



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO AMAPÁ
CAMPUS AGRÍCOLA PORTO GRANDE
ENGENHARIA AGRONÔMICA

STEFFANE PEREIRA DE MAGALHÃES

**BACTÉRIAS PROMOTORAS DE CRESCIMENTO VEGETAL NA ATENUAÇÃO DE
ESTRESSE SALINO E DÉFICIT HÍDRICO NA AGRICULTURA**

PORTO GRANDE - AP

2023

STEFFANE PEREIRA DE MAGALHÃES

**BACTÉRIAS PROMOTORAS DE CRESCIMENTO VEGETAL NA ATENUAÇÃO DE
ESTRESSE SALINO E DEFICIT HÍDRICO NA AGRICULTURA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Bacharelado em Engenharia Agrônômica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá - IFAP, como requisito avaliativo para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrônômica.

Orientadora: Dra. Ana Maria Guimarães Bernardo
Coorientadora: Dra. Flaviana Gonçalves da Silva

PORTO GRANDE - AP

2023

Biblioteca Institucional - IFAP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

M188b Magalhães, Steffane Pereira de
Bactéria Promotoras de Crescimento Vegetal na Atenuação do Estresse Salino e Déficit Hídrico na Agricultura / Steffane Pereira de Magalhães -Porto Grande, 2023.

55 f.: il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -- Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá, Campus Porto Grande, Curso de Bacharelado em Engenharia Agrônômica, 2023.

Orientadora: Dr. Ana Bernardo Guimarães Bernardo.

Coorientadora: Dr. Flaviana Gonçalves da Silva.

1. Comunidades microbianas. 2. Estresses abióticos. 3. Sustentabilidade.
I. Bernardo, Ana Bernardo Guimarães, orient. II. Silva, Flaviana Gonçalves da ,
coorient. III. Título.

Elaborada pela Biblioteca do Ifap Campus Agrícola Porto Grande
Mercedes Campos de Figueiredo – CRB2/1039


STEFFANE PEREIRA DE MAGALHÃES

BACTÉRIAS PROMOTORAS DE CRESCIMENTO VEGETAL NA ATENUAÇÃO DE ESTRESSE SALINO E DEFICIT HÍDRICO NA AGRICULTURA


Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Bacharelado em Engenharia Agrônômica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá - IFAP, como requisito avaliativo para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrônômica.

Orientadora: Dra. Ana Maria Guimarães Bernardo
Coorientadora: Dra. Flaviana Gonçalves da Silva


BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 ANA MARIA GUIMARAES BERNARDO
Data: 16/01/2024 21:54:57-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


Prof^ª. Dr^ª. Ana Maria Guimarães Bernardo
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá

Documento assinado digitalmente
 FLAVIANA GONCALVES DA SILVA
Data: 17/01/2024 15:46:05-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof^ª Dr^ª Flaviana Gonçalves da Silva
Universidade Federal do Amapá

Documento assinado digitalmente
 CLEBER MACEDO DE OLIVEIRA
Data: 17/01/2024 08:13:05-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Cleber Macedo de Oliveira
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá

Documento assinado digitalmente
 ERIALDO DE OLIVEIRA FEITOSA
Data: 18/01/2024 10:15:21-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Erialdo de Oliveira Feitosa
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá

Aprovado em: 05/12/2023

Nota: 9,5

Dedico este trabalho aos meus pais, cujo apoio e incentivo foram fundamentais na jornada em busca do conhecimento. A meu filho, que sempre foi uma fonte constante de ânimo e força, agradeço por ser a inspiração que me impulsionou a não desistir.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus pela força e sabedoria a mim concedida.

Ao meu esposo, Jhonatan Dias, meu eterno agradecimento pelo apoio inabalável, pela colaboração incansável e pela paciência nos dias em que minha atenção estava totalmente voltada para este projeto. Este trabalho é, em parte, resultado da nossa parceria e comprometimento.

Ao meu filho, Arthur Dias, agradeço por sua paciência e compreensão nos momentos em que precisei me dedicar intensamente à pesquisa e redação. Você é a luz dos meus dias.

À minha orientadora, Ana Maria Guimarães Bernardo, quero agradecer não apenas pela orientação perspicaz e inspiração constante, mas por acreditar no meu potencial. Seu apoio foi essencial para a realização deste trabalho.

À minha coorientadora Flaviana Gonçalves da Silva, expresso minha sincera gratidão. Sua fé em mim, seu incentivo constante e a oportunidade que me deu de escrever este trabalho foram elementos cruciais para o meu crescimento acadêmico. Acreditar no potencial dos outros é um dom raro, e estou verdadeiramente grata por ter tido a sua orientação ao longo deste processo.

Aos amigos, colegas de curso e professores, agradeço pelas valiosas contribuições e insights que enriqueceram meu entendimento sobre o tema.

Este trabalho é dedicado à minha família e a todos que, de alguma forma, contribuíram para esta jornada acadêmica.

A todos, meu mais profundo agradecimento. Que este trabalho seja um testemunho do apoio, colaboração e fé que tornaram possível esta realização.

*Faça o teu melhor na condição que você tem,
enquanto você não tem condições melhores para
fazer melhor ainda.*

(Mario Sergio Cortella)

RESUMO

Os desafios relacionados ao estresse salino e ao déficit hídrico representam obstáculos significativos para a produtividade agrícola global, incluindo no Brasil, onde milhões de hectares são afetados pelo estresse salino e uma parte substancial do território enfrenta ameaças de déficit hídrico. Diante desses desafios, torna-se crucial investigar estratégias eficazes de mitigação. Nesse contexto, as bactérias promotoras de crescimento vegetal emergem como agentes potenciais, desempenhando um papel crucial na promoção da resistência das plantas a esses estresses ambientais. A compreensão de como essas bactérias podem contribuir para superar o estresse salino e o déficit hídrico é vital para estabelecer práticas agrícolas sustentáveis e duradouras. As bactérias promotoras de crescimento vegetal (BPCV) ajudam no crescimento das plantas através de métodos diretos, auxiliando na aquisição de nitrogênio, fósforo e minerais essenciais, modulando os níveis de hormônios vegetais e por meio de métodos indiretos, diminuindo os efeitos inibidores de vários patógenos no crescimento e desenvolvimento das plantas nas formas de agentes de biocontrole. Foi realizada uma revisão bibliográfica abrangente, explorando artigos e livros em bases de dados científicos. As informações foram organizadas em um quadro sinóptico para a realização da análise crítica e sistematizada dos dados, identificando padrões e tendências sobre as BPCV em contextos de estresse salino e déficit hídrico. Diante da extensa literatura revisada, destaca-se que as bactérias promotoras de crescimento vegetal (BPCV) apresentam mecanismos eficazes para mitigar os desafios do estresse salino e do déficit hídrico na agricultura. BPCV, como *Azospirillum brasilense*, *Bacillus* sp., e outras halotolerantes, demonstraram capacidade de solubilizar fósforo, sintetizar fitohormônios, produzir exopolissacarídeos e biofilmes, promovendo o crescimento radicular e aumentando a resistência das plantas. A solubilização de nutrientes, em particular, destaca-se como uma contribuição significativa, tornando-os mais disponíveis para as plantas. Essas descobertas ressaltam o potencial das BPCV como estratégias sustentáveis para enfrentar desafios ambientais na agricultura. Investir em pesquisas e práticas agrícolas que promovam a simbiose entre plantas e BPCV é fundamental para a sustentabilidade agrícola, oferecendo alternativas viáveis em um cenário de mudanças climáticas e demandas crescentes por alimentos.

Palavras-chave: Comunidades microbianas; Estresses abióticos; Sustentabilidade.

ABSTRACT

Challenges related to salt stress and water deficit represent significant obstacles to global agricultural productivity, including in Brazil, where millions of hectares are affected by salt stress and a substantial part of the territory faces threats of water deficit. Faced with these challenges, it is crucial to investigate mitigation strategies. In this context, plant growth-promoting bacteria emerge as potential agents, playing a crucial role in promoting plant resistance to these environmental stresses. Understanding how these bacteria can contribute to overcoming salt stress and water deficit is vital for the introduction of sustainable and rigorous agricultural practices. Plant growth-promoting bacteria (BPCV) help in plant growth through direct methods, assisting in the acquisition of nitrogen, phosphorus and essential minerals, modulating plant hormone levels and through indirect methods, causing the inhibitory effects of various pathogens there is no growth and development of plants in the forms of biocontrol agents. A comprehensive bibliographic review was carried out, exploring articles and books in scientific databases. The information was organized in a synoptic table to carry out a critical and systematic analysis of the data, identifying patterns and trends about BPCV in contexts of saline stress and water deficit. Given the extensive literature reviewed, it is highlighted that plant growth-promoting bacteria (BPCV) present effective mechanisms to mitigate the challenges of saline stress and water deficit in agriculture. BPCV, such as *Azospirillum brasilense*, *Bacillus* sp., and other halotolerants, increased the ability to solubilize phosphorus, synthesize phytohormones, produce exopolysaccharides and biofilms, promoting root growth and increasing plant resistance. The solubilization of nutrients, in particular, stands out as a significant contribution, making them more available to plants. These findings highlight the potential of BPCV as sustainable strategies to address environmental challenges in agriculture. Investing in research and agricultural practices that promote the symbiosis between plants and BPCV is fundamental for agricultural sustainability, offering viable alternatives in a scenario of climate change and growing demands for food.

Keywords: Microbial communities; Abiotic stresses; Sustainability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Principais mecanismos de promoção de crescimento vegetal por bactérias.....	20
Figura 2 - <i>Atriplex nummularia</i> em solo salino no município de Ibimirim, Pernambuco.....	29
Quadro 1 - Quadro sinóptico com as principais referências encontradas sobre bactérias promotoras de crescimento vegetal atenuando o estresse salino e déficit hídrico na agricultura	45

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AF	Antagonismo a fitopatógenos
AIA	Ácido indol-acético
AIP	Ácido indol-3-pirúvico
BPCV	Bactérias Promotoras de Crescimento Vegetal
CEes	Condutividade elétrica do extrato de saturação
EPS	Exopolissacarídeos
FBN	Fixação biológica de nitrogênio
IAM	Indol-3-acetamida
IAOx	Indol-3-acetaldoxima
JA	Ácido jasmônico
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
PA	Produção de antibióticos
PEE	Produção de etileno endógeno
PSII	Fotossistema II
QS	<i>Quorum sensing</i>
SFI	Solubilização de fósforo inorgânico
SS	Síntese de sideróforos
TSI	Tolerância sistêmica induzida

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 OBJETIVOS	15
1.1.1 Objetivo Geral	15
1.1.2 Objetivos específicos	15
2 METODOLOGIA	16
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
3.1 IMPACTOS DO ESTRESSE SALINO E HÍDRICO NA AGRICULTURA	17
3.1.1 Mecanismos e diversidade de Bactérias Promotoras de Crescimento Vegetal, tolerantes a salinidade e seca	19
3.1.1.1 Fixação biológica de nitrogênio	22
3.1.1.2 Síntese de ácido indol-acético	23
3.1.1.3 Solubilização de fosfato inorgânico	25
3.1.1.4 Produção de exopolissacarídeos e biofilmes	26
3.1.1.5 Produção da enzima ACC-deaminase	28
3.2 CONTRIBUIÇÃO DE BPCV NA BIORREMEDIAÇÃO DE SOLOS SALINOS	29
3.3 USO DE BPCVS NA PRODUÇÃO AGRÍCOLA	30
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	34
REFERÊNCIAS	35
APÊNDICE	45

1 INTRODUÇÃO

A crescente demanda por alimentos pela população mundial implica na necessidade de desenvolver técnicas para aumentar a produtividade agrícola, a partir da adoção de inovações tecnológicas, como uso de sementes de boa qualidade fisiológica e genética, utilização de fertilizantes químicos, defensivos agrícolas e máquinas agrícolas, o que caracteriza a modernização agrícola (Embrapa, 2018; Santos, 2019; Souza, 2019). Contudo, tais inovações utilizadas de forma desordenada, causam sérios impactos ambientais, devido ao uso excessivo de tais recursos, sem praticar uma gestão ambiental de forma eficiente.

Com o intuito de obter altas produtividades na agricultura, investimentos em fertilizantes químicos foram realizados a partir da Revolução Verde, não levando em consideração a prática de alternativas sustentáveis (Matos, 2010). Com isso, os produtos químicos, utilizados de forma errônea e exagerados nas propriedades rurais, afetam de forma negativa o sistema produtivo agrícola, como por exemplo, acúmulo de resíduos químicos no meio ambiente, resistência em pragas agrícolas, contaminação dos solos por metais pesados e principalmente a salinização dos solos, o que pode provocar a degradação das áreas e deixando-as inviáveis para cultivos agrícolas (Tiecher, 2016).

A salinidade é um dos principais causadores de degradação dos solos em regiões de clima árido e semiárido, culminando em sérios prejuízos no rendimento agrícola (Mapelli *et al.*, 2013). Os solos salinos possuem condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes) superior a 4 dS m^{-1} (Liu; Zhu, 1998; Zhu *et al.*, 2005; Hasegawa *et al.*, 2019). No entanto, sabe-se que para a maioria das culturas, quando a CEes é igual ou superior a 2 dS m^{-1} , já implica em prejuízo ao desenvolvimento das plantas (Zhu *et al.*, 2005; Oliveira; Gomes-Filho; Enéas-Filho, 2010). Além da salinidade, o déficit hídrico também influencia no rendimento agrícola, limitando, ou até impedindo o cultivo de plantas de interesse comercial, culminando juntamente com o estresse salino na formação de manchas de sais e escassez de água disponível no solo (Frenkel; Goertzen; Rhoades, 1978; Ghadiri *et al.*, 2004; Gheyi *et al.*, 2016).

Em vista desses fatores, formas eficientes e sustentáveis já vêm sendo praticadas e aperfeiçoadas para atenuação do uso de fertilizantes químicos na agricultura, sendo o uso de bactérias promotoras de crescimento vegetal (BPCV), uma das formas para reduzir ou até substituir o uso de fertilizantes nos cultivos (Dilnashun *et al.*, 2020), principalmente em culturas como soja (*Glycine max*), feijão (*Phaseolus vulgaris*), milho (*Zea mays*), arroz (*Oryza sativa*) e cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) (Santoyo *et al.*, 2016; Spalaor *et al.*, 2016; Kumari

et al., 2019). Com isso, as BPCV têm se mostrado úteis no desenvolvimento de estratégias para facilitar o crescimento das plantas em solos salinos e com deficiência hídrica, com o intuito de melhorar a produção de material vegetal e, com isso, contribuir na extração de sais, proteção das plantas contra altas temperaturas e a falta de água em determinados ambientes (Medeiros, 2013; Gomes *et al.*, 2022).

