

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL

**Eficiência e redução no uso de fertilizantes químicos
através da associação das bactérias probióticas *Bacillus
cereus*, *Succinovibrio dextrinosolvens* e *Lactobacillus
acidophylus***

Lilian Dutra Panetto Mendonça
Administradora de Empresas

2023

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL

Eficiência e redução no uso de fertilizantes químicos através da associação das bactérias probióticas *Bacillus cereus*, *Succinovibrio dextrinosolvens* e *Lactobacillus acidophylus*

Discente: Lilian Dutra Panetto Mendonça

Orientador: Dr. Everlon Cid Rigobelo

Coorientadora: Rose Maria Duda

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Microbiologia Agropecuária

2023

FICHA CATALOGRÁFICA

M539e Mendonça, Lilian Dutra Panetto
Eficiência e redução no uso de fertilizantes químicos através da associação das bactérias probióticas *Bacillus cereus*, *Succinovibrio dextrinosolvens* e *Lactobacillus acidophylus* / Lilian Dutra Panetto Mendonça. -- Jaboticabal, 2023
52 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal
Orientador: Everlon Cid Rigobelo
Coorientadora: Rose Maria Duda

1. Bactéria. 2. Batatas. 3. Agricultura. 4. Nitrogenio. 5. Fosforo. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

Impacto potencial desta pesquisa

A agricultura desempenha um papel fundamental na alimentação da população mundial e na economia global. No entanto, seu impacto ambiental, especialmente o uso excessivo de fertilizantes químicos, representa um desafio significativo para a sustentabilidade do planeta. Nesse contexto, pesquisas inovadoras têm buscado abordagens alternativas e sustentáveis para melhorar a eficiência agrícola e mitigar a dependência de produtos químicos. Por essa razão esta pesquisa se destaca ao explorar os benefícios da associação de bactérias probióticas, como *Bacillus cereus*, *Succinovibrio dextrinosolvens* e *Lactobacillus acidophilus*, na promoção do desenvolvimento sustentável na agricultura.

Uma das contribuições mais notáveis desta pesquisa é a melhoria da eficiência agrícola. As bactérias probióticas selecionadas têm capacidade de fixar nitrogênio atmosférico e solubilizar fosfatos no solo, tornando esses nutrientes essenciais mais disponíveis para as plantas. Isso não apenas aumenta a produtividade das colheitas, mas também reduz a necessidade de fertilizantes químicos. Como resultado, os agricultores podem obter rendimentos mais elevados com menos insumos, tornando suas operações agrícolas mais sustentáveis economicamente. A redução no uso de fertilizantes químicos é uma conquista significativa em direção aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), especialmente o ODS 12 (Consumo e Produção Responsáveis) e ODS 15 (Vida Terrestre). O uso excessivo de fertilizantes químicos pode resultar em poluição da água e do solo, impactando negativamente a biodiversidade e contribuindo para a degradação ambiental. A pesquisa com bactérias probióticas oferece uma solução promissora para mitigar impactos adversos, promovendo uma agricultura mais sustentável.

Além dos benefícios ambientais, esta pesquisa também aponta para possíveis benefícios para a saúde humana e animal. Bactérias probióticas como *Lactobacillus acidophilus* têm sido associadas a melhorias na saúde intestinal, tanto em seres humanos quanto em animais. Isso tem implicações importantes para a produção de alimentos e a qualidade da dieta, contribuindo indiretamente para o ODS 3 (Saúde e Bem-Estar) e o ODS 2 (Fome Zero e Agricultura Sustentável).

Esta pesquisa que investiga a associação das bactérias probióticas *Bacillus cereus*, *Succinovibrio dextrinosolvens* e *Lactobacillus acidophilus* oferece uma perspectiva para o futuro da agricultura sustentável. Os impactos potenciais, incluindo maior eficiência agrícola, redução no uso de fertilizantes químicos e benefícios para a saúde humana e animal, alinham-se perfeitamente com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU. Essa abordagem inovadora representa um passo significativo em direção a uma agricultura mais sustentável, que é vital para a saúde do planeta e de suas populações futuras.

Potential Impact of this Research

Agriculture plays a fundamental role in feeding the global population and the global economy. However, its environmental impact, especially the excessive use of chemical fertilizers, poses a significant challenge to the planet's sustainability. In this context, innovative research has sought alternative and sustainable approaches to improve agricultural efficiency and reduce dependency on chemicals. For this reason, this research stands out by exploring the benefits of associating probiotic bacteria, such as *Bacillus cereus*, *Succinovibrio dextrinosolvens* and *Lactobacillus acidophilus* in promoting sustainable development in agriculture.

One of the most notable contributions of this research is the improvement of agricultural efficiency. The selected probiotic bacteria have the ability to fix atmospheric nitrogen and solubilize phosphates in the soil, making these essential nutrients more available to plants. This not only increases crop productivity but also reduces the need for chemical fertilizers. As a result, farmers can achieve higher yields with fewer inputs, making their agricultural operations more economically sustainable.

The reduction in the use of chemical fertilizers is a significant achievement towards the United Nations Sustainable Development Goals (SDGs), especially SDG 12 (Responsible Consumption and Production) and SDG 15 (Life on Land). Excessive use of chemical fertilizers can lead to water and soil pollution, negatively impacting biodiversity and contributing to environmental degradation. Research involving probiotic bacteria offers a promising solution to mitigate these adverse impacts, promoting more sustainable agriculture.

In addition to environmental benefits, this research also points to potential benefits for human and animal health. Probiotic bacteria such as *Lactobacillus acidophilus* have been associated with improvements in intestinal health, both in humans and animals. This has important implications for food production and dietary quality, indirectly contributing to SDG 3 (Good Health and Well-being) and SDG 2 (Zero Hunger and Sustainable Agriculture).

This research, investigating the association of probiotic bacteria *Bacillus cereus*, *Succinovibrio dextrinosolvens* and *Lactobacillus acidophilus*, offers a perspective

on the future of sustainable agriculture. The potential impacts, including increased agricultural efficiency, reduced use of chemicals fertilizers and benefits for human and animal health, align perfectly with the United Nations Sustainable Development Goals. This innovative approach represents a significant step forward more sustainable agriculture, which is vital for the health of the planet and is future populations.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: EFICIÊNCIA E REDUÇÃO NO USO DE FERTILIZANTES QUÍMICOS ATRAVÉS DA ASSOCIAÇÃO DAS BACTÉRIAS PROBIÓTICAS *Bacillus cereus*, *Succinovibrio dextrinosolvens* E *Lactobacillus acidophilus*

AUTORA: LILIAN DUTRA PANETTO MENDONÇA

ORIENTADOR: EVERLON CID RIGOBELLO

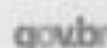
COORIENTADORA: ROSE MARIA DUDA

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em Microbiologia Agropecuária, pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. EVERLON CID RIGOBELLO (Participação Virtual)
Departamento de Ciências da Produção Agrícola / FCAV - UNESP - Jaboticabal

Prof. Dr. FÁBIO CAMILOTTI (Participação Virtual)
Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza / FATEC - Jaboticabal/SP

Profa. Dra. LETÍCIA ANE SIZUKI NOCITI DEZEM (Participação Virtual)
Departamento de Agronomia / FAFRAM - Iluverava/SP



Documento assinado digitalmente
por EVERLON CID RIGOBELLO
Data: 2023.07.03 15:05:18 -0300
Verifique em: <https://verificador.digitebr.gov.br/>



Documento assinado digitalmente
por FÁBIO CAMILOTTI
Data: 2023.07.03 15:05:18 -0300
Verifique em: <https://verificador.digitebr.gov.br/>



Documento assinado digitalmente
por LETÍCIA ANE SIZUKI NOCITI DEZEM
Data: 2023.07.03 15:05:18 -0300
Verifique em: <https://verificador.digitebr.gov.br/>

Jaboticabal, 18 de julho de 2023

DADOS CURRICULARES DA AUTORA

LILIAN DUTRA PANETTO MENDONÇA – Nascida em 24 de outubro de 1988 em Rio de Janeiro, RJ. Iniciou sua graduação em Administração de Empresas em março de 2007 na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro na cidade de Seropédica, RJ, concluindo seu curso em junho de 2012. Durante a graduação, foi integrante da empresa Júnior Multiconsultoria, como trainee em projetos e finanças, estagiou na concessionária de Energia Elétrica, realizando a gestão de recursos e implementação de sistemas do Jurídico e finalizou a graduação na posição de analista de recursos. Em abril de 2013 iniciou uma especialização em Inovação e Pequenas Empresas pelo Sebrae, na cidade do Rio de Janeiro, RJ e atuou como consultora com mais de 50 empresas, avaliando e propondo inovação com experiências voltadas para a otimização do consumo, o que gerou a publicação de dois artigos voltados para a melhoria do relacionamento com os clientes através da experiência de consumo. Em 2015 atuou como analista financeiro e em 2016 iniciou como analista de contratos na empresa Metrô Rio, automatizando sistemas e redesenhando o fluxo de serviços de limpeza dos trens, onde também foi analista comercial. Em 2018 finalizou o MBA em Gestão Fiscal pela Faculdade Estácio de Sá na cidade do Rio de Janeiro, RJ. Em 2019 certificou-se em Patentes pela Organização Mundial da Propriedade Intelectual, na Suíça. Em 2020 concluiu o MBA em Gestão de Negócios e Marketing no Instituto Pedagógico de Minas Gerais na cidade de Belo Horizonte, MG. Em janeiro de 2021 ingressou no curso mestrado - Pós-graduação em Microbiologia Agropecuária na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – (FCAV-UNESP), na cidade de Jaboticabal, SP, sob a orientação do Prof. Dr. Everlon Cid Rigobelo, mesmo ano em que passou a atuar como analista de Sustentabilidade na concessionária de energia elétrica Enel, realizando a gestão dos projetos socioambientais da companhia, através do controle de KPIs de inovação, gestão de stakeholders e reporte de informações para a holding na Itália.

Epígrafe

“Não é o que o mundo reserva para você, mas o que você traz para o mundo.” (Anne with an E)

Dedicatória

Dedico esta dissertação a todos os estudantes que apesar dos percalços,
persistem e se devotam em fazer novas descobertas.

AGRADECIMENTOS

Nesses dois últimos anos de muito estudo e empenho no mestrado, gostaria de agradecer aos que me acompanharam e direcionaram, sendo de extrema importância para a realização de mais este sonho. Sou grata à Deus pelo sopro de vida, aos meus pais Ângela Dutra e Rosimam Araújo por me passarem valores inegociáveis, à minha falecida avó Eugenia Ferreira por me ensinar o real sentido das palavras força e coragem, aos meus tios e aos meus avós por colaborarem com a minha criação e educação, em especial a minha tia Marli Ferreira por ser a minha inspiração profissional e balizadora na vida. Ao meu irmão Romulo Dutra e minha cunhada Juliane Barbosa pelo incentivo e por todo amor nesta jornada.

Ao Programa de Pós-graduação em Microbiologia Agropecuária e à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – FCAV, da Universidade Estadual Paulista, UNESP, no Câmpus de Jaboticabal, pela estrutura, incentivo e suporte, tornando possível os estudos e práticas do meu mestrado.

Ao Departamento de Ciências da Produção Agrícola pela infraestrutura na execução deste projeto. Minha gratidão especial ao Prof. Dr. Everlon Cid Rigobelo, pela pessoa profissional que é, por sua dedicação e sobretudo por acreditar e depositar a sua confiança em mim. Sem sua orientação, apoio e confiança, este trabalho e o caminho percorrido até aqui não seria possível.

Aos meus amigos, a quem chamo de anjos, que me amparam e me redirecionam sempre que me vejo perdida, em especial à Ane Vaz, Bárbara Vasconcellos, Eliane Costa, Kalline Rodrigues, Pedro Vinha, Shirley Truyts, Soraia John, Tatiane Jesus e Victor Santos e ao meu dedicado amigo de laboratório Edvan Frezarin.

SUMÁRIO

RESUMO.....	iii
ABSTRACT	iv
CAPÍTULO 1 – Considerações Gerais	1
1. Introdução	4
2. Objetivos	4
2.1 Objetivo Geral.....	4
2.2 Objetivos Específicos	4
3. Revisão da Literatura	4
3.1 Cultura da Batata.....	4
3.2 Solo no Cultivo da Batata	5
3.3 Fertilizantes Orgânicos	5
4. Referência Bibliográfica	8
 CAPÍTULO 2 – Bactérias lácticas com potencial de promoção do crescimento vegetal.....	18
1. Introdução	18
2. Materiais e Métodos.....	19
2.1 Bactérias Isoladas	20
2.2 Ágar Amido	20
2.3 Atividade Celulolítica	20
2.4 Produção do Ácido Acético Indolacético.....	21
2.5 Quantificação de Fósforo.....	21
2.6 Quantificação de Nitrogênio.....	21
2.7 Plantio.....	22
2.8 Inoculação	22
3. Avaliações em Plantas de Batatas.....	23
3.1 Massa Seca.....	23
3.2 Concentração de Nitrogênio em Brotos e Raízes.....	23
3.3 Concentração de Fósforo na Parte Aérea e na Raiz	23
3.4 Análise Estatística	23
4. Resultados	24

5. Discussão.....	29
6. Conclusão	31
7. Referência Bibliográfica	32
 CAPÍTULO 3 – Considerações Finais	 36

RESUMO

A batata (*Solanum tuberosum*) é uma cultura de grande importância para muitos países e, como toda cultura altamente produtiva, requer o uso de grandes quantidades de fertilizantes químicos, o que resulta em alto custo de produção e potenciais impactos ambientais. Microrganismos do solo, como bactérias, desempenham papéis importantes na fertilidade do solo e na promoção da saúde das plantas, e podem ser empregados e testados para a cultura da batata. A redução da adubação química e o aumento das fontes de nutrientes orgânicos no solo é uma abordagem sustentável para melhorar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. A comunidade microbiana é um desafio fundamental para melhorar a taxa de utilização de terras recém-cultivadas. As bactérias, desempenham papéis importantes na fertilidade do solo e na promoção da saúde das plantas, e podem ser empregados e testados para a cultura da batata. Nesta pesquisa, avaliamos o potencial uso de bactérias probióticas, incluindo *Bacillus cereus*, *Succinovibrio dextrinosolvens* e *Lactobacillus acidophylus*, como uma alternativa sustentável para reduzir a dependência de fertilizantes químicos na produção de batatas. A metodologia empregada envolveu a seleção das bactérias probióticas e através da realização de testes laboratoriais, foi avaliada a capacidade dessas bactérias em fixar nitrogênio atmosférico, solubilizar fosfatos no solo e melhorar a disponibilidade de ferro para as plantas. Em seguida foram realizados experimentos de campo em áreas de cultivo de batata, onde essas bactérias probióticas foram aplicadas, visando mitigar o uso de fertilizantes químicos. Foi observada a capacidade dessas bactérias de solubilizar nutrientes no solo, tornando-os mais acessíveis às plantas. As bactérias também demonstraram contribuir para a saúde das plantas, promovendo maior resistência a doenças e estresses ambientais. A redução do uso de fertilizantes químicos, o aumento da eficiência agrícola e a melhoria da saúde das plantas são resultados promissores que estão alinhados com os princípios dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Essa abordagem inovadora oferece uma alternativa viável e sustentável para a agricultura que é crucial para enfrentar os desafios ambientais e econômicos. O uso dessas bactérias probióticas representa um passo importante em direção a uma agricultura mais sustentável e eficaz, beneficiando tanto os produtores quanto o meio ambiente.

Palavras-chaves: bactéria probiótica; agricultura; liberação de nutriente; nitrogênio; fósforo.

ABSTRACT

Potato (*Solanum tuberosum*) is a crop of great importance for many countries and, like any highly productive crop, requires the use of large amounts of chemical fertilizers, which results in high production costs and potential environmental impacts. Soil microorganisms, such as bacteria, play important roles in soil fertility and promoting plant health, and can be employed and tested for potato crops. Reducing chemical fertilization and increasing sources of organic nutrients in the soil is a sustainable approach to improving the physical, chemical, and biological properties of the soil. The microbial community is a key challenge to improving the utilization rate of newly cultivated land. Bacteria, playing important roles in soil fertility and promoting plant health, can be used, and tested for potato crops. In this research, we assessed the potential use of probiotic bacteria, including *Bacillus cereus*, *Succinivibrio dextrinosolvens* and *Lactobacillus acidophylus*, as a sustainable alternative to reduce the reliance on chemical fertilizers in the production of potatoes. The employed methodology encompassed the selection of these probiotic bacteria, and through laboratory tests, we evaluated the capacity of these bacteria to fix atmospheric nitrogen, solubilize phosphates in the soil, and enhance iron availability for plants. Subsequently, field experiments were conducted in potato cultivation areas, where these probiotic bacteria were applied, with the aim of mitigating the use of chemical fertilizers. We observed the ability of these bacteria to solubilize nutrients in the soil, rendering them more accessible to plants. Additionally, the probiotic bacteria exhibited contributions to plant health by promoting greater resistance to diseases and environmental stresses. The reduction in the use of chemical fertilizers, increased agricultural efficiency, and enhanced plant health are promising outcomes aligned with the principles of the Sustainable Development Goals (SDGs). This innovative approach presents a viable and sustainable alternative for agriculture, which is crucial in addressing the environmental and economic. The use of these probiotic bacteria represents a significant step toward a more sustainable and effective agriculture, benefiting both producers and the environment.

Keywords: probiotic bacteria; agriculture; nutrient release; nitrogen; phosphorus.

CAPÍTULO 1 – Considerações Gerais

1. Introdução

Existem mais de 4.000 variedades comestíveis de batata, encontradas principalmente nos Andes da América do Sul. A batata é a terceira cultura alimentar mais importante no mundo depois do arroz e do trigo em termos de consumo humano. Mais de um bilhão de pessoas em todo o mundo comem batata, e a produção agrícola total global excede 300 milhões de toneladas métricas (CIP, 2023). A batata é uma cultura crítica em termos de segurança alimentar face ao crescimento populacional e aumento das taxas de fome. Por exemplo, a China, o maior consumidor mundial de batatas, espera que 50% do aumento da produção de alimentos necessária para atender à demanda nos próximos 20 anos venha das batatas (CIP, 2023).

Analizando o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 2, das Nações Unidas, que se refere à preservação, conservação, proteção, sustentação e subsistência, cujo objetivo é acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar, melhoria da nutrição e promover a agricultura sustentável. Com o propósito de até 2030, dobrar a produtividade agrícola e a renda dos pequenos produtores de alimentos e agricultores familiares, inclusive por meio de acesso seguro e igual à terra, outros recursos produtivos e insumos, conhecimento e garantir sistemas sustentáveis de produção de alimentos e implementar práticas agrícolas resilientes, que aumentem a produtividade e a produção, que ajudem a manter os ecossistemas e que melhorem progressivamente a qualidade da terra e do solo (Agenda 2030, 2015). Considerando que microrganismos do solo, como bactérias, desempenham papéis importantes na fertilidade do solo e na promoção da saúde das plantas, e podem ser empregados e testados para a cultura da batata.

A redução da adubação química e o aumento das fontes de nutrientes orgânicos no solo é uma abordagem sustentável para melhorar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (Girmay et al., 2008; Zhang et al., 2015). A aplicação de fertilizante orgânico tem efeitos positivos na diversidade bacteriana e

fúngica (Kamaa et al., 2011). As comunidades microbianas do solo são importantes indicadores da qualidade do solo (Schloter et al., 2018; García-Delgado et al., 2019). Os micróbios do solo têm um papel crítico na decomposição da matéria orgânica do solo e na ciclagem de nutrientes nos ecossistemas, determinando a eficiência de utilização de nutrientes (Kallenbach et al., 2016; Cui et al., 2019). Além disso, os micróbios do solo, que direta ou indiretamente participam do processo de fluxo de material do solo e fluxo de energia, têm efeitos óbvios na manutenção e recuperação da produtividade da terra (Reinhart et al., 2016; George et al., 2019). Assim, melhorar os nutrientes do solo e a comunidade microbiana é um desafio fundamental para melhorar a taxa de utilização de terras recém-cultivadas.

Efeitos deletérios do uso de insumos agrícolas em organismos não-alvo e desestabilização ecossistêmica devido ao uso desses produtos também crescem (Yu et al., 2019). Muitos esforços são direcionados para um impacto ambiental menor na produção agrícola a custos de produção mais baixos e muitas áreas da ciência têm explorado associações entre plantas e microrganismos para o desenvolvimento de sistemas agrícolas mais sustentáveis (Naqqash et al., 2016).

A rizosfera vegetal é a região do solo próxima às raízes, que a fertilidade é influenciada por eles (Toal, 2000), com interações complexas entre raízes vegetais, microrganismos e solo (Jha et al., 2013). Essas interações complexas são impulsionadas por exsudatos liberados por raízes que atraem e selecionam bactérias benéficas (Zhang et al., 2017) e, como resultado, a rizosfera vegetal suporta um grande número de bactérias que são comumente chamadas de crescimento vegetal promovendo rizobactérias (Raza et al., 2016).

Evidências sugerem que as rizobactérias são capazes de melhorar direta e indiretamente o crescimento das plantas através de diferentes mecanismos ou habilidades (Raza et al., 2016), incluindo fixação de nitrogênio, solubilização de nutrientes, biossíntese de fito hormônios, antibióticos, enzimas hidrolíticas, sideróforos e aquisição de resistência induzida (Gupta, 2015). Bactérias que contribuem para o crescimento das plantas através do aumento da disponibilidade de nutrientes, fixação de nitrogênio, solubilização de fósforo ou aquisição de ferro são comumente chamadas de biofertilizantes (Sharma et al., 2013; Kuan et al., 2016). É evidente que algumas rizobactérias são muito eficientes na mobilização e

solubilização dos nutrientes do solo em comparação com bactérias não rizosféricas (Hayat et al., 2010) e, portanto, essas bactérias desempenham um papel importante na fertilidade do solo e no aumento da eficiência vegetal na absorção e utilização desses nutrientes (Glick et al., 2012). Algumas rizobactérias sintetizam fitohormônios, que são moléculas orgânicas que em altas ou baixas concentrações inibem ou promovem o desenvolvimento de raízes e brotos (Somers et al., 2004).

Bacillus cereus são bactérias que promovem o crescimento vegetal de acordo com suas habilidades e podem ser classificados como biofertilizantes (Ramamoorthy et al., 2001) e é um produtor de fosfolipases e enzimas que degradam alimentos, como amilases, proteases e lectinase (Granum e Lindbäck, 2013).

As bactérias ureolíticas são os organismos que produzem ureases que quebram a uréia em NH_3 para a síntese de proteínas microbianas (Hailemariam et al., 2021). *Bacillus cereus* tem um efeito positivo na modulação imunidade e microbiota intestinal, que é muito importante para a exploração de novos probióticos (Li et al., 2009). *Lactobacillus acidophilus* é um organismo probiótico que degrada diversas enzimas, amplamente utilizadas como suplemento; é produzido pela indústria alimentícia, com a função de manter o equilíbrio do intestino microbiota (Flesch et al., 2014).

Adere a determinados receptores na membrana intestinal competindo com patógenos, além de produzir substâncias, denominadas bactericidas (Marco et al., 2006). Além disso, *L. acidophilus* é usado em alimentos e aplicação farmacêutica para equilibrar distúrbios intestinais microbiota (Sinn et al., 2008). *Succinovibrio dextrinosolvens* é uma bactéria anaeróbia, gram-negativa amilolítica (degradação do amido), com pH ótimo em torno de 6,0 a 7,0. Esta bactéria é geralmente encontrada no rúmen bovino; ajuda com outros microrganismos para fazer melhor uso dos nutrientes (Stewart et al., 1997).

