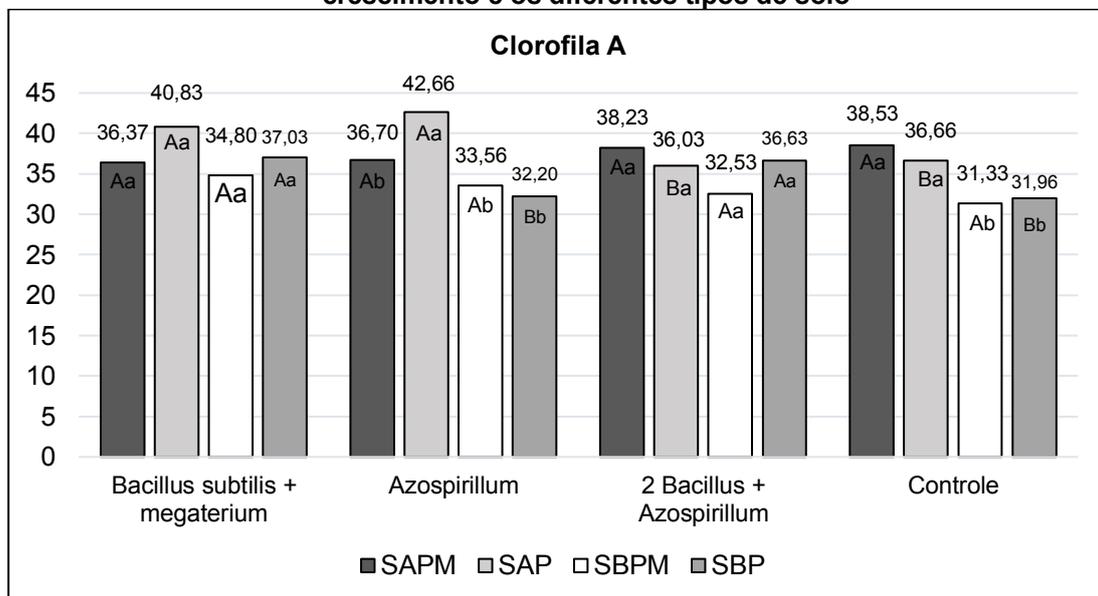
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 Clorofila A e B

Ao analisar os resultados alcançados, torna-se evidente a interação entre os distintos solos e as bactérias promotoras do crescimento em relação às variáveis de Clorofila A e Clorofila B examinadas. Por outro lado, não se observou uma interação significativa nas demais variáveis estudadas, apenas as diferenças entre elas.

Em relação à Clorofila A (Figura 3), é possível observar que houve interação entre os fatores.

Figura 3: Teores de Clorofila A em plantas de milho em função das bactérias promotoras do crescimento e os diferentes tipos de solo



* Médias seguidas pela mesma letra maiúscula não apresentam diferenças significativas entre si nos parâmetros entre as diferentes bactérias no mesmo tipo de solo. Médias seguidas pela mesma letra minúscula também não demonstram diferenças significativas nos parâmetros entre o comportamento das bactérias nos diferentes tipos de solo, pelo teste de Scott-Knott. Solo com alto teor de fósforo - SAP; solo com alto teor de fósforo misto - SAPM; solo com baixo teor de fósforo - SBP e solo com baixo teor de fósforo misto - SBPM.

Fonte: Autoria própria (2023)

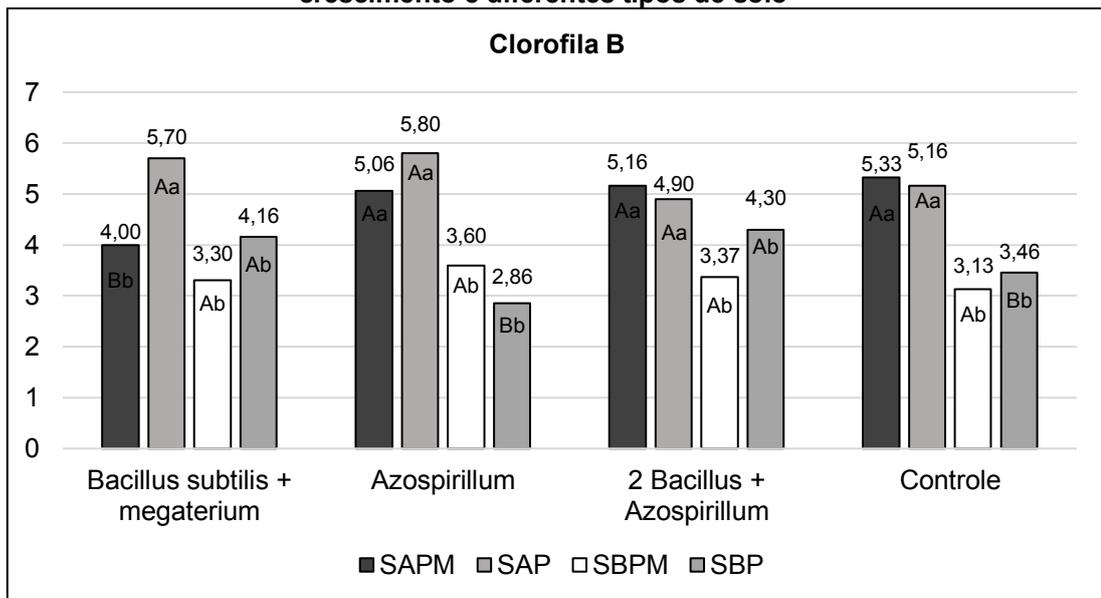
Observa-se que, ao analisar o desempenho das bactérias em relação ao tipo de solo, nota-se diferenças relevantes das bactérias nos solos com as diferentes fertilidades quando combinados com a mistura de 50% de areia (SAPM e SBPM). No entanto, no solo com alto nível de fertilidade (SAP), a combinação dos *Bacillus subtilis* + *megaterium* com *Azospirillum* e o tratamento de controle apresentaram desempenho inferior. Essa tendência também se reflete na interação entre as bactérias e o solo com baixa fertilidade (SBP), onde o tratamento com os *Bacillus subtilis* + *megaterium*

e a combinação com o *Azospirillum* resultaram em níveis mais elevados de Clorofila A em comparação com o uso exclusivo do *Azospirillum* e o controle.

Ao analisar o desempenho dos *Bacillus megaterium* + *subtilis* em diferentes tipos de solo, observa-se que essas bactérias causaram impactos positivos, ao contrário do *Azospirillum*, que mostrou destaque apenas quando utilizado em solo de boa fertilidade. No entanto, a combinação das bactérias resultou em efeitos benéficos nas plantas de milho, independentemente do tipo de solo. Em relação ao grupo de controle sem inoculação, as plantas apresentaram melhor desempenho em ambos os solos com alta fertilidade.

Quanto à Clorofila B (representada na figura 4), nota-se uma interação entre os fatores.

Figura 4: Teores de Clorofila B em plantas de milho em função das bactérias promotoras do crescimento e diferentes tipos de solo



* Médias seguidas pela mesma letra maiúscula não apresentam diferenças significativas entre si nos parâmetros entre as diferentes bactérias no mesmo tipo de solo. Médias seguidas pela mesma letra minúscula também não demonstram diferenças significativas nos parâmetros entre o comportamento das bactérias nos diferentes tipos de solo, pelo teste de Scott-Knott. Solo com alto teor de fósforo - SAP; solo com alto teor de fósforo misto - SAPM; solo com baixo teor de fósforo - SBP e solo com baixo teor de fósforo misto - SBPM.

Fonte: Autoria própria (2023)

Ao analisar a interação entre o solo com alto teor de P misto (SAPM) e os tratamentos de inoculação, bem como o grupo de controle, observa-se que as plantas de milho submetidas à inoculação com *Bacillus subtilis* + *megaterium* apresentaram um desempenho inferior em comparação aos outros tratamentos, incluindo o grupo

de controle. Essa tendência também se reflete na interação com os diferentes tipos de solo, destacando-se principalmente quando associado ao SAPM.

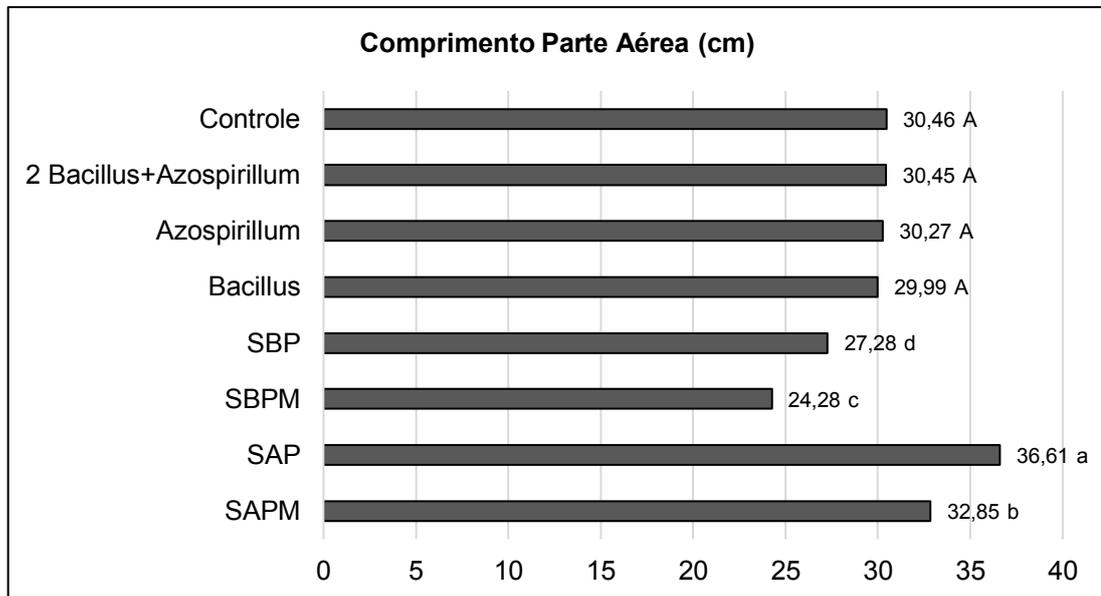
Quando avaliado a associação do solo com alto teor de P (SAP) com as bactérias, verifica-se resultados satisfatórios, embora não tenham se diferenciado significativamente do grupo de controle. O mesmo padrão é observado para o solo com baixo teor de P misto (SBPM). Por outro lado, no solo com baixo teor de P (SBP), os tratamentos com os *Bacillus subtilis* + *megaterium* isolados e a combinação com *Azospirillum* apresentaram os melhores resultados, indicando uma resposta mais positiva nesse contexto específico do solo desafiador. Esses achados sugerem nuances na eficácia dos tratamentos em diferentes condições de solo, ressaltando a complexidade das interações entre os microrganismos e as características do solo no contexto do cultivo de milho.

Em um solo com baixa disponibilidade de fósforo, o desenvolvimento da planta é limitado, uma vez que também há limitação de outros minerais disponíveis. À medida que a planta se desenvolve, suas raízes passam a produzir sideróforos e outros exsudatos, formando a rizosfera, que servirá de alimento para as bactérias inoculadas. Como resultado do crescimento dessas bactérias, ocorre uma colaboração na solubilização do fósforo disponível no solo. Com essa maior disponibilidade, as plantas conseguem produzir mais tecido vegetal, resultando em um desempenho aprimorado da clorofila e, conseqüentemente, um melhor desenvolvimento geral (SILVA, 2014).

6.2 Parte aérea

A partir da análise estática observou-se que não houve interação significativa nas variáveis de altura de planta (cm), massa verde (g cano) e massa seca (g cano) da parte aérea das plantas de milho, porém houve diferenças para os efeitos simples de interação. Na figura 5, pode-se verificar a biomassa vegetal das plantas de milho com os distintos tipos de solo e bactérias.

Figura 5: Comprimento (cm) da parte aérea de plantas de milho em função dos diferentes tipos de solos e bactérias



* Médias seguidas pela mesma letra maiúscula não apresentam diferenças significativas entre si nos parâmetros entre as diferentes bactérias. Médias seguidas pela mesma letra minúscula também não demonstram diferenças significativas nos parâmetros entre os diferentes tipos de solo, pelo teste de Scott-Knott. Solo com alto teor de fósforo - SAP; solo com alto teor de fósforo misto - SAPM; solo com baixo teor de fósforo - SBP e solo com baixo teor de fósforo misto - SBPM.

Fonte: Autoria própria (2023)