O grupo de microrganismos promotores de crescimento vegetal pode estimular o crescimento e o desenvolvimento das plantas por meio de mecanismos de forma direta e indireta, coexistindo associativamente nas superfícies radiculares, na rizosfera, filosfera e de forma endofítica (Valencia-Cantero *et al.*, 2007; Hungria *et al.*, 2010). Os mecanismos de ação direta incluem, a fixação biológica de nitrogênio (FBN), síntese de fitohormônios, solubilização de fósforo inorgânico, síntese de sideróforos, produção de exopolissacarídeos e expressão de biofilmes. Já os mecanismos de ação indireta atuam como agentes de biocontrole, assim como a indução da resistência sistêmica induzida nos vegetais (Compant; Clément; Sessitsch, 2010; Ahemad; Kibret, 2014).

Os exopolissacarídeos e biofilmes produzidos pelas BPCV auxiliam na sobrevivência do vegetal em várias situações de estresses ambientais, sendo altamente capazes de fornecer proteção contra o estresse externo, diminuindo a competição microbiana e fornecendo efeitos de proteção à planta hospedeira (Silva *et al.*, 2016; Kasim *et al.*, 2016). Dessa forma, o uso de BPCV confere tolerância aos estresses abióticos, como a salinidade e a seca (Sarma; Saikia, 2012; Cerezini *et al.*, 2016; Numan *et al.*, 2018; Souza; Nascente; Filippi, 2019), que podem também provocar a “tolerância sistêmica induzida” (TSI), envolvendo várias mudanças fisiológicas e bioquímicas nas plantas (Yang *et al.*, 2010).

Vários microrganismos causam melhoria na interação solo/planta e têm sido encontrados em associação com muitas espécies vegetais em diferentes biomas, tendo uma vasta gama de gêneros descritos, incluindo *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Bradyrhizobium*, *Rhizobium*, *Gluconacetobacter*, *Herbaspirillum* e *Azospirillum* (Hungria *et al.* 2010; Videira *et al.*, 2012).

No entanto, ainda existe a necessidade de estudar mais a temática a fim de obter mais informações mais abrangentes acerca da interação de BPCV em ambientes sujeitos ao estresse salino e à escassez hídrica.. A intenção de explorar e desenvolver técnicas biotecnológicas poderão contribuir para o melhor entendimento dos mecanismos expressados pelos microrganismos nessa interação, viabilizando o emprego de práticas sustentáveis, como o uso de BPCV na agricultura.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Investigar e conhecer sobre os mecanismos e a utilização de bactérias promotoras de crescimento vegetal (BPCV) em condições de estresse abióticos, destacando tendências e descobertas que possam orientar futuras pesquisas e práticas agrícolas sustentáveis

1.1.2 Objetivos específicos

- Investigar os diferentes grupos de BPCV utilizados em estudos de mitigação do estresse salino e da deficiência hídrica;
- Entender sobre os principais mecanismos promotores de crescimento vegetal envolvidos no desenvolvimento vegetal, bem como, na resistência das plantas ao estresse salino e à deficiência hídrica;
- Compreender sobre os impactos das BPCV na retenção de água no solo e na melhoria da estrutura do solo sob condições de estresse salino;
- Informar a comunidade acadêmica sobre as formas de interação e dos mecanismos expressados pelas BPCV na agricultura em condições de estresse abióticos.

2 METODOLOGIA

A metodologia adotada consistiu em realizar uma revisão bibliográfica, buscando artigos científicos e livros que tratam do tema em questão. Foram consultadas bases de dados acadêmicos, como PubMed, Scopus, Web of Science e google scholar, utilizando palavras-chave relevantes na língua portuguesa e inglesa, como “bactérias promotoras de crescimento vegetal” (“plant growth promoting bacteria”), “estresse salino” (“salt stress”), “déficit hídrico” (“water deficit”) e “agricultura” (“agriculture”).

O período de seleção da literatura abrangeu janeiro de 2020 a novembro de 2023, com uma amplitude na literatura consultada que se estendeu de 1978 a 2022. Um quadro sinóptico (Quadro 1 – Apêndice) foi construído contendo as principais informações encontradas na literatura sobre a temática, servindo para organização e categorização das informações, facilitando a interpretação e a análise de conteúdo.

A análise e síntese dos dados consistiram em examinar os estudos revisados de maneira analítica, crítica e sistematizada, utilizando métodos fundamentais como a documentação das fontes, com análise textual, padrões e resultados significativos, bem como comparando e contrastando as descobertas dos diferentes estudos, a fim de alcançar os objetivos estabelecidos, assim como o desenvolvimento dos resultados e considerações finais da pesquisa.

Os dados foram organizados em categorias temáticas, como mecanismos de ação das bactérias promotoras de crescimento vegetal, efeitos na fisiologia das plantas e influência na tolerância ao estresse salino e ao déficit hídrico. A revisão bibliográfica foi redigida seguindo uma estrutura, que inclui introdução, objetivos (geral e específicos), metodologia, resultados e discussão e considerações finais.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após análise de 91 artigos científicos, 3 teses, 9 dissertações, 3 trabalhos de conclusão de curso e 6 livros foi possível observar e coletar informações de um panorama rico e diversificado no campo da pesquisa sobre BPCV (Quadro sinóptico – Apêndice A). Durante essa busca, observou-se um aumento notável na produção de artigos nos anos de 2016, 2017 e 2019, totalizando 15, 12 e 17 trabalhos, respectivamente. Essa compilação substancial reflete o crescente interesse e reconhecimento da importância dessas bactérias no contexto agrícola. As BPCV, por meio de diversos mecanismos biológicos, têm sido objeto de investigação como agentes promissores para aprimorar a eficiência dos cultivos diante de desafios como estresse salino e deficiência hídrica.

Notavelmente, todas as dissertações, teses, trabalhos de conclusão de curso e livros, encontrados são provenientes de pesquisadores brasileiros, trazendo um engajamento significativo na comunidade científica nacional.

Entretanto, dos numerosos artigos científicos identificados, apenas 9 (nove) são publicações de autores brasileiros, sendo relevante ressaltar que todas essas publicações são pesquisas experimentais, oferecendo informações limitadas sobre os intrincados mecanismos promotores de crescimento vegetal. Não foi encontrado nenhum artigo de revisão publicado no Brasil com a temática abordada neste trabalho.

Diante dessa base de conhecimento, é crucial explorar minuciosamente os resultados, destacando tendências, identificando lacunas e ressaltando descobertas significativas que possam orientar futuras pesquisas e práticas agrícolas sustentáveis. A discussão dos resultados não apenas delineou os avanços já alcançados, mas também aponta para direções que prometem aprimoramentos e aplicações práticas desses microrganismos benéficos na agricultura contemporânea.

3.1 IMPACTOS DO ESTRESSE SALINO E HÍDRICO NA AGRICULTURA

No Brasil, aproximadamente nove milhões de hectares de terras são afetadas pelo estresse salino (Távora; Ferreira; Hernandez, 2001) e 40% do território nacional tem ameaças relacionadas ao estresse hídrico (Riadh *et al.*, 2010; Ruan *et al.*, 2010). Estima-se que cerca de 30% da produção mundial das culturas agrícolas seja perdida ou prejudicada como resultado de interferência pelos estresses bióticos e abióticos no ambiente (Goswami; Thakker; Dhandhukia, 2016; Santos; Nogueira; Hungria, 2019).

O desenvolvimento de solos salinos ocorre quando há a concentração de sais solúveis na solução do solo, resultando em sua salinização (Frenkel; Goertzen; Rhoades, 1978; Ghadiri *et al.*, 2004; Gheyi *et al.*, 2016; Numan *et al.*, 2018). Este processo ocorre principalmente em regiões áridas e semiáridas, na qual resultam da associação da formação geológica que predomina no ambiente, da irregular distribuição de chuvas, drenagem deficiente e exploração agrícola inadequada (Silva *et al.*, 2016; Severo, 2017). Nas características químicas do solo, o aumento nas concentrações de sais e sódio trocáveis resulta na diminuição da fertilidade, enquanto nas propriedades físicas observa-se a desestruturação. Nesse sentido, a densidade do solo aumenta, levando a uma redução na capacidade de infiltração da água. (Schossler *et al.*, 2012), o que resulta na redução da produção agrícola nestes ambientes.

O estresse salino provoca distúrbios nutricionais nas plantas, o que ocasiona a deficiência de vários nutrientes, assim como o aumento de Na^+ na célula vegetal, fazendo com que haja a inibição da fotossíntese, aumentando também a formação de espécies reativas de oxigênio (Sudhir; Murthy, 2004; Zahedi; Alemzadeh; Azizi, 2012; Islam *et al.*, 2015). Devido à alta concentração de sais, ocorre um desequilíbrio osmótico, dificultando assim a absorção de água e proporcionando o estresse iônico, que em altas concentrações no interior da planta pode ser tóxica, resultando em inibição de muitos processos fisiológicos e bioquímicos, como a absorção e assimilação de nutrientes (Carmen; Roberto, 2011; Taiz *et al.*, 2017; Santos; Nogueira; Hungria, 2019).

O déficit hídrico ocorre quando todo o conteúdo de água no tecido ou na célula vegetal está abaixo do conteúdo de máxima hidratação, e após longo prazo de estresse, a água na planta não é recuperada, consistindo num decréscimo na produção, fechamento dos estômatos, aceleração na senescência e da abscisão das folhas (Taiz *et al.*, 2017).

Ao longo dos anos no desenvolvimento da agricultura, técnicas e práticas estão sendo estudadas e praticadas com o objetivo de aumentar produtividade das culturas, além de buscar soluções para minimizar os impactos ambientais nas áreas cultiváveis. Nessa vertente, a microbiologia agrícola desponta com alternativas que contribuam com o desenvolvimento e a proteção vegetal, contra deficiência nutricional e estresses ocasionados de forma natural ou a partir da ação humana. Dessa forma, conhecer de forma mais ampla sobre a diversidade de microrganismos promotores de crescimento e a interação destes com os vegetais, é o início para se propor novas abordagens e soluções que auxiliem na manutenção da produtividade e conservação das áreas agrícolas (Silva, 2019).

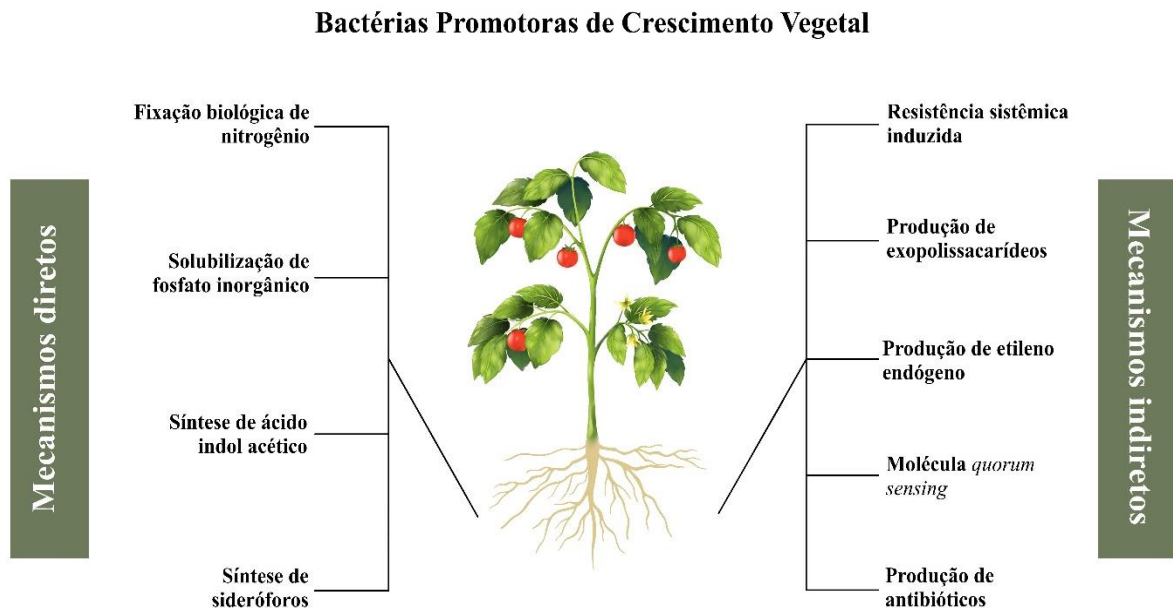
3.1.1 Mecanismos e diversidade de Bactérias Promotoras de Crescimento Vegetal, tolerantes a salinidade e seca

As BPCV vivem de forma intracelular e extracelular associadas aos vegetais (Noumavo *et al.*, 2016). As bactérias endofíticas são aquelas que residem dentro das células dos vegetais, e ainda tem aquelas que podem viver de forma simbiótica por meio da infecção e colonização em nódulos radiculares, que são as estruturas especializadas para a fixação biológica de nitrogênio em leguminosas (Santos; Nogueira; Hungria, 2019). Aquelas que vivem extracelularmente próximas às raízes de diversas plantas e na solução do solo, vivem de forma livre ou assimbiótica e com capacidade de promover o crescimento vegetal através da produção de sinais ou produção de substâncias específicas (Gray; Smith, 2005; Majeed; Muhammad; Ahmad, 2018).

A diversidade de BPCV que coloniza a rizosfera por meio de exsudatos radiculares como substratos nutricionais, mas diferentemente de outras bactérias rizosféricas, estas estimulam o crescimento e a saúde das plantas através de uma variedade de mecanismos diretos e indiretos (Bensidhoum; Nabti, 2019). A forma direta consiste na produção de compostos que funcionam como reguladores vegetais, na fixação biológica de nitrogênio (FBN), solubilização de fósforo inorgânico (SFI), síntese de fitohormônios, como por exemplo, o Ácido Indol Acético (AIA), síntese de sideróforos (SS) e aceleração dos processos de mineralização no ambiente (Moreira; Siqueira, 2006; Saini *et al.*, 2015; Varma *et al.*, 2017; Nazir; Kamili; Shah, 2018).

Por outro lado, as rizobactérias na forma indireta promovem a indução de resistência sistêmica nos vegetais, aumento da tolerância a estresses bióticos devido à produção de exopolissacarídeos (EPS), expressão da molécula *quorum sensing* (QS), produção de etileno endógeno (PEE), produção de antibióticos (PA), antagonismo a fitopatógenos (AF) (Figura 1), entre outros (Oliveira; Urquiaga; Baldani, 2003; Saini *et al.*, 2015; Varma *et al.*, 2017; Nazir; Kamili; Shah, 2018).

Figura 1 - Principais mecanismos de promoção das Bactérias Promotoras de crescimento Vegetal.



A liberação constante de compostos orgânicos através das raízes propicia uma maior diversidade de bactérias em seu entorno (Hartmann *et al.*, 2017) e a interação desses microrganismos com a planta pode se apresentar de forma benéfica, neutra ou deletéria. Com isso, a inoculação de microrganismos benéficos em plantas tornou-se uma prática constante, pois melhora o desenvolvimento do vegetal, aumenta a tolerância a doenças e favorece o seu estabelecimento sob condições de estresse, como salinidade e déficit hídrico (Numan *et al.*, 2018; Santos; Nogueira; Hungria, 2019).

Dentre as BPCV, o gênero *Azospirillum*, principalmente a espécie *Azospirillum brasilense*, é provavelmente a mais estudada para atenuar o estresse salino, com ensaios de inoculação realizados com trigo (Fischer *et al.*, 2000; Tiwari *et al.*, 2011) e arroz (Jha *et al.*, 2011). Os autores relataram a melhora na captação de nutrientes e maior crescimento vegetativo, com isso, as bactérias que melhoram a estrutura do solo em condições de estresse salino podem ser chamadas de bactérias halotolerantes, que além do gênero *Azospirillum*, existem outras espécies que se destacam em ações contra ambientes salinos e sua consequente atenuação.

Vários estudos mostraram que as BPCV halotolerantes contribuem efetivamente para o crescimento de várias culturas agrícolas sob condições de estresse salino (Ullah; Bano, 2015; Etesami; Beattie, 2018; Numan *et al.*, 2018). As BPCV halotolerantes produtoras de exopolissacarídeos melhoram a estrutura do solo, promovendo a agregação do mesmo, o que

resulta na retenção de água e aumento do fornecimento de nutrientes às plantas. Os exopolissacarídeos também podem aliviar o estresse salino da planta ao se ligar ao Na^+ , sendo que esta ligação ocorre devido aos grupos funcionais hidroxila, sulfidríla, carboxila e fosforila, característico do EPS bacteriano (Nunkaew *et al.*, 2015).

Aeromonas hydrophila, *Bacillus* sp., *Burkholderia*, *Enterobacter*, *Microbacterium* e *Paenibacillus* são algumas das bactérias halotolerantes que produzem EPS, facilitando a formação de biofilme (Qurashi; Sabri, 2012), além de sintetizar ACC deaminase, que converte o precursor de etileno da planta ACC em amônia e α -cetobutirato (Etesami e Beattie, 2018;), reduzindo assim o acúmulo de etileno na planta e evitando a inibição do crescimento, mediada por etileno em resposta ao estresse salino (Glick, 2014).

Pesquisas mostram a tolerância de diferentes espécies de bactérias a alta concentração de sais. Zhu *et al.* (2011) isolaram BPCV halotolerantes com alta atividade de solubilização de fósforo inorgânico, *Kushneria* sp. YCW18, de um sedimento das salinas na costa oriental da China que foi capaz de crescer em um meio sólido contendo 20% de cloreto de sódio. Tiwari *et al.* (2011) também isolaram BPCV que eram halotolerantes com base em sua capacidade de tolerar 2-25% de NaCl. Entre as bactérias halotolerantes, incluem *Bacillus pumilus*, *Pseudomonas mendocina*, *Arthrobacter* sp., e *Halomonas* sp. que possuem características de promoção de crescimento de plantas, como solubilização de fósforo e a capacidade de sintetizar o hormônio vegetal (Ácido indol-acético – AIA), produção de sideróforos e de ACC deaminase (Zhu *et al.*, 2011; Tiwari *et al.*, 2011)

Gêneros distintos de bactérias halotolerantes foram isolados de plantas halofíticas, como *Acacia* spp. (Boukhatem *et al.*, 2016), *Avicennia marina* (El-Tarabily; Youssef, 2010) e *Atriplex nummularia* L. (Silva, 2014), com a capacidade de promover crescimento vegetal das plantas, através de mecanismos de FBN, síntese de AIA, solubilização de fosfato, além de produzir substâncias que protegem as plantas contra a ação da seca, como a produção de exopolissacarídeos e biofilme.

De fato, compreender e desenvolver novas tecnologias capazes de aumentar a tolerância das plantas aos estresses são essenciais para garantir a segurança alimentar. Nesse contexto, a utilização de microrganismos representa uma alternativa pertinente, uma vez que apresenta baixo custo, fácil manipulação, não acarreta poluição ou outros tipos de impactos ambientais e danos à saúde humana (Bensidhoum; Nabti, 2019).

3.1.1.1 Fixação biológica de nitrogênio

O nitrogênio é o nutriente que a planta requer em maior quantidade, pois este elemento é um constituinte dos ácidos nucleicos e de proteínas, moléculas fundamentais para todos os processos biológicos dos vegetais (Hungria; Campo; Mendes, 2007). Dentre os gases existentes na atmosfera, o N_2 constitui 80% dessa composição, sendo que nenhum animal ou planta consegue utilizá-lo como nutriente em virtude da tripla ligação que existe entre os átomos de N, que até onde se tem conhecimento, é uma das ligações mais fortes existentes na natureza (Hungria, 2011; Taiz *et al.*, 2017).

Existem na natureza alguns microrganismos (algumas arqueobactérias e bactérias), que conseguem aproveitar o nitrogênio devido à enzima chamada nitrogenase, sendo capaz de romper sua tripla ligação, reduzindo tal elemento à amônia e permitindo que outras formas de vida, como as plantas, também consigam absorvê-lo (Leibfried *et al.*, 2005; Taiz *et al.*, 2017). Esses microrganismos devido a sua função citada são conhecidos como diazotróficos ou fixadores biológicos de nitrogênio associando-se a diversas espécies de plantas em diferentes graus de especificidades, levando à classificação como bactérias associativas, simbióticas e de vida livre (Hungria; Campo; Mendes, 2007).

Na agricultura, a associação simbiótica é a mais estudada entre as plantas da família Fabaceae, associando-se com bactérias pertencentes a diversos gêneros, denominados popularmente como rizóbios. Esta associação, planta/bactéria, pode ser facilmente identificada devido à formação de estruturas altamente especializadas nas raízes das leguminosas, sendo chamadas de nódulos. As bactérias associativas também realizam o processo de conversão do N_2 atmosférico em amônia através do complexo dinitrogenase (Redivo *et al.*, 2018).

No entanto, estes tipos de associações excretam somente parte do N_2 atmosférico, dividindo sua função com as bactérias mineralizadoras, contribuindo dessa forma com aportes de nitrogênio (Redivo *et al.*, 2018). As bactérias de vida livre são aquelas que vivem extracelularmente próximas às raízes de diversas plantas, atuando com os seus diferentes mecanismos, de acordo com as condições de temperatura, pH, matéria orgânica e água no solo (Hungria, 2011).

A fixação biológica de nitrogênio é totalmente eficaz devido ao envolvimento de genes nesse processo. Existem os genes *nif*, que aparentemente estão envolvidos com a síntese da nitrogenase e são encontrados nos sistemas simbióticos e de vida livre (Teixeira, 1997). Os genes da nitrogenase (*nif*) incluem genes estruturais, genes envolvidos na ativação da proteína

Fe, biossíntese do cofator de ferro e molibdênio, doação de elétrons e genes reguladores necessários para a síntese e função da enzima (Teixeira, 1997; Ahemad; Kibret, 2014).

Existem também os genes *fix* que produzem as moléculas e que regulam o processo de fixação. Sabe-se que este gene codifica a ferredoxina auxiliando na doação de elétrons para a nitrogenase; os genes *nod* (nodulação) que são responsáveis pela produção da proteína que recebe o sinal químico da planta hospedeira (os flavonóides-antocianinas) e pela produção das enzimas, que sintetizam o fator nodulação e as nodulinas que são responsáveis pela formação e manutenção do nódulo radicular (Teixeira, 1997).

Os mecanismos de promoção de crescimento nos vegetais e de proteção podem ser expressos por diferentes linhagens bacterianas associados às plantas. Checchio (2019), avaliando a associação entre *Azospirillum brasilense* e milho na tolerância ao estresse salino, observou que a presença desta espécie no milho sob estresse salino pode conferir tolerância às plantas sob salinidade, uma vez que proporcionou a redução dos danos oxidativos (peroxidação lipídica) e aumentou as respostas antioxidantes de GSH-PX e GPOX, além de maior incremento de massa seca sob condição estressora no sistema radicular e uma maior fixação de nitrogênio. Silva *et al.* (2016), estudando essas bactérias associadas à *A. nummularia*, observaram 71 isolados capazes de fixar biologicamente o nitrogênio, indicando dessa forma a potencialidade para FBN *in vitro*.

Com relação ao déficit hídrico, interferências semelhantes com culturas agrícolas também podem ser observadas. De acordo com Souza (2020), a espécie *H. seropedicae* se apresentou como potencial facilitadora na recuperação das plantas de milho, depois do período de estresse hídrico, uma vez que plantas inoculadas apresentaram tendência no aumento de biomassa radicular e na recuperação mais rápida do potencial máximo do rendimento quântico do fotossistema II (PSII-0,80).

Dessa forma, é possível observar a importância de explorar bactérias tolerantes à salinidade para que possam ser usadas como inoculantes, com o intuito de minimizar o uso de fertilizantes químicos, além de contribuir com a recuperação de solos salinos e otimizar a produtividade agrícola (Pereira *et al.*, 2012).

3.1.1.2 Síntese de ácido indol-acético

O ácido indol-acético (AIA) é o principal fitohormônio da classe das auxinas que pode atuar no crescimento e desenvolvimento dos vegetais (Gupta *et al.*, 2019). Bactérias como *Azospirillum spp.*, *Pseudomonas spp.* e *Bacillus thuringiensis* são exemplos de promotores de

crescimento vegetal, que sintetizam AIA (Tank; Saraf, 2010; Arzanesh *et al.*, 2011; Armada; Roldan; Azcon, 2014).

As auxinas são sintetizadas no meristema apical das plantas, sendo que também podem ser produzidas por bactérias que estabelecem simbiose com os vegetais. Essas auxinas contribuem para o *pool* interno da planta, um reservatório de substâncias vitais como nutrientes e compostos químicos. Desempenhando um papel crucial nos processos fisiológicos e metabólicos da planta, influenciando seu crescimento, desenvolvimento e respostas a estímulos ambientais. A principal via metabólica para a síntese de auxinas utiliza o aminoácido L-triptofano como precursor, conectando diretamente o *pool* interno aos mecanismos reguladores do crescimento vegetal. (Figueiredo *et al.*, 2012).

Cerca de 80% da flora bacteriana na rizosfera sintetiza AIA, sendo que o uso e a aplicação desses microrganismos no campo aumentam os níveis endógenos de AIA nas plantas, o que ocasiona efeito notável no crescimento das plantas, levando em consideração a aplicação do bioinsumo em quantidades recomendadas para cada cultura (Zakharova *et al.*, 1999). Sabe-se que as auxinas afetam todas as partes morfológicas das plantas, porém, como tecnicamente as BPCV sintetizam AIA na rizosfera, as raízes são relativamente as maiores beneficiárias (Ahemad; Kibret, 2014). O AIA liberado pelas rizobactérias influenciam principalmente o sistema radicular, pois aumenta não apenas seu tamanho, mas o peso, número de ramificações e a área de superfície de contato com o solo (Goswami; Thakker; Dhandhukia, 2016).

O AIA é sintetizado por bactérias associadas às plantas por vias independentes e dependentes de L-triptofano, a biossíntese do AIA Trp-dependente possui diversas vias, que são nomeadas geralmente após um intermediário, sendo proposta: a via ácido indol-3-pirúvico (AIP), a via indol-3-acetamida (IAM), a via triptamina e a via indol-3-acetaldoxima (IAOx) (Zakharova *et al.*, 1999). Dessa forma, destaca-se que a maioria das BPCV utiliza L-triptofano, que é secretado nos exsudatos radiculares como precursor da produção de AIA (Ahemad; Kibret, 2014; Zakharova *et al.*, 1999).

Poucos exemplos de AIA produzidos pela via independente do L-triptofano são conhecidos, sendo que um dos organismos mais estudados que sintetiza AIA por essa via é o *Azospirillum brasilense*, onde mais de 90% do AIA produzido é pela via independente do L-triptofano e os 10% restantes do AIA é produzido utilizando L-triptofano. No entanto, a via exata e as enzimas usadas para a síntese de AIA por essa rota ainda não são conhecidas (Goswami; Thakker; Dhandhukia, 2016; Bokhari *et al.*, 2019).

A via para a síntese de AIA em bactérias é a remoção do grupo carboxila e amino do triptofano. Esse fitohormônio desempenha um papel significativo nas interações de

planta/microrganismo, pois atuam como uma molécula sinalizadora que afeta a expressão gênica em espécies de microrganismos (Spaepen; Vanderleyden, 2011). As rizobactérias secretadas por AIA também podem levar ao afrouxamento da parede celular da planta, facilitando assim a maior liberação de exsudatos de raízes, fornecendo nutrientes adicionais para apoiar o crescimento da planta (Kumar; Verma, 2018). Sendo assim, a produção de AIA em áreas onde o estresse hídrico é mais intenso, sua ação pode ser considerada mais eficaz, pois possibilita o crescimento radicular, o que aumenta a absorção de água pela planta.

Para evidenciar a eficiência das BPCV em relação a produção de AIA, Silva (2014), em um estudo com bactérias promotoras de crescimento vegetal associadas a espécie halófito *Atriplex nummularia*, observaram a síntese de AIA em 57 bactérias avaliadas, o que demonstra o potencial destes microrganismos encontrados na solução do solo, na rizosfera e de forma endofítica nas plantas, indicando a potencialidade desses isolados em áreas salinas.

3.1.1.3 Solubilização de fosfato inorgânico

O fósforo é o segundo nutriente essencial requerido pelas plantas em quantidades adequadas para um crescimento ideal, tornando-se assim um nutriente limitante para o crescimento das plantas (Santos; Silva, 2010). Contudo, apesar das reservas abundantes e profundas do fósforo no solo, 95-99% do fósforo presente está em formas insolúveis, imobilizadas ou precipitadas, por isso torna-se difícil para as plantas absorvê-lo. Com isso, as plantas absorvem fosfato apenas como íons monobásicos (H_2PO_4^-) e dibásicos (HPO_4^{2-}) (Gouda *et al.*, 2018). As BPCV utilizam essas formas insolúveis de fosfatos e os converte em formas absorvíveis pela planta (Shaikh; Sayyed; Reddy, 2016).

O ciclo do fósforo não possui intercâmbio com a atmosfera, sendo regido principalmente por microrganismos. Diferentes espécies de bactérias foram identificadas como capazes de solubilizar compostos fosfatados inorgânicos, incluindo os gêneros: *Arthrobacter*, *Bacillus*, *Beijerinckia*, *Burkholderia*, *Enterobacter*, *Microbacterium*, *Pseudomonas*, *Erwinia*, *Rhizobium*, *Mesorhizobium*, *Flavobacterium*, *Rhodococcus* e *Serratia* (Gouda *et al.*, 2018).

O principal mecanismo pelo qual as BPCV tornam o fósforo disponível para as plantas é através da liberação de diferentes ácidos orgânicos, por exemplo, ácido glucônico, ácido cítrico, ácido succínico e ácido lático (Khan; Zaidi; Ahmad, 2014). Os gêneros *Pseudomonas*, *Bacillus* e *Rhizobium* estão entre as bactérias mais eficientes na solubilização de P (Rodriguez, Fraga; 1999; Oliveira; Urquiaga; Baldani, 2003). Embora os microrganismos solubilizem o

fósforo, resultando em aumento da fertilidade do solo, os estudos sobre seu uso como biofertilizante são recentes (Gouda *et al.*, 2018).

É pertinente afirmar que BPCV possuem potencial biotecnológico, considerando a perspectiva de desenvolvimento de bioinsumos que contribuem com a nutrição das plantas e com base nisso, Santos (2012) observou que as BPCV associadas às raízes de cana-de-açúcar solubilizaram fosfato inorgânico em concentração salina, tornando-se candidatas a promoção de desenvolvimento vegetal em solos salinos. Do mesmo modo, Silva *et al.* (2016), selecionaram bactérias promotoras de crescimento vegetal associadas às plantas de *A. nummularia*, observando que 65% das bactérias foram capazes de solubilizar fosfato inorgânico em 5% de concentração salina, demonstrando tolerância destes microrganismos à essa condição adversa.

Existem populações consideráveis de bactérias que solubilizam fosfato inorgânico no solo e na rizosfera ligado às espécies vegetais (Cardoso; Andreote, 2016) e com isso, a relação das BPCV e o estresse salino estão indicando resultados promissores quanto à disponibilização de fósforo, principalmente com aquelas bactérias que vivem em ambientes extremos, como a salinidade (Visentini, 2013; Nozari, 2022).

3.1.1.4 Produção de exopolissacarídeos e biofilmes

Os exopolissacarídeos (EPS) são polímeros biodegradáveis de alto peso molecular que são formados de resíduos de monossacarídeos e seus derivados, sendo biossintetizados por uma ampla gama de bactérias, algas e plantas (Sanlibaba; Cakmak, 2016). Os EPS desempenham um papel central na retenção do potencial hídrico, agregando partículas do solo, garantindo o contato obrigatório entre as raízes das plantas e as rizobactérias, sustentando o hospedeiro sob condições de estresse (solo salino, déficit hídrico e alagamento) ou patogênese e, portanto, influenciam diretamente no crescimento e rendimento das plantas (Silva, 2014).

As BPCV, *Rhizobium leguminosarum*, *Azotobacter vinelandii*, *Bacillus drentensis*, *Enterobacter cloacae*, *Agrobacterium* sp., *Xanthomonas* sp. e *Rhizobium* sp., são alguns exemplos de bactérias produtoras de EPS. Essas espécies têm um papel importante no aumento da fertilidade do solo, o que contribui com o crescimento da agricultura sustentável (Mahmood *et al.*, 2016). Com isso, foi relatado que as BPCV produtoras de EPS aumentam significativamente o volume dos macroporos do solo e a agregação do solo na rizosfera, resultando no aumento da disponibilidade de água e fertilizantes para as plantas inoculadas, o

que por sua vez, acredita-se que ajudem as plantas a controlar melhor a relação com às condições de estresse salino e déficit hídrico (Paul; Lade, 2014).

Embora a composição e a quantidade de EPS possam variar em diferentes cepas de BPCV, uma grande quantidade de EPS é formada em condições adversas (Bomfeti *et al.*, 2011; Khan; Bano, 2019). O EPS funciona como uma barreira física ao redor das raízes e ajuda no crescimento da planta em situações de estresse salino e hídrico (Vaishnav *et al.*, 2016). A inoculação de BPCV produtoras de EPS mostraram efeitos significativos na absorção de K^+ , e Ca^{2+} nas plantas (Egamberdieva *et al.*, 2019). Qurash e Sabri (2012) observaram que a formação de biofilme e o acúmulo de exopolissacarídeos aumentaram em maior salinidade. E que a inoculação com as cepas *Halomonas variabilis* (HT1) e *Planococcus rifietoensis* (RT4), aumentou o crescimento do grão-de-bico em estresse salino, comprovando que bactérias produtoras de EPS e biofilme são capazes de conferir tolerância ao sal.

A presença de EPS no biofilme também tem efeitos positivos na colonização radicular por BPCV (Qurash; Sabri, 2012). No contexto da melhoria da produtividade, o papel das BPCV produtoras de EPS é muito significativo, pois elas estão sendo usadas como agentes primários de sementes e auxiliam no aumento da germinação (Tewari; Arora, 2018). Recentemente, Chu *et al.* (2019), demonstraram o possível papel da cepa *Pseudomonas*, sendo tolerante à sais e produtora de EPS na regulação de genes relacionados à tolerância ao estresse em *Arabidopsis thaliana*. Foi descoberto que um gene LOX 2 que codifica uma lipoxigenase, constitui um componente essencial da via de síntese do ácido jasmônico (JA) e foi regulado positivamente. Como o próprio ácido jasmônico é um regulador positivo e se acumula rapidamente nas plantas (sob estresse salino), o EPS bacteriano fornece benefícios adicionais para sobreviver sob estresse salino.

Percebe-se dessa forma, que os mecanismos de promoção de crescimento vegetal exercem um papel protagonista quanto a atenuação desses estresses. A produção de biofilme, por exemplo, sob condições variáveis de estresse é uma estratégia significativa adotada por linhagens bacterianas para sua sobrevivência bem-sucedida na rizosfera. Kasim *et al.* (2016), a partir de um estudo com BPCV, procuraram determinar sob diferentes concentrações de sal a atividade de formação do biofilme, indicando que todos os isolados estudados expressaram atividade de formação de biofilme sob NaCl 0,0; 250; 500 e 1000 mM. As cepas de BPCV com maior produção de biofilme foram selecionadas e usadas para revestir grãos de cevada, estas foram semeadas em solos argilosos e arenosos e deixados por 25 dias. Os resultados demonstraram que a inoculação bacteriana foi eficaz em aliviar o efeito de estresse causado pelo aumento do sal e ainda observaram que o aumento da produção de exopolissacarídeos

contra um expressivo estresse salino também favorece a formação de biofilme e os protege, retendo uma camada de água ao redor das células.

3.1.1.5 Produção da enzima ACC-deaminase

O etileno é um metabólito essencial para o crescimento e desenvolvimento das plantas (Bulegon, 2019). Este hormônio de crescimento vegetal é produzido endogenamente por aproximadamente todas as plantas e por diferentes processos bióticos e abióticos nos solos, sendo de suma importância na indução de mudanças fisiológicas multifacetadas nas plantas (Arshad; Shaharoon; Mahmood, 2008; Braga, 2015). Além de ser um regulador de crescimento das plantas, o etileno também se estabeleceu como um hormônio de estresse (Ahemad; Kibret, 2014), ou seja, sob condições de estresse, ocasionadas por salinidade, seca, alagamento, metais pesados e patogenicidade, o nível endógeno de etileno aumenta significativamente nas plantas.

Durante a ocorrência do déficit hídrico, tem-se um aumento exagerado da produção de etileno, ocasionando a redução ou até inibição do crescimento e desenvolvimento vegetal (Ahemad; Kibret, 2014), como por exemplo, o abortamento de estruturas vegetais, devido aos níveis mais severos de etileno (Bulegon, 2019). As BPCV que possuem a enzima 1-aminociclopropano-1-carboxilato (ACC) deaminase facilitam o crescimento e o desenvolvimento das plantas, ao diminuir os níveis de etileno, induzindo a tolerância ao sal e reduzindo o estresse hídrico nas plantas (Ahemad; Kibret, 2014; Bulegon, 2019).

Atualmente, as cepas bacterianas que realizam a atividade da ACC-deaminase foram identificadas em uma ampla gama de gêneros, como *Acinetobacter*, *Achromobacter*, *Agrobacterium*, *Alcaligenes*, *Azospirillum*, *Bacillus*, *Burkholderia*, *Enterobacter*, *Pseudomonas*, *Ralstonia*, *Serratia* e *Rhizobium* (Kang *et al.*, 2014).

Rizobactérias nativas da Caatinga associadas à *Mimosa artemisiana* foram observadas por Braga (2015), promovendo o crescimento de plantas sob condições de estresse hídrico, sendo constatado a presença da enzima ACC-deaminase em vários gêneros, como *Bacillus* spp. e *Paenibacillus* sp., que produziram essa enzima em um meio com baixa conteúdo de água.

Os principais efeitos perceptíveis da inoculação da semente/raiz como BPCV produtoras de ACC-deaminase são o alongamento da raiz da planta, aumento da nodulação de leguminosas e absorção de N, P e K, bem como a colonização micorrízica em várias safras. Por isso que em alguns casos, os efeitos de promoção do crescimento por BPCV pelo mecanismo da produção da ACC-deaminase parecem ser bem mais expressos em situações estressantes, como solos

alagados, contaminados por metais pesados ou solos salinos, e em resposta para fitopatógenos (Saleem *et al.*, 2007).

3.2 CONTRIBUIÇÃO DE BPCV NA BIORREMEDIAÇÃO DE SOLOS SALINOS

Algumas espécies vegetais apresentam mecanismos que lhes conferem certa adaptabilidade a locais onde a salinidade é predominante. Essa adaptabilidade deve-se principalmente aos seus processos evolutivos que envolvem a absorção, transporte e distribuição de íons em vários órgãos da planta (Farias *et al.*, 2009). As plantas que recebem essa característica são denominadas de plantas halófitas, pois apresentam a capacidade de acumular quantidades elevadas de sais em seus tecidos e também extraí-los do solo, funcionando dessa forma como plantas fitorremediadoras, a exemplo, tem-se a *A. nummularia* (Figura 2) (Santos, 2012; Silva *et al.*, 2016).

Figura 2 - *Atriplex nummularia* em solo salino no município de Ibimirim, Pernambuco.



Fonte: Silva (2014).

Essa espécie é uma das espécies mais estudadas para recuperação de solos salinos, por isso, há a possibilidade desta planta estar associada a microrganismos capazes de promover o crescimento vegetal em condições de estresse salino, através de diferentes mecanismos, como a FBN, síntese de ácido indol-acético, solubilização de fosfato, produção de exopolissacarídeos, entre outros (Silva, 2014).

Neste sentido, observa-se o uso de técnicas de recuperação de solos afetados pela salinização como a utilização de gesso e calcário em áreas de perímetros irrigados no sertão pernambucano, revelando-se uma técnica eficaz para a redução da sodicidade em solos salino-sódico (Barros *et al.*, 2004). Além do trabalho de Silva (2014), Leal *et al.* (2008) consideraram o emprego da espécie vegetal *A. nummularia* como uma alternativa para a minimização dos impactos causados pela salinização em solos. Dessa forma, verificaram que a espécie associada ao gesso, tem potencializado sua capacidade de dessalinização em até 31%, sendo, portanto, qualificada como fitorremediadora e fitoextratora de sódio.

A partir de pesquisas com a *Cladonia verticillaris*, como um possível biorremediador em Luvisolos degradados pelo manejo agrícola no município de Cabrobó, Pernambuco, Brasil, constataram que a *C. verticillaris* modificou quimicamente o solo subjacente, influenciado pela adição de solução de ureia, com a diminuição em 87% dos teores de Na⁺ (sódio), o aumento de 45% nos valores de Ca²⁺ (cálcio), 77% no Mg²⁺ (magnésio) e 11% no pH em H₂O, podendo ser considerado um importante fator para estudos de organismos eficientes no processo de biorremediação de Luvisolo salinizado por irrigação (Silva; Mota-Filho; Pereira, 2015).

Diante disso, a fitorremediação também é uma estratégia de biorremediação (Coutinho *et al.*, 2015) e a partir disso, pôde-se perceber a carência de pesquisas voltadas para a biorremediação de solos salinos no Brasil. Em virtude deste fato, observa-se a necessidade em desenvolver mais pesquisas, buscando o desenvolvimento de tecnologias e medidas que atenuem as dificuldades de regiões com solos onde a salinidade encontra-se elevada, assim como em regiões onde ocorre o estresse hídrico.

3.3 USO DE BPCVS NA PRODUÇÃO AGRÍCOLA

As bactérias promotoras de crescimento vegetal, a partir de seus variados mecanismos, têm se mostrado eficientes quando se fala em aumento da produção agrícola e principalmente na contribuição para sustentabilidade agrícola. Com isso, pesquisas corroboram essa afirmativa, demonstrando bons resultados em diferentes culturas agrícolas e em condições de estresse salino e déficit hídrico (Gírio *et al.*, 2015; Spalaor *et al.*, 2016; Battistus, 2019).

A restrição hídrica foi amenizada por *A. brasilense* em milho, tendo como resultados a mitigação de estresses ocasionados por baixa disponibilidade hídrica no milho, reduzindo perdas de água relacionadas à turgescência dos tecidos vegetais, e promovendo aumento da atividade antioxidante, visando proteger estruturas celulares, culminando em menores reduções de fotossíntese em momentos de alta luminosidade e demanda hídrica (Battistus, 2019). Esses resultados positivos devem-se aos mecanismos facilitadores das BPCV, sendo que o autor ainda relatou que dentre os metabólitos produzidos por *A. brasilense*, encontram-se os compostos hormonais, auxínicos e ácido salicílico, que são transportados sistemicamente pela planta.