2. Objetivos

2.1 Objetivo Geral

O principal objetivo deste estudo é avaliar o desenvolvimento da cultura da batata, associada a bactérias que são muitas vezes utilizadas como probióticos, destacando ação das mesmas como promotoras de crescimento.

2.2 Objetivos Específicos

- Aumento do peso das raízes de batata;
- Incremento de massa vegetal;
- Solubilização microbiana de N e P.

3. Revisão de Literatura

3.1 Cultura da Batata

A batata (*Solanum tuberosum*) é a terceira cultura alimentar mais importante do planeta, e a primeira commodity não grão. Estima-se que mais de um bilhão de pessoas consomem batata diariamente no mundo. Sua produção mundial anual supera 330 milhões de toneladas em uma área de 18 milhões de hectares (EMBRAPA). No Brasil, a batata é a hortaliça mais importante, com uma produção anual de aproximadamente 3,5 milhões de toneladas em uma área de cerca de 130 mil hectares. De acordo com Associação Brasileira da Batata (ABBA), o agronegócio da batata envolve em torno de 5 mil produtores em 30 regiões de sete estados brasileiros (MG, SP, PR, RS, SC, GO e BA).

Segundo dados da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura, a produtividade brasileira aumentou 28,1% nos últimos dez anos, principalmente devido à melhoria nas técnicas de cultivo empregadas pelos produtores, associada a cultivares mais produtivas introduzidas nos sistemas de produção e a qualidade das sementes utilizadas. Em 2011, a produtividade atingiu

26,3 t/ha, superando a média mundial (19,4 t/ha), mas abaixo da produtividade da Argentina (30,0 t/ha), Chile (31,2 t/ha) e, principalmente de países desenvolvidos, tais como Holanda (46,1 t/ha), Alemanha (45,6 t/ha) e Estados Unidos (42,2 t/ha). Portanto, é muito importante a incorporação de tecnologias e produtos tecnológicos que possibilitem o aumento da produtividade e da qualidade nos sistemas de produção de batata, visando garantir a competitividade e a sustentabilidade da cadeia brasileira da batata (EMBRAPA).

3.2 Solo no cultivo da batata

A batata desempenha um papel importante na segurança alimentar e nutricional global (Devaux et al., 2020). O nitrogênio é um nutriente importante para a planta da batata (Zebarth e Rosen, 2007, Zebarth et al., 2012). O suprimento insuficiente de N para a planta pode comprometer o rendimento e a qualidade dos tubérculos, enquanto o fornecimento excessivo também pode reduzir o rendimento e a qualidade dos tubérculos e levar a perdas excessivas de nitrato no ambiente (Zebarth et al., 2012, Koch et al., 2020).

A lixiviação excessiva de nitrato da cultura da batata resultou na contaminação do lençol freático por nitrato em áreas de cultivo intensivo de batata (Zebarth et al., 2015 e Woli e Hoogenboom, 2018). O consumo humano de água com alto teor de nitrato está associado à síndrome do bebê azul, câncer colorretal, doenças da tireoide e defeitos do tubo neural (Mathewson et al., 2020, Health Canada, 2014, Ward et al., 2018). A descarga de águas subterrâneas enriquecidas com nitrato nas águas superficiais receptoras contribui para a eutrofização (Bugden et al., 2014 e Jroundi et al., 2020). Assim, o manejo de N para produção de batata tem importantes implicações econômicas e ambientais (Zebarth et al., 2009).

3.3 Fertilizantes Orgânicos

Além de suas funções nutricionais, os fertilizantes orgânicos têm um efeito importante no incremento da qualidade do produto, propriedades físicas do solo e atividade biológica (Courtney e Mullen, 2008, Nigussie et al., 2015). Os fertilizantes

biológicos foram introduzidos como uma alternativa aos fertilizantes químicos, a fim de aumentar a fertilidade do solo na produção agrícola na agricultura sustentável (Singh, 2021, Younessi-Hamzekhanlu et al., 2021). Fertilizantes biológicos são na verdade diferentes tipos de organismos de vida livre que podem converter os principais nutrientes de uma forma inacessível para uma forma acessível durante processos biológicos e levar ao desenvolvimento de sistemas radiculares e melhor germinação de sementes (Mishra et al. 2013).

Em geral, aumentar o número e a diversidade de microrganismos e as interações das comunidades microbianas aumentam o número e a variedade de ácidos orgânicos eficazes no processo de dissolução de fosfatos insolúveis (Srivastava et al. 2010). Os biofertilizantes apresentam vantagens significativas em relação aos fertilizantes químicos, como não produzir substâncias tóxicas e ter a capacidade de se reproduzir espontaneamente; que melhoram as propriedades físicas e químicas do solo (Pal e Gardener, 2006, Srivastava et al., 2010, Tilak et al., 2005).

A escassez de nitrogênio reduz os rendimentos, espalha doenças e causa o envelhecimento precoce da planta. A disponibilidade de grande quantidade de nitrogênio também estimula o crescimento vegetativo, retarda a tuberização e aumenta a porcentagem de tubérculos de tamanhos maiores. A abundância de fósforo aumenta a quantidade de tubérculos produzidos. Em sistemas agrícolas sustentáveis, o uso de biofertilizantes é de grande importância para aumentar a produção e manter a fertilidade sustentável do solo (Mishra et al., 2013, Pandey e Chandra, 2016, Srivastava et al., 2010).

Na agricultura orgânica, a não utilização de insumos químicos em conjunto com boas práticas agrícolas protege o meio ambiente de forma sustentável contra a poluição. O controle da fertilização, especialmente da adubação nitrogenada, representa uma saída para a preservação ambiental (Maidl et al., 2002) e contribui para a obtenção de uma boa produção qualitativa e quantitativa das culturas (Grant et al., 2002). O nitrogênio é um elemento essencial para o crescimento e desenvolvimento das culturas (Taiz e Zeiger, 2002, Najm et al., 2012).

A fertilização azotada insuficiente induz à perda de rendimento (Alva, 2004) e conduz, a longo prazo, à degradação do solo pelo esgotamento progressivo e

diminuição da matéria orgânica (Tremblay et al., 2001). Por outro lado, o excesso de nitrogênio degrada a qualidade dos produtos colhidos e causa a contaminação por nitratos das águas subterrâneas (Kraft e Stites, 2003) e das águas superficiais (Honisch et al., 2002), induz a acidificação do solo, eutrofização e poluição atmosférica em condições específicas por desnitrificação (Xie et al., 2020) e volatilização sob condições alcalinas (Liu et al., 2013, Stevens, 2019).

Um dos problemas de manejo da adubação, na agricultura orgânica, ocorre em virtude do fornecimento indireto de nitrogênio por um adubo orgânico que precisa ser mineralizado para liberar o nitrogênio mineral no solo. O fornecimento de azoto destes produtos é muitas vezes difícil de sincronizar com as necessidades das culturas (Pang e Letey, 2000) e depende da composição química destes produtos (teor de N e especialmente relação C/N) bem como das pedo-condições climáticas que influenciam a decomposição e mineralização da matéria orgânica (Webb et al., 2013, Chen et al., 2014, Thangarajan et al., 2015, Sradnick e Feller, 2020).

A aplicação excessiva de fertilizantes químicos causa uma série de problemas, como baixa eficiência no uso da água, baixa eficiência no uso de fertilizantes e grande perda de nitrogênio, além de afetar o uso sustentável das terras agrícolas (Bellarby et al., 2018; Cui et al., 2018; Qin et al., 2018; Rahman e Zhang, 2018; Wang et al., 2019). As batatas são muito sensíveis à água do solo, portanto, a relação entre a água disponível no solo e as necessidades hídricas das batatas é considerada um fator importante na determinação do rendimento da batata (Steyn et al., 2016).

4. Referência Bibliográfica

ABBA. Associação Brasileira da Batata. Disponível em:

[//www.abbabatatabrasileira.com.br/](http://www.abbabatatabrasileira.com.br/). Acesso em: 2023.

AGENDA 2030. (2015). ODS – Objetivos de desenvolvimento sustentável.

Disponível em: <http://www.agenda2030.com.br/>. Acesso em: 2023.

ALVA, A. Potato Nitrogen Management. **J. Veg. Crop. Prod.**, 10 (2004), pp. 97-130.

BELLARBY, J.; SURRIDGE, B. W. J.; HAYGARTH, P. M.; LIU, K.; SICILIANO, G.; SMITH, L.; RAHN, C.; MENG, F. The stocks and flows of nitrogen, phosphorus and potassium across a 30-year time series for agriculture in Huantai county. China. **Sci. Total Environ.**, 619-620 (2018), pp. 606-620.

BUGDEN, G.; JIANG, Y.; VAN DEN HEUVEL, M. R.; VANDERMEULEN, H.; MACQUARRIE, K. T. B.; CRANE, C. J.; RAYMOND, B. G. 2014. Nitrogen Loading Criteria for Estuaries in Prince Edward Island. **Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.** 3066: vii.

CHEN, B.; LIU, E. K.; TIAN, Q.; YAN, C.; ZHANG, Y. Soil nitrogen dynamics and crop residues. A review. **Agron. Sustain. Dev.**, 34 (2014), pp. 429-442.

COURTNEY, R.; MULLEN, G. Soil quality and barley growth as influenced by the land application of two compost types. **Bioresour. Technol.**, 99 (2008), pp. 2913-2918.

CIP. International Potato Center: <https://cipotato.org/potato> Acesso em: 2023.

CUI, Z.; ZHANG, H.; CHEN, X.; ZHANG, C.; MA, W.; HUANG, C.; ZHANG, W.; MI, G.; MIAO, Y.; LI, X.; GAO, Q.; YANG, J.; WANG, Z.; YE, Y.; GUO, S.; LU, J.;

HUANG, J.; LV, S.; SUN, Y.; LIU, Y.; PENG, X.; REN, J.; LI, S.; DENG, X.; SHI, X.; ZHANG, Q.; YANG, Z.; TANG, L.; WEI, C.; JIA, L.; ZHANG, J.; HE, M.; TONG, Y.; TANG, Q.; ZHONG, X.; LIU, Z.; CAO, N.; KOU, C.; YING, H.; YIN, Y.; JIAO, X.; ZHANG, Q.; FAN, M.; JIANG, R.; ZHANG, F.; DOU, Z. Pursuing sustainable productivity with millions of smallholder farmers. **Nature**, 555 (2018), p. 363.

CUI, Y.; FANG, L.; GUO, X.; HAN, F.; JU, W.; YE, L.; WANG, X.; TAN, W.; ZHANG, X. Natural grassland as the optimal pattern of vegetation restoration in arid and semi-arid regions: Evidence from nutrient limitation of soil microbes. **Science of The Total Environment**, 648 (2019), p 388 – 397.

DEVAUX, A.; GOFFART, J.-P.; PETSAKOS, A.; KROMANN, P.; GATTO, M.; OKELLO, J.; SUAREZ, V.; HAREAU, G. Global Food Security, Contributions from Sustainable Potato Agri-Food Systems. **The Potato Crop , Springer International Publishing, Cham** (2020) , p. 3e35.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Agência de Informação Embrapa. [<https://www.embrapa.br/>]. Disponível em: https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p_p_id=conteudoportlet_WAR_sistema%2Fproducao%2F6_1ga1ceportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-2&p_p_col_count=1&p_r_p_76293187_sistemaProducaoId=8803&p_r_p_996514994_topicId=1301. Acesso em: 2022.

FLESCH AGT.; POZIOMYCK AK.; DAMIN DDC. The therapeutic use of symbiotics. ABCD. **Arquivos Brasileiros de Cirurgia Digestiva** (São Paulo) 27(3):206-209. (2014).

GARCÍA-DELGADO, C.; BARBA-VICENTE, V.; MARÍN-BENITO, JM.; IGUAL, JM.; SÁNCHEZ-MARTÍN, MJ.; RODRÍGUEZ-CRUZ, MS. Influence of different agricultural management practices on soil microbial community over dissipation

time of two herbicides. **Science of The Total Environment**, 646 (2019), pp. 1478 – 1488.

GEORGE, PB.; LALLIAS, D.; CREER, S.; SEATON, FM.; KENNY, JG.; ECCLES, RM.; GRIFFITHS, RI.; LEBRON, I.; EMMETT, BA.; ROBINSON, DA. Divergent national-scale trends of microbial and animal biodiversity revealed across diverse temperate soil ecosystems. **Nature Communications**, 10 (2019), pp. 1107.

GIRMAY, G.; SINGH, B.; MITIKU, H.; BORRESEN, T.; LAL, R. Carbon stocks in Ethiopian soils in relation to land use and soil management. **Land Degradation & Development**, 19 (2008), pp. 351 – 367.

GLICK BR. Plant growth-promoting bacteria: mechanisms and applications. **Scienti** (2012).

GRANT, C.A.; BROWN, K.R.; RACZ, G.I.; BAILEY, L.D. Influence of source, timing and placement of nitrogen fertilization on seed yield and nitrogen accumulation in the seed of canola under reduced-and conventional-tillage management. Can. **J. Plant Sci.**, 82 (4) (2002), pp. 629-638.

GRANUM PE.; LINDBÄCK T. "Bacillus cereus." Food microbiology. **American Society of Microbiology**, pp. 491-502. (2013).

GUPTA G.; PARIHAR SS.; AHIRWAR NK.; SNEHI SK.; SINGH V. Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): current and future prospects for development of sustainable agriculture. (2015). **J Microb Biochem Technol** 7(2):096-102.

HAILEMARIAM, S.; ZHAOA, S.; HEA Y.; WANGA, J. Urea transport and hydrolysis in the rumen: A review. **Animal Nutrition** 7 (2021) 989-996.

HAYAT R.; ALI S.; AMARA U.; KHALID R.; AHMED I. Soil beneficial bacteria and their role in plant growth promotion: a review. (2010). **Ann Microbiol** 60(4):579-598

HEALTH CANADA. About Health Canada, 2014. Disponível em: <http://www.hc-sc.gc.ca/ahc-asc/index-eng.php>. Acesso em: 2023.

HONISCH, M.; HELLMEIER, C.; WEISS, K. Response of surface and subsurface water quality to land use changes. **Geoderma**. 105 (3–4) (2002), pp. 277-298.

JHA PN.; GUPTA G.; JHA P.; MEHROTRA R. Association of rhizospheric/endophytic bacteria with plants: a potential gateway to sustainable agriculture. (2013). **Green J Agri Sci** 3(2):73-84.

JROUNDI, F.; DESCOSTES, M.; POVEDENA-PRIEGO, C.; SÁNCHEZ-CASTRO, I.; SUVANNAGAN, V.; GRIZARD, P.; MERROUN, M. L. Profiling native aquifer bacteria in a uranium roll-front deposit and their role in biogeochemical cycle dynamics: Insights regarding in situ recovery mining. **Science of The Total Environment**. Volume 721. 2020.

KALLENBACH, CM.; FREY, SD.; GRANDY, AS. Direct evidence for the formation of microbial-derived soil organic matter and its ecophysiological controls. **Nature Communications**, 7 (2016), Artigo 13.630.

KAMAA, M.; MBURU, H.; BLANCHART, E.; CHIBOLE, L.; CHOTTE, J.; KIBUNJA, C.; LESUEUR, D. Effects of organic and inorganic fertilization on bacterial and fungal soil microbial diversity in the long-term kabete trial, Kenya. **Biol Fertil Solos**, 47 (2011), pp. 315 – 321.

KOCH, M.; NAUMANN, M.; PAWELZIK, E.; GRANSEE, A.; THIEL, H. The Importance of Nutrient Management for Potato Production Part I: Plant Nutrition and Yield. **Potato Research**, 63 (2020), pp. 97-119.

KRAFT, G. J.; STITES, W. Nitrate impacts on groundwater from irrigated-vegetable systems in a humid north-central US sand plain. **Agr. Ecosyst. Environ.**, 100 (1) (2003), pp. 63-74.

KUAN, K. B.; OTHMAN, R.; RAHIM, K.A.; SHAMSUDDIN Z. H. Plant growth-promoting rhizobacteria inoculation to enhance vegetative growth, nitrogen fixation and nitrogen remobilisation of maize under greenhouse conditions. (2016).

LI, S.; ZHAO, X.; WANG, J. Synergy of Astragalus polysaccharides and probiotics (Lactobacillus and Bacillus cereus) on immunity and intestinal microbiota in chicks. **Poultry Science** 88(3):519-525. (2009).

LIU, X.; ZHANG, Y.; HAN, W.; TANG, A.; SHEN, J.; CUI, Z.; VITOUSEK, P.; ERISMAN, J. W.; GOULDING, K; CHRISTIE, P.; FANGMEIER, A.; ZHANG, F. Enhanced nitrogen deposition over China. **Nature**, 494 (2013), pp. 459-462.

MARCO ML.; PAVAN S.; KLEEREBEZEM M. Towards understanding molecular modes of probiotic action. **Current Opinion in Biotechnology** 17(2):204-210. (2006).

MAIDL, F. X.; BRUNNER, H.; STICKSEL, E. Potato uptake and recovery of nitrogen ¹⁵N-enriched ammonium nitrate. **Geoderma**, 105 (3–4) (2002), pp. 167-177.

MATHEWSON, P. D.; EVANS, S., BYRNES, T.; JOOS, A.; NAIDENKO, O. V. Health and economic impact of nitrate pollution in drinking water: a Wisconsin case study. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 192, n. 11, p. 724, 2020.

MISHRA, D.; RAJVIR, S.; MISHRA, U.; KUMAR, S. S. Role of bio-fertilizer in organic agriculture: a review. Res. **J. Recent Sci.**, 2277 (2013), p. 2502.

NAJM, A. A.; HADI, M. R. H. S.; DARZI, M. T.; FAZELI, F. Influence of Nitrogen Fertilizer and Cattle Manure on the Vegetative Growth and Tuber Production of Potato. **Intl J. Agri. Crop. Sci.**, 5 (2) (2013), pp. 147-154.

NAQQASH T.; HAMEED S.; IMRAN A.; HANIF MK.; MAJEED A.; ELSAS JD VAN. Differential response of potato toward inoculation with taxonomically diverse plant growth promoting rhizobacteria. (2016) **Frontiers in Plant Sci** 7:144.

NIGUSSIE, A.; KUYPER, T. W.; NEERGAARD, A DE. Agricultural waste utilisation strategies and demand for urban waste compost: evidence from smallholder farmers in Ethiopia. **J. Waste Manag.**, 44 (2015), pp. 82-93.

PAL, K. K.; GARDENER, B. M. Biological control of plant pathogens. **Plant Health Instr.**, 2 (2006), pp. 1117-1142.

PANDEY, V., CHANDRA, K., 2016. Agriculturally important microorganisms as biofertilizers: commercialization and regulatory requirements in Asia. In: (Eds), **Agriculturally Important Microorganisms. Springer**, pp. 133-145.

PANG, X. P.; LETEY, J. Organic farming: challenge of timing nitrogen availability to crop nitrogen requirements. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 64 (2000), pp. 247-253.

QIN, W.; ZHANG, X.; CHEN, S.; SUN, H.; SHAO, L. Crop rotation and N application rate affecting the performance of winter wheat under deficit irrigation. **Agr. Water Manage.**, 210 (2018), pp. 330-339.

RAHMAN, K. M. A.; ZHANG, D. Effects of fertilizer broadcasting on the excessive use of inorganic fertilizers and environmental sustainability. **Sustainability**, 10 (2018), p. 759.

RAMAMOORTHY V.; VISWANATHAN R.; RAGUCHANDER T.; PRAKASAM V.; SAMIYAPPAN R. Induction of systemic resistance by plant growth promoting rhizobacteria in crop plants against pests and diseases. (2001). **Crop Protect** 20(1):1-11.

RAZA W.; YOUSAF S.; RAJER FU. Plant growth promoting activity of volatile organic compounds produced by biocontrol strains. *Sci. (2016). Lett* 4(1):40-43.

SCHLOTTER, M.; NANNIPIERI, P.; SØRENSEN, S.J.; ELSAS, J.D. VAN. Microbial indicators for soil quality. **Biol Fertile Soils**, 54 (2018), pp. 1 – 10.

SHARMA S.B.; SAYYED R.Z.; TRIVEDI M.H.; GOBI T.A. Phosphate solubilizing microbes: sustainable approach for managing phosphorus deficiency in agricultural soils. (2013). **SpringerPlus** 2(1):587.

SINGH, M. Organic farming for sustainable agriculture. **Indian J. Org. Farming**, 1 (2021).

SINN D.H.; SONG J.H.; KIM H.J.; LEE J.H.; SON H.J.; CHANG D.K.; KIM Y.H.; KIM J.J.; RHEE J.C.; RHEE P.L. Therapeutic effect of *Lactobacillus acidophilus*-SDC 2012, 2013 in patients with irritable bowel syndrome. **Digestive Diseases and Sciences** 53(10):2714-2718. (2008).

SOMERS E.; VANDERLEYDEN J.; SRINIVASAN M. Rhizosphere bacterial signalling: a love parade beneath our feet. (2004). **Critic Microbiol** 30(4):205-240.

SRADNICK, A.; FELLER, C. A Typological concept to predict the nitrogen release from organic fertilizers in farming systems. **Agron.10** (1448), 1–18. 10.3390/agronomy10091448. (2020).

SRIVASTAVA, R.; JOSHI, M.; KUMAR, A.; PACHARI, S.; SHARMA, A. Biofertilizers for sustainable agriculture. In: (Eds), Diversification problems and perspectives. **International Publishing House Pvt. Ltd.**, New Delhi, India, pp. 58-73. (2010).

STEVENS, C. J. Nitrogen in the environment. *Science*, 363 (6427) (2019), pp. 578-580.

STEWART C, FLINT H, BRYANT M. The rumen bacteria. **The Rumen Microbial Ecosystem**, pp. 10-72. (1997).

STEYN, J. M.; FRANKE, A. C.; WAALS, J. E. VAN DER; HAVERKORT, A. J. Resource use efficiencies as indicators of ecological sustainability in potato production: a South African case study. **Field Crop Res.**, 199 (2016), pp. 136-149.

THANGARAJAN, R.; BOLAN, N. S.; NAIDU, R.; SURAPANENI, A. Effects of temperature and amendments on nitrogen mineralization in selected Australian soils. *Env. Sci. Pollut. Res. Int.*, 22 (2015), pp. 8843-8854.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Plant Physiology. (3rd ed.), **Sinauer Associates, Inc Publishers, Sunderland, MA** (2002).

TILAK, K.; RANGANAYAKI, N.; PAL, K.; SAXENA, R. DE, A.; NAUTIYAL, C.S.; MITTAL, S.; TRIPATHI, A.; JOHRI, B. Diversity of plant growth and soil health supporting bacteria. **Curr. Sci.** (2005), pp. 136-150.

TOAL M.; YEOMANS C.; KILLHAM K.; MEHARG A. A review of rhizosphere carbon flow modelling. (2000). **Plant and Soil** 222(1-2):263-281.

TREMBLAY, N.; SCHARPF, H.; WEIER, U.; LAURENCE, H.; OWEN, J. Régie de l'azote chez les cultures maraîchères. **Guide pour une fertilisation raisonnée**, 70p. (2001).

WANG, X.; FAN, J.; XING, Y.; XU, G.; WANG, H.; DENG, J.; WANG, Y.; ZHANG, F.; LI, P.; LI, Z. The effects of mulch and nitrogen fertilizer on the soil environment of crop plants. D.L. Sparks (Ed.), **Adv. Agron., Academic Press** (2019), pp. 121-173.

WARD, A.S., MORGAN, J.A., WHITE, J.R., AND ROYER, T.V. Streambed Restoration to Remove Fine Sediment Alters Reach-Scale Transient Storage in a

Low-Gradient Fifth-Order River, Indiana, USA. **Hydrological Processes**. Volume 32, Iss 12. (2018), pp. 1786-1800

WEBB, J.; SØRENSEN, P.; VELTHOF, G.; AMON, B.; PINTO, M.; RODHE, L.; SALOMON, E.; HUTCHINGS, N.; BURCZYK, P.; REID, J. An assessment of the variation of manure nitrogen efficiency throughout Europe and an appraisal of means to increase manure N efficiency. **Adv. Agron.**, 119 (2013), pp. 371-442.

WOLI, P.; HOOGENBOOM, G. Simulation of climate effects on potato yield, nitrate leaching and profit margin in the US Pacific Northwest. **Agricultural Water Management**, 201 (2018), pp. 177-187.

XIE, D.; ZHAO, B.; WANG, S.; DUAN, L. Benefit of China's reduction in nitrogen oxides emission to natural ecosystems in East Asia with respect to critical load exceedance. **Environ. Int.**, 136 (2020), Article 105468.

YOUNESSI-HAMZEKHANLU, M.; ABDIPOUR, M.; DEJAHANG, A.; SABZI-NOJADEH, M.; AMANI, M. Herbals Used in Western Iran as Food and for Health Treatments. M. Ozturk, V. Altay, R. Efe (Eds.), Biodiversity, Conservation and Sustainability in Asia: Volume 1: Prospects and Challenges in West Asia and Caucasus, **Springer International Publishing** (2021), pp. 547-599.

YU H.; LING N.; WANG T.; ZHU C.; WANG Y.; WANG S.; GAO Q. Responses of soil biological traits and bacterial communities to nitrogen fertilization mediate maize yields across three soil types. (2019) **Soil and Tillage Res** 185:61-69.

ZEBARTH, B. J.; ROSEN, C. J. Research perspective on nitrogen BMP development for potato. *Sou. J. Potato Res.*, 84 (2007), pp. 3-18.

ZEBARTH, B. J.; DRURY, C.F.; TREMBLAY, N.; CAMBOURIS, A.N. Opportunities for improved fertilizer nitrogen management in production of arable

crops in eastern Canada: A review. *Canadian Journal of Soil Science*, 89 (2009), pp. 113-132.

ZEBARTH, B. J.; BELANGER, G.; CAMBOURIS, A. N.; ZIADI, N. Nitrogen Fertilization Strategies in Relation to Potato Tuber Yield, Quality, and Crop N Recovery. Z. He (Ed.), **Sustainable Potato Production: Global Case Studies**, Springer, Nova York (2012), pp. 165-186

ZEBARTH, B.J.; DANIELESCU, S.; NYIRANEZA, J.; RYAN, M.C.; JIANG, Y.; GRIMMETT, M.G.; BURTON, D.L. Controls on nitrate loading and implications for BMPs under intensive potato production systems in prince edward island, Canada. **Groundwater Monitor. Rem.**, 35 (2015), pp. 82-96

ZHANG, H.; DING, W; YU, H.; HE, X. Linking organic carbon accumulation to microbial community dynamics in a sandy loam soil: results of a 20-year experiment with repeated application of compost and inorganic fertilizers. **Biol Fertile Soils**, 51 (2015), pp. 137 – 150.

ZHANG X.; ZHANG R.; GAO J.; WANG X.; FAN F.; MA X.; YIN H.; ZHANG C.; FENG K.; DENG Y. Thirty-one years of rice-rice-green manure rotations shape the rhizosphere microbial community and enrich beneficial bacteria. (2017). **Soil Biol Biochem** 104:208-217.

CAPÍTULO 2 – Bactérias lácticas com potencial de promoção do crescimento vegetal

1. Introdução

A cultura da batata tem uma importância enorme devido à grande quantidade de amido que é a base alimentar de muitas pessoas em todo o mundo. Para sua produção, a batata requer grande quantidade de fertilizante químico, e muitos estudos relacionam o alto uso de fertilizantes químicos com doenças e impacto ambiental. Para diminuir esses problemas e reduzir a quantidade de fertilizante químico, o uso de rizobactérias promotoras de crescimento vegetal é uma excelente alternativa na produção de batata (Qiu et al., 2022).

As rizobactérias promotoras do crescimento vegetal são um grupo de bactérias isoladas da rizosfera que possuem várias habilidades (Etesami e Maheshwari, 2018). Essas habilidades são classificadas como diretas quando a ação atua diretamente na planta e indiretas quando o crescimento da planta resulta da ação (Alori et al., 2019). Algumas habilidades diretas são a produção de fito hormônios, que promove o desenvolvimento das raízes, melhora a eficiência da exploração do solo e aumenta a absorção de água e nutrientes pelas raízes das plantas (Aziz et al., 2022).

Os fitos hormônios também promovem aumentos de parte da área, melhorando a eficiência da fotossíntese como resultado de melhorar o crescimento da planta e fornecer mais metabólitos para a comunidade microbiana rizosférica por meio da rizodeposição. Os fitos hormônios produzidos por algumas bactérias também protegem as bactérias contra os mecanismos de proteção da planta e diminuem a competição das bactérias por seu nicho de colonização (Lobo et al., 2022). Outra habilidade direta é a capacidade de algumas bactérias fornecerem nutrientes importantes às plantas. Algumas bactérias sintetizam ácidos orgânicos ou enzimas que solubilizam o fósforo no solo (Hu et al., 2006) e (Huang et al., 2020). Normalmente, há uma grande quantidade de fósforo no solo; no entanto, está

indisponível. Essas bactérias podem solubilizar esse fósforo, tornando-o disponível para plantas e outros microrganismos.

Algumas bactérias carregam a enzima denominada nitrogenase; esta enzima transforma o nitrogênio atmosférico em amônia, uma forma assimilável para muitos organismos (Afzal et al., 2019). Essas bactérias são chamadas de fixadores de nitrogênio. Existem algumas habilidades indiretas que também promovem o crescimento da planta, como atividade celulolítica e amilolítica e produção de sideróforos. Essas habilidades tornam o carbono disponível e liberam energia no solo. A capacidade de produzir sideróforos torna o ferro disponível. O ferro está presente no solo em pequenas quantidades, o que é importante para o crescimento de plantas e micróbios.

Esse cenário particular da agricultura mundial e a possibilidade de uso de promotores de crescimento vegetal leva muitos pesquisadores em todo o mundo a buscar um conhecimento profundo e buscar novos isolados com essas habilidades. Muitos estudos têm mostrado os benefícios do uso dessas bactérias, mas novos estudos são bem-vindos.

Os *B. cereus*, *S. dextrinosolvens* e *L. acidophilus* utilizados neste estudo pertencem ao acervo do laboratório de microbiologia do solo e foram isolados de ruminantes. O primeiro estudo realizado com essas bactérias foi realizado por Santos et al. (2020) em plantas de milho e soja em casa de vegetação. O presente estudo utilizou os mesmos isolados caracterizados por Santos et al. (2020) em plantas de batata em casa de vegetação.

O objetivo deste estudo foi avaliar o uso de três bactérias, *B. cereus*, *S. dextrinosolvens* e *L. acidophilus*, com algumas habilidades relacionadas à promoção do crescimento vegetal em plantas de batata.

2. Materiais e Métodos

O experimento foi conduzido em delineamento de blocos casualizados em casa de vegetação com cinco tratamentos e seis repetições com vasos de 5 dm³ com solo. Os tratamentos foram os seguintes: T1 = controle; T2 = *B. cereus*; T3 =

L. acidophilus; T4 = *S. dextrinosolvens*; T5 = “MIX” (mistura de *B. cereus* + *L. acidophilus* + *S. dextrinosolvens*).

2.1 Bactérias Isoladas

As bactérias utilizadas neste estudo (*B. cereus*, *L. acidophilus* e *S. dextrinosolvens*) pertenciam à coleção do Laboratório de Microbiologia do Solo. Essas bactérias foram cultivadas em frascos Erlenmeyer contendo caldo nutritivo a 28 °C por 24 horas. A concentração foi de 1×10^8 mL⁻¹ de unidades formadoras de colônias (UFC).

2.2 Ágar Amido

Para o preparo do meio de produção de amido foram utilizados os seguintes reagentes/condições: K₂HPO₄ 0,3 g L⁻¹; MgSO₄.7H₂O 1,0 g L⁻¹; NaCl 0,5 g L⁻¹; NaNO₃ 1,0 g L⁻¹; amido 10 g L⁻¹; e pH = 6,9.

2.3 Atividade Celulolítica

A atividade celulolítica foi avaliada pelo monitoramento da oxidação de L-3,4-diidroxifenilalanina (L-DOPA; Sigma, São Paulo Brasil) em peróxido de hidrogênio. Um volume final de 1,0 mL de mistura de reação continha peróxido de hidrogênio 4,0 mM, tampão fosfato de potássio 0,1 M (pH 7,0) e L-DOPA 1,0 mM. Uma preparação enzimática bruta concentrada (100 a 200 µL) foi usada no ensaio. A reação foi iniciada pela adição de peróxido de hidrogênio e o aumento da absorbância foi monitorado por 5 minutos a 37 °C.

As respostas contendo todos os reagentes, exceto o extrato bruto da enzima, serviram como controle. Uma unidade da enzima foi expressa como a quantidade de enzima. Foi utilizada a metodologia do meio de cultura descrita por Ramachandra, Crawford e Pometto (1987) sem alterações.

2.4 Produção de Ácido Indolacético

As bactérias avaliadas foram rastreadas quanto à produção de IAA. Resumidamente, a cultura bacteriana foi inoculada no respectivo meio (caldo de Jensen/nutriente) com triptofano (1, 2 e 5 mg mL⁻¹) ou sem triptofano e incubada a 28 ± 2 °C por 15 dias. As culturas foram centrifugadas a 3000 rpm por 30 min. Dois mililitros do sobrenadante foram misturados com duas gotas de ácido ortofosfórico e 4 mL do reagente de Solawski (50 mL, ácido perclórico a 35%; 1 mL 0,5 FeCl₃). O desenvolvimento de uma cor rosa indica a produção de IAA. A reação foi lida a 530 nm usando um Spectronic 20D+. O nível de IAA produzido foi estimado por um gráfico padrão de IAA.

2.5 Quantificação Fósforo

A quantificação da solubilização de fosfato foi medida em um Erlenmeyer de 120 mL contendo 50 mL de meio Nahas (Pupin e Nahas, 2011); foram adicionados 200 µL de inóculo de cada isolado. Os frascos Erlenmeyer foram incubados por 48 h a ± 28 °C com agitação a 180 rpm. Após a incubação, 5 mL de cada amostra foram transferidos para tubos e centrifugados a 9000 rpm por 15 min. Em seguida, 1 mL de sobrenadante de cada isolado, 4 mL de água destilada e 1 mL de reagente de molibdato-vanadato de amônio (formado pela mistura de volumes iguais) foram adicionados a um novo tubo para posterior leitura (após 5 min) em um espectrofotômetro a 470 milhas náuticas.

Para quantificar a dinâmica dos níveis de fósforo, todas as bactérias foram cultivadas em meio mínimo com 1 g de hidroxiapatita com três repetições para cada bactéria. A cada três dias, três tubos de cada bactéria tiveram seu teor de fósforo medido e um gráfico foi criado de acordo com os resultados.

2.6 Quantificação de Nitrogênio

O método de Kuss (2007) foi utilizado nas análises de quantificação de nitrogênio por isolados. Na determinação do nitrogênio em alimentos, recomenda-

se uma mistura de digestão de 40 g de sulfato de sódio e 1,6 g de sulfato de cobre por 100 mL de ácido, com tempo de digestão de 6 h. Para a microdeterminação de proteína em glicerol a 50%, utiliza-se bromo como agente oxidante, complementado por peróxido de hidrogênio a 30%.

Para quantificar a dinâmica dos níveis de fósforo, todas as bactérias foram cultivadas em meio livre de nitrogênio com três repetições para cada bactéria. A cada três dias, três tubos de cada bactéria tiveram seu teor de nitrogênio medido e um gráfico foi criado de acordo com os resultados.

2.7 Plantio

Os experimentos foram conduzidos em casa de vegetação pertencente ao Laboratório de Microbiologia Agrícola da UNESP-FCAV (coordenadas - Latitude: 21°14'05" S Longitude: 48°17'09" W). Para estudos de batata, foi utilizada a variedade Dow Agro-Science. Nos experimentos com batatas, foram utilizadas sementes da variedade Baroka Piornner. Em ambos os casos, as sementes foram inoculadas com *B. cereus*, *L. acidophilus* e *S. dextrinosolvens* depositadas em vasos (5 L) preenchidos com solo vermelho eutrófico tipo Latossolo que foi peneirado e adubado.

A adubação foi realizada de acordo com a análise química do solo e recomendada para as lavouras. A composição da fertilidade do solo foi de pH = 6,5; matéria orgânica = 11 g dm³; fósforo = 20 mg dm³; solo = 12 mg dm³; potássio = 0,7 mmolc dm³; magnésio = 17 mmolc dm³; e a soma das bases = 24,4 mmolc dm³.

2.8 Inoculação

Quatro inoculações foram realizadas, a primeira através de sementes imersas em frascos Erlenmeyer de 125 mL contendo caldo nutriente na concentração bacteriana de 10⁸ UFC mL⁻¹ por 15 min em agitação orbital de 120 rpm e, em seguida, semeadas. A segunda, terceira e quarta inoculações foram realizadas semanalmente, sete dias após a semeadura, adicionando 20 mL de cada inóculo na mesma concentração acima.

3. Avaliações em Plantas de Batata

3.1 Massa Seca

Raízes foram coletadas de ambas as culturas, lavadas em água corrente para retirar o excesso de terra e secas em papel absorvente. A parte aérea foi separada das raízes e ambas foram secas em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C por aproximadamente 72 h até atingir peso constante. A última etapa foi a pesagem de todo o material em balança analítica para determinação da massa (g) de matéria seca da raiz (MSR) e matéria seca da parte aérea (MSD).

3.2 Concentração de Nitrogênio em Brotos e Raízes

Para determinação da concentração de nitrogênio (N), o material vegetal foi moído em moinho Willey (malha 20) e submetido à análise foliar de N pelo método proposto por Bremmer et al. (1982).

3.3 Concentrações de fósforo na parte aérea e na raiz

As concentrações de fósforo (P) foram determinadas por digestão nitroperclórica, seguida pelo método colorimétrico de molibdovanadato de acordo com a metodologia proposta por Haag et al. (1975).

3.4 Análise Estatística

As médias foram comparadas por meio do teste de Duncan com 5% de probabilidade por meio do software Agroestat (Barbosa e Maldonado, 2010).

4. Resultados

A bactéria *B. cereus* apresentou capacidade de síntese de amilase, produção de IAA de $9,08 \mu\text{g mL}^{-1}$, solubilização de fósforo de $14,93 \text{ mg P L}^{-1}$ e fixação de nitrogênio de $0,7 \text{ mg N L}^{-1}$. *S. dextrinosolvens* apresentou capacidade de sintetizar sideróforos e amilase, produção de IAA de $10,25 \mu\text{g mL}^{-1}$, solubilização de fósforo de $41,38 \text{ mg P L}^{-1}$ e fixação de nitrogênio de $0,42 \text{ mg N L}^{-1}$. *L. acidophilus* apresentou capacidade de sintetizar sideróforos, produção de IAA de $7,25 \mu\text{g mL}^{-1}$, solubilização de fósforo de $5,58 \text{ mg P L}^{-1}$ e fixação de nitrogênio de $0,5 \text{ mg N L}^{-1}$ (Tabela 1).

Tabela 1. A presença de sideróforos, atividades amilolítica e celulolítica, IAA, solubilização de fósforo e fixação de nitrogênio foram demonstradas pelas bactérias *B. cereus*, *S. dextrinosolvens* e *L. acidophilus*. Os valores foram medidos por Santos et al. (2020).

Isolate	Siderophores	Amylolytic Activity	Cellulolytic Activity	IAA $\mu\text{g mL}^{-1}$	P Solubilization mg P L^{-1}	N Fixation mg N L^{-1}
<i>B. cereus</i>	-	+	-	9.08	14.93	0.70
<i>S. dextrinosolvens</i>	+	+	-	10.25	41.38	0.42
<i>L. acidophilus</i>	+	-	-	7.25	5.58	0.50

Matéria seca

O maior valor de matéria seca da parte aérea (SMS) foi encontrado para *B. cereus* (T2), seguido de Mix (T5) ($p < 0,05$). Não houve diferença significativa entre os demais tratamentos ($p > 0,05$) (Figura 1). Para a matéria seca da raiz (MSR), o maior valor foi encontrado para *L. acidophilus* (T3), seguido de Mix (T5) ($p < 0,05$). Não houve diferença significativa entre os demais tratamentos ($p > 0,05$) (Figura 1). Para o teor de nitrogênio da parte aérea, não houve diferença significativa entre os tratamentos ($p > 0,05$). Para o teor de nitrogênio da raiz, não houve diferença significativa entre os tratamentos ($p > 0,05$) (Figura 2).

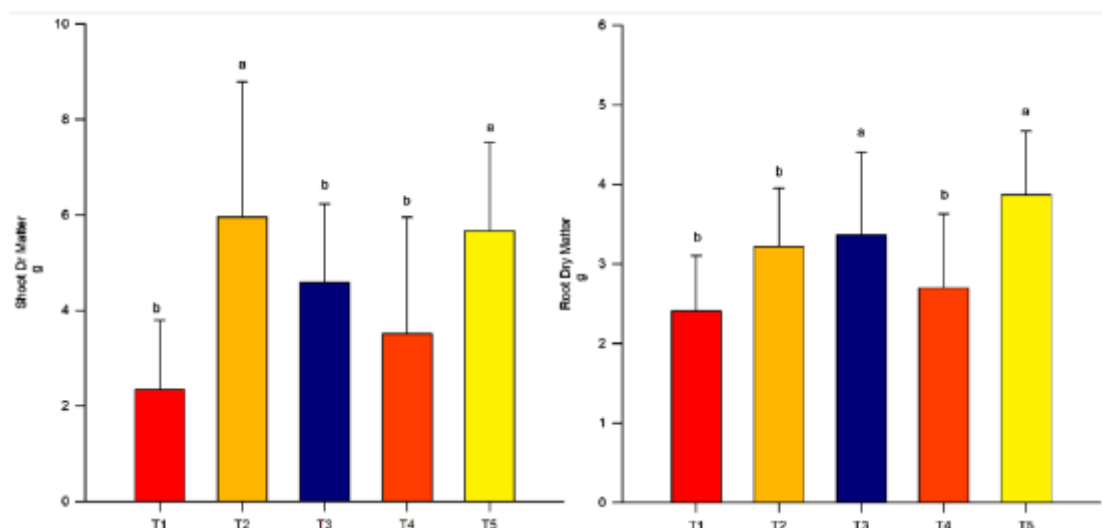


Figura 1. Massa seca da parte aérea e da raiz de plantas de batata inoculadas com diferentes bactérias. As barras representam o erro padrão da média. T1 = controle; T2 = *B. cereus*; T3 = *L. acidophilus*; T4 = *S. dextrinosolvens*; T5 = Mix. Médias com letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos. A análise estatística foi realizada pelo teste de Duncan ($p \leq 0,05$). A letra a indica o valor mais alto. A letra b indica o segundo valor mais alto.

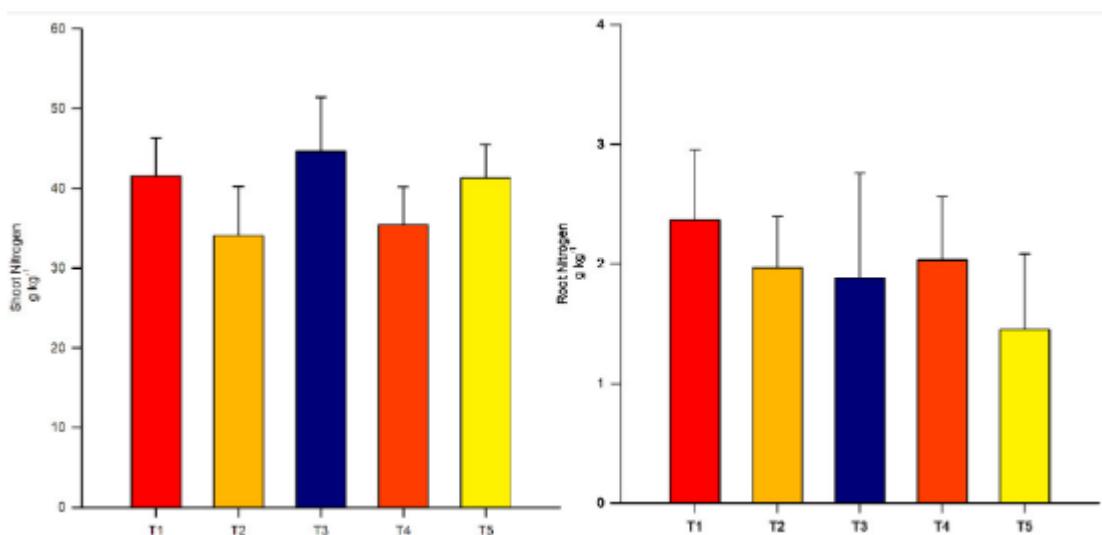


Figura 2. Teor de nitrogênio da parte aérea e raízes de plantas de batata inoculadas com diferentes bactérias. As barras representam o erro padrão da média. T1 = controle; T2 = *B. cereus*; T3 = *L. acidophilus*; T4 = *S. dextrinosolvens*; T5 = Mix.

Não houve diferenças significativas entre os tratamentos para teor de fósforo na parte aérea ($p > 0,05$). Os maiores teores de fósforo da raiz foram encontrados em *L. acidophilus* (T3), *S. dextrinosolvens* (T4) e Mix (T5) ($p < 0,05$). Não houve diferença significativa entre *B. cereus* (T2) e o controle (T1) ($p > 0,05$) (Figura 3).

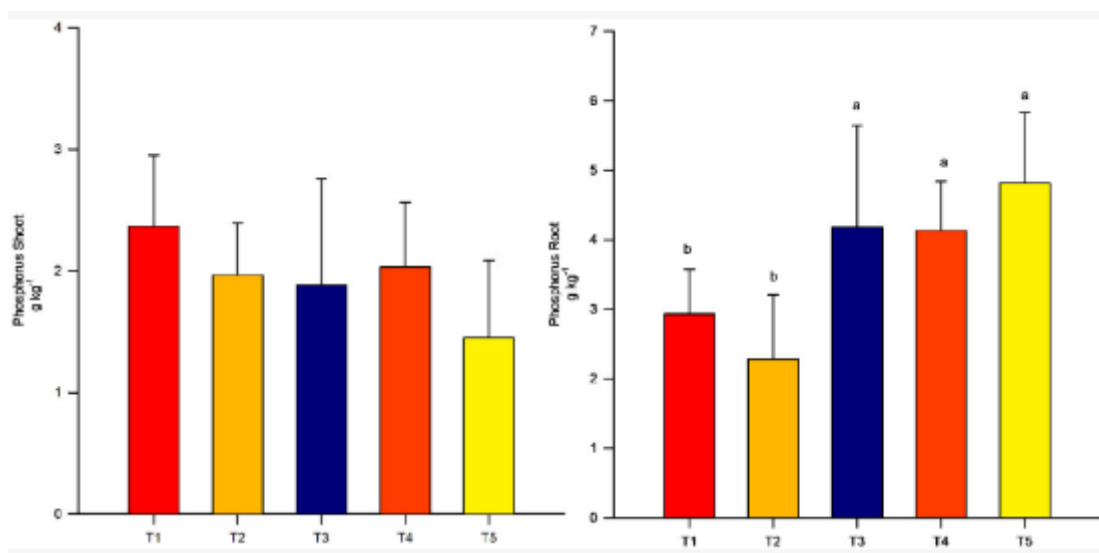


Figura 3. Teor de fósforo da parte aérea e raízes de plantas de batata inoculadas com diversas bactérias. T1 = controle; T2 = *B. cereus*; T3 = *L. acidophilus*; T4 = *S. dextrinosolvens*; T5 = Mix. Médias com letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos. A análise estatística foi realizada pelo teste de Duncan ($p \leq 0,05$). A letra a indica o valor mais alto. A letra b indica o segundo valor mais alto.

A Figura 4 representa a dinâmica do teor de fósforo ao longo de 12 dias. Curiosamente, os comportamentos de todas as bactérias foram semelhantes, com algumas diferenças. Nos primeiros três dias, o teor de fósforo solubilizado aumentou até o nono dia para *S. dextrinosolvens* e depois diminuiu até o dia 12. Este comportamento foi semelhante ao de *L. acidophilus*. Para *B. cereus*, a partir de três dias, o teor de fósforo diminuiu rapidamente e começou a aumentar até 12 dias. Essa dinâmica é controlada pela liberação de enzimas ou ácidos orgânicos e pela solubilização e disponibilização do fósforo. A redução do teor de fósforo ocorre pela absorção do fósforo para o crescimento dos microrganismos. A mistura de bactérias aumentou o teor de fósforo até o dia seis e diminuiu até o dia 12.

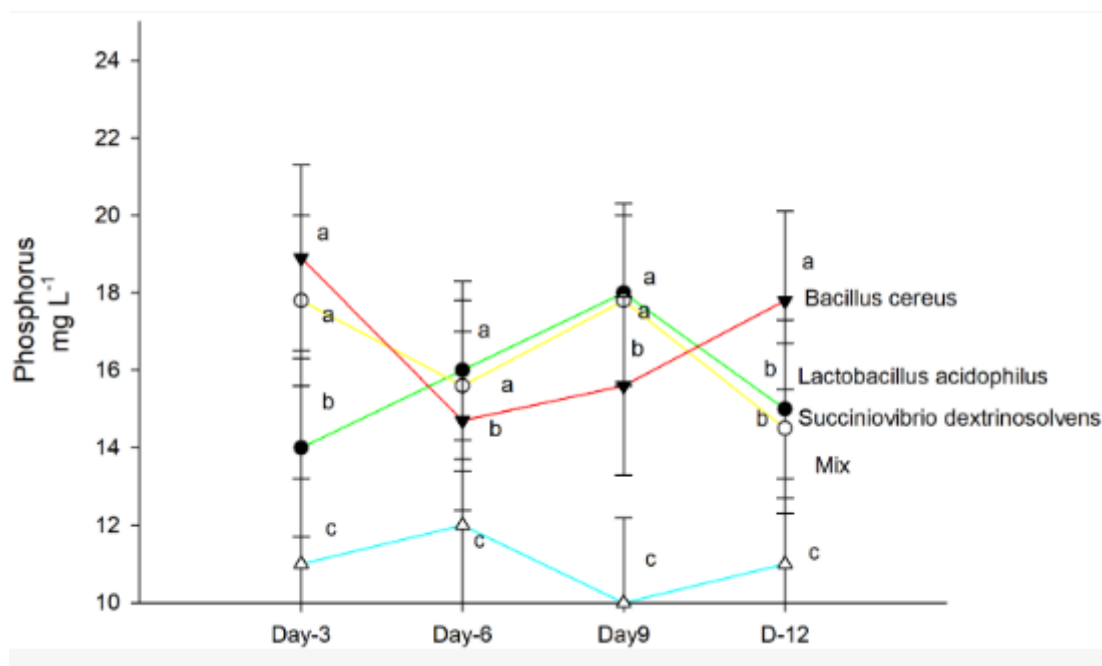


Figura 4. Dinâmica do conteúdo de fósforo solubilizado do tubo de ensaio em três, seis, nove e doze dias com três repetições para cada bactéria a cada três dias. Médias com letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos. A análise estatística foi realizada pelo teste de Duncan ($p \leq 0,05$). Triângulo preto = *B. cereus*; Círculo preto = *L. acidophilus*; círculo branco = *S. dextrinosolvens*; triângulo branco = Mix.

A Figura 5 representa a dinâmica do conteúdo de nitrogênio no tubo de ensaio. Curiosamente, a bactéria *B. cereus* apresentou o maior teor de nitrogênio nos três primeiros dias, diminuindo até o nono dia e aumentando até 12 dias. Os comportamentos de *L. acidophilus*, *S. dextrinosolvens* e da mistura foram semelhantes. Curiosamente, a mistura contendo a bactéria *B. cereus* não se comportou da mesma forma que quando *B. cereus* estava sozinha. Durante 12 dias, o teor de nitrogênio de *B. cereus* e *L. acidophilus* foi superior ao de *S. dextrinosolvens* e Mix.

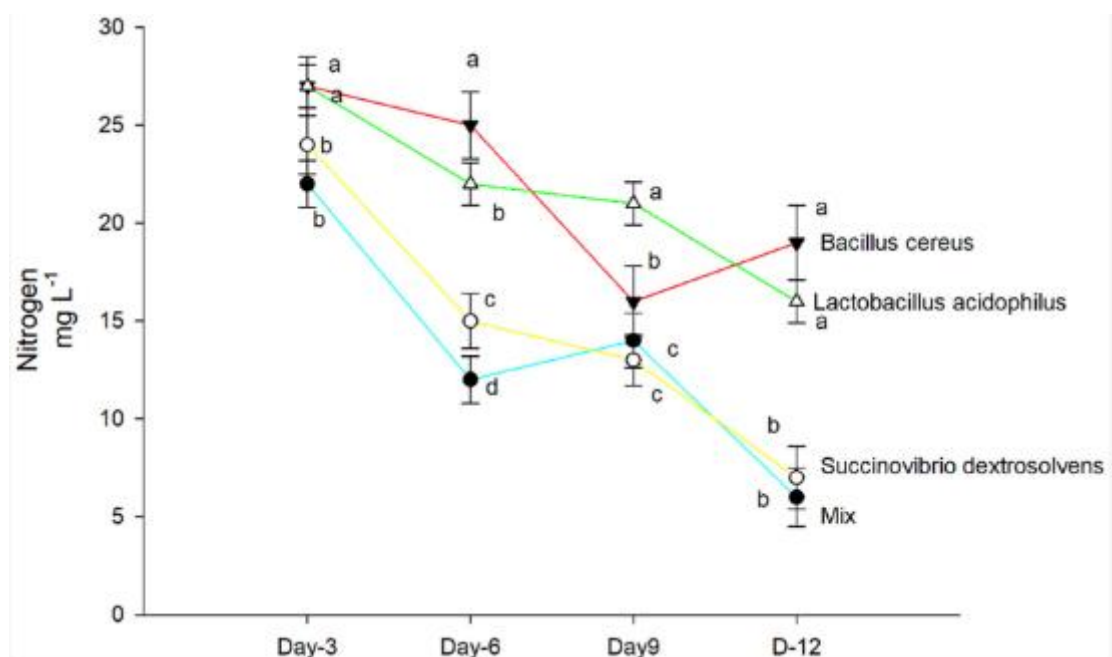


Figura 5. Dinâmica do teor de fósforo solubilizado do tubo de ensaio em três, seis, nove e doze dias com três repetições para cada bactéria a cada três dias. Médias com letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos. A análise estatística foi realizada pelo teste de Duncan ($p < 0,05$). Triângulo preto = *B. cereus*; Círculo preto = *L. acidophilus*; círculo branco = *S. dextrinosolvens*; triângulo branco = Mix.

O maior teor de fósforo foi encontrado no terceiro dia, quando a bactéria *B. cereus* foi inoculada com *S. dextrinosolvens* (T1 + T2). Houve uma redução rápida, e então o teor de fósforo aumentou até o dia 12. A inoculação de *S. dextrinosolvens* com *L. acidophilus* (T2 + T3) promoveu aumento do teor de fósforo até o dia nove e diminuiu até o dia 12. O a inoculação de *B. cereus* com *L. acidophilus* (T1 + T3) aumentou o teor de fósforo do dia três até o dia nove, e então o teor de fósforo foi reduzido até o dia 12.

Para o teor de nitrogênio, a inoculação de *B. cereus* com *S. dextrinosolvens* promoveu um aumento no terceiro dia, e os valores permaneceram os mesmos até o dia 12. Para a inoculação com *S. dextrinosolvens* e *L. acidophilus*, o teor de nitrogênio aumentou no dia seis e permaneceu o mesmo até o dia 12. O teor de nitrogênio foi o mesmo durante todo o ensaio para a inoculação de *B. cereus* com *L. acidophilus* (Figura 6).

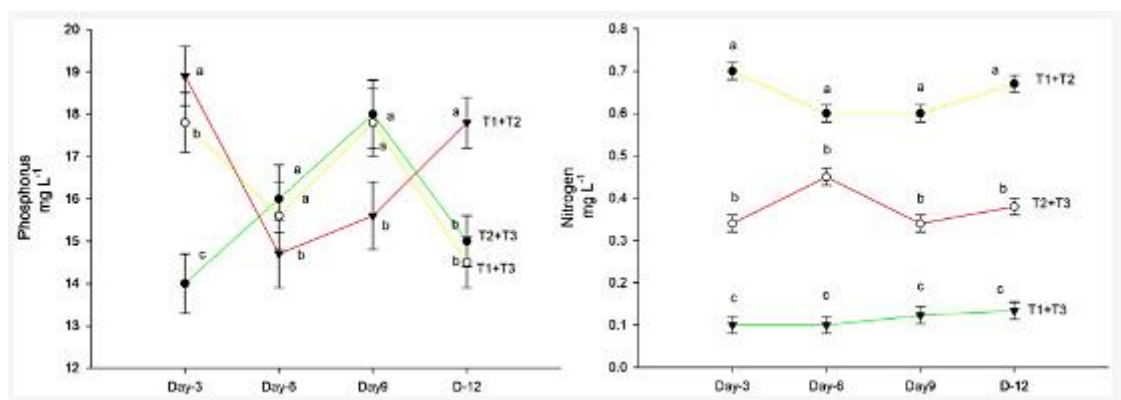


Figura 6. Dinâmica do teor de fósforo solubilizado e nitrogênio fixado do tubo de ensaio a cada três dias com a mistura de bactérias. T1 = *B. cereus*; T2 = *S. dextrinosolvens* e T3 = *L. acidophilus*. Médias com letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos. A análise estatística foi realizada pelo teste de Duncan ($p < 0,05$). Triângulo preto = T1 + T2; círculo preto = T2 + T3; círculo branco = T1 + T3.

5. Discussão

As bactérias *B. cereus*, *S. dextrinosolvens* e *L. acidophilus* demonstraram ser portadoras de algumas habilidades relacionadas à promoção do crescimento vegetal, como presença de sideróforos, atividade celulósica, atividade amilolítica, produção de fito hormônios (principalmente a produção de auxinas), solubilização de fósforo e fixação de nitrogênio. Vários estudos têm mostrado a utilização de *B. cereus* e *S. dextrinosolvens* na alimentação animal.

Muitos estudos têm demonstrado os benefícios da utilização da bactéria *L. acidophilus* na alimentação animal e humana. No entanto, Dos Santos realizou o primeiro relatório sobre a caracterização de habilidades e sua utilização para promover o crescimento da planta (Santos et al., 2020).

Este estudo pioneiro abriu caminho para a realização de outros estudos na busca incessante por bactérias que promovam o crescimento e desenvolvimento das plantas, colaborando com a produção sustentável devido ao menor custo de produção e impacto ambiental sem redução da produtividade. O fato dessas bactérias serem portadoras de habilidades relacionadas ao crescimento vegetal

justifica a realização de estudos para verificar se essas bactérias promovem o crescimento vegetal. Esses microrganismos melhoram a absorção de nutrientes, a eficiência do uso de nutrientes, a tolerância ao estresse abiótico, o controle biológico e a qualidade da produção agrícola.

Aljebourya e Mahmouda (2020). verificaram o efeito antagônico de quatro isolados de bactérias produtoras de ácido láctico, incluindo a bactéria *L. acidophilus*, contra bactérias patogênicas como *Escherichia coli*, *Klebsiella* e *Salmonella*. Curiosamente, este estudo também verificou o efeito antagônico com redução no crescimento de fungos fitopatogênicos que causam muitos danos às culturas agrícolas. Esses fungos foram *Alternaria sp.* e *Fusarium oxysporium*.

Esses fungos causam doenças em diversas culturas agrícolas de grande importância econômica, como tomate, couve-flor, batata, frutas cítricas e diversas plantas ornamentais. Os fungos *Alternaria* também são responsáveis pela síntese de metabólitos secundários, como a aflatoxina. Este estudo constatou que o efeito antagônico provocado por *L. acidophilus* ocorre por meio da síntese de diversas substâncias, como ácidos orgânicos, peróxido de hidrogênio e bacteriocinas (Aljebourya e Mahmouda, 2020) e (Midolo et al., 1995).

Sharf et al. (2021) avaliaram o potencial de duas espécies de rizobactérias promotoras do crescimento de plantas (PGPR), viz. *Bacillus megaterium* e fluorescência de *Pseudomonas*, e uma planta daninha alelopática, *Anagallis arvensis L.*, para o controle da doença da ferrugem austral em pimentas. Alguns estudos realizados por Bhakta et al. (2012), Pakdel et al. (2019), Li et al. (2020) e Laslo et al. (2022) mostram que algumas bactérias lácticas podem regular a matéria orgânica do solo e os ciclos bioquímicos e melhorar a saúde das plantas, reduzindo a contaminação do solo.

Zang et al. (2023) verificaram que o uso de *L. plantarium*, *L. acidophilus* e *L. rhamnosus* inoculados isoladamente ou em combinação reduziu a contaminação do solo por cádmio e zinco e promoveu o crescimento de plantas de mostarda (*Brassica juncea*), aumentando a biomassa e o teor de clorofila. El-Saadony (2021) verificou que o uso de *L. acidophilus* controlou as doenças causadas por *Fusarium graminearum* no trigo e promoveu aumento de biomassa e produtividade.

Existem algumas inconsistências nos resultados com o uso de microrganismos promotores do crescimento de plantas. Isso pode ser devido à ineficiência do microrganismo em colonizar a planta e sua rizosfera. Acontece quando a planta não interage com os microrganismos. Para aumentar a chance de a planta interagir com os microrganismos, uma boa estratégia é utilizar mais de um isolado; se houver um efeito sinérgico entre os microrganismos, suas habilidades podem ser aumentadas. Assim, foi avaliada a combinação de microrganismos (T1 + T2), (T2 + T3) e (T1 + T3). Os resultados não mostraram aumento em suas habilidades para solubilizar fósforo e fixar nitrogênio. No entanto, a mistura de microrganismos apresentou alguns efeitos positivos.

6. Conclusão

Bactérias láticas, como bactérias promotoras de crescimento de plantas, apresentam grande potencial para seu uso, uma vez que *L. acidophilus* aumenta a matéria seca em plantas de batata. No futuro, essas bactérias láticas poderão ser utilizadas na produção agrícola como inoculantes, reduzindo significativamente os níveis de fertilizantes minerais e contribuindo para uma produção mais sustentável.

7. Referência Bibliográfica

ALJEBOURYA, G.H.; MAHMOUDA, S.N. Evaluation of antagonistic potential of *Lactobacillus* isolates against phytopathogenic fungi and pathogenic bacteria in vitro. **Syst. Rev. Pharm.** 2020, 11, 1699–1703.

ALORI, E.T.; BABALOLA, O.O.; PRIGENT-COMBARET, C. Impacts of Microbial Inoculants on the Growth and Yield of Maize Plant. **Open Agric. J.** 2019, 13, 1–8.

AZIZ, U.; REHMANI, M.S.; WANG, L.; LUO, X.; XIAN, B.; WEI, S.; WANG, G.; SHU, K. Toward a Molecular Understanding of Rhizosphere, Phyllosphere, and Spermosphere Interactions in Plant Growth and Stress Response. **Crit. Rev. Plant Sci.** 2022, 40, 479–500.

BARBOSA, J.; MALDONADO JÚNIOR, W. AgroEstat: Sistema para análises estatísticas de ensaios agrônômicos. Jaboticabal Fac. Ciências Agrárias Veterinárias Unesp 2010, 1, 1–296.

BHAKTA, J.; MUNEKAGE, Y.; OHNISHI, K.; JANA, B. Isolation and identification of cadmium-and lead-resistant lactic acid bacteria for application as metal removing probiotic. **Int. J. Environ. Sci. Technol.** 2012, 9, 433–440.

BREMMER, J.; MULVANEY, C. Salicylic Acid Thisolfate Modification of Kjeldahl Method to Include Nitrate and Nitrite. Methods Soil Anal. Part 2 **Chem. Microbiol. Prop.** 1982, 2, 621–622.

EL-SAADONY, M.T.; SAAD, A.M.; NAJJAR, A.A.; ALZAHRANI, S.O.; ALKHATIB, F.M.; SHAFI, M.E.; SELEM, E.; DESOKY, E.-S.M.; FOUDA, S.E.; EL-TAHAN, A.M. The use of biological selenium nanoparticles to suppress *Triticum aestivum* L. crown and root rot diseases induced by *Fusarium* species and improve yield under drought and heat stress. **Saudi J. Biol. Sci.** 2021, 28, 4461–4471.

ETESAMI, H.; MAHESHWARI, D.K. Use of plant growth promoting rhizobacteria (PGPRs) with multiple plant growth promoting traits in stress agriculture: Action mechanisms and future prospects. **Ecotox. Environ. Saf.** 2018, 156, 225–246.

HAAG, H.; SARRUGE, J.; DE OLIVEIRA, G.; DECHEN, A. Nutrição mineral do cajueiro (*Anacardium occidentale* L.): I-deficiência dos macronutrientes-nota prévia. **An. Esc. Super. Agric. Luiz Queiroz** 1975, 32, 185–190.

HU, X.F.; CHEN, J.S.; GUO, J.F. Two phosphate- and potassium-solubilizing bacteria isolated from Tianmu Mountain, Zhejiang, China. **World J. Microbiol. Biotechnol.** 2006, 22, 983–990.

HUANG, P.; XU, J.; KLOEPPER, J.W. Plant–microbe–soil fertility interaction impacts performance of a *Bacillus*-containing bioproduct on bell pepper. **J. Basic Microbiol.** 2020, 60, 27–36.

KUSS, A.V.; KUSS, V.V.; LOVATO, T.; FLÔRES, M.L. Nitrogen fixation and in vitro production of indolacetic acid by endophytic diazotrophic bacteria. **Pesqui. Agropecuária Bras.** 2007, 42, 1459–1465.

LASLO, V.; PINZARU, S.C.; ZAGUŁA, G.; KLUZ, M.; VICAS, S.I.; CAVALU, S. Synergic effect of selenium nanoparticles and lactic acid bacteria in reduction cadmium toxicity. **J. Mol. Struct.** 2022, 1247, 131325.

LI, X.; MING, Q.; CAI, R.; YUE, T.; YUAN, Y.; GAO, Z.; WANG, Z. Biosorption of Cd²⁺ and Pb²⁺ from apple juice by the magnetic nanoparticles functionalized lactic acid bacteria cells. **Food Control** 2020, 109, 106916.

LOBO, L.L.B.; DE ANDRADE DA SILVA, M.S.R.; CASTELLANE, T.C.L.; CARVALHO, R.F.; RIGOBELLO, E.C. Effect of Indole-3-Acetic Acid on Tomato Plant Growth. **Microorganisms** 2022, 10, 2212.

MIDOLO, P.; LAMBERT, J.; HULL, R.; LUO, F.; GRAYSON, M. In vitro inhibition of *Helicobacter pylori* NCTC 11637 by organic acids and lactic acid bacteria. **J. Appl. Bacteriol.** 1995, 79, 475–479.

PAKDEL, M.; SOLEIMANIAN-ZAD, S.; AKBARI-ALAVIJEH, S. Screening of lactic acid bacteria to detect potent biosorbents of lead and cadmium. **Food Control** 2019, 100, 144–150.

PUPIN, B.; NAHAS, E. Impact of successive sugarcane harvests and trash management practices on soil microbiological properties. **Soil Res.** 2011, 49, 183–189.

QIU, Y.; FALL, T.; SU, Z.; BORTOLOZO, F.; MUSSOLINE, W.; ENGLAND, G.; DINKINS, D.; MORGAN, K.; CLARK, M.; LIU, G. Effect of Phosphorus Fertilization on Yield of Chipping Potato Grown on High Legacy Phosphorus Soil. **Agronomy** 2022, 12, 812.

RAMACHANDRA, M.; CRAWFORD, D.L.; POMETTO, A.L. Extracellular enzyme-activities during lignocellulose degradation by *Streptomyces* spp.—A comparative-study of wild-type and genetically manipulated strains. **Appl. Environ. Microbiol.** 1987, 53, 2754–2760.

SANTOS, A. C. D.; KANDASAMY, S.; RIGOBELLO, E. C. *Bacillus cereus*, *Lactobacillus acidophilus* and *Succinobacillus dextrinosolvens* promoting the growth of maize and soybean plants. **Afr. J. Microbiol. Res.** 2020, 14, 189–197.

SANTOS, B. M. S.; SILVA, M. S. R. A.; CHAVEZ, D. W. H.; RIGOBELLO, E.C. Genetic and nutritional diversity of *Bacillus subtilis* isolates demonstrating different aspects related to plant growth promoting. **Australian Journal of Crop Science** (Online), v. 14, p. 880-888, 2020.

SHARF, W.; JAVAID, A.; SHOAIB, A.; KHAN, I.H. Induction of resistance in chili against *Sclerotium rolfsii* by plant-growth-promoting rhizobacteria and *Anagallis arvensis*. Egypt. **J. Biol. Pest Control** 2021, 31, 16.

ZHANG, S.; LI, Y.; WANG, P.; ZHANG, H.; ALI, E.F.; LI, R.; SHAHEEN, S.M.; ZHANG, Z. Lactic acid bacteria promoted soil quality and enhanced phytoextraction of Cd and Zn by mustard: A trial for bioengineering of toxic metal contaminated mining soils. **Environ. Res.** 2023, 216, 114646.

CAPÍTULO 3 – Considerações Finais

O presente estudo abordou a importância da utilização de bactérias lácticas para a promoção de crescimento de vegetais. Para a execução deste trabalho foram utilizados blocos ao acaso, contendo 5 tratamentos e 4 repetições, totalizando 20 blocos. Foram avaliados 3 microrganismos inoculados isoladamente, *Bacillus cereus*, *Succinovibrio dextrinosolvens* e *Lactobacillus acidophilus*, um mix dos três microrganismos em uma mesma aplicação e um controle contendo apenas adubação convencional recomendada para cultura de acordo com a análise do solo.

Bactérias lácticas, como bactérias promotoras de crescimento vegetal, apresentam grande potencial para seu uso, uma vez que *L. acidophilus* aumenta a matéria seca em plantas de batata.

Os resultados não mostraram aumento em suas habilidades para solubilizar fósforo e fixar nitrogênio. No entanto, a mistura de microrganismos apresentou alguns efeitos positivos. Para aumentar a chance de a planta interagir com os microrganismos, é considerada uma boa estratégia utilizar mais de um isolado, e se houver um efeito sinérgico entre os microrganismos, suas habilidades podem ser aumentadas. Assim, foi avaliada a combinação de microrganismos (T1+T2), (T2+T3) e (T1+T3).

Outros estudos podem ser realizados no futuro. Espera-se que essas bactérias lácticas possam ser utilizadas na produção agrícola como inoculantes, reduzindo significativamente os níveis de fertilizantes minerais e contribuindo para uma produção mais sustentável.