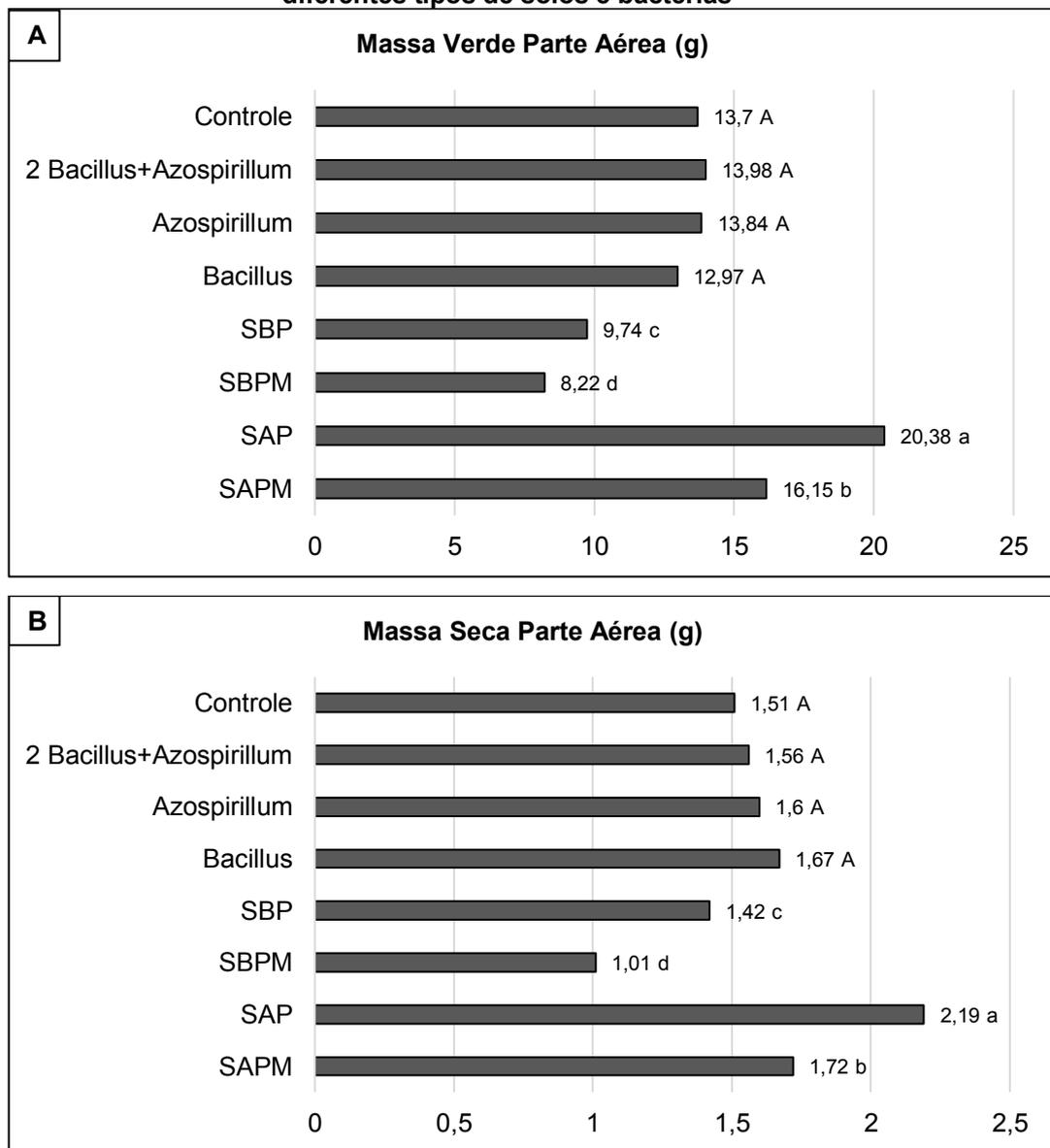
Ao examinar as diferentes bactérias, observa-se que não houve distinção significativa entre elas, indicando que os microrganismos estudados não exerceram influência na altura das plantas. No entanto, ao direcionar a atenção para os diferentes tipos de solo, constata-se que as plantas apresentaram um desenvolvimento mais robusto quando cultivadas em solos com elevadas concentrações de fósforo (P) e maior fertilidade.

De acordo com a pesquisa de Gondin (2016), a omissão de fósforo afetou as plantas de milho, resultando em reduções na altura da planta, no número de folhas e no diâmetro do caule em comparação com o tratamento completo. Houve diminuição significativa na produção de matéria seca, tanto na parte aérea (74%) quanto nas raízes (41%), além de uma redução de 68% na planta inteira em relação ao tratamento completo. Os resultados indicam a importância do fósforo para promover um crescimento significativo das plantas de milho.

Quanto à massa verde e seca da parte aérea (figura 6), observa-se que não houve diferença significativa entre os tratamentos com diferentes microrganismos, indicando que a utilização destes, mesmo quando combinados com solos de boa fertilidade, não influenciou essas variáveis de forma distinta. No entanto, ao analisar

os diferentes tipos de solo, observa-se que as plantas sujeitas a níveis reduzidos de fósforo exibem um crescimento limitado, traduzindo-se em um desempenho inferior, cerca de 40% menor em tamanho quando comparado às plantas submetidas a solos com elevadas concentrações de fósforo. Este efeito resulta em prejuízos na produtividade final e tornando-as mais suscetíveis a doenças e pragas.

Figura 6:: Massa (g) verde (A) e seca (B) da parte aérea de plantas de milho em função dos diferentes tipos de solos e bactérias



* Médias seguidas pela mesma letra maiúscula não apresentam diferenças significativas entre si nos parâmetros entre as diferentes bactérias. Médias seguidas pela mesma letra minúscula também não demonstram diferenças significativas nos parâmetros entre os diferentes tipos de solo, pelo teste de Scott-Knott. Solo com alto teor de fósforo - SAP; solo com alto teor de fósforo misto - SAPM; solo com baixo teor de fósforo - SBP e solo com baixo teor de fósforo misto - SBPM.

Fonte: Autoria própria (2023)

No estudo conduzido por Gomes (2023), foi notado um incremento na produção de matéria seca da parte aérea no tratamento com bactérias que exibem propriedades promissoras de biossolubilização do fósforo, juntamente com a produção de sideróforos. Além disso, essas bactérias demonstraram potencial para promover o crescimento das plantas.

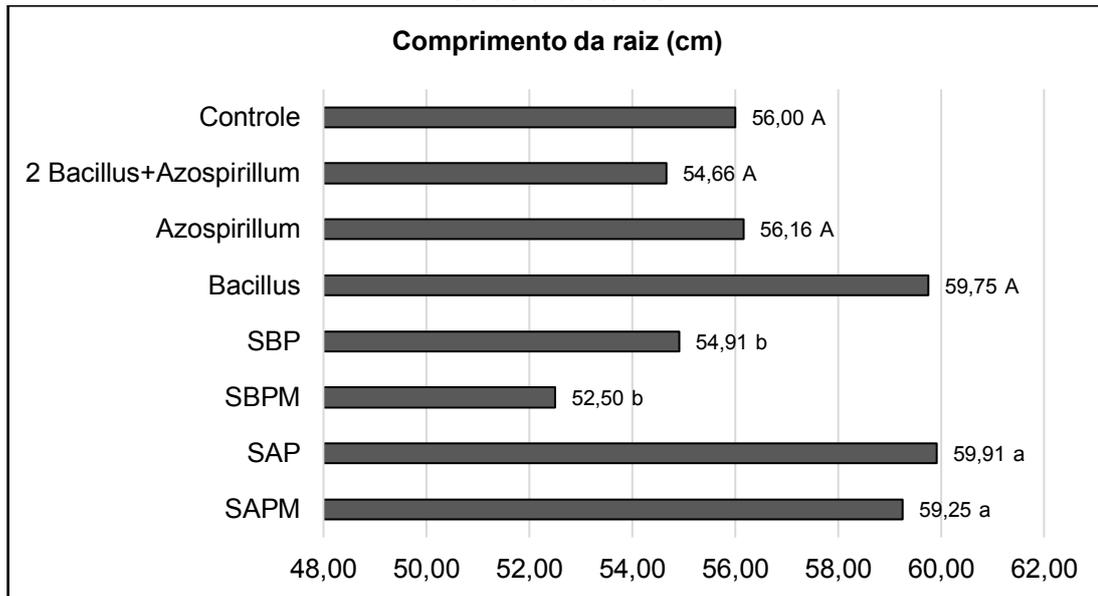
A falta de resposta significativa à inoculação em solos com baixo teor de fósforo pode estar relacionada à necessidade inicial das bactérias de contar com uma disponibilidade mínima de fósforo para o seu metabolismo. Somente em um estágio subsequente é que essas bactérias desempenhariam efetivamente seu papel como promotoras de crescimento (RICHARDSON; SIMPSON, 2011). Portanto, a menor influência observada na Matéria Verde de Parte Aérea (MVPA) pode estar diretamente ligada à escassez de fósforo, limitando, de certa forma, a eficácia das bactérias inoculadas anteriormente.

Em sua pesquisa, Almeida (2020) examinou os efeitos da inoculação de cepas de *Azospirillum sp.*, *Pseudomonas sp.* e *Aryabhattai sp.* em sementes de milho, observando um aumento superior a 10% no crescimento foliar em comparação com o grupo controle. Isso resultou em um peso maior da matéria verde da parte aérea. De maneira semelhante, Silva (2022), ao investigar a ação desse mesmo conjunto de bactérias, obteve resultados comparáveis, evidenciando um aumento significativo nas alturas das plantas, na área foliar e, especialmente, na produção em relação aos grupos de controle não inoculados.

6.3 Raízes

Ao analisar o comprimento das raízes (figura 7), surge uma diferença notável, especialmente no tratamento com os *Bacillus megaterium e subtilis*. Nesse caso, as plantas de milho demonstraram um crescimento significativamente maior das raízes, resultando em raízes mais robustas e uma área de absorção de nutrientes ampliada. Isso sugere que, quando o fósforo está disponível, exemplificado nos solos de alta fertilidade com e sem a mistura de 50% de areia (SAP e SAPM), é mais eficientemente absorvido pelas plantas nesse contexto específico.

Figura 7: Comprimento (cm) de raízes de plantas de milho em função dos diferentes tipos de solos e bactérias



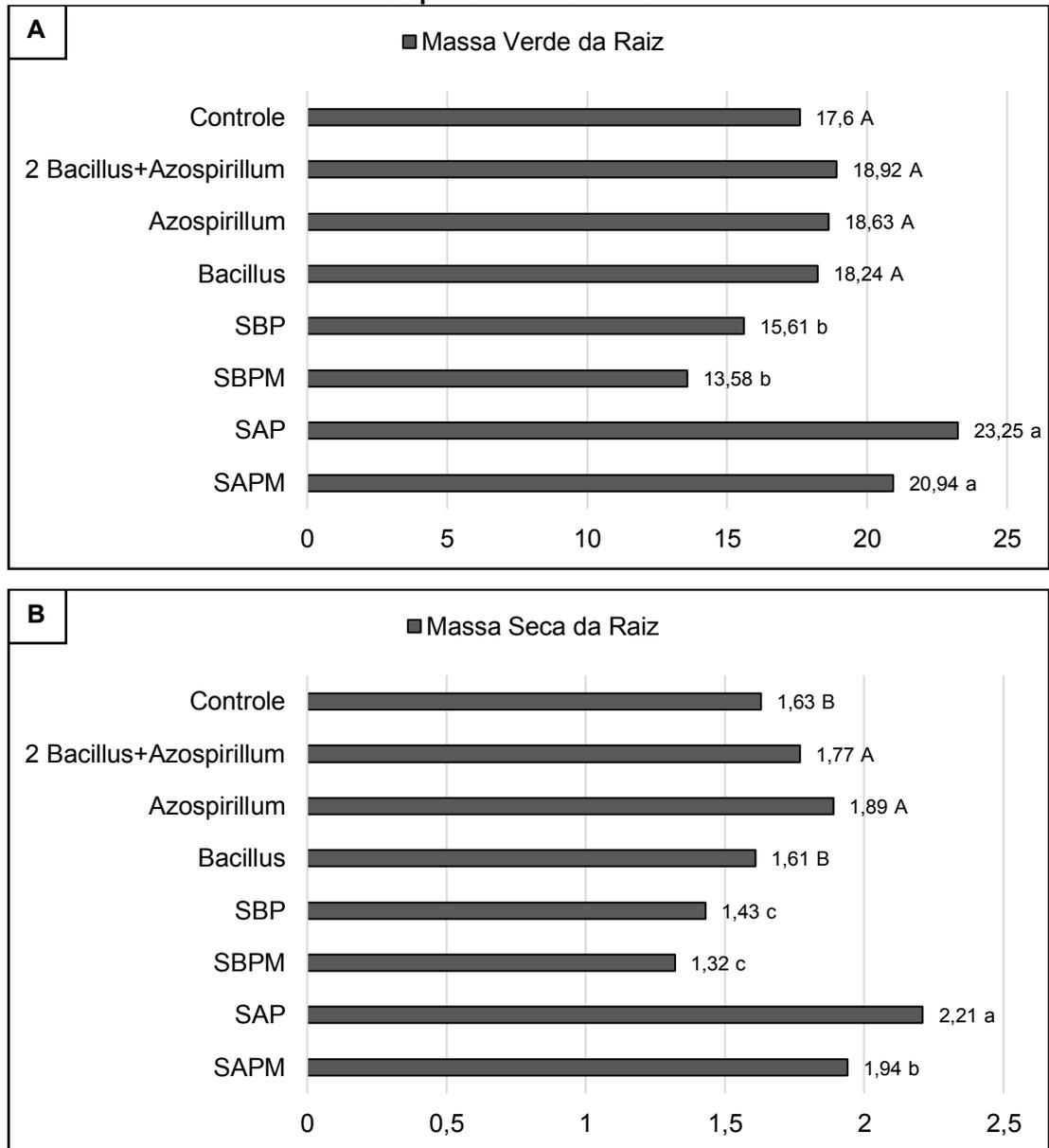
* Médias seguidas pela mesma letra maiúscula não apresentam diferenças significativas entre si nos parâmetros entre as diferentes bactérias. Médias seguidas pela mesma letra minúscula também não demonstram diferenças significativas nos parâmetros entre os diferentes tipos de solo, pelo teste de Scott-Knott. Solo com alto teor de fósforo - SAP; solo com alto teor de fósforo misto - SAPM; solo com baixo teor de fósforo - SBP e solo com baixo teor de fósforo misto - SBPM.

Fonte: Autoria própria (2023)

O mesmo resultado foi observado por Gomes (2016), que ao isolar bactérias endófitas de milho eficientes na solubilização de fosfato de cálcio e produção de sideróforos, constatou que a inoculação das sementes de milho com as bactérias pertencentes do gênero *Bacillus* resultou em maior peso seco, independente da fonte de P usada.

Na figura 8, é evidente que, em relação à massa seca das raízes das plantas de milho, os tratamentos envolvendo *Azospirillum* e a combinação de *Bacillus subtilis* + *Bacillus megaterium* com *Azospirillum* apresentaram resultados superiores em comparação ao controle e aos tratamentos com os *Bacillus* isolados. Entretanto, não houve diferença significativa entre os tratamentos quando considerada a massa verde.

Figura 8: Massa (g) verde (A) e seca (B) das raízes de plantas de milho em função dos diferentes tipos de solos e bactérias



* Médias seguidas pela mesma letra maiúscula não apresentam diferenças significativas entre si nos parâmetros entre as diferentes bactérias. Médias seguidas pela mesma letra minúscula também não demonstram diferenças significativas nos parâmetros entre os diferentes tipos de solo, pelo teste de Scott-Knott. Solo com alto teor de fósforo - SAP; solo com alto teor de fósforo misto - SAPM; solo com baixo teor de fósforo - SBP e solo com baixo teor de fósforo misto - SBPM.

Fonte: Autoria própria (2023)

No contexto dos tipos de solo, os resultados indicam que as plantas apresentaram valores mais elevados de massa seca da raiz nos tratamentos solo com alto teor de fósforo (SAP) e solo com alto teor de fósforo misto (SAPM).

O fósforo (P) é essencial para o metabolismo e crescimento das raízes das plantas. Participa ativamente na fotossíntese, respiração e síntese de ácidos nucleicos, fundamentais para o fornecimento de energia, replicação do DNA e síntese

de proteínas. Além disso, é necessário na formação de ATP, atua como ativador enzimático e desempenha um papel crucial no desenvolvimento radicular. A presença adequada de fósforo no solo é vital para um metabolismo eficiente e um crescimento saudável das raízes, influenciando diretamente a vitalidade e produtividade das plantas (CABRAL et al., 2020).

7 CONCLUSÃO

Os níveis de Clorofila A das plantas de milho foram mais elevados nos tratamentos com *Bacillus subtilis* + *megaterium*, independentemente dos tipos de solo e dos teores de fósforo, indicando a eficácia superior desses microrganismos.

Ao analisar a parte aérea das plantas, não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos com as bactérias em termos de altura de planta, massa verde e massa seca. No entanto, a interação com os tipos de solo revelou resultados mais favoráveis em solos com maiores teores de fósforo, especialmente em solo argiloso e solo misto.

Quanto às raízes das plantas de milho, os tratamentos com *Azospirillum* e a combinação de *Bacillus* + *Azospirillum* resultaram em raízes mais compridas, uma tendência observada tanto em solo alto com teor de fósforo quanto em solo com alto teor de fósforo misto.

A massa seca das raízes do milho foi superior nos tratamentos com 2 *Bacillus* + *Azospirillum* e o tratamento somente com *Azospirillum*.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se que a disponibilidade de fósforo e a capacidade de solubilização desse nutriente desempenham um papel crucial na cultura do milho, impactando diretamente os níveis de produtividade. Além disso, a qualidade do solo, aliada ao uso de biosolubilizadores, proporciona resultados expressivos, destacando a importância dessa abordagem para otimizar o crescimento e desenvolvimento das plantas de milho.

REFERÊNCIAS

- BHERING, S. B.; SANTOS, H. G. dos. **Mapa de solos do Estado do Paraná: legenda atualizada**. EMBRAPA/IAPAR, 74p, 2008. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/56704/1/SP5507.pdf>. Acesso em: 25 out. 2022.
- ALVARES, C. A. et al. **Koppen's climate classification map for Brazil**. *Meteorologische Zeitschrift*, 2013. Disponível em: http://www.lerf.eco.br/img/publicacoes/Alvares_etal_2014.pdf. Acesso em: 25 out. 2022.
- BASHAN, Y. et al. **Growth promotion of the seawaterirrigated oil seed halophyte *Salicornia bigelovii* inoculated with mangrove rhizosphere bacteria and halotolerant *Azospirillum* spp.** *Biol. Fertil. Soils*, v. 32, p. 265-272, 2004.
- CASSÁN, F. et al. **Everything you must know about *Azospirillum* and its impact on agriculture and beyond**. *Biol Fertil Solos* 56, 461-479, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00374-020-01463-y>. Acesso em: 25 out. 2022
- CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**, Brasília, DF, v. 9, safra 2021/22, n. 11, 2022. Disponível em: file:///C:/Users/GIOVANI/Downloads/E-book_Boletim-de-Safras-11o-levantamento-compactado.pdf. Acesso em: 05 nov. 2022
- CORSINI, DCD. **Coberturas vegetais e modos de inoculação com *Azospirillum* brasileiro em milho sobre três sistemas de preparo de solo**. Universidade Estadual Paulista (Unesp). Faculdade de Engenharia. Ilha Solteira, 2018.
- CRUZ, J. C. *et al.* **Milho: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasil-DF: Embrapa, 2011, 338 p.
- DA SILVA MOREIRA, F. **Isolamento e caracterização de rizobactérias promotoras de crescimento vegetal em regiões produtoras de trigo no Rio Grande do Sul**. PORTO ALEGRE: UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL, dezembro de 2012.
- FERREIRA, LL *et al.* **Relações de causa e efeito, abordagem multivariada para inoculação de *Azospirillum* brasileiro em milho**. *Comunicações em Ciências Vegetais*, v. 10, n. 1, 2019.
- FERREIRA, M. M. M. **Sintomas de Deficiência de Macro e Micronutrientes de Plantas de Milho Híbrido Brs 1010**. Boa Vista, RR: Agro@Mambiente On-Line, v. 6, n. 1, abr. 2012. Disponível em: <https://revista.ufrr.br/agroambiente/article/view/569>. Acesso em: 18 out. 2022.
- FINGER, G. P. **Efeito do fósforo sobre a interação das bactérias isoladas da rizosfera de guandu "(*cajanus cajan*)"**. Tese (Doutorado em Microbiologia Agropecuária) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2002. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/103931> Acesso em 25 out. 2022.

FORNASIERI, D. F. **Manual da Cultura do Milho**. Jaboticabal: Editora Afiliada, 2007. 576 p.

GOMES, EA et al. **Potencial biotecnológico de bactérias endofíticas de milho**. Disponível em:

<<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/149899/1/Potencial-biotecnologico-1.pdf>>. Acesso em: 06 nov. 2023

GONDIM, AR DE O. et al. **Crescimento inicial do milho cultivar brs 1030 sob omissão de nutrientes em solução nutritiva**. Revista CERES, v. 5, pág. 706–714, 2016.

LIMA, *et al.*, **Bacillus subtilis e adubação nitrogenada na produtividade do milho**. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, vol. 6, pp. 657-661, 2011. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/1190/119021237016.pdf>. Acesso em: 04 nov. 2022.

MARTIN, T. N. *et al.* **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.

MARTINAZZO, R. *et al.* **Fósforo microbiano do solo sob sistema plantio direto em resposta à**

adição de fosfato solúvel. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.31, p. 563-570, 2007. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/rbcs/a/pPBXGdk66KqSsHxmWwK6p8s/?lang=pt&format=pdf>
Acesso em: 25 out. 2022

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J.; OWEN, D.; GUPTA, G.; RIBEIRO, V. P.

Recomendação agrônômica de cepas de Bacillus subtilis e Bacillus megaterium na cultura do milho. 2020. Disponível em:

<https://maissoja.com.br/recomendacao-agronomica-de-cepas-de-bacillussubtilis-e-bacillus-megaterium-na-cultura-do-milho/>. Acesso em: 15 out. 2023.

REIS, V. M. **Uso de bactérias fixadoras de nitrogênio como inoculante para aplicação em gramíneas**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, p. 22, 2007.

SHODA, M. et al. **Plant Growth-Promoting Bacteria: Mechanisms and**

Applications. Waterloo, ON, Canadá. Hindawi Publishing Corporation, 2012. 15 p.

Disponível em: <https://downloads.hindawi.com/journals/scientifica/2012/963401.pdf>
Acesso em: 06 nov. 2022.

WALPOLA, C. B.; YOON, M. **Prospecto de microorganismos solubilizadores de fosfato e disponibilidade de fósforo em solos agrícolas**. Departamento de Química Bioambiental, 2012, Coréia. Disponível em:

<http://repositorio.fucamp.com.br/bitstream/FUCAMP/349/1/prospeccaomicroorganismossolubilizadores.pdf> Acesso em: 18 out. 2022