A escassez de água é reconhecida como uma das principais barreiras para a eficiência agrícola global, exigindo uma ampliação dos esforços para impulsionar a produção agrícola diante desse desafio. Uma estratégia promissora para superar essa adversidade consiste em explorar o potencial da tolerância sistêmica induzida por microrganismos em resposta ao estresse hídrico. Nesse sentido, Narayanasamy; Thangappan e Uthandi (2020), observaram que o mecanismo chave no aumento do metabolismo energético por *B. altitudinis* FD48 e *B. metilotrophyus* RABA6 pode ser atribuído à regulação de enzimas que extinguem ROS que auxiliam na resiliência ao estresse hídrico. Este estudo sugere que essas cepas têm potencial como novos bioinoculantes para reforçar a tolerância à seca em plantações de arroz sujeitas a condições de estresse hídrico.

A ação das auxinas envolve-se diretamente com o desenvolvimento do sistema radicular para exploração de maior área de solo (Hungria *et al.*, 2010; Cassán; Vanderleyden; Spaepen, 2014), ao passo que o ácido salicílico é responsável pela regulação de processos metabólicos em momentos de escassez hídrica, controlando a produção de prolina, que está envolvido na defesa antioxidante, regulação osmótica, eficiência transpiratória, condutância estomática e atividade fotossintética capacitando o *A. brasilense* como indutor em momentos de estresse abióticos (Noreen; Athar; Ashraf, 2013; Miura; Tada, 2014; Battistus, 2019).

Esta proteção em situações de déficit hídrico culmina na manutenção do teor de água nos tecidos foliares, como verificado em *Urochloa* (Bulegon *et al.*, 2017) e *Arabidopsis* (Cohen *et al.*, 2015) induzido por um complexo de mecanismos de ação desencadeado por *A. brasilense* (Cassán; Diaz-Zorita, 2016; Curá *et al.*, 2017). Resultados significativos foram adquiridos em todos os trabalhos supracitados, com a utilização de BPCV, o que beneficia a prática mais consciente na agricultura. Os países em desenvolvimento que apresentam os maiores índices de crescimento populacional são geralmente os países que apresentam altas taxas de degradação do solo. Pois há uma constância no que diz respeito a retirada dos insumos naturais, mas não há uma reposição adequada.

Dessa forma, urge desenvolver, criar e principalmente praticar novas técnicas na agricultura, que deve ser ambientalmente sustentável. Todos os trabalhos apresentados geram uma estrutura de informações disponíveis ao agricultor, que a partir dos resultados benéficos, toma a decisão de estabelecer a aplicação de microrganismos e, de alguma forma, restabelecer o equilíbrio do recurso sobre o qual ele gera sua experiência produtiva.

A integração de abordagens microbiológicas com práticas agronômicas tradicionais, como rotação de culturas e manejo sustentável do solo, pode maximizar os benefícios das BPCV. Investir em pesquisas que explorem a interação entre BPCV e diferentes culturas, bem como sua influência na estrutura do solo e na comunidade microbiana, também é essencial para uma implementação eficaz. Além disso, estratégias de bioengenharia que visam melhorar a resistência das plantas ao estresse salino e hídrico, combinando o uso de BPCV com melhoramento genético, representam uma área promissora de desenvolvimento. O engajamento de agricultores e a conscientização sobre os benefícios ambientais e econômicos do uso sustentável do BPCV são cruciais para a adoção generalizada dessas práticas inovadoras na agricultura.

E tudo isso já pode ser visto na prática com os resultados demonstrados no trabalho, assim como o desenvolvimento e aplicabilidade das BPCV através dos inoculantes produzidos. Segundo Júnior (2021), a presença de bactérias com capacidade para servir como inoculantes comerciais em culturas como milho, feijão-caupi (*Vigna unguiculata*) e amendoim (*Arachis hypogaea*) oferece a perspectiva de aumentar a produtividade e reduzir a dependência de fertilizantes. Além dos benefícios em termos de rendimento, essas bactérias fortalecem a resiliência das culturas diante das mudanças climáticas, proporcionando vantagens adicionais para a sustentabilidade agrícola.

No Brasil há registros de diversas pesquisas voltadas para o desenvolvimento de inoculantes contendo bactérias que promovem o crescimento e incrementam a produtividade de plantas. Atualmente existem inoculantes comerciais utilizados pelos agricultores na cultura da soja, feijão, milho, trigo e cana-de-açúcar, formulados com as BPCV do gênero *Bradyrhizobium* spp., e as espécies *Rhizobium tropici*, *Azospirillum brasilense*, *Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium* e *Nitrospirillum amazonense* (Ferreira, 2018), que além de contribuir para uma economia na ordem de R\$ 7 a R\$ 10 bilhões de reais, proporciona crescimento anual de 46,9% em sua taxa de produtividade em culturas agrícolas no Brasil (Castro; Araújo, 2018).

Em relação ao feijoeiro, assim como observado na soja, resultados positivos foram obtidos com a coinoculação de *Rhizobium* e *Azospirillum*. As plantas coinoculadas tiveram, em média, um aumento de 11,3% na produção de grãos em comparação com aquelas inoculadas

exclusivamente com *Rhizobium* (Hungria; Nogueira e Araújo, 2013). Embora pesquisas no Brasil demonstrem respostas significativas à inoculação do feijoeiro em condições de campo, a adoção dessa tecnologia ainda é limitada e requer estímulo. A combinação de inoculação, uso de variedades melhoradas e práticas de manejo integradas pode contribuir para dobrar a produtividade nacional de maneira acessível aos agricultores.

As perspectivas futuras para o uso sustentável de bactérias promotoras de crescimento vegetal (BPCV) na agricultura são promissoras. Espera-se que a pesquisa continue a aprimorar a compreensão dos mecanismos de ação do BPCV, permitindo o desenvolvimento de cepas mais eficientes e adaptadas às condições específicas. Além disso, a otimização de técnicas de aplicação e formulações que garantem a observância do BPCV no campo é crucial. Com isso, a produção de inoculantes à base de bactérias promotoras de crescimento vegetal desempenha um papel crucial na mitigação de estresses abióticos, como o estresse salino e o déficit hídrico, fornecendo soluções sustentáveis para a otimização da produção agrícola.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pesquisas adicionais e uma compreensão mais aprofundada dos mecanismos das Bactérias Promotoras de Crescimento Vegetal (BPCV) em ambientes com estresse hídrico e salino revelaram um caminho promissor na identificação de cepas bacterianas mais eficientes, capazes de promover o crescimento vegetal em condições adversas. O uso mais frequente de inoculantes à base de BPCV não apenas se mostra economicamente viável na produção agrícola, mas, sobretudo, sustentável. Através dos diversos mecanismos que essas bactérias exercem na interação solo-planta, é possível atenuar os efeitos abióticos, resultando em altas produtividades.

Assim, as BPCV emergem como uma estratégia econômica e ambiental, contribuindo para o aumento sustentável da produção agrícola. Apesar dos avanços significativos na compreensão dos efeitos do estresse nas plantas, é imperativo realizar mais estudos sobre a aplicação das BPCV na mitigação do estresse hídrico e salino, para minimizar as perdas agrícolas e consolidar práticas agrícolas mais resilientes.

REFERÊNCIAS

- AHEMAD, M.; KIBRET, M. Mechanisms and applications of plant growth promoting rhizobacteria: Current perspective. **Journal of King Saud University Science**, King Saud, v. 26, n. 1, p. 1-20, 2014.
- ARMADA, E.; ROLDÁN, A.; AZCON, R. Differential Activity of Autochthonous Bacteria in Controlling Drought Stress in Native *Lavandula* and *Salvia* Plants Species Under Drought Conditions in Natural Arid Soil. **Microbial Ecology**, New York, v. 67, p. 410-420, 2014.
- ARSHAD, M.; SHAHAROONA, B.; MAHMOOD, T. Inoculation with *Pseudomonas* spp. containing ACC-deaminase partially eliminates the effects of drought stress on growth, yield, and ripening of pea (*Pisum sativum* L). **Pedosphere, Nanjing**, v. 18, n. 5, p. 611-620, 2008.
- ARZANESH, M. H. *et al.* Wheat (*Triticum aestivum* L.) growth enhancement by *Azospirillum* sp. under drought stress. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, Dordrecht, v. 27, p. 197–205, 2011.
- AZEVEDO, J. L. *et al.* **Biotecnologia microbiana ambiental**. Maringá: Eduem, 2018. 331 p.
- BARROS, M. F. C. *et al.* Recuperação de solos afetados por sais pela aplicação de gesso de jazida e calcário no nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 8, n. 1, p. 59-64, 2004.
- BATTISTUS, A. G. **Modulações Anatômicas, Bioquímicas e fotossintéticas Mediadas por *Azospirillum brasilense* Inoculado Via Semente e Pulverização Foliar em Milho**. 2019, 170p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, Paraná, 2019.
- BENSIDHOUM, L.; NABTI, E. Plant Growth-Promoting Bacteria for Improving Crops Under Saline Conditions. *Microorganisms in Saline Environments: Strategies and Functions*. **Soil Biology**, v. 56, n. 1, p. 329-352, 2019.
- BOKHARI, A. *et al.* Bioprospecting desert plant *Bacillus* endophytic strains for their potential to enhance plant stress tolerance. **Scientific Reports**, v. 9, p. 1-13, 2019.
- BOMFETI, C. A. *et al.* Exopolysaccharides produced by the symbiotic nitrogen-fixing bacteria of leguminosae. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, Viçosa, v. 35, p. 657–671, 2011.
- BOUKHATEM, Z. F. *et al.* Symbiotic characterization and diversity of rhizobia associated with native and introduced acacias in arid and semi-arid regions in Algeria. **FEMS Microbiology Ecology**, v. 80, p. 534–547, 2016.
- BRAGA, A. P. A. **Rizobactérias nativas da Caatinga com potencial para redução dos efeitos da seca em soja (*Glycine max* L.)**. 2015, 87p. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agrícola) - Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2015.

BULEGON, L. G. *et al.* Physiological responses of *Urochloa ruziziensis* inoculated with *Azospirillum brasilense* to severe drought and rehydration conditions. **Australian Journal of Crop Science**, v. 11, n. 10, p. 1283-1289, 2017.

BULEGON, L. G. ***Azospirillum brasilense* e reguladores vegetais na mitigação dos efeitos da intoxicação por mesotriona no milho e do déficit hídrico na soja.** 2019, 193p, Tese (Doutorando em Agronomia), Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus Marechal Cândido Rondon, 2019.

CARDOSO, E. J. B. N.; ANDREOTE, F. D. **Microbiologia do solo.** 2 ed. Piracicaba: ESALQ, 2013. 221p.

CARMEN, B.; ROBERTO, D. Soil bacteria support and protect plants against abiotic stresses. *In*: SHANKER, A. **Abiotic Stress in Plants mechanisms and Adaptations.** Índia: IntechOpenp, 2011. 143-170.

CASSÁN, F.; VANDERLEYDEN, J.; SPAEPEN, S. Physiological and agronomical aspects of phytohormone production by model plant-growth-promoting rhizobacteria (PGPR) belonging to the genus *Azospirillum*. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 33, n. 2, p. 440-459, 2014.

CASSÁN, F.; DIAZ-ZORITA, M. *Azospirillum* sp. in current agriculture: From the laboratory to the field. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 103, n. 10, p. 117-130, 2016.

CASTRO, J. R. P.; ARAUJO, S. **A importância dos inoculantes para a economia brasileira.** ANPII, v. especial, p. 39, 2018.

CEREZINI, P. *et al.* Estratégias para promover a nodulação precoce da soja sob seca. **Science Direct**, v. 196, n. 1, p. 160-167, 2016.

CHECCHIO, M. V. **Associação entre *Azospirillum brasilense* e milho na tolerância ao estresse salino: uma abordagem antioxidante.** 2019, 62p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista (Unesp). Jaboticabal, 2019.

CHU, T. N. *et al.* Plant growth-promoting rhizobacterium *Pseudomonas* PS01 induces salt tolerance in *Arabidopsis thaliana*. **BMC Research Notes**, v. 12, n. 11, 2019.

COHEN, A. C. *et al.* *Azospirillum brasilense* ameliorates the response of *Arabidopsis thaliana* to drought mainly via enhancement of ABA levels. **Physiologia Plantarum**, v. 153, n. 1, p. 79-90, 2015.

COMPANT, S.; CLÉMENT, C.; SESSITSCH, A. Plant growth-promoting bacteria in the rhizo- and endosphere of plants: Their role, colonization, mechanisms involved and prospects for utilization. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 42, p. 669-678, 2010.

COUTINHO, P. W. R. *et al.* Alternativas de Remediação e Descontaminação de Solos: Biorremediação e Fitorremediação. **Nucleus**, v. 12, n. 1, p. 59-68, 2015.

CURÁ, A. J. *et al.* Inoculation with *Azospirillum* sp. and *Herbaspirillum* sp. Bacteria Increases the Tolerance of Maize to Drought Stress. **Microorganisms**, v. 5, n. 3, p. 41, 2017.

DILNASHUN, H. *et al.* Applications of agriculturally important microorganisms for sustainable crop production. *In: SHARMA, V. et al. Molecular Aspects of Plant Beneficial Microbes in Agriculture, Índia. Academic Press Elsevier*, p. 403-415, 2020.

EL-TARABILY, K. A.; YOUSSEF, T. Enhancement of morphological, anatomical and physiological characteristics of seedlings of the mangrove *Avicennia marina* inoculated with a native phosphate-solubilizing isolate of *Oceanobacillus picturae* under greenhouse conditions. **Plant and Soil**, v. 332, p. 147–162, 2010.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Visão 2030: O Futuro da Agricultura Brasileira**. Brasília: EMBRAPA, 2018. 212p.

EGAMBERDIEVA, D. *et al.* Salt-Tolerant Plant Growth Promoting Rhizobacteria for Enhancing Crop Productivity of Saline Soils. **Frontiers in Microbiology**, v. 10, 2019.

ETESAMI, H.; BEATTIE, G. Mining Halophytes for Plant Growth-Promoting Halotolerant Bacteria to Enhance the Salinity Tolerance of Non-halophytic Crops. **Frontiers in Microbiology**, v. 9, 2018.

FARIAS, S. G. G. *et al.* Estresse salino no crescimento inicial e nutrição mineral de Gliricídia (*Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunt ex Steud) em solução nutritiva. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 5, p. 1499-1505, 2009.

FERREIRA, A. L. **Inoculante para a fixação de nitrogênio para cana é lançado pela Basf e Embrapa**, 2018.

FIGUEIREDO, E. F. *et al.* **Produção de ácido indol-acético por bactérias diazotróficas associadas à *Brachiaria ssp.* por via dependente de triptofano**. 64º Reunião Anual da SBPC, 2012.

FRENKEL, H.; GOERTZEN, J. O.; RHOADES, J. D. Effects of clay type and content, exchangeable sodium percentage, and electrolyte concentration on clay dispersion and soil hydraulic conductivity. **Soil Science Society of America Journal**, v. 42, n. 1, p. 32-39, 1978.

FURMAN, F. G. **Desenvolvimento e produtividade do trigo em função da inoculação de bactérias promotoras do crescimento vegetal**. 2019. 59p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2019.

GÍRIO, L. A. *et al.* Bactérias promotoras de crescimento e adubação nitrogenada no crescimento inicial de cana-de-açúcar proveniente de mudas pré brotadas. **Pesquisa Agropecuária brasileira**, Brasília, v. 50, n. 1, p. 33-43, 2015.

GHADIRI, H. *et al.*, The effect of soil salinity and sodicity on soil erodibility, sediment transport and downstream water quality. **Conserving Soil and Water for Society Sharing Solutions**, Brisbane, p. 631, 2004. Apresentado no 13th International Soil Conservation Organization Conference, Brisbane, 2004.

GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. 2. ed. Fortaleza: INCT Sal, 2016. 472 p.

GLICK, B. R. Bacteria with ACC deaminase can promote plant growth and help to feed the world. **Microbiological Research**, v. 169, p. 30–39, 2014.

GOMES, D. F.; ORMENO-ORRILLO, E.; HUNGRIA, M. Biodiversity, symbiotic efficiency and genomics of *Rhizobium tropici* and related species. In: DE BRUIJN, F. (Org.). **Biological nitrogen fixation**. New Jersey: John Wiley, p. 747-756, 2015.

GOMES, E. *et al.* **Mecanismos das bactérias promotoras do crescimento de plantas na mitigação dos efeitos do déficit hídrico**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2022.

GOSWAMI, D.; THAKKER J.; DHANDHUKIA, P. Portraying mechanics of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): A review. **Cogent Food & Agriculture**, v. 2, n. 1, 2016.

GOUDA, S. *et al.* Revitalization of plant growth promoting rhizobacteria for sustainable development in agriculture. **Microbiological Research**, v. 206, p. 131-140, 2018.

GRAY, E. J.; SMITH, D. L. Intracellular and extracellular PGPR: commonalities and distinctions in the plant–bacterial signaling processes. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 37, p. 395-412, 2005.

GUPTA, P. *et al.* The Role of Plant-Associated Bacteria in Phytoremediation of Trace Metals in Contaminated Soils. In: SINGH, J. S.; SINGH, D. P. New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering, **Elsevier**, p. 191-198, 2019.

HASEGAWA, P. *et al.*, Plant cellular and molecular responses to high salinity. **Annu. Review of Plant Biology**, v. 51, n. 1, p. 463-499, 2019.

HARTMANN, M. *et al.* A decade of irrigation transforms the soil microbiome of a semiarid pine forest. **Molecular Ecology**, v. 26, p. 1190–1206, 2017.

HUNGRIA, M.; CAMPOS, R. J.; MENDES, I. C. **A importância do processo de fixação biológica do nitrogênio para a cultura da soja: Componente essencial para a competitividade do produto brasileiro**. Embrapa Cerrados. Londrina, 80p, 2007.

HUNGRIA, M. *et al.* Inoculation with selected strains of *Azospirillum brasilense* and *A. lipoferum* improves yields of maize and wheat in Brazil. **Planta e Solo**, v. 331, p. 413-425, 2010.

HUNGRIA, M. **Inoculação com *Azospirillum brasilense*: inovação em rendimento a baixo custo**. Embrapa Soja. Londrina, 36p, 2011.

HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A.; ARAUJO, R. S. Co-inoculation of soybeans and common beans with rhizobia and azospirilla: strategies to improve sustainability. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 49, n. 7, p. 791-801, 2013.

ISLAM, F. *et al.* Priming-induced antioxidative responses in two wheat cultivars under saline stress. **Acta Physiologiae Plant**, Kraków, v. 37, n. 8, p. 1-12, 2015.

- JHA, Y.; SUBRAMANIAN, R.B.; PATEL, S. Combination of endophytic and rhizospheric plant growth promoting rhizobacteria in *Oryza sativa* shows higher accumulation of osmoprotectant against saline stress. **Acta Physiol Plant**, v.33, p. 797–802, 2011.
- KANG, S. M. *et al.* Plant growth-promoting rhizobacteria reduce adverse effects of salinity and osmotic stress by regulating phytohormones and antioxidants in *Cucumis sativus*. **Journal of Plant Interactions**, v. 9, n. 1, p. 673– 682, 2014.
- KASIM, W. A. *et al.* Effect of biofilm forming plant growth promoting rhizobacteria on salinity tolerance in barley. **Annals of Agricultural Sciences**, Ain Shams, v. 61, n. 2, p. 217-227, 2016.
- KHAN, M. S.; ZAIDI, A.; AHMAD, E. Mechanism of phosphate solubilization and physiological functions of phosphate-solubilizing microorganisms. *In*: KHAN, M., ZAIDI, A., & MUSARRAT, J. (Eds.), **Phosphate Solubilizing Microorganisms**, p. 31 – 62, 2014.
- KHAN, N.; BANO, A. Exopolysaccharide producing rhizobacteria and their impact on growth and drought tolerance of wheat grown under rainfed conditions. **PLoS One**, v. 12, n. 14(9), 1 e0222302 2019.
- KUMAR, A.; VERMA, J. P. Does plant - Microbe interaction confer stress tolerance in plants: A review. **Microbiological Research**, v. 207, p. 41–52, 2018.
- KUMARI, B. *et al.* Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): Modern prospects for Sustainable Agriculture. *In*: Ansari, R.;R., Mahmood, I. (eds). **Springer Nature, Singapore**, p. 109-127, 2019.
- LEAL, I, G. *et al.* Fitorremediação de solo salino sódico por *Atriplex nummularia* e gesso de jazida. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 1065-1072, 2008.
- LEIBFRIED, A. *et al.* Controls meristem function by direct regulation of cytokinin-inducible response regulators. **Nature**, v. 438, p. 1172-1175, 2005.
- LIU, J.; ZHU, J. K. A calcium sensor homolog required for plant salt tolerance. **Science**, v. 280, n. 5371, p. 1943-1945, 1998.
- MAHMOOD, S. *et al.* Plant Growth Promoting Rhizobacteria and Silicon Synergistically Enhance Salinity Tolerance of Mung Bean. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, p. 1-14, 2016.
- MAJEED, A.; MUHAMMAD, Z.; AHMAD, H. Plant growth promoting bacteria: role in soil improvement, abiotic and biotic stress management of crops. **Plant Cell Reports**, v. 37, p. 1599-1609, 2018.
- MAPELLI, F. *et al.* Potential for Plant Growth Promotion of Rhizobacteria Associated with Salicornia Growing in Tunisian Hypersaline Soils. **BioMed Research International**, v. 2013, p. 1-13, 2013.
- MATOS, A. K. V. Revolução verde, biotecnologia e Tecnologias Alternativas. **Cadernos da FUCAMP**, v. 10, n. 12, p. 1-17, 2010.

MEDEIROS, B. P. **Estresse hídrico simulado por polietileno glicol 6000: Um estudo sobre os efeitos em plantas de tomate, *Herbaspirillum seropedicae* e o potencial da inoculação na resistência ao estresse.** 2013, 78p. Dissertação (Mestrado e Biociências e Biotecnologia) - Centro de Biociências e Biotecnologia da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 2013.

MIURA, K.; TADA, Y. Regulation of water, salinity, and cold stress responses by salicylic acid. **Frontiers in Plant Science**, v. 5, n. 1, p. 1–12, 2014.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e Bioquímica do Solo.** 2. ed. Lavras: UFLA, 2006. 206p.

NARAYANASAMY S, THANGAPPAN S, UTHANDI S. Plant Growth-Promoting Bacillus sp. Cahoots Moisture Stress Alleviation in Rice Genotypes by Triggering Antioxidant Defense System. **Microbiol Research**. v. 239, 2020.

NAZIR, N.; KAMILI, A. N.; SHAH, D. Mechanism of Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) in enhancing plant growth-A Review. **International Journal of Management, Technology And Engineering**, v. 8, p. 709-721, 2018.

NOREEN, S.; ATHAR, H. U. R.; ASHRAF, M. Interactive effects of watering regimes and exogenously applied osmoprotectants on earliness indices and leaf area index in cotton (*Gossypium hirsutum* L.) crop. **Pakistan Journal of Botany**, v. 45, n. 6, p. 1873–1881, 2013.

NOUMAVO, P. A. *et al.* Plant growth promoting rhizobacteria: Beneficial effects for healthy and sustainable agriculture. **African Journal of Biotechnology**, v. 15, n. 27, p. 1452-1463, 2016.

NOZARI, R. M. **Caracterização de rizobactérias *Streptomyces spp.* como halotolerantes e sua ação na mitigação do estresse salino em plantas de milho (*Zea mays* L.).** Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Biologia Celular e Molecular, PUCRS, 2022.

NUMAN, M. *et al.* Plant growth promoting bacteria as an alternative strategy for salt tolerance in plants: A review. **Microbiological Research**, v. 209, p. 21-32, 2018.

NUNKAEW, T. *et al.* Characterization of exopolymeric substances from selected *Rhodopseudomonas palustris* strains and their ability to adsorb sodium ions. **Carbohydrate Polymers**, v. 115, p. 334–341, 2015.

OLIVEIRA, A. L. M.; URQUIAGA, S.; BALDANI, J. I. **Processos e mecanismos envolvidos na influência de microrganismos sobre o crescimento vegetal.** Embrapa Agrobiologia. Seropédica, 40p, 2003.

OLIVEIRA, A. B.; GOMES-FILHO.; ENÉAS-FILHO. O problema da salinidade na agricultura e as adaptações das plantas ao estresse salino. **Enciclopédia biosfera, Centro Científico Conhecer**, Goiânia, v. 6, p. 1-16, 2010.

PAUL, D.; LADE, H. Plant-growth-promoting rhizobacteria to improve crop growth in saline soils: a review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 34, p. 737-752, 2014.

- PEDERSEN, A. C. **Déficit Hídrico em Milho: Caracterização Fisiológica e Inoculação com *Azospirillum brasilense***. 2013, 98p, Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2013.
- PEREIRA, A. P. A. *et al.* Influência da Salinidade sobre o Crescimento e a Produção de Ácido Indol Acético de *Burkholderia* spp. Endofíticas de cana-de-açúcar. **Bioscience Journal**, v. 28, p. 112-121, 2012.
- QURASHI, A. W.; SABRI, A. N. Bacterial exopolysaccharide and biofilm formation stimulate chickpea growth and soil aggregation under salt stress. **Brazilian Journal Microbiology**, v. 43, p. 1183–1191, 2012.
- REDIVO, A. R. *et al.* **Elementos da Natureza e propriedade do solo**. Ponta Grossa: Atena Editora, 2018. 314 p.
- RIADH, K. *et al.* Responses of Halophytes to Environmental Stresses with Special Emphasis to Salinity. **Advances in Botanical Research**, v. 53, p. 117-145, 2010.
- RODRIGUEZ, H.; FRAGA, R. Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. **Biotechnology Advances**, v. 17, n. 5, p. 319–339, 1999.
- RUAN *et al.* Halophyte improvement for a salinized world. **Critical Reviews in Plant Sciences**, 29, n. 6, p. 329-359, 2010.
- SAINI, R. *et al.* Beneficial effects of inoculation of endophytic bacterial isolates from roots and nodules in chickpea. *International Journal of Current Microbiology Applied Science*, v. 4, p. 207221, 2015.
- SALEEM, M. *et al.* Perspective of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) containing ACC-deaminase in stress agriculture. **Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology**, v. 34, n. 3, p. 635-648, 2007.
- SANLIBABA, P.; ÇAKMAK, G. A. Exopolysaccharides Production by Lactic Acid Bacteria. **Applied Microbiology Open Access**, v. 2, 2016.
- SANTOS, D. R.; SILVA, L. S. **Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas**, 2010.
- SANTOS, H. F. Modernização da Agricultura e dinâmica do agronegócio globalizado do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba. **Geografia em Questão**, v. 12, n. 1, p. 9-36, 2019.
- SANTOS, M. A. **Recuperação de solo salino-sódico por fitorremediação com *Atriplex nummularia* ou aplicação de gesso**. 2012, 99p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2012.
- SANTOS, M. S.; NOGUEIRA, M. A.; HUNGRIA, M. Microbial inoculants: Reviewing the past, discussing the present and previewing an outstanding future for the use of beneficial bacteria in agriculture. **AMB Express**, v. 9, 205, 2019.
- SANTOYO, G. *et al.* Plant growth-promoting bacterial endophytes. **Microbiol Research**, p. 92-99, 2016.

SARMA, K. R.; SAIKIA, R. Alleviation of drought stress in mung bean by strain *Pseudomonas aeruginosa* GGRJ21. **Plant and soil**, v. 377, p. 111-126, 2012.

SCHOSSLER, T. R. *et al.* Salinidade: Efeitos na Fisiologia e na Nutrição Mineral de Plantas. **Enciclopédia Livre, Centro Científico Conhecer**, v. 8, n. 15, p. 1563, 2012.

SEVERO, P. J. da S. **Incubação e doses de enxofre elementar sobre os atributos químicos de um solo com excesso de sais e sódio**. 2017, 30f, Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de ciências e tecnologia agroalimentar, 2017.

SHAIKH S. S.; SAYYED R. Z.; REDDY M. S. Plant Growth-Promoting Rhizobacteria: An Eco-friendly Approach for Sustainable Agroecosystem. In: HAKEEM, K; AKHTAR, M. ABDULLAH, S. *Plant, Soil and Microbes*. **Springer**, 2016.

SILVA, F. G. da. **Bactérias halotolerantes associadas a plantas de *Atriplex nummularia* L. e sua inoculação em mudas**. 2014. 89f. Dissertação (Mestrado em Produção Agrícola) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Garanhuns, 2014.

SILVA, M. C. A. P. **Impacto da inoculação com cepas da bactéria *Bacillus amyloliquefaciens* sobre os processos fisiológicos de soja exposta à seca**. 2019, 36f, Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Biológicas) - Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, 2019.

SILVA, A. K. O.; MOTA FILHO, F. O.; PEREIRA, E. C. G. **Biorremediação de solos degradados pela salinização no município de Cabrobó (PE) através do uso do líquen *Cladonia verticillaris***. XVI *In: Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada*, 2015.

SILVA, R. Z. *et al.* Fitorremediação de solos salinos em sistema de cultivo protegido. **Cultivando o Saber**, Paraná, v. 9, n. 4, p. 498-505, 2016.

SPAEPEN, S.; VANDERLEYDEN, J. Auxin and plant-microbe interactions. **Cold Spring Harbor Perspectives in Biology**, v. 3, n. 4, a001438. 2011.

SPALAOR, L. T. *et al.* Plant growth-promoting bacteria associated with nitrogen fertilization at topdressing in popcorn agronomic performance. **Bragantia**, Campinas, v. 75, n. 1, p. 33-40, 2016.

SOUZA, D. P. O papel da agroindústria como agente na modernização da agricultura no cerrado. **Revista de Economia da UEG**, v. 15, n. 1, p. 86-104, 2019.

SOUZA, I. M.; NASCENTE, A. S.; FILIPPI, M. C. C. Bactérias promotoras do crescimento radicular em plântulas de dois cultivares de arroz irrigado por inundação. **Colloquium Agrariae**, v. 15, n. 2, p. 140-145, 2019.

SOUZA, M. F. de. **Promoção do crescimento e tolerância ao estresse hídrico em plantas de milho inoculadas com *Herbaspirillum seropedicae***. 2020, 94p. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Bociências e Biotecnologia, 2020.

SUDHIR, P.; MURTHY, S. Effects of salt stress on basic processes of photosynthesis. **Photosynthetica**, v. 42, n. 4, p. 481-486, 2004.

TAIZ, L. *et al.* Fisiologia e desenvolvimento Vegetal. Artmed, 6. ed. Porto Alegre, 2017.

TANK, N.; SARAF, M. Salinity-resistant plant growth promoting rhizobacteria ameliorates sodium chloride stress on tomato plants. **Journal of Plant Interactions**, Londres, v. 5, p. 51-58, 2010.

TÁVORA, F. J. A. F.; FERREIRA, R. G.; HERNANDES, F. F. F. Crescimento e relações hídricas em plantas de goiabeira submetidas a estresse salino com NaCl. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal - SP, v. 23, n. 2, p. 441-446, 2001.

TEIXEIRA, K. R. S. **Bases moleculares e genética da fixação de nitrogênio**. Seropédica: Embrapa – CNPAB, 1997. 26 p.

TEWARI S.; ARORA N. K. Role of salicylic acid from *Pseudomonas aeruginosa* PF23EPS+ in growth promotion of sunflower in saline soils infested with phytopathogen *Macrophomina phaseolina*. **Environ. Sustain**, v. 1, p. 49–59, 2018.

TIECHER, T. **Manejo e conservação do solo e da água em pequenas propriedades rurais no sul do Brasil: práticas alternativas de manejo visando a conservação do solo e da água**. Porto Alegre - UFRGS, 187p. 2016.

TIWARI, S. *et al.* Salt-tolerant rhizobacteria-mediated induced tolerance in wheat (*Triticum aestivum*) and chemical diversity in rhizosphere enhance plant growth. **Biology and Fertility of Soils**, v. 47 p. 907-916, 2011.

ULLAH, S.; BANO, A. Isolation of plant-growth-promoting rhizobacteria from rhizospheric soil of halophytes and their impact on maize (*Zea mays* L.) under induced soil salinity. **Canadian Journal of Microbiology**, v. 61, p. 307–313, 2015.

VAISHNAV, A. *et al.* PGPR-mediated expression of salt tolerance gene in soybean through volatiles under sodium nitroprusside. **Journal of Basic Microbiology**, v. 56, p. 1274-1288, 2016.

VARMA, P. K. *et al.* “Endophytes: Role and Functions in Crop Health.” In: Singh, D.; Singh, H.; Prabha, R. (eds) Plant-Microbe Interactions in Agro-Ecological Perspectives. **Springer**, Singapore, v. 1, p. 291-310, 2017.

VALENCIA-CANTERO, E. *et al.* Role of dissimilatory fermentative iron-reducing bacteria in Fe uptake by common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants grown in alkaline soil. **Plant and Soil**, v. 291(1-2), p. 263-273, 2007.

VIDEIRA, S. S. *et al.* Genetic diversity and plant growth promoting traits of diazotrophic bacteria isolated from two *Pennisetum purpureum* Schum. genotypes grown in the field. **Plant and Soil**, 356, 51-66, 2012.

VISENTINI, E. O. S. **Tolerância de *Aeromonas* spp. ao estresse salino.** 2013, 68 p, Dissertação (Mestrado em biotecnologia) – Universidade de Caxias do Sul, 2013.

ZAHEDI, A. M.; ALEMZADEH, N.; AZIZI, M. The study of the effect of salinity stress on the germination and the initial growth of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp). **Asian Journal of Crop Science**, v. 4, p. 159-164, 2012.

ZHU, J. H. *et al.* Salt and crops: salinity tolerance. **Science and Technology**, v. 32, 13p, 2005.

ZAKHAROVA, E. A. *et al.* Biosynthesis of indole-3-acetic acid in *Azospirillum brasiliense*. **European Journal Biochemistry**, Branisovska, v. 259, p. 572-579, 1999.

APÊNDICE A

Quadro 1 - Quadro sinóptico com as principais referências encontradas sobre bactérias promotoras de crescimento vegetal atenuando o estresse salino e déficit hídrico na agricultura

Título	Bactérias estudadas	Categoria	Autor(es)	Conclusão Principal
Colonization of wheat by <i>Azospirillum brasilense</i> Cd is impaired by saline stress	<i>Azospirillum. brasilense</i>	Estresse salino	Fischer <i>et al.</i> , 2000	Os dados deste artigo indicam que o <i>A. Brasilense</i> produziu exopolissacarídeos, reduzindo o estresse salino na cultura do trigo.
Isolation of PGPRS from Rhizospheric Soil of Halophytes and its 2 Impact on Maize (<i>Zea mays</i> L.) Under Induced Soil Salinity	<i>Bacilo</i> sp., <i>Bacilo pumilus</i> , <i>Arthrobacter aurescens</i> , <i>Arthrobacter pascens</i> , <i>Bacilo pumilus</i> Cepa BSH-4	Estresse salino	Ullah; Bano, 2015	A capacidade sinérgica de isolados como <i>Bacillus</i> spp. e <i>Arthrobacter pascens</i> destaca-se como característica crucial para sua aplicação como bioinoculantes. Esses microrganismos solubilizam fósforo, produzem sideróforos e, ao promover crescimento, auxiliam na sobrevivência das plantas sob estresse.
Combination of endophytic and rhizospheric plant growth promoting rhizobacteria in <i>Oryza sativa</i> shows higher accumulation of osmoprotectant against saline stress	<i>Pseudomonas pseudoalcaligenes</i> e <i>Bacillus pumilus</i>	Estresse salino	Jha; Subramanian; Patel (2011)	A combinação das bactérias <i>P. pseudoalcaligenes</i> e <i>B. pumilus</i> fortaleceu o arroz contra o estresse, induzindo proteínas protetoras e antioxidantes. Essa sinergia foi mais eficaz nos estágios iniciais de crescimento de plantas expostas a diferentes níveis de salinidade.
Characterization of exopolymeric substances from selected <i>Rhodopseudomonas palustris</i>	Cepas de <i>Rhodopseudomonas palustris</i>	Estresse salino	Nunkaew <i>et al.</i> , 2015	Os resultados gerais sugeriram que o EPS foram essenciais para que as cepas usadas se ligassem ao Na ⁺ permitindo sua

Título	Bactérias estudadas	Categoria	Autor(es)	Conclusão Principal
strains and their ability to adsorb sodium ions				sobrevivência em altas concentrações de NaCl.
Salt and Crops: Salinity Tolerance	<i>Kushneria</i> sp. YCW18	Estresse salino	Zhu <i>et al.</i> , 2005	Os isolados bacterianos foram capazes de crescer em um meio sólido contendo 20% de cloreto de sódio.
Salt-tolerant rhizobacteria-mediated induced tolerance in wheat (<i>Triticum aestivum</i>) and chemical diversity in rhizosphere enhance plant growth	<i>Bacillus pumilus</i> , <i>Pseudomonas mendocina</i> , <i>Arthrobacter</i> sp., <i>Halomonas</i> sp., e <i>Nitrincola laxisaponensis</i>	Estresse salino	Tiwari <i>et al.</i> , 2011	O acúmulo de fenólicos e quercetina nas plantas, desempenhou um papel sinérgico cumulativo que apoiou a promoção aprimorada do crescimento das plantas de trigo no solo sob estresse salino com a solubilização de fosfato.
Nodular bacterial endophyte diversity associated with native <i>Acacia</i> spp. in desert region of Algeria	<i>Paenibacillus</i> , <i>Ochrobactrum</i> , <i>Stenotrophomonas</i> , <i>Pseudomonas</i> , <i>Microbacterium</i> , <i>Rhizobium</i> , <i>Agrobacterium</i> , <i>Brevibacillus</i> e <i>Advenella</i> .	Estresse salino	Boukhate m <i>et al.</i> , 2016	Os endófitos nodulares isolados neste estudo revelaram uma forte perfil de tolerância à salinidade e altas temperaturas.
Enhancement of morphological, anatomical and physiological characteristics of seedlings of the mangrove <i>Avicennia marina</i> inoculated with a native phosphate-solubilizing isolate of <i>Oceanobacillus picturae</i> under greenhouse conditions	<i>Oceanobacillus picturae</i>	Estresse salino	El-Tarabily; Youssef, 2010	Os resultados mostraram que <i>Oceanobacillus picturae</i> tem potencial para ser aplicado como um tratamento eficaz e econômico na solubilização do fosfato para reflorestamento de manguezais, programas em ambientes áridos, como aqueles encontrados nos Emirados Árabes Unidos.

Título	Bactérias estudadas	Categoria	Autor(es)	Conclusão Principal
Associação entre <i>Azospirillum brasilense</i> e milho na tolerância ao estresse salino: uma abordagem antioxidante	<i>Azospirillum brasilense</i>	Estresse salino	Checchio, 2019	A presença de <i>A. brasilense</i> no milho sob estresse salino pode conferir tolerância a planta e que esta tolerância está relacionada ao sistema de defesa antioxidante, principalmente de GSH-PX (glutathione peroxidase) e GPOX (guaiacol peroxidase).
Bactérias halotolerantes associadas a plantas de <i>Atriplex nummularia</i> L. e sua inoculação em mudas	107 isolados bacterianos	Estresse salino	Silva, 2014	Bactérias halotolerantes associadas a plantas de <i>Atriplex</i> exibem habilidades como solubilização de fosfato, fixação de nitrogênio, produção de AIA, EPS e moléculas de <i>quorum sensing</i> . Essa associação apresenta potencial para promover o crescimento vegetal de maneira positiva.
Rizobactérias nativas da Caatinga com potencial para redução dos efeitos adversos da seca em soja (<i>Glycine max</i> L.)	57 isolados bacterianos	Déficit hídrico	Braga, 2015	Uma cepa de <i>Paenibacillus</i> sp. e outra de <i>Bacillus</i> sp. demonstraram a capacidade de estimular o crescimento de plantas de soja sob estresse hídrico, resultando em melhorias nos parâmetros vegetais, incluindo o desenvolvimento da parte aérea e do sistema radicular.
Promoção do crescimento e tolerância ao estresse hídrico em plantas de milho inoculadas com <i>H.</i>	<i>Herbaspirillum seropedicae</i>	Déficit hídrico	Souza, 2020	<i>Herbaspirillum seropedicae</i> apresentou potencial para atenuar os efeitos negativos do estresse hídrico, facilitando a recuperação mais rápida da planta por meio da manutenção das

Título	Bactérias estudadas	Categoria	Autor(es)	Conclusão Principal
<i>seropedicae</i>				condições hídricas e auxiliando no desenvolvimento radicular com incremento de biomassa e aumento da área superficial.
Plant Growth-Promoting <i>Bacillus</i> sp. Cahoots Moisture Stress Alleviation in Rice Genotypes by Triggering Antioxidant Defense System	<i>Bacillus altitudinis</i> FD48 e <i>Bacillus methylotrophicus</i> RABA6	Déficit hídrico	Narayanan amy; Thangappan; Uthandi, (2020)	<i>B. altitudinis</i> e Sementes de arroz condicionadas com <i>B. Methylotrophicus</i> , influenciaram significativamente a relação fonte-dreno e reduziram o teor relativo de água (RWC).
Cytokinin-producing, plant growth-promoting rhizobacteria that confer resistance to drought stress in <i>Platyclus orientalis</i> container seedlings	<i>Bacillus subtilis</i>	Déficit hídrico	Liu <i>et al.</i> (2013)	Independentemente dos níveis de abastecimento de água, os exsudados radiculares, nomeadamente açúcares, aminoácidos e ácidos orgânicos, aumentaram significativamente devido à inoculação de <i>B. subtilis</i> .
<i>Bradyrhizobium</i> Inoculation Plus Foliar Application of Salicylic Acid Mitigates Water Deficit Effects on Cowpea	<i>Bradyrhizobium</i>	Déficit hídrico	Andrade <i>et al.</i> (2020)	Em condições de estresse hídrico, a inoculação de <i>Bradyrhizobium</i> foi eficiente para BRS Rouxinol, mas só foi eficiente para BRS Marataoã, BRS Aracê e BR 17 Gurguéia quando associada à aplicação foliar de ácido salicílico, mantendo seus valores de potencial hídrico foliar, crescimento, teor de prolina e atividades de superóxido dismutase, ascorbato peroxidase e catalase semelhantes aos do tratamento controle.

Título	Bactérias estudadas	Categoria	Autor(es)	Conclusão Principal
Estresse hídrico simulado por polietileno glicol 6000: um estudo sobre os efeitos em plantas de tomate, <i>Herbaspirillum seropedicae</i> e o potencial da inoculação na resistência ao estresse	<i>Herbaspirillum seropedicae</i>	Déficit hídrico	Medeiros (2019)	A inoculação com <i>H. seropedicae</i> , estirpe HRC54, beneficiou o status hídrico (teor relativo de água) das plantas de tomate, tanto nas condições controle, quanto na presença do PEG 6000;
Impacto da inoculação com cepas da bactéria <i>Bacillus amyloliquefaciens</i> BV03 sobre os processos fisiológicos de soja exposta à seca.	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	Déficit hídrico	Silva (2019)	As plantas em Déficit hídrico +BV03, apresentaram uma maior fotossíntese em relação às plantas em DH, assim como maior eficiência na carboxilação e uso da água, sendo assim, o BV03 foi capaz de atenuar os danos ocasionados pelo DH evitando a desidratação dos tecidos e mantendo o potencial fotossintético das plantas.

Fonte: Autora (2023)



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO AMAPÁ
PRÓ-REITORIA DE ENSINO

APÊNDICE C


TERMO DE CIÊNCIA SOBRE AS NORMAS/REGULAMENTOS DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO (TCC)

Eu, Steffane Pereira de Magalhães, estudante regularmente matriculado no Curso Engenharia Agrônômica, do Instituto Federal do Amapá, Câmpus Porto Grande, estou ciente e concordo com as normas/regulamentos instituídos para o desenvolvimento do meu Trabalho de Conclusão de Curso.

Outrossim, declaro seguir tal regulamento.

Por estar plenamente de acordo firmo o presente.

Porto Grande – AP, 16 de Janeiro de 2024

Documento assinado digitalmente
 STEFFANE PEREIRA DE MAGALHAES
Data: 16/01/2024 14:25:55-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Assinatura do Aluno orientado



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO AMAPÁ
PRÓ-REITORIA DE ENSINO

APÊNDICE F

DECLARAÇÃO DE FINALIZAÇÃO DE TRABALHO DE CURSO

Declaro que o (a) estudante Stefane Pereira de Magalhães, matrícula nº 2018110170002 do Curso em Engenharia Agrônômica, defendeu o trabalho intitulado Bactérias Promotoras de Crescimento Vegetal na Atenuação de Estresse Salino e Déficit Hídrico na Agricultura, o qual está apto a fazer parte do banco de dados da Biblioteca do Instituto Federal do Amapá, Câmpus Porto Grande.

Porto Grande – AP, 16 de Janeiro de 2024

Documento assinado digitalmente
gov.br ANA MARIA GUIMARAES BERNARDO
Data: 16/01/2024 22:00:53-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Assinatura do Professor-orientador



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO AMAPÁ
PRÓ-REITORIA DE ENSINO

APÊNDICE G
FICHA DE AVALIAÇÃO DO TCC

Aluno: STEFFANE PEREIRA DE MAGALHÃES

Data de Apresentação: 05/12/2023

Título: BACTÉRIAS PROMOTORAS DE CRESCIMENTO VEGETAL NA ATENUAÇÃO DE ESTRESSE SALINO E DEFICIT HÍDRICO NA AGRICULTURA

Orientador: Ana Maria Guimrães Bernardo		
PARTE ESCRITA: CRITÉRIOS		PONTOS
01.	Coesão e coerência textuais (0,5)	0,5
02.	Clareza e Objetividade (0,5)	0,5
03.	Fundamentação teórica e Bibliografia (1,0)	0,5
04.	Procedimentos metodológicos (1,5)	1,5
05.	Desenvolvimento do trabalho (1,5)	1,5
06.	Conclusões (1,0)	1,0
Total de Pontos (Máximo seis)		6,0
APRESENTAÇÃO: CRITÉRIOS		PONTOS
01.	Domínio em relação ao tema (2,0)	1,9
02.	Dinâmica (0,5)	0,5
03.	Postura de apresentação (0,5)	0,5
04.	Respostas aos questionamentos (1,0)	1,0
Total de Pontos (Máximo quatro)		4,0
TOTAL DE PONTOS DO AVALIADOR		9,9

Avaliador 1: Flaviana Gonçalves da Silva		
PARTE ESCRITA: CRITÉRIOS		PONTOS
01.	Coesão e coerência textuais (0,5)	0,5
02.	Clareza e Objetividade (0,5)	0,5
03.	Fundamentação teórica e Bibliografia (1,0)	1,0
04.	Procedimentos metodológicos (1,5)	1,5
05.	Desenvolvimento do trabalho (1,5)	1,5
06.	Conclusões (1,0)	1,0
Total de Pontos (Máximo seis)		6,0
APRESENTAÇÃO: CRITÉRIOS		PONTOS
01.	Domínio em relação ao tema (2,0)	1,8
02.	Dinâmica (0,5)	0,5
03.	Postura de apresentação (0,5)	0,5
04.	Respostas aos questionamentos (1,0)	1,0
Total de Pontos (Máximo quatro)		3,8
TOTAL DE PONTOS DO AVALIADOR		9,8



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO AMAPÁ
PRÓ-REITORIA DE ENSINO

Avaliador 2: Cleber Macedo de Oliveira		
PARTE ESCRITA: CRITÉRIOS		PONTOS
01.	Coesão e coerência textuais (0,5)	0,5
02.	Clareza e Objetividade (0,5)	0,5
03.	Fundamentação teórica e Bibliografia (1,0)	1,0
04.	Procedimentos metodológicos (1,5)	1,2
05.	Desenvolvimento do trabalho (1,5)	1,5
06.	Conclusões (1,0)	0,9
Total de Pontos (Máximo seis)		5,6
APRESENTAÇÃO: CRITÉRIOS		PONTOS
01.	Domínio em relação ao tema (2,0)	2,0
02.	Dinâmica (0,5)	0,5
03.	Postura de apresentação (0,5)	0,5
04.	Respostas aos questionamentos (1,0)	0,7
Total de Pontos (Máximo quatro)		3,7
TOTAL DE PONTOS DO AVALIADOR		9,3

Avaliador 3: Erialdo de Oliveira Feitosa		
PARTE ESCRITA: CRITÉRIOS		PONTOS
01.	Coesão e coerência textuais (0,5)	0,5
02.	Clareza e Objetividade (0,5)	0,5
03.	Fundamentação teórica e Bibliografia (1,0)	0,7
04.	Procedimentos metodológicos (1,5)	1,5
05.	Desenvolvimento do trabalho (1,5)	1,3
06.	Conclusões (1,0)	0,7
Total de Pontos (Máximo seis)		5,2
APRESENTAÇÃO: CRITÉRIOS		PONTOS
01.	Domínio em relação ao tema (2,0)	2,0
02.	Dinâmica (0,5)	0,5
03.	Postura de apresentação (0,5)	0,5
04.	Respostas aos questionamentos (1,0)	0,6
Total de Pontos (Máximo quatro)		3,6
TOTAL DE PONTOS DO AVALIADOR		8,8

Observações:

A estudante juntamente com a orientadora reunirão para fazer os ajustes solicitados pela banca.



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO AMAPÁ
PRÓ-REITORIA DE ENSINO

NOME DOS MEMBROS DA BANCA DE AVALIAÇÃO	TOTAL DE PONTOS DOS AVALIADORES
Ana Maria Guimarães Bernardo	9,9
Flavina Gonçalves da Silva	9,8
Erialdo de Oliveira Feitosa	8,8
Cleber Macedo de Oliveira	9,3
SOMATÓRIO	37,8
NOTA FINAL (MÉDIA ARITMÉTICA)	9,5

Aprovado: Sem Ressalvas Com Ressalvas / Não Aprovado

Nota Final: 9,5

Data: 05/12/2023

Local da defesa: Sala virtual (Google Meet)

Assinaturas:

Orientadora: Ana Maria Guimarães Bernardo



Documento assinado digitalmente

ANA MARIA GUIMARAES BERNARDO

Data: 13/12/2023 17:21:14-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Avaliador 1: Flaviana Gonçalves da Silva



Documento assinado digitalmente

FLAVIANA GONCALVES DA SILVA

Data: 14/12/2023 15:02:29-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Avaliador 2: Cleber Macedo de Oliveira



Documento assinado digitalmente

CLEBER MACEDO DE OLIVEIRA

Data: 14/12/2023 12:16:49-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Avaliador 3: Erialdo de Oliveira Feitosa



Documento assinado digitalmente

ERIALDO DE OLIVEIRA FEITOSA

Data: 18/01/2024 10:19:09-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO AMAPÁ
PRÓ-REITORIA DE ENSINO


APÊNDICE H

**ATA DA BANCA FINAL DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DO CURSO DE
BACHARELADO EM ENGENHARIA AGRÔNOMICA DO INSTITUTO
FEDERAL DO AMAPÁ – CAMPUS PORTO GRANDE**


Nº DA ATA: 01/2023

Aos cinco do mês de dezembro de 2023, às 10h30 horas, o (a) estudante Steffane Pereira de Magalhães apresentou o seu Trabalho de Conclusão de Curso para julgamento à Banca Avaliadora constituída pelos seguintes integrantes: Professor(a) Ana Maria Guimarães Bernardo (Orientador/Presidente da Banca/IFAP), Professor (a) Flaviana Gonçalves da Silva (Membro Externo/UNIFAP) e Professor (a) Cleber Macedo de Oliveira (Membro Interno/IFAP), Professor (a) Erialdo de Oliveira Feitosa (Membro Interno/IFAP). A sessão pública de defesa foi aberta pelo Presidente da Banca, que apresentou a Banca Avaliadora e deu continuidade aos trabalhos, fazendo uma breve referência ao TCC que tem como título: BACTÉRIAS PROMOTORAS DE CRESCIMENTO VEGETAL NA ATENUAÇÃO DE ESTRESSE SALINO E DEFICIT HÍDRICO NA AGRICULTURA. Na sequência, o (a) estudante teve até 30 minutos para a exposição de seu trabalho, e cada integrante da Banca Avaliadora fez a arguição após a apresentação do mesmo. Finalmente, foi aberto um espaço aos presentes para eventuais perguntas ou comentários sobre o trabalho apresentado. Ouvidas as explicações do(a) estudante, a Banca Avaliadora, reunida em caráter sigiloso, para proceder a avaliação, deliberou pelo conceito APROVADA. Foi dada ciência ao(à) estudante que a versão final do trabalho deverá ser entregue até o dia 18/01/2024 com as devidas alterações sugeridas pela banca. Nada mais havendo a tratar, a sessão foi encerrada às 12h 18min, dela sendo lavrada a presente ata, que, uma vez aprovada, foi assinada por todos os membros da Banca Avaliadora e pela estudante.


Nome do Orientador: Ana Maria Guimarães Bernardo

Documento assinado digitalmente
 ANA MARIA GUIMARAES BERNARDO
Data: 16/01/2024 21:54:57-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


Nome do Avaliador 1: Flaviana Gonçalves da Silva

Documento assinado digitalmente
 FLAVIANA GONCALVES DA SILVA
Data: 17/01/2024 15:49:14-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


Nome do Avaliador 2: Erialdo de Oliveira Feitosa

Documento assinado digitalmente
 ERIALDO DE OLIVEIRA FEITOSA
Data: 18/01/2024 10:19:09-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Nome do Avaliador 3: Cleber Macedo de Oliveira

Documento assinado digitalmente
 CLEBER MACEDO DE OLIVEIRA
Data: 17/01/2024 08:13:05-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Acadêmico: Steffane Pereira de Magalhães

Documento assinado digitalmente
 STEFFANE PEREIRA DE MAGALHAES
Data: 16/01/2024 13:55:21-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO AMAPÁ
PRÓ-REITORIA DE ENSINO

APÊNDICE I

TERMO DE AUTORIZAÇÃO DE DIVULGAÇÃO

Eu, Steffane Pereira de Magalhães, de nacionalidade brasileira, CPF 039.044.262-30, RG 580406, estudante do Curso em Engenharia Agrônômica, na qualidade de autor do TCC intitulado Bactérias Promotoras de Crescimento Vegetal na Atenuação de Estresse Salino e Déficit Hídrico na Agricultura, **AUTORIZO**, neste ato de depósito, sua divulgação total e gratuita, para fins acadêmicos, em meio eletrônico, mediante registro nesta biblioteca, em via impressa, se necessário, de acordo com determinação institucional e viabilidade técnica do Instituto Federal do Amapá, Câmpus Porto Grande.

Ocasionará registro de patente? () sim (x) não

Porto Grande - AP, 16 de Janeiro de 2024.



Documento assinado digitalmente
STEFFANE PEREIRA DE MAGALHAES
Data: 16/01/2024 14:25:55-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Assinatura do Autor



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO AMAPÁ
PRÓ-REITORIA DE ENSINO

APÊNDICE J

TERMO DE COMPROMISSO DE ORIGINALIDADE

O presente termo é documento integrante de todo Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) a ser submetido à avaliação do IFAP Câmpus Porto Grande como requisito necessário e obrigatório à obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Agrônômica.

Eu, Steffane Pereira de Magalhães, de nacionalidade brasileira, CPF 039.044.262-30, RG 580406, na qualidade de estudante de Graduação do Curso em Engenharia Agrônômica, do IFAP Câmpus Porto Grande, declaro que o Trabalho de Conclusão de Curso apresentado em anexo, requisito necessário à obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Agrônômica, encontra-se plenamente em conformidade com os critérios técnicos, acadêmicos e científicos de originalidade.

Nesse sentido, declaro, para os devidos fins, que:

a) o referido TCC foi elaborado com minhas próprias palavras, ideias, opiniões e juízos de valor, não consistindo, portanto PLÁGIO, por não reproduzir, como se meus fossem, pensamentos, ideias e palavras de outra pessoa;

b) as citações diretas de trabalhos de outras pessoas, publicados ou não, apresentadas em meu TCC, estão sempre claramente identificadas entre aspas e com a completa referência bibliográfica de sua fonte, de acordo com as normas estabelecidas pelo IFAP Câmpus Porto Grande;

c) todas as séries de pequenas citações de diversas fontes diferentes foram identificadas como tais, bem como às longas citações de uma única fonte foram incorporadas suas respectivas referências bibliográficas, pois fui devidamente informado(a) e orientado(a) a respeito do fato de que, caso contrário, as mesmas constituiriam plágio;

d) todos os resumos e/ou sumários de ideias e julgamentos de outras pessoas estão acompanhados da indicação de suas fontes em seu texto e as mesmas constam das referências bibliográficas do TCC, pois fui devidamente informado(a) e orientado(a) a respeito do fato de que a inobservância destas regras poderia acarretar alegação de fraude.

O (a) Professor (a) responsável pela orientação de meu trabalho de conclusão de curso (TCC) apresentou-me a presente declaração, requerendo o meu compromisso de não praticar quaisquer atos que pudessem ser entendidos como plágio na elaboração de meu TCC, razão pela qual declaro ter lido e entendido todo o seu conteúdo e submeto o documento em anexo para apreciação do IFAP Câmpus Porto Grande como fruto de meu exclusivo trabalho.

Porto Grande - AP, 16 de Janeiro de 2024

Documento assinado digitalmente
gov.br STEFFANE PEREIRA DE MAGALHAES
Data: 16/01/2024 14:25:55-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Assinatura do Estudante