INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIAS E TECNOLOGIA GOIANO

WINONA HEMILE RODRIGUES DIAS SILVEIRA

USO DE BACTÉRIAS PROMOTORAS DE CRESCIMENTO EM CANA-DE-AÇÚCAR: UMA ABORDAGEM PARA A SUSTENTABILIDADE DA CULTURA

RIO VERDE - GO
2021

WINONA HEMILE RODRIGUES DIAS SILVEIRA

USO DE BACTÉRIAS PROMOTORAS DE CRESCIMENTO EM CANA-DE-AÇÚCAR: UMA ABORDAGEM PARA A SUSTENTABILIDADE DA CULTURA

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina TCC, do curso de bacharelado em ciências biológicas do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – campus Rio verde – IFGoiano, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel.

Orientador: Prof.ª Dr.(a) Paula Fabiane Martins

RIO VERDE - GO
2021

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

1. Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

Silveira, Winona Hemile Rodrigues Dias Silveira
SSI587 USO DE BACTÉRIAS PROMOTORAS DE CRESCIMENTO EM CANA-
u DE-AÇÚCAR: UMA ABORDAGEM PARA A SUSTENTABILIDADE DA
CULTURA / Winona Hemile Rodrigues Dias Silveira
Silveira; orientadora Dr. Paula Fabiane Martins ;
co-orientador Dr. Lucas Anjos de Souza. -- Rio
Verde, 2021.
37 p.

Monografia (Graduação em Bacharel em Ciências
Biológica) -- Instituto Federal Goiano, Campus Rio
Verde, 2021.

1. Cana-de-açúcar. 2. Bactéria Promotora de
Crescimento Vegetal. 3. Sustentabilidade. I.
Martins , Dr. Paula Fabiane, orient. II. Souza, Dr.
Lucas Anjos de, co-orient. III. Título.

Responsável: Johnathan Pereira Alves Diniz - Bibliotecário-Documentalista CRB-1
n°2376

INSTITUTO FEDERAL
Goiano

Repositório Institucional do IF Goiano - RIIF Goiano
Sistema Integrado de Bibliotecas

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

Identificação da Produção Técnico-Científica

[ ] Tese
[ ] Dissertação
[ ] Monografia – Especialização
[X] TCC - Graduação
[ ] Artigo Científico
[ ] Capítulo de Livro
[ ] Livro
[ ] Trabalho Apresentado em Evento
[ ] Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____

Nome Completo do Autor: Winona Hemile Rodrigues Dias Silveira
Matrícula: 2016102230530210
Título do Trabalho: **USO DE BACTÉRIAS PROMOTORAS DE CRESCIMENTO EM CANA-DE-AÇÚCAR: UMA ABORDAGEM PARA A SUSTENTABILIDADE DA CULTURA**

Restrições de Acesso ao Documento

Documento confidencial: [X] Não [ ] Sim, justifique: _____

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: __/__/__
O documento está sujeito a registro de patente? [ ] Sim [X] Não
O documento pode vir a ser publicado como livro? [ ] Sim [X] Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

1. o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
2. obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
3. cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Local: RIO VERDE, GO. Data: 30/03/2021.

Winona Hemile R. Dias Silveira
Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Ciente e de acordo:

Paula Roseane Medeiros
Assinatura do(a) orientador(a)

Ata nº 7/2021 - UCPG-RV/CPG-RV/DPGPI-RV/CMPRV/IFGOIANO

ATA DE DEFESA DE PROJETO DE TRABALHO DE CURSO

Aos doze dias do mês de FEVEREIRO de 2021, às 14 horas, reuniu-se a banca examinadora composta pelos docentes: Dr. Lucas Anjos de Souza (co-orientador), Dra. Paula Sperotto Alberto Faria (membro) e pelo mestrando Diego Pinheiro Dornelles (membro), para examinar o Trabalho de Curso intitulado "Uso de bactérias promotoras de crescimento em cana-de-açúcar: uma abordagem visando a sustentabilidade da cultura" da estudante Winona Hemile Rodrigues Dias Silveira, Matrícula nº 2016102230530210, do Curso de Bacharelado em Ciências Biológicas do IF Goiano – Campus Rio Verde. A palavra foi concedida a estudante para a apresentação oral do projeto de Trabalho de Curso, houve arguição da candidata pelos membros da banca examinadora. Após tal etapa, a banca examinadora decidiu pela APROVAÇÃO da estudante. Ao final da sessão pública de defesa foi lavrada a presente ata que segue assinada pelo co-orientador, em nome dos demais membros da banca.

(Assinado Eletronicamente)

Lucas Anjos de Souza

Co-orientador

(Assinado Eletronicamente)

Paula Sperotto Alberto Faria

Membro

(Assinado Eletronicamente)

Diego Pinheiro Dornelles

Membro

Observação:

( ) O(a) estudante não compareceu à defesa do trabalho de curso.

Documento assinado eletronicamente por:

- Lucas Anjos de Souza, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 16/02/2021 09:34:36.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 12/02/2021. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/ e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 239878
Código de Autenticação: 85a4425efd

Dedico este trabalho à minha família.

AGRADECIMENTOS

À Deus, por ser meu descanso, meu ABA e mentor;

Ao meu esposo e melhor amigo Bruno Inácio dos Santos Silveira, pelo apoio e principalmente pela paciência, obrigada por ser meu refúgio, por enxugar minhas lágrimas e nunca me deixar desistir;

Aos meus pais, Marenilson Dias da Silva e Sirley Rodrigues da Silva, por sempre me incentivar, educar e apoiar;

Ao meu amado filho Lorenzo Inácio Rodrigues Dias Silveira, por mostrar que sou capaz de alcançar tudo que sempre almejei, através de esforço e dedicação, você não foi planejado, mais é muito desejado, obrigada por alegrar minha vida;

À minha tia Marenilza Quiste da Silva, por estar sempre presente me ajudando. Sempre mesmo;

À minha orientadora, Professora Dra. Paula Fabiane Martins, por aceitar me orientar neste trabalho, por todo carinho e incentivo, tenho-á como referência de mulher determinada e de mãe (sempre me acolheu e me ajudou). Minha eterna gratidão;

A minha amiga Gilvania Ferreira Moura, por ser meu ombro amigo;

A minha amiga Lara Kanashiro Mota, por sempre me apoiar e dizer palavras que me confortam;

A minha amiga Jailma Rodrigues Gonçalves, tenho muito a agradecer tanto academicamente (sempre me ajudou) como pessoal, você é a melhor, sempre te digo isso, obrigada por toda motivação e ajuda;

Ao Diego Dornelles, Tainara e Kaique Cruvinel, pelos valiosos ensinamentos;

Ao Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia goiano, e todos os professores do curso de Bacharelado em Ciências biológicas, pela dedicação empregada;

Aos que sempre me apoiaram com palavras e gestos, me deram forças para prosseguir.

Gratidão a todos!

“Confie no senhor de todo o seu coração e não se apoie em seu próprio entendimento; reconheça o Senhor em todos os seus caminhos, e Ele endireitará a suas veredas”
Prov. 3:5-6

RESUMO

SILVEIRA, WINONA HEMILE RODRIGUES DIAS. **Uso de bactérias promotora de crescimento em cana-de-açúcar: Uma abordagem para a sustentabilidade da cultura.** 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Bacharelado em ciências biológicas. Instituto Federal Goiano-campus Rio Verde, Goiás. Rio Verde Goiás, 2021.

A cana-de-açúcar está presente no país desde o século XVI. É uma cultura que possui grande importância econômica para o Brasil devido a seus subprodutos diversificados e à alta taxa de consumo interno e de exportação. Na safra de 2019, observou-se uma significativa queda da produtividade desta cultura causada tanto por estresse abiótico, como biótico. Neste cenário, tem-se a necessidade de aumentar a produção com o mínimo impacto ambiental possível, sendo crucial a busca por alternativas biotecnológicas voltadas para sustentabilidade da cultura. Para isso, diversos estudos com inovações têm sido realizados, com destaque para utilização de bactérias promotoras de crescimento vegetal (BPCV). As BPCVs correspondem a um grupo de microrganismos benéficos à planta, com capacidade de colonizar diversos tecidos vegetais. A fim de substituir métodos tradicionais de adubação, promover produtividade da cultura, ou mesmo, auxiliar na resposta vegetal à estresse ambiental, diversas linhagens bacterianas têm sido testadas em diferentes culturas e muitas delas já são apresentadas na forma de produtos comerciais. O presente trabalho trata-se de uma revisão com intuito de cooperar teoricamente com a identificação dos benefícios e limitações de aplicação de bactérias promotoras de crescimento na cultura de cana-de-açúcar no Brasil, abordando os principais mecanismos diretos e indiretos, com destaque aos desafios do escalonamento de BCPV *in vitro* para uso em lavoura e a comercialização do produto no Brasil.

Palavras-chave: Cana-de-açúcar, Bactéria Promotora de Crescimento Vegetal, Sustentabilidade.

ABSTRACT

Silveira, WINONA HEMILE RODRIGUES DIAS. **Use of growth-promoting bacteria in sugarcane: An approach to crop sustainability.** 2021. 29 f. Course Conclusion Paper (Undergraduate) - Bachelor of Biological Sciences. Goiás Federal Institute - campus Rio Verde, Goiás. Rio Verde Goiás, 2021.

Sugarcane has been present in the country since the 16th century. It is a culture that has great economic importance for Brazil due to its diversified by-products and the high rate of domestic consumption and exports. In the 2019 crop, there was a significant yield reduction of sugarcane caused by both, abiotic and biotic stress. In this scenario, there is a demand to increase yield with least possible environmental impact, and the search for biotechnological alternatives aimed at the crop sustainability is crucial. For this, several studies with innovations have been carried out, with emphasis on the use of plant growth promoting bacteria (BGPB). BGPBs correspond to a group of microorganisms beneficial to the plant, with the ability to colonize various plant tissues. In order to replace traditional fertilization methods, promote crop productivity, or even assist in the plant response to environmental stress, several bacterial strains have been tested in different cultures and many of them are already presented in the form of commercial products. The present work is a review in order to cooperate theoretically with the identification of benefits and limitations of PGPB application in sugarcane crop in Brazil, addressing the main direct and indirect mechanisms, with highlight the challenges of scaling in vitro results for use in crops and the product market in Brazil.

Keywords: Surgarcane, Plant Growth Promoting Bacteria, Sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação do desenvolvimento da cana-de-açúcar 16
Figura 2 - Beneficios de BPCV em plantas.. 19
Figura 3 - Mecanismo diretos que beneficiam o crescimento da planta. 20
Figura 4 - Mecanismo indiretos que beneficiam o crescimento da planta a partir das interações com a BPCV. 27

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA 13
2. MATERIAL E MÉTODOS 14
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 14
3.1 O cultivo de cana-de-açúcar no Brasil 15
3.2 Bactérias promotoras de crescimento e a interação com cana-de-açúcar 17
3.3 Mecanismos de interação de bactérias com cana-de-açúcar 18
3.3.1 Mecanismos diretos 19
3.3.1.1 Produção de auxina 20
3.3.1.2 Produção de citocininas 21
3.3.1.3 Produção de giberelinas..... 22
3.3.1.4 Produção de etileno 23
3.3.1.5 Produção de ácido abscisico (ABA) ..... **Erro! Indicador não definido.**
3.3.1.6 Fixação biológica de nitrogênio 24
3.3.1.7 Solubilização de fosfato 25
3.3.1.8 Solubilização de potássio 26
3.4 Mecanismos Indiretos 26
3.4.1 Produção de antibiótico..... 27
3.4.2 Produção de sideróforos 28
3.4.3 Controle de estresse abiótico..... 28
3.4.4 Resistencia sistêmico adquirido (SAR) 29
3.5 Perspectivas para utilizaçao de BPCV em cana-de-açúcar 30
4. CONCLUSÃO 31
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA 32

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

A cana-de-açúcar, planta mundialmente conhecida pelo uso de seus produtos e subprodutos , foi descrita por Linneu em 1753, que denominou genericamente de *Saccharum* (SZMRECSÁNYI, 1979 apud RODRIGUES & ROSS, 2020). Pertencente ao grupo das gramíneas possui cauleaéreo do tipo colmo,, rico em sacarose e com folhasparalelinérvea . Foi introduzida no Brasil no século XVI, e a partir do século XVII o país se tornou um dos maiores produtores de açúcar do mundo um dos principais produtos da cana-de-açúcar.

Atualmente, o impacto que a cana-de-açúcar tem sobre a economia do país é devido, principalmente, à sua múltipla utilidade, uma vez que pode ser empregada "*in natura*" sob a forma de forragem para alimentação animal, ou como matéria-prima para a fabricação de açúcar, álcool, rapadura, melado e aguardente (MORAIS et al., 2007) ,a taxa crescente de exportação e por ser fonte para produção de energia sustentável.

Dessa forma é urgente a demanda pela manutenção da alta produtividade com mínimo impacto possível no meio ambiente (SANTOS, 2020). Sendo necessário investimentos para buscar de alternativas que atenda essa demanda.

Dentre as alternativas biotecnológicas sustentáveis, encontra-se a utilização de Bactérias Promotora de Crescimento Vegetal (BPCV), que tem demostrado efeitos benéficos no crescimento das plantas aumentando a taxa de germinação de sementes, bem como, o desenvolvimento de órgãos e o rendimento das culturas em casa de vegetação e no campo (AMORIN & MELO 2002, DEY et al. 2004 apud SANTOS, 2005).

As BPCVs são capazes de estimular o crescimento e o desenvolvimento das plantas em diferentes estágios de seu ciclo de vida (VELLOSO et al., 2019), além de auxiliar no desenvolvimento sob condições de estresse tanto biótico como abiótico, estimula na planta a produção de fitormônios reduzindo alguns efeitos negativos na cultura (ZAIED et al., 2003; POTTERS et al., 2007).

Essa interação positiva entre bactéria-planta é amplamente explorada com vista principalmente ao desenvolvimento de inoculantes, em substituição ao uso convencional de agroquímicos e fertilizantes (RIBEIRO, 2019), uma vez que as BPCVs podem ser empregadas como biofertilizantes, fitoestimulantes,

agentes de controle biológico ou mesmo com propósitos de biorremediação (RIBEIRO, 2019) e ter um baixo custo

No entanto, apesar dos estudos com BPCVs em gramíneas datarem de mais de seis décadas, países referências nesses estudos como o Brasil, ainda apresentam área de oportunidade para expansão dessa tecnologia quando comparado com outras culturas como feijão, milho, arroz e tomate. Além disso, a aplicação de BPCVs em cana-de-açúcar apresenta alguns desafios para obtenção da eficiência dos inoculantes microbianos, os quais estão relacionados tanto à fisiologia da planta, como quanto a práticas agrícolas da cultura.

Nesta revisão iremos abordar conceitos relacionados às BPCVs, como forma de vida, como ocorre a colonização e formas de interação com a planta. Aspectos morfofisiológicos da cana-de-açúcar são cruciais para compreender os mecanismos da interação com bactérias e são explorados juntamente com as respostas positivas da influência bacteriana sobre a planta e o cenário atual da cultura no Brasil. Por fim, é apresentado resultados de pesquisas realizadas no Brasil, a fim de compreender como a biotecnologia tem sido aplicado no país e também os pontos que ainda precisam ser elucidados para obtenção de uma técnica mais eficiente e viável.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo utilizou como metodologia de pesquisa a revisão sistemática de trabalhos indexados em bases de dados eletrônicos, como Periódicos CAPES e Google Acadêmico, publicados no ano de 2000 a 2020. Foram selecionadas revistas, artigos, registros históricos, relatórios governamentais, teses, dissertações e outros materiais bibliográficos.

Utilizamos como estratégia de busca palavras chaves como: bactéria promotora de crescimento vegetal/plant growth-promoting bacteria, cana-de-açúcar/sugarcane, mecanismo direto/indireto de bactéria promotora de crescimento, direct/indirect mechanism of growth-promoting bacteria, fitohormônio/phytohormone, utilização de BPCV em cana-de-açúcar no Brasil/use of BPCV in sugarcane in Brazil.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 O cultivo de cana-de-açúcar no Brasil

Saccharum officinarum L. conhecida popularmente por cana-de-açúcar é uma planta semiperene da família Poaceae que tem origem no sudeste da Ásia. Esta planta apresenta metabolismo fotossintético C4, com capacidade para grande armazenamento de sacarose nos tecidos e potencial para aumento de produtividade em condições de estresse (MAGRO et al., 2011), o que a torna importante do ponto de vista comercial (TEJERA et al., 2007).

Desde a colonização portuguesa no Brasil, entre os séculos XVI e XVII, os produtos da cana-de-açúcar já tinham representatividade como alicerce econômico para o país (RODRIGUES, 2010). Atualmente, não somente o valor econômico é considerado, mas também o social e ambiental, caracterizando-se como a segunda cultura mais importante para o agronegócio brasileiro (VITTI & MAZZA, 2002).

A cana-de-açúcar ganhou maior destaque por ser considerada uma das grandes alternativas para o setor de biocombustíveis devido ao grande potencial na produção de etanol e seus respectivos subprodutos (CONAB, 2019). Além de ser de fácil manejo, seu produto (caldo) e subproduto (bagaço) são utilizados como matéria-prima em outros setores da economia, como para produção de cachaça, rapadura, açúcar, etanol, energia elétrica, ração animal e adubo (MACEDO, 2008).

De acordo com a Conab (2019), na safra de 2018/19 a produção foi de 620,44 milhões de toneladas numa área de 8,59 milhões de hectares, tendo uma redução de 2% na produtividade comparado com a safra anterior. Isso foi resultado de diversos fatores, como perda de fornecedores que substituiu a cultura, mudanças climáticas e envelhecimento de lavouras. Diante deste quadro, se faz necessário o desenvolvimento de novas tecnologias que possam tornar a produção mais atrativa e sustentável, com foco em uma tecnologia de baixo custo e com pouco impacto ambiental (REIS et al., 2009).

A cana-de-açúcar é frequentemente inserida em programas de melhoramento, visando características de interesse agronômico, como resistência a pragas e patógenos, tolerância a herbicidas e aumento no teor de sacarose (FONTANETTI & BUENO, 2017). Entretanto, estudos recentes têm mostrado que além da seleção de genótipos da planta é preciso um olhar atento

para a microbiota que se relaciona com esta, levando em consideração a seleção de microrganismos que possibilitem interações benéficas com resultados positivos na produtividade da cultura.

As BPCV correspondem a um grupo de microrganismos benéficos para as plantas, com capacidade de colonizar a superfície das raízes e folhas, a região da rizosfera e filosfera e ainda, tecidos internos (HUNGRIA, 2011).

A soja é uma cultura de sucesso quando observada a interação bactéria e planta em favor da produtividade agrícola e sustentabilidade ambiental. Por exemplo, a seleção de cultivares de soja e de cepas de bactérias fixadoras de nitrogênio foram essenciais para aumentar a produtividade em solos com baixo teor de nitrogênio ou sem fertilização química (ALVES et al., 2003). Isso demostra que para cana-de-açúcar, a seleção do genótipo em conjunto com a cepa bacteriana se faz ainda mais necessária, uma vez que as características morfológicas da planta (figura 1) são típicas de plantas C4 e o tipo de interação é associativa, ou seja, menos eficiente que o simbiótico observado na soja.

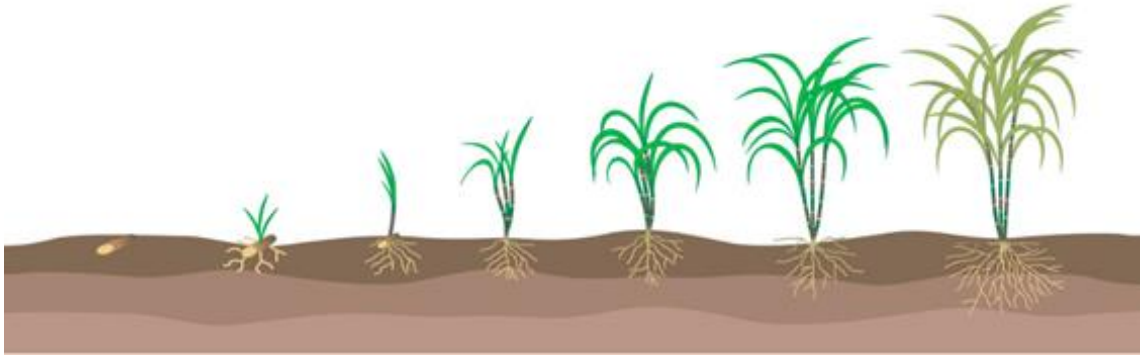

Figura 1 - Representação do desenvolvimento da cana-de-açúcar. (Fonte: Forplant.2020,adaptado por Silveira, 2020). A cana-de-açúcar, plantada por colmo que se desenvolve atraves da brotação de gemas do colmo crescendo em forma de touceiras, sendo dividida em parte aérea composta por folha que se acoplam de forma alternada aos nódulos do tipo paraleninerveae colmo que é o órgão de reserva de energia em forma de açúcar/ sacarose; a parte subterrânea é dividida em raízes e rizomas, cujos caules subterrâneos, espessos e ricos em reserva nutritiva, crescem horizontalmente. As primeiras raízes a se desenvolverem são as raízes temporárias, responsáveis por suprirem a planta de alimento no primeiro dia estágios do seu desenvolvimento (MAGRO et al., 2011), já as raízes permanentes acompanharão a planta por toda vida, dando suporte nutritivo para a planta.

Muitos desafios para o setor sucroalcooleiro têm base na dificuldade de implementação de inovações na cadeia de produção. Neste cenário, a pesquisa aplicada pode desenvolver novas técnicas cooperando para uma agricultura

mais rentável. A indústria de cana-de-açúcar, com vista à evolução da cadeia produtiva, busca minimizar as perdas no processo de produção e com aumento da quantidade de cana plantada por área - produtividade (SILVA & SILVA, 2012).

Em busca destes resultados é preciso inserir técnicas que possibilitem aumento da eficiência do sistema produtivo para manutenção da produtividade e aperfeiçoamento de práticas de manejo, isso tudo com um custo não muito alto, como a utilização de bactérias promotoras de crescimento

3.2 Bactérias Promotoras de Crescimento Vegetal e a interação com cana-de-açúcar

Bactérias promotoras de crescimento vegetal (BPCV) são microrganismos de vida livre que fornecem efeitos positivos no desenvolvimento das plantas (SANTOS et al., 2020), das quais, apresentam capacidade de colonizar a planta quando passam a fazer parte da população residente como epifíticas ou endofiticas (MARIANO et al., 2004), ou ainda, rizobactérias quando colonizam as rizosfera.

Algumas classes de microrganismos são destaques na promoção de crescimento de plantas, como várias cepas de rizóbio que formam nódulos nas raízes de plantas específicas (leguminosas) (SANTOYO et al., 2016). Esses microrganismos podem melhorar o crescimento da planta principalmente pela fixação biológica de nitrogênio e fósforo, ou mesmo sintetizando fitormônios ou ainda, na produção de antibióticos na rizosfera para combater os patógenos das raízes (VASSILEV & MENDES, 2018). Como resultado, as ribóbios além do crescimento de plantas em condições normais de cultivo, temos melhoria na tolerância contra estresses como a seca, alta salinidade, toxicidade a metais e agrotóxicos (BASHAN et al., 2008).

Diversos trabalhos têm demonstrado a utilização dos microrganismos na forma de inoculantes biológicos como uma tecnologia estratégica para a redução de dependência e substituição dos insumos baseados em fontes energéticas não renováveis, poluentes e economicamente insustentáveis (GUIMARÃES et al., 2007). Porém, esse desenvolvimento de produtos biotecnológicos contendo microrganismos benéficos às plantas requer uma extensa pesquisa, começando

com a seleção, caracterização, produção e uso de culturas microbianas formuladas para melhorar a nutrição das plantas (VASSILEV & MENDES 2018).

BPCVs têm trazido bons resultados também em cana tornando-se uma possibilidade para aumento de produtividade. A técnica ganha força por trazer menor impacto ambiental e, em alguns casos, substituir métodos tradicionais de adubação com fertilizantes a base de uréia (SILVEIRA, 2008).

Lopes e et al. (2019) mostraram que características da planta, como BRIX pode interferir na relação da espécie da bactéria, e que a inoculação pode ser possível em estágios iniciais de reprodução da planta. Por outro lado, já foram observadas mudanças estruturais consideráveis nas raízes em associação com bactéria do gênero *Burkholderia*, resultando no aumento da espessura da raiz (PAUNGFOO-LONHIENNE et al., 2016).

No entanto, uma compreensão completa dos mecanismos utilizados pelas BPCVs permaneceu um tanto elusiva, muitas vezes tornando difícil tirar o máximo proveito dessas relações complexas para melhorar reprodutivamente o crescimento das plantas em um ambiente aplicado (SANTOYO et al., 2016).

3.3 Mecanismos de interação de bactérias com cana-de-açúcar

A capacidade de bactérias promoverem o crescimento das plantas ocorre como consequência de mecanismos diretos ou indiretos (Figura 2) (SANTOYO et al., 2016), com rotas metabólicas intimamente ligadas e sincronizadas.

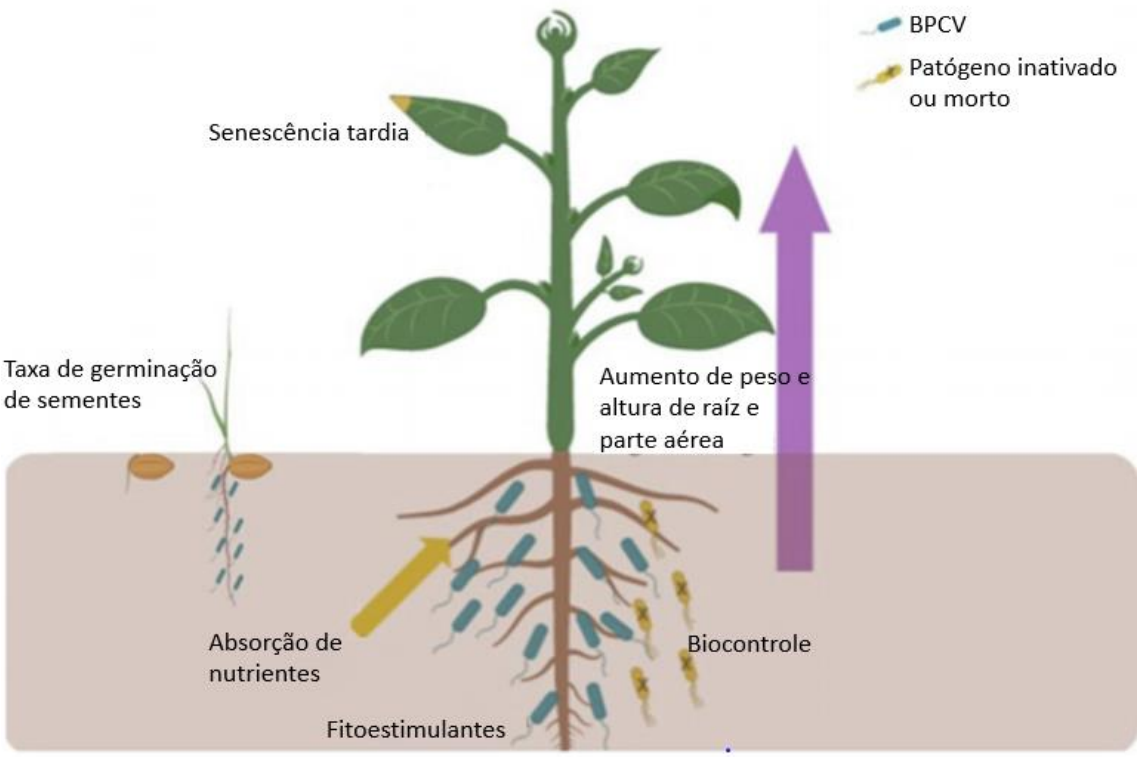

Figura 2 - Benefícios da BPCV em plantas. (Fonte: Santos et al., 2020 traduzido pelo autor).

Paungfoo-Lonhienne et al. (2016), em estudo com mudanças nas expressões genicas em raízes de cana-de-açúcar associada as bactérias *Burkholderia* Q208, observou que 57% de genes expressos nas raízes pela bactérias estavam envolvidos no processo metabólico da planta e apenas 56% eram genes da própria planta.

A presença de BPCV na cana também pode acarretar mudanças morfológicas. A cepa *Burkholderia* Q208 produz um biofilme na superfície das raízes acarretando aumento significativo na espessura deste órgão (PAUNGFOO-LONHIENNE et al., 2016). Este processo se deu por meio da deposição de camadas adicionais no córtex e um aumento do aerênquima, o que facilitou o fluxo de gás nos tecidos vegetais.

3.3.1 Mecanismos diretos

Os mecanismos diretos são definidos como o emprego das características bacterianas que resultam na promoção direta do crescimento da planta (OLANREWAJU et al., 2017), articulando os níveis de fitohormônios, facilitando a obtenção de nutriente como nitrogênio, fósforo e ferro (SANTOYO et al., 2016).

Os diversos mecanismos diretos, como a produção de hormônios vegetais e liberação de enzimas como a ACC desamiase (1-aminociclopropano-1-carboxilato desaminase), promovem principalmente o desenvolvimento precoce de raízes e solubilização de fosfato (figura 3), que desempenha um papel importante em praticamente todos os principais processos metabólicos nas plantas (KHAN et al., 2010).

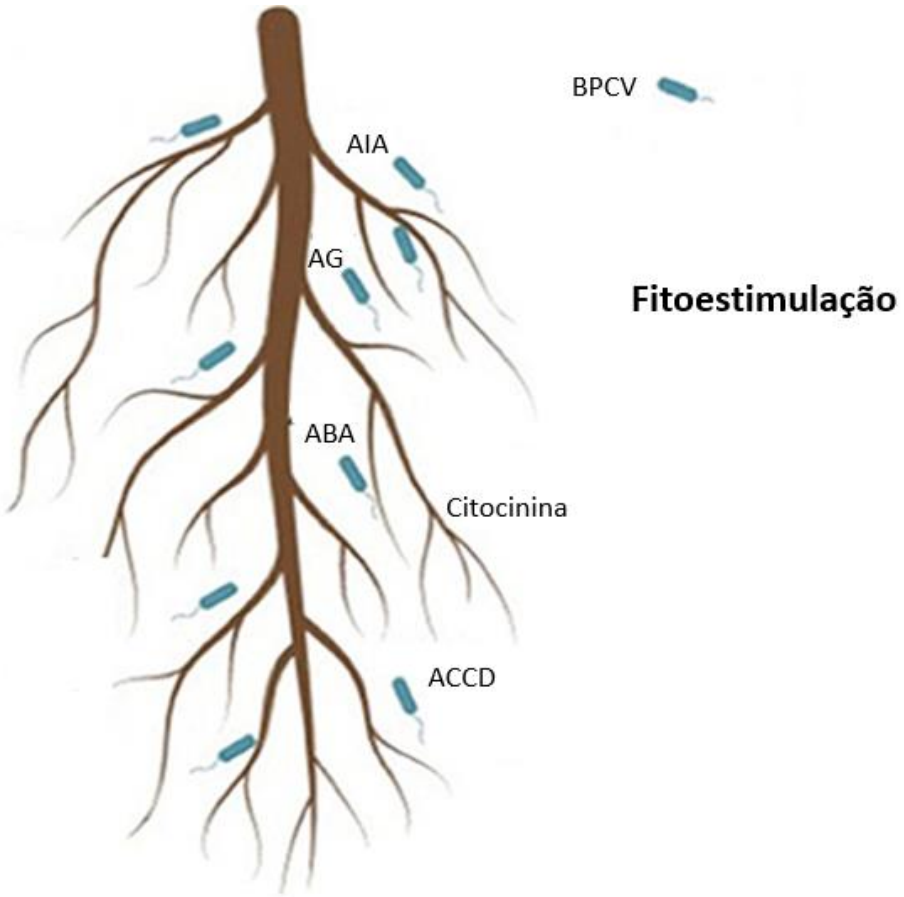

Figura 3 - Mecanismo diretos que beneficiam o crescimento da planta. Citocinina, Giberelinas (AG), aminociclopropano-1-carboxilato desaminase (ACCD), ácido abscísico (ABA), ácido indolacético (AIA) e bactéria promotora de crescimento vegetal (BPCV). (Fonte: SANTOS et al., 2020 traduzido pelo autor)

3.3.1.1 Produção de auxina

O fitohormônio auxina é responsável pelo desenvolvimento de várias partes das plantas, como raízes, folhas e flores (PHILLIPS et al., 2011). A auxina interage com a planta promovendo um alongamento celular pois estão envolvidas na incorporação de materiais na parede celular através do aumento da sua plasticidade (COSTA et al., 2011), podendo resultar em cana-de-açúcar

mais alta, com os entrenós mais distante, aumentando assim o caule e consequentemente o acumulo do caldo/da sacarose

O Ácido Indol-3-acético (AIA) encontra-se no grupo das auxinas e é um dos fitohormônios mais estudados atualmente (CASSÁN; VANDERLEYDEN; SPAEPEN, 2013). A capacidade de sintetizar AIA foi detectada em muitas rizobactérias (MARTÍNEZ-VIVEROS et al., 2010) como por exemplo *Azospirillum brasilense* (DOBBELAERE et al., 1999) e *Enterobacter* (SHOEBITZ et al., 2009), sendo usadas para estimular a germinação de sementes, acelerar o crescimento das raízes, modificar a arquitetura do sistema radicular e aumentar a biomassa de raízes (MARTÍNEZ-VIVEROS et al., 2010), sendo capaz de promover umm sistema radicular mais robusto com potencial para povoa melhor o solo

Chaves et al. (2015) selecionaram cinco tipos de bactérias diazotróficas - *Gluconacetobacter diazotrophicus* (Gd), *Herbaspirillum seropedicae* (Hs), *Herbaspirillum ubrisubalbicans* (Hr), *Burkholderia tropica* (Bt), *Azospirillum amazonense* (Aa) - para avaliar a produção de auxina em cana-de-açúcar. Estas foram testadas individualmente e também com a utilização do aminoácido L-triptofano (precursor da auxina). Quando analisada a biometria das canas inoculadas individualmente com linhagens Hs, Aa e Bt, foi possível observar aumento significativo na velocidade da brotação da cana-de-açúcar em duas variedades de cana testadas,

Estes resultados podem ser importantes para o cultivo da cana-de-açúcar, como em processos de micropropagação, principalmente para a adaptação das mudas à novas condições ambientais na fase de aclimatização, porém ainda não é possível encontrar trabalhos em campo da utilização das BPCVs na aclimatização de mudas de cana.

3.3.1.2 Produção de citocininas

As citocininas são assim chamadas porque estimulam a divisão celular (citocinese) e o desenvolvimento de gemas laterais (AGUIAR, 2012). São derivadas de purinas que promovem e participam na divisão celular das plantas e no crescimento primário da raiz, sendo *Bacillus, Pseudomonas* e *Azospirillum* os principais gêneros que as produzem (DIAZ, 2018).

Estudos mostraram que a seca interfere negativamente nas concentrações de citocinina foliar (KUDOYAROVA et al., 2007), impossibilitando o desenvolvimento foliar e afetando negativamente o crescimento da planta. Arkhipova *et al*. (2007) inocularam *B. subtilis*, bactéria capaz de sintetizar citocinina, nas raízes de alface e foi observado aumento de citocinina na região foliar, tanto nas plantas que foram irrigadas como nas submetidas a seca. Já em cana-de-açúcar, a estirpe de *Rhizobium* sp., produtora de citocinina, foi relatada com capacidade de promover um aceleramento na brotação de mini-toletes de cana (FERREIRA et al., 2018).

Sabe-se que o sistema radicular é responsável pela absorção de nutrientes e água para o desenvolvimento da planta, além de promover uma comunicação direta com a microbiota do solo. Desta forma, a formação de raízes pode otimizar o crescimento da planta, trazendo melhores resultados para a produtividade, indiferente da fase de desenvolvimento da mesa, ou das condições de cultivo.

3.3.1.3 Produção de Giberelinas

As giberelinas são sintetizadas em várias partes de uma planta, incluindo sementes em germinação e desenvolvimento, folhas em desenvolvimento e entrenós em alongamento (TAIZ, et al., 2017). Elas também regulam positivamente a divisão celular e o alongamento, estimulando o crescimento do hipocótilo e do caule, e têm um efeito positivo no tamanho do meristema da raiz e da folha (MARTÍNEZ et al., 2018).

Algumas espécies bacterianas produtoras de giberelina incluem *Bacillus amyloliquefaciens* (SHAHZAD et al., 2017) e *Pseudomonas spp* (DESAI, 2017). *Bacillus pumilus* e *Bacillus licheniformis*, rizobactérias isoladas da rizosfera de amieiro (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn) com forte atividade promotora de crescimento vegetal, mostraram produzir giberilina fiosiologicamente ativa. Esta característica possibilitou a reversão efetiva de fenótipo anão de amieiro provocado pela produção de um inibidor da via de biosíntense da planta (GUTIÉRREZ-MAÑERO et al., 2008).

O uso de reguladores de crescimento de plantas é uma solução almejada para melhorar a produtividade da cana-de-açúcar, incluindo características de

interesse comercial como teor de açúcar. Um estudo realizado por Nguyen et al. (2019) mostrou que a pulverização de GA3 (ácido giberélico) a 150 ppm aumentou o rendimento real de cana-de-açúcar em quase 20%, juntamente com incremento no acúmulo de sacarose de 2,21%. Estes resultados mostram a aplicabilidade da técnica com vista ao aumento da produtividade, o que torna a cultura mais atrativa e rentável para o produtor.

Pesquisas com bactérias produtoras de giberilinas e sua aplicação em cana-de-açúcar ainda estão incipientes, porém apresentam grande potencial para sustentabilidade da cultura.

3.3.1.4 Produção de etileno

O etileno é essencial para o crescimento e desenvolvimento das plantas, mas tem diferentes efeitos no crescimento das mesmas dependendo de sua concentração nos tecidos radiculares (MARTÍNEZ-VIVEROS et al., 2010). Em concentrações relativamente altas, o etileno pode ser tóxico para as plantas, causando desfolhamento, inibição do crescimento radicular e senescência prematura (VACHERON et al., 2013). As plantas regulam positivamente a produção de etileno em resposta ao estresse e esse hormônio desencadeia mecanismos de defesa (RAVANBAKHSH et al., 2018).

A enzima 1-aminociclopropano-1-carboxilato (ACC) desaminase (E.C. 3.5.99.7) é responsável pela degradação de ACC (precursor do etileno) em amônia e α-cetobutirato**.** Bactérias produtoras de ACC desaminase são capazes de promover o crescimento de plantas através da redução dos níveis de etileno quando há alta produção deste regulador produzido pela planta (NASCIMENTO, 2018).

Kruasuwan & thamchaipenet (2018) avaliou a promoção de crescimento, tolerância ao sal e colonização da raiz da cana-de-açúcar através do endofítico *Enterobacter* sp. Foi constatado que a linhagem bacteriana, além de promover o crescimento do vegetal, aumento de clorofila total e acúmulo de K+, possui a capacidade de tolerar estresse salino, tornando futuramente um possível bioinoculante, contribuindo para o crescimento e a tolerância ao sal para uso na cultura de cana-de-açúcar.

3.3.1.6 Fixação biológica de nitrogênio

Entre os nutrientes mais exigidos pela cana-de-açúcar, o nitrogênio (N) se destaca pela importância na nutrição e fisiologia da planta (SILVA, 2017). Sua baixa disponibilidade no solo é devido às grandes perdas por emissão ou lixiviação, o que o torna um fator limitante em ecossistemas agrícolas (MARTÍNEZ-VIVEROS et al., 2010). Na cana-de-açúcar, a necessidade nutricional de nitrogênio é elevada e, em condições deficientes, as plantas podem apresentar redução na produtividade e na longevidade, levando à diminuição do número de cortes da cana (VITTI et al., 2007)

Uma alternativa para reduzir o uso intensivo de fertilizantes químicos é a utilização de bactérias que realizam a fixação biológica de nitrogênio (FBN). As bactérias diazotróficas consistem num grupo de microrganismos capazes de converter o nitrogênio (N_2) presente na atmosfera em formas que podem ser assimiláveis pelas plantas (NH_3), por meio da FBN, processo esse diretamente influenciado pela enzima nitrogenase (SHIN et al., 2016).

Entre as bactérias simbióticas mais estudadas estão *Rhizobium, Bradyrhizobium, Sinorhizobium e Mesorhizobium* (ZAHRAN, 2001). No entanto, o avanço de estudos permitiram que hoje, sejam conhecidos diversas espécies de bactérias pertencentes a gêneros distintos com destaques para a *Azospirillum, Herbaspirillum, Gluconacetobacter e Burkholderia* (PERIN, 2003; REIS JUNIOR et al., 2000).

De acordo com Reis et al. (2020), a inoculação da *Nitrospirillum amazonense* na cultura de cana-de-açúcar na dosagem de 1,0 e 1,5 L.p.c.ha^{-1}, demostrou um potencial para o crescimento vegetal, aumentando o diâmetro do caule, número de perfilhos, altura comprimento, número de entrenós e a produtividade da cultura.

Lira et al., (2020) analisou oito tratamentos constituídos por bactéria diazotróficas - *Azospirillum amazonense, Herbaspirillum seropedicae, Herbaspirillum rubrisubalbicans, Gluconacetobacter diazotrophicus* e *Burkholderia tropica* - em duas variedades de cana-de-açúcar, e todos os tratamentos proporcionaram um melhoramento tanto na morfologia da cultura, quanto no teor de nutrientes. O destaque foi para *B. tropica* que favoreceu maior teor de N, expressando a melhor interação com as duas cultivares testadas para

fixação biológica de nitrogênio, quando comparada ao obtido com o tratamento de N mineral. Este resultado possibilita substituir totalmente a fertilização com nitrogênio mineral pela inoculação em campos de cana-de-açúcar, quando observado a interação específica com as cultivares testadas.

3.3.1.7 Solubilização de fosfato

O fósforo (P) é um nutriente essencial para as plantas e embora a reserva de P nos solos seja grande, devido à aplicação de fertilizantes, ele está presente principalmente na forma de compostos insolúveis que não podem ser absorvidos pelas plantas, limitando seu crescimento (SANTOS et al., 2020).

Na cana-de-açúcar o fósforo assume grande importância no enraizamento e no perfilhamento e portanto, na produtividade final e no rendimento de açúcar (SANTOS, 2009), desempenhando funções importante no desenvolvimento da planta. A solubilização do fosfato é baseada na secreção de ácidos orgânicos por microrganismos devido ao metabolismo do açúcar e os organismos que vivem na rizosfera usam açúcares de exsudatos de raiz (GOSWAMI et al., 2014).

As bactérias dos gêneros *Arthrobacter, Bacillus, Beijerinckia, Burkholderia, Enterobacter, Microbacterium, Pseudomonas, Erwinia, Rhizobium, Mesorhizobium, Serratia*, têm demostrado a capacidade para solubilizar fosfatos (OTEINO et al., 2015).

Santos et al. (2012) avaliaram *in vitro* a capacidade de 30 isolados bacterianos diazotróficos, associados a raízes de plantas de cana-de-açúcar, solubilizarem fosfato inorgânico, e 90% dos isolados foram capazes de solubilizar fosfato, demostrando que as bactérias selecionadas têm o potencial para serem usadas como inoculo em futuras aplicações.

Lira-Cadete et al. (2012) avaliaram 68 linhagens bacterianas diazotróficas, endofíticas de folha, raiz e do rizoplano, de três variedades de cana-de-açúcar, e 75% da linhagem apresentaram capacidade de solubilizar fosfato inorgânico *in vitro*. Foi observado também, que o tecido vegetal e a variedade de cana influenciaram na interação entre bactérias diazotróficas solubilizadoras de fosfato e plantas de cana, uma vez em que a variedade RB92579, apresentou maior frequência de bactérias solubilizadoras com 92%

das suas linhagens apresentando capacidade de solubilizar fosfato inorgânico.

3.3.1.8 Solubilização de potássio

O potássio (K) é o terceiro macronutriente mais importante e necessário para o crescimento da planta. Este elemento desempenha um papel vital em vários processos fisiológicos e metabólicos da planta (ZHAO et al., 2014), sendo o nutriente mais absorvido pela cana-de-açúcar, encontrado em grande concentração durante os primeiros meses de desenvolvimento (SILVEIRA et al., 2015). O principal mecanismo de solubilização do mineral K é pela produção de ácidos orgânicos e inorgânicos e produção de prótons (mecanismo de acidólise) (PAMAR & SINDHU, 2013), que convertem o K insolúvel em K solúvel, tornando fácil a absorção pela planta.

Acidothiobacillus spp, *Bacillus mucilaginosus, Burkholderia* spp. e *Paenibacillus* spp (LIU et al., 2012) são algumas bactérias que demostraram aptidão para a solubilização K.

Muthukumarasamy et al. (2017) avaliou os efeitos positivos da associação entre P diazotrófico e K solubilizante dos endofítico *Rosneateles terrae* e *Burkholderia gladioli* em cana-de-açúcar. Neste estudo foi observado que os endofíticos tem potencial para aumentar a clorofila foliar, o teor de N e a biomassa total, tornando o endofítico pretendente promissor para revigorar a disponibilidade de K no solo na cultura de cana-de-açúcar.

3.4 Mecanismos Indiretos

Já nos mecanismos indiretos, a promoção de crescimento é considerada quando a planta está sendo infectada por um patógeno (MARIANO et al., 2004) e as BPCVs agem na produção de agentes de biocontrole (GLICK 2012) (figura 4), podendo ajudar no controle de fitopatógenos por meio de antagonismo direto contra patógenos potenciais, por competição por espaço e nutrientes, ou mesmo controle de estresses abióticos (TJAMOS et al., 2005; BENEDUZI et al., 2012; GOMES et al., 2016.).

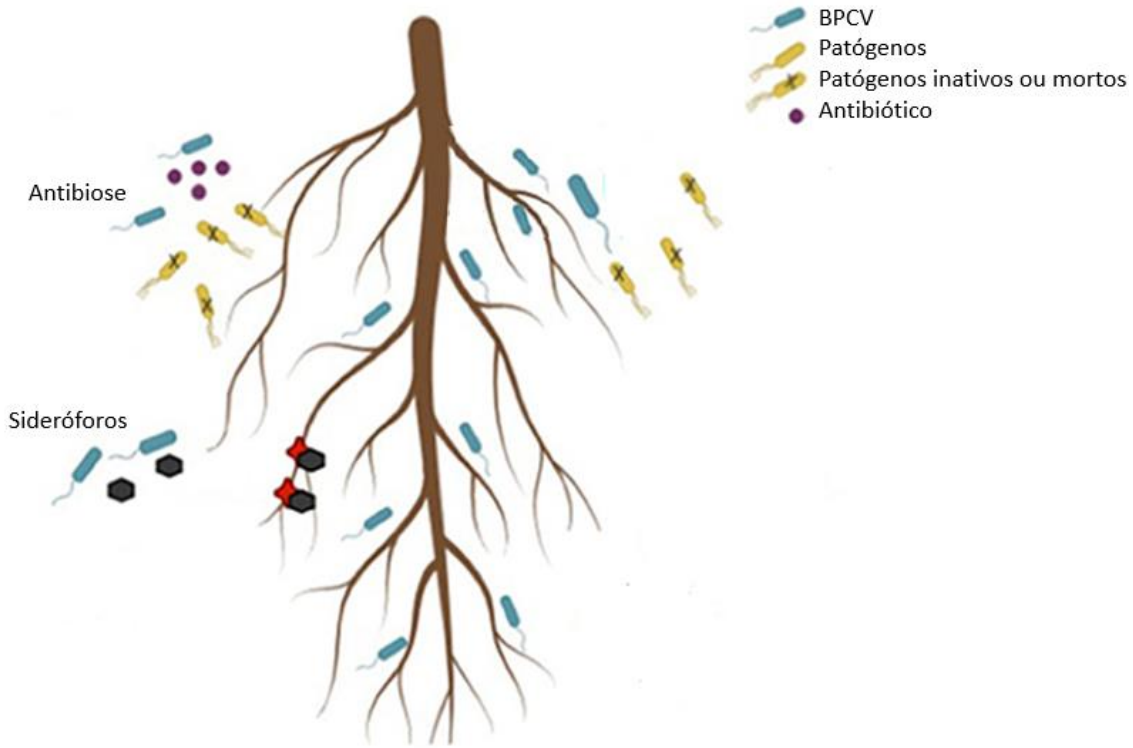

Figura 4 - Mecanismo indiretos que beneficiam o crescimento da planta a partir das interações com a bactéria promotora de crescimento vegetal (BPCV). (Fonte: SANTOS et al., 2020 traduzido pelo autor)

3.4.1 Produção de antibiótico

Os antibióticos são toxinas microbianas que podem, em baixas concentrações, matar ou reduzir o crescimento de outros microrganismos (GOMES et al., 2016). Embora os microrganismos que atuam no controle biológico não promovam o crescimento das plantas diretamente, eles podem influenciar os Microrganismos Promotores do Crescimento de Plantas (MPCP) que estimulam diretamente o crescimento das plantas (GOMES et al., 2016).

Alguns microrganismos conseguem através da ação de competição por espaço/nutrientes, secretarem algumas substâncias que pode interferir no desenvolvimento de outro microrganismo patógeno, inibindo o seu crescimento. A bactéria *Bacillus subtillis* por exemplo, é capaz de produzir compostos voláteis que podem inibir o crescimento de fungos de solo causadores de doenças de plantas, como acontece com espécies de *Fusarium* (BRAGA JUNIOR et al., 2017).

Para o controle de doenças na lavoura, os agricultores muitas vezes são aconselhados a usar sementes de cana-de-açúcar livres de doenças, o que pode

ser impraticável devido à dificuldade de diagnosticar a infecção fúngica, ou a presença do fitopatógeno latente na semente (MEHNAZ, 2011). O uso de tratamentos com BPCV com capacidade de suprimir doenças pode auxiliar na sanidade da lavoura, se inserido como tratamento ainda nas sementes.

3.4.2 Produção de sideróforos

A produção de sideróforos pelas bactérias pode promover o crescimento das plantas diretamente, facilitando a aquisição de ferro (Fe) ou indiretamente, inibindo o estabelecimento de patógenos pelo sequestro de Fe do ambiente, limitando assim, a quantidade disponível deste metal para o crescimento de patógeno (RADZKI et al., 2013).

Bactérias como *Bacillus, Pantoea*, *Serratia* , *Azospirillum* (BANIK et al., 2015 ; BURBANK et al., 2015; LEE et al., 2017; KESAULYA et al., 2018.) têm potencial para produzir sideróforos.

Viswanathan & Samiyppan (2007) avaliaram a supressão do patógeno de podridão vermelha por *Pseudomonas spp,* tanto *in vitro* como em campo. No trabalho, observa-se uma supressão significativa quando houve a limitação de ferro, sendo que todas as linhagens de *Pseudomonas spp* testadas produziram sideróforos em níveis variáveis, mostrando potencial de antagonismo.

3.4.3 Controle de estresse abiótico

Os estresses abióticos incluem seca, salinidade, altas temperaturas, metais pesados e outros contaminantes orgânicos/inorgânicos (KUMAR et al., 2020), sendo os principais fatores limitantes para o crescimento de uma cultura agrícola (SOFI et al., 2018). Os sistemas microbianos são capazes de conferir tolerância ao estresse em uma ampla variedade de plantas, em diferentes gêneros e espécies (ZHANG et al. 2008).

Estudos têm procurado caracterizar bactérias que apresentem tolerância a diferentes tipos de estresses abióticos, e que tenham a capacidade de sobreviver e ajudar a planta a sobreviver em condições hostis. Amna et al., (2020) avaliaram a capacidade da *B. xiamenensis* no controle biológico contra podridão vermelha da cana-de-açúcar em casa de vegetação. No entanto, essa bactéria foi primeiramente caracterizada como resistente à 12 antibióticos e

estresse abiótico (salino e presença de metal pesado), demostrando seu potencial para sobreviver no ambiente competitivo. Os resultados mostraram que houve uma supressão significativa da *Bacillus xiamenensis* quanto ao índice de severidade da doença causada pelo fungo *Colletotrichum falcatum,* demostrando que *a B. xiamenensis* tem capacidade competitiva para beneficiar as plantas de cana-de-açúcar mesmo em condições adversas.

Outras culturas já apresentam protocolos mais avançados quanto ao uso de BPCV para indução de estresse abiótico, com estudos direcionados principalmente para regiões de cultivo onde este tipo de estresse é frequente ou mesmo característico da região.

Ferreira et al. (2013) conduziram um experimento sobre cultura de milho com *Azospirillum brasilense* em diferentes tipos de solo e constataram que o inoculante aumentou a produtividade, aumentando 29% o rendimento de grãos quando comparado com o tratamento com nitrogênio. Além disso, induziu o crescimento das raízes, podendo melhorar a absorção de água e nutrientes, e dessa forma a *Azospirillum brasilense* possui potencial para substituir as aplicações de nitrogênio em condições de campo.

3.4.4 Resistência sistêmico adquirido (SAR)

A indução de proteção ou imunidade adquirida envolve a ativação dos mecanismos latentes de resistência em uma planta através de tratamentos com agentes externos, que podem ser bióticos (por exemplo, microrganismos viáveis ou inativados) ou abióticos (por exemplo, metais pesados e o acibenzolar-S-metílico), sem alteração do genoma da mesma (CAVALCANTI et al., 2005). A SAR é mediada pelo ácido salicílico e geralmente está relacionada a exposição à patógenos biotróficos virulentos, avirulentos ou microrganismos não-patogênicos (PASCHOLATI et al., 2007).

Chithrashree et al. (2011) conduziram um experimento que avaliava a efetividade do tratamento de sementes de arroz com *Bacillus* quanto ao patógeno que causa o crostamento foliar, a bactéria *Xanthomonas oryzae* pv. *Oryzae*, por meio da resistência sistêmica induzida. Como resultados, as setes cepas de *Bacillus* testadas apresentaram redução significativa referente a incidência do crostamento foliar, comparado às plantas-controle. As cepas que

se destacaram ao reduzir a doenças foram a cepa de *B. pumilus* apresentando uma supressão de 71%, enquanto a cepas de *B. subtilis,* 58%, e ambas atuaram como promotoras efetivas de crescimento das plantas, quando utilizadas na forma de suspensões frescas. Apesar de estudos de inoculantes com potecial para indução de SAR em gramineas, é necessario estudo na cultura de cana-de-açúcar.

3.5 Perspectivas para utilizaçao de BPCV em cana-de-açúcar

Diversos estudos a respeito de gramíneas têm sido realizados com intuito de desenvolver inoculantes com o potencial para aumento da produtividade da cultura, diminuição de patógenos, potencial para crescimento sobre algumas condições de estresse. Contudo a grande dificuldade encontrada neste tipo de pesquisa tem sido a baixa eficiência das bactérias em campo (CASSETARI, 2014).

Um ponto importante são os estudos realizados para caracterização da microbiota da cana-de-açúcar no Brasil, uma vez que os microrganismos endógenos da região na qual a planta é cultiva podem apresentar maior competitividade e taxa de sobrevivência em inoculantes.

O desenvolvimento de novos inóculos de BPCV está baseado em testes de triagem laboratorial buscando caracterizar os mecanismos específicos de BPCV (BACKER et al., 2018). Para que seja feita a comercialização de inoculantes deve-se levar em conta os desafios da mudança de condições de cultivo do laboratório para o campo, uma vez que em campo haverá uma competição com a micro e macrofauna do solo residente. Além disso, visto que os solos que cultivam lavouras de alto valor são frequentemente fumigados com biocidas de amplo espectro, a alteração da estrutura da comunidade biológica do solo pode interferir na taxa de sobrevivência dos inóculos (BACKER et al., 2018).

Para formular e produzir comercialmente os inoculantes é necessária uma integração dos parâmetros físicos, químicos e biológicos nesses produtos, permitindo assim, a manutenção de elevadas populações do microrganismo-alvo e um maior tempo de sobrevivência em prateleira e no campo (SPOLAOR et al.,

2016). Apesar dos grandes desafios, já existem algumas BPCV comercializadas em grandes agriculturas como soja e milho.

Embrapa (2018) juntamente com a Basf, lançou um inoculante bacteriano que promete o aumento da produtividade da cultura de cana-de-açúcar em até 18%. Este inoculante ficou em teste por mais de cinco anos em vários tipos de solo e clima, e resultou no produto denominado de Aprinza. Trata-se de um inoculante microbiológico líquido, que possui uma bactéria fixadora de nitrogênio e promotora de crescimento descrita como *Nitrospirillum amazonense,* a qual atua como promotora de crescimento de raízes e parte aérea, além de contribuir com uma maior absorção de nutrientes.

Apesar da recente aplicação de PGPR (Plant growth-promoting rhizobacteria) em cana-de-açúcar, os resultados das lavouras já apresentam ganhos ambientais e econômicos, reduzindo a quantidade de fertilizantes necessários e incrementando a produtividade (SANTOS et al., 2020).

Gosal et al. (2012) avaliaram os efeitos da inoculação do biofertilizante *Azotobacter* nos parâmetros de crescimento e produtividade da cana-de-açúcar da variedade CoJ 83 em condições de campo, sob dois níveis de nitrogênio ($N_{75\% Rec}$ e $N_{100\% Rec}$). Ambos os níveis de nitrogênio alteraram positivamente as características morfológicos e os parâmetros de produção, sendo observado também uma melhoria na ecologia microbiana do solo; A implantação da cultura inoculada não só melhorou a saúde do solo como também a sua fertilidade, o que torna essa tecnologia de biofertilizantes adequado para o aumento sustentável da produtividade da cana-de-açúcar.

4. CONCLUSÃO

Atualmente, já é possível encontrar inoculante bacteriano de uso comercial para aplicação em cana-de-açúcar. Lançado recentemente, ainda são aguardados resultados consistentes para avaliar o impacto desta biotecnologia na produtividade da cultura de cana-de-açúcar. A fim de trazer mais informações acerca do tema, esta revisão traz dados atuais de estudos com inoculantes em cana-de-açúcar, baseado em pesquisas das duas últimas décadas com o intuito de facilitar o entendimento dos agricultores para essa técnica sustentável, tornando-a visada sua eficiência e baixo custo.

5. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

AGUIAR, K. P. **Prospecção de bactérias promotoras do crescimento vegetal associadas a vermicompostos.**. Dissertação (Mestrado em produção vegetal) - Universidade estadual do norte fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytazes, 2012.

ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S. The success of BNF in soybean in Brazil. **Plant and Soil**, v. 252, p. 1-9, 2003.

AMNA; XIA, Y.; FAROOQ, M. A.; JAVED, M. T.; KAMRAN, M. A.; MUKHTAR, T.; ALI, J. Multi-stress tolerant PGPR Bacillus xiamenensis PM14 activating sugarcane (Saccharum officinarum L.) red rot disease resistance. 2020. **Plant Physiology and Biochemistry** v. 151, p. 640-649, 2020. doi:10.1016/j.plaphy.

ARKHIPOVA, T. N.; PRINSEN, E.; VESELOV, S. U.; MARTINENKO, E. V.; MELENTIEV, A. I.; KUDOYAROVA, G. R. Cytokinin producing bacteria enhance plant growth in drying soil. **Plant Soil,** v. 292, p.305–315, 2007. doi: 10.1007/s11104-007-9233-5.

AZEVEDO, J. L; ARAÚJO, W. L.; Jr MACHERONI, W. Importância dos microrganismos endofíticos no controle de insetos. *In:* MELO. I. S.; AZEVEDO, J. L. (eds) **Controle Biológico**. Jaguariúna: EMBRAPA- Meio Ambiente, 2000, p. 57-93.

BACHER, R.;ROKEM, J.K.; ILANGUMARAN, G.; LAMONT.; PRASLICKOVA, D.; RICCI, E.; SUBRAMANIAN, S.; SMITH, D.L. Plant Growth-Promoting Rhizobacteria: Context, Mechanisms of Action, and Roadmap to Commercialization of Biostimulants for Sustainable Agriculture. **Front. Plant Sci.** 2018. v.9, p. 1479.

BANIK, A.; MUKHOPADHAYA, S. K.; DANGAR, T. K. Characterization of N-2-fixing plant growth promoting endophytic and epiphytic bacterial community of Indian cultivated and wild rice (*Oryza* spp.) genotypes. **Planta** v. 243, n. 3, p. 799–812, 2015. doi: 10.1007/s00425-015-2444-8.

BURBANK, L.; MOHAMMADI, M.; ROPER, M. C. Siderophore-mediated iron acquisition influences motility and is required for full virulence of the xylem-dwelling bacterial Phytopathogen *Pantoea stewartii* subsp. *stewartii*. **Appllied and Environmental Microbiology,** v. 81, n. 1, p. 139–148, 2015. doi: 10.1128/AEM.02503-14.

BASHAN, Y., de-BASHAN, L. E., PRABHU, S. R., & HERNANDEZ, J.-P. Advances in plant growth-promoting bacterial inoculant technology: formulations and practical perspectives (1998–2013). **Plant and Soil**, v. 378, n. 1-2, p. 1–33, 2014. doi:10.1007/s11104-013-1956-x.

BASHAN, Y.; PUENTE, M. E.; de-BASHAN, L. E.; HERNANDES, J-P. Environmental uses of plant growth-promoting bacteria. *In:* BARKA, A.; CLÉMENT, C. (eds). **Plant-microbe interactions**. Kerala: Research Signpost, 2008. p. 69–93.

BENEDUZI, A.; AMBROSINO, A.; PASSAGLIA, L. M. P. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): Their potential as antagonists and biocontrol agents. **Genetics and Molecular Biology,** v. 35, n.4, p. 1044-1051, 2012.

BENEDUZI, A.; MOREIRA, F.; COSTA, P. B.; VARGAS, L. K.; LISBOA, B. B.; FAVRETO, R.; BALDINI, J. I.; PASSAGLIA, L. M. P. Diversity and plant growth promoting evaluation abilities of bacteria isolated from sugarcane cultivated in the South

of Brazil. **Applied Soil Ecology,** v. 63, p. 94–104, 2013. doi:10.1016/j.apsoil.2012.08.010.

BOTTINI, R.; CASSÁN, F.; PICCOLI, P. Gibberellin production by bacteria and its involvement in plant growth promotion and yield increase. Gibberellin production by bacteria and its involvement in plant growth promotion and yield increase. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 65, n.5, p. 497-503, 2004. doi: 10.1007/s00253-004-1696-1.

BRAGA JUNIOR, G. M.; CHAGAS JUNIOR, A. F.; CHAGAS, L. F. B.; DE CARVALHO FILHO, M. R.; MILLER, L DE O.; DOS SANTOS, G. R. Controle biológico de fitopatógenos por *Bacillus subtilis in vitro*. **Biota Amazônia**, v. 7, n. 3, p. 45-51, 2017. doi: http://dx.doi.org/10.18561/2179-5746/biotaamazonia.v7n3p45-51.

CASSÁN, Fabricio; VANDERLEYDEN, Jos; SPAEPEN, Stijn. Physiological and Agronomical Aspects of Phytohormone Production by Model Plant-Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR) Belonging to the Genus Azospirillum.2013. **Journal Of Plant Growth Regulation**, [s.l.], v. 33, n. 2, p.440-459.

CASSETARI, A. de S. **Fixação biológica de nitrogênio em cana-de-açúcar inoculada com bactérias diaztróficas.** 2015. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2014.

CAVALCANTI, L. S.; DI PIERO, R. M.; CIA, P.; PASCHOLATI, S. F.; RESENDE, M. L. V.; ROMEIRO, R. S. **Indução de resistência em plantas a patógenos e insetos**. Piracicaba: FEALQ, 2005.

CHAVES, V. A.; SANTOS, S. G. DOS; SCHULTZ, N.; PEREIRA, W.; SOUSA, J. S.; MONTEIRO, R. C.; REIS, V. M. Initial development of two sugarcane varieties inoculated with diazotrophic bacteria. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 39, p. 1595-1602, 2015.

CHITHRASHREE, A.C.; UDAYASHANKAR, S.; NAYAKA, C.; REDDY, M.S.; SRINIVAS, C. Plant growth-promoting rhizobacteria mediate induced systemic resistance in rice against bacterial leaf blight caused by *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae*. **Biological Control**, v. 59, n. 2; p. 114-122, 2011.

COELHO, R. D.; LIZCANO, J. V.; BARROS, T. H. DA S.; BARBOSA, F. DA S.; LEAL, D. P. V.; SANTOS, L. DA C.; LOPES, N. et al. Effect of water stress on renewable energy from sugarcane biomass. **Renewable and Sustainable Energy Reviews,** v. 103, p. 399-407, 2019. doi: https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.12.025.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Safra Brasileira de Cana-de-Açúcar. Brasília:** Companhia Nacional de Abastecimento. 2019. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana>. Acesso em: 16 de novembro de 2020.

COSTA, N. DE L.; DAROS, E.; DE MORAES, A. Utilização de bioestimulantes na cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.). **PUBVET**, Londrina, v. 5, n. 22, p. 1-32, 2011.

DA SILVA, J. P. N.; DA SILVA, M. R. N. **Noções da Cana-de-Açucar**. Inhumas: IFG; Santa Maria> Universidade Federal de Santa Maria, 2012.

DA SILVA,A.A. Fixação Biológica De Nitrogênio Em Cana-de-açúca Cultivada em Diferentes Condições Edafoclimáticas Do Nordeste Brasileiro. Tese (Doutorado-Tecnologias Energéticas e Nucleares, Área de Concentração: Aplicações de

Radioisótopos na Agricultura e meio ambiente)- Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017.

DESAI, S. A. Isolation and characterization of gibberellic acid (GA3) producing rhizobacteria from sugarcane roots. **Bioscience Discovery**, v. 8, n. 3, p. 488-494, 2017.

DIAZ, P. A. E. *Bacillus* spp. **Como promotores de crescimento na cultura do algodão.** 2018. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agrícola) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2018.

DOBBELAERE, S.; CROONENBORGHS, A.; THYS, A.; BROEK, A. V.; VANDERLEYDEN, J. Phytostimulatory effect of *Azospirillum brasilense* wild type and mutant strains altered in IAA production on wheat. **Plant Soil,** v. 212, p. 155-164, 1999.

SANTOS, R. M.; DIAZ, P. A. E.; LOBO, L. L. B.; RIGOBELO, E. C. Use of plant growth-promoting rhizobacteria in maize and sugarcane: characteristics and applications. **Frontiers in sustainable Food Systems,** v. 4, n. 136, p. 1-15, 2020. doi: https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.00136.

EMBRAPA. 2018. **Inoculante para fixação de nitrogênio para cana é lançado pela Basf e Embrapa.** Disponível em < https://www.embrapa.br/en/busca-de-noticias/-/noticia/39688081/inoculante-para-fixacao-de-nitrogenio-para-cana-e-lancado-pela-basf-e-embrapa>. 01 de dezembro 2020.

FERREIRA, N. S.; MATOS, G. F.; ROUWS, J. R. C.; REIS, V. M.; ROUWS, L. F. M. Inoculaçao com *rhizobium* sp. acelera a brotação de mini-toletes de cana-de-açúcar cultivar rb867515. *In:* **III Simpósio Nacional de Estudos para Produção Vegetal no Seminário – III SINPROVS**, 2018, Campina Grande, PB. Disponível em < https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1098323/1/inoculacaocomrizobiopdf.pdf >. Acesso em 23 de novembro 2020.

FERREIRA, A.S.;PIRES, R.R.; RABELO, P.G.; OLIVEIRA, R.C.;LUZ, J.MQ.; BRITO, C.H. Implications of Azospirillum brasilense inoculation and nutrient addition on maize in soils of the Brazilian Cerrado under greenhouse and field conditions. Applied Soil Ecology. v. 72, p.103-108.2013.

FORTPLANT. 2021. Programa nutricional cultura: cana-de-açúcar (via sulco). Disponível em <https://www.forplant.com.br/cana-de-acucar-aumente-a-produtividade-da-sua-lavoura-com-o-nosso-tratamento. Acesso em: 28 Jan 2021.

FONTANETTI, C. S.; BUENO, O. C (org.). **Cana-de-açucar e seus impactos: uma visão acadêmica**. Bauru, Canal6, 2017.

GÍRIO, L. A. DA S.; DIAS, F. L. F.; REIS, V. M.; URQUIAGA, S.; SCHULTZ N.; BOLONHEZI, D.; MUTTON, M. A. 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. doi: http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2015000100004.

GLICK, B. R. Plant Growth-Promoting Bacteria: Mechanisms and Applications. **Scientifica,** p. 1-15, 2012. doi: 10.6064/2012/963401**.**

GOMES, E. A.; SILVA, U. DE C.; PAIVA, C. A. DE O.; LANA, U. G. DE P.; SANTOS, V. L. DOS. Microrganismos Promotores do Crescimento de Plantas. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2016.p.20-23.

GOSWAMI, D.; DHANDHUKIA, P.; PATEL, P.; THAKKER, J. N. Screening of PGPR from saline desert of Kutch: growth promotion in *Arachis hypogea* by *Bacillus*

licheniformis A2. **Microbiological Research,** v. 169, n. 1, p. 66–75, 2014. doi: 10.1016/j.micres.2013.07.004.

GOSAL, S.K.; KALIA, A.; UPPAL, S.K.; KUMAR, R.;WALIA, S.S.;SINGH, K.; SINGH,A. Assessing the Benefits of *Azotobacter* Bacterization in Sugarcane: A Field Appraisal. 2012. ***Sugar Tech* 14,** 61–67, 2012. doi: 10.1007/s12355-011-0131-z.

GUITIÉRREZ-AÑERO,F.J; SOLANO-RAMOS,B.; PROBANZA**,**A.; MEHOUACHI,J.; TADEO,F,R.; TALON,M. The plant-growth-promoting rhizobacteria *Bacillus pumilus* and *Bacillus licheniformis* produce high amounts of physiologically active gibberellins**.Physiologia Plantarum,** v 111,n 2, p. 206-211. doi: 10.1034/j.1399-3054.2001.1110211.x.

GUIMARÃES, S. L.; BALDANI, J. I.; BALDANI, V. L. D.; JACOB NETO, J. Adição de molibdênio ao inoculante turfoso com bactérias diazotróficas usado em duas cultivares de arroz irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 3, p.393-398, 2007.

GUIMARÃES, V. F.; MENEGUS, E. A.; SILVA, JUNIOR, A. S. P.; KLEIN, J.; RAMPIM L.; SCHWANTES, D.; RODRIGUES-COSTA, A. C. P.; KESTRING, D.; INAGAKI, A. M.; BATTISTUS, A. G.; OFFEMANN, L. C.; BULEGON, L. G.; SOUZA, A. K. P. 2014. Morphophysiological characteristics of maize inoculated with Azospirillum brasilense and Herbaspirillum seropedicae as seed treatment, cultivated in different types of soil**. African Journal Agricultural Research,** v.9, n. 39, p. 2919–2924, 2014.

GUIMARÃES, V.F.; BATTISTUS, A.G.; SOUZA, A. K. P. de; BULEGON, L.G.; OFFEMANN, L.C.; INAGAKI, A.M. Bactérias Promotoras de Crescimento Vegetal: da FBN à regulação hormonal, possibilitando novas aplicações. *In:* ZAMBOM, M. A.; KUHN, O. J.; SILVA, N. L. S. da; STANGARLIN, J. R.; NUNES, R. V.; FULBER, V. M.; EYNG, C. (eds). **Ciências Agrárias: ética do cuidado, legislação e tecnologia na agropecuária. Centro de Ciências Agrárias.** Marechal Candido Rondon: Unioeste, 2017. p. 193–212.

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

KESAULYA, H.; HASINU, J. V.; TUHUMURY, G. N. Potential of *Bacillus s*pp produces siderophores insuppressing thewilt disease of banana plants. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 102, p. 1–6, 2018. doi: 10.1088/1755-1315/102/1/012016.

KHAN, M. S., ZAIDI, A., AHEMAD, M., OVES, M., & WANI, P. A. Plant growth promotion by phosphate solubilizing fungi – current perspective. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 56, n. 1, p. 73–98, 2010. doi:10.1080/03650340902806469.

KUDOYAROVA, G. R.; VYSOTSKAYA, L. B.; CHERKOZYANOVA, A.; DODD, I. C. Effect of partial rootzone drying on the concentration of zeatintype cytokinins in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) xylem sap and leaves. **Journal of Experimental Botany** v. 58, n, 2, p.161–168, 2007. doi: 10.1093/jxb/erl116.

KUMAR, A.; SINGH, S.; GAURAV, A. K.; SRIVASTAVA, S.; VERMA, J. P. Plant growth-promoting bacteria: biological tools for the mitigation of salinity stress in plants. **Frontiers in Microbiology**, v. 11, n. 1216, p. 1-15, 2020. doi: https://dx.doi.org/10.3389%2Ffmicb.2020.01216.

KRUASUWAN, W.; THAMCHAIPENET, A. 1-Aminocyclopropane-1-carboxylate (ACC) Deaminase-Producing Endophytic Diazotrophic *Enterobacter* sp. EN-21 modula a resposta ao estresse por sal na cana-de-açúcar. **Journal of Plant Growth Regulation,** v. 37, n. 3, p. 849–858.2018. doi: 10.1007/s00344-018-9780-4.

LEE, C. M.; MONSON, R. E.; ADAMS, R. M.; SALMOND, G. P. C. The laci–family transcription factor, RbsR, is a pleiotropic regulator of motility, virulence, siderophore and antibiotic production, gas vesicle morphogenesis and flotation in *Serratia*. **Frontiers in Microbiology**, v. 8, n. 1678, p. 1-14,2017. doi:10.3389/fmicb.2017.01678.

LIRA, D. N. DE S.; ARAUCO, A. M. DE S.; BOECHAT, C. L.; MOITINHO, M. R.; LACERDA, J. J. DE J.; MARTINS, E. DE C. Associative diazotrophic bacteria inoculated in sugarcane cultivars: implications on morphophysiological attributes and plant nutrition.2020.**Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 44, p. 1-17. Doi:10.36783/18069657rbcs20190155.

LIRA-CADETE,L.;FARIAS,A.R.B.;RAMOS,A.P.S.;COSTA,D.P.;FREIRE,F.J.; Kuklinsky-Sobral,J. Genetic variability of sugarcane-associated diazotrophic bacteria capable of inorganic phosphate solubilizing.2012.**Bioscience Journal**.v.28. n.1.

LIU, D. F.; LIAN, B.; DONG, H. L. Isolation of *Paenibacillus* sp and assessment of its potential for enhancing mineral weathering. **Geomicrobiology Journal,** v. 29, n. 5, p. 413–421, 2012. doi: 10.1080/01490451.2011.576602.

LOPES, V; CARLOS, J.; BESPALHOK, J.; FIGUEIREDO, G. G. O. Interaction between sugarcane families and plant growth-promoting bacteria in two crop cycles. **SEMINA: Ciências agrárias**, v. 40, n. 2, p. 527-538, 2019. doi: 10.5433/1679-0359.2019v40n2p527.

MA, Y.; RAIJKUMAR, M.; LUO, Y.; FREITAS, H. Inoculation of endophytic bacteria on host and non-host plants--effects on plant growth and Ni uptake. **Journal of Hazardous Materials**, v. 195, p. 230-237, 2011. doi: 10.1016/j.jhazmat.2011.08.034.

MAGRO, F. J.; TAKAO, G.; CAMARGO, P. E.; TAKAMATSU, S. Y. **Biometria em cana-de-açúcar.** Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiros, Universidade de São Paulo, Piracicaba. Disponível em < https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5603968/mod_resource/content/1/Biometria%20em%20cana-de-a%C3%A7ucar%20exemplo%20de%20texto%20aluno.pdf#:~:text=A%20planta%20madura%20de%20cana,cal%C3%A7o%20chamadas%20de%20%22barbelas%22> Acesso em 21 de novembro de 2020.

MACEDO, J. D. B. Rapadura: uma arte que atravessa os tempos: fonte de renda para a agricultura familiar de Senhor do Bonfim, Bahia. **Bahia agrícola**, Bahia, v. 8, n. 2, p. 35-38, 2008.

MARIANO, R.L.M.; SILVEIRA, E.B.; ASSIS, S.M.P.; GOMES, A.M.A.; NASCIMENTO, A.R.P.; DONATO, V.M.T.S. Importância de bactérias promotoras de crescimento e de biocontrole de doenças de plantas para uma agricultura sustentável. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica**, Recife, v.1, p. 89-111, 2004.

MARTÍNEZ-VIVEROS, O., JORQUERA, M. A., CROWLEY, D. E., GAJARDO, G., MORA, M. L. Mechanisms and practical considerations involved in plant growth promotion by rhizobacteria. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition,** v. 10, n.3, p. 293-319, 2010. doi:10.4067/s0718-95162010000100006.

MARTÍNEZ, C.; ESPINOSA-RUIZ, A.; PRAT, S. 2018. Gibberellins and plant vegetative growth. **Annu Plant Rev Online**. 49, 285–322. doi: 10.1002/9781119312994.apr0539.

MEHNAZ S. Plant Growth-Promoting Bacteria Associated with Sugarcane. In: Maheshwari D. (eds) Bacteria in Agrobiology:Crop Ecosystems. **Springer**, Berlin, Heidelberg. 2011. doi: 10.1007/978-3-642-18357-7_7.

MELO, H. C. DE; RODRIGUES, F. J.; QUEIRÓS, S. F.; PORTES, T. DE A. A aplicação exógena foliar de ácido abscísico desencadeia mecanismos de tolerância à deficiência hídrica em seringueira. **Ciência Florestal**, v. 29, n. 1. p. 40-49, 2019.

MUTHUKUMARASAMY, R.; REVATHI, G.; VADIVELU, M.; ARURI, K. Isolation of bacterial strains possessing nitrogen-fixation, phosphate and potassium-solubilization and their inoculation effects on sugarcane. 2017. **Indian J. Exp. Biol**. 55, 161–170.

MORAIS, V. L. M. M.; ALSINA,O.L.S.;GOMES,W.C. Utilização do bagaço de cana de açúcar como biomassa adsorvente na adsorção de poluentes orgânicos . 2007. **REMAP,** v.2, n.1.

NASCIMENTO, F. X I. **Promoting plant growth using ACC deaminase-producing bacteria: insights into plant-bacterial interactions and agricultural and biotechnological application**. Tese- Universidade Federal de Santa Catarina. 2018.

NGUYEN, C. T .; DANG, L. H .; NGUYEN, D. T .; TRAN, K.P .; GIANG, B. L .; TRAN, N. Q." Effect of GA3 and Gly Plant Growth Regulators on Productivity and Sugar Content of Sugarcane" Agriculture 9.2019.n. 7,p.136. doi.org/10.3390/agriculture9070136.

OLANREWAJU, O. S., GLICK, B. R.; BABALOLA, O. O. Mechanisms of action of plant growth promoting bacteria. **World Journal of Microbiology and Biotechnology,** v. 33, n.11, p.1-16, 2017. doi:10.1007/s11274-017-2364-9.

OTEINO, N.; LALLY, R. D.; KIWANUKA, S.; LLOYD, A.; RYAN, D.; GERMAINE, K. J., DOWLING, D. N. Plant growth promotion induced by phosphate solubilizing endophytic *Pseudomonas* isolates. **Frontiers in Microbiology,** v. 6, n.745, p. 1-9, 2015. doi: 10.3389/fmicb.2015.00745.

PAMAR, P.; SINDHU, S.S. Potassium solubilization by rhizosphere bacteria: influence of nutritional and environmental conditions. **Journal Microbiology Reseache** v. 3, n. 1, p. 25-31, 2013. doi:10.5923/j.microbiology.20130301.04.

PAUNGFOO-LONHIENNE, C., LONHIENNE, T. G. A., YEOH, Y. K., DONOSE, B. C., WEBB, R. I., PARSONS, J.; LIAO, W.; et al. Crosstalk between sugarcane and a plant-growth promoting Burkholderia species. **Scientific Reports**, v. 6, n.1, p. 1-14, 2016. doi:10.1038/srep37389.

PASCHOLATI,S.F.;SOUZA,V.H.M.;FILHO CARDOSO,J.A. Trichoderma USO NA AGRICULTURA .2007. Embrapa Soja. v.1p.236. ISBN: 978-85-7035-943-8.

PESSENTI, I. L. **Desfolha, aplicação de ácido abscísico e de extratos vegetais na qualidade de uvas para vinificação.** Dissertação – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2017.

PERIN, L. Ecologia e diversidade de isolados de Gluconacetobacter diazotrophicus associados à cultura da cana-de-açúcar (Saccharum spp). 2003, 68 p. Dissertação (Mestrado em Ciências do solo) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ.

PISA, G. **Diversidade de bactérias do solo aderido à raiz de cana-de-açúcar.** 2010. Tese (Doutorado em Bioquímica) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

PHILLIPS, K. A., SKIRPAN, A. L., LIU, X., CHRISTENSEN, A., SLEWINSKI, T. L., HUDSON, C., BARAZESH S.; et al. vanishing tassel2Encodes a grass-specific tryptophan aminotransferase required for vegetative and reproductive development in maize. **The Plant Cell**, v. 23, n.2, p. 550–566, 2011. doi:10.1105/tpc.110.075267.

POTTERS, G.; PASTERNAK, T. P.; GUISEZ, Y.; PALME, K. J.; JANSEN, M. A. K. Stress-induced morphogenic responses: growing out of trouble? **Trends in Plant Science**, v. 12, n. 3, p.98–105, 2007. doi: https://doi.org/10.1016/j.tplants.2007.01.004.

RADZKI, W.; GUTIERREZ MAÑERO, F. J.; ALGAR, E.; LUCAS GARCÍA, J. A.; GARCÍA-VILLARACO, A.; RAMOS SOLANO, B. Bacterial siderophores efficiently provide iron to iron-starved tomato plants in hydroponics culture. **Antonie van Leeuwenhoek**, v. 104, n.3, p.321–330, 2013. doi:10.1007/s10482-013-9954-9.

RAVANBAKHSH, M; SASIDHARAN, R.; VOESENEK, L. A. C. J.; KOWALCHUK, G. A.; JOUSSET, A. Microbial modulation of plant ethylene signaling: ecological and evolutionary consequences. **Microbiome**, v. 6, n. 52, p. 1-10, 2018. doi: https://doi.org/10.1186/s40168-018-0436-1.

REIS, V. M.; BALDANI, J. I.; URQUIAGA, S. Recomendação de uma mistura de estirpes de cinco bactérias fixadoras de nitrogênio para inoculação de cana-de-açúcar: *Gluconacetobacter diazotrophicus* (BR 11281), *Herbaspirillum seropedicae* (BR 11335), *Herbaspirillum rubrisubalbicans*. **Circular Técnica Embrapa Agrobiologia**, Seropédica, p.1–4, 2009.

REIS, V. M.; RIOS, F. A.; BRAZ, G. B. P.; CONSTANTIN, J.; HIRATA, E. S.; BIFFE, D. F. Agronomic performance of sugarcane inoculated with *Nitrospirillum amazonense* (br11145). **Revista Caatinga**, v, 33, n, 4, p. 918-926, 2020. doi: http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252020v33n406rc.

REIS JUNIOR, F. B.; REIS, V. M.; URQUIAGA, S.; DÖBEREINER, J. Ocorrência de bactérias diazotróficas em diferentes genótipos de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, p. 985-994, 2000.

RIBEIRO, I. D. A. **Caracterização de bactérias promotoras** do c**rescimento vegetal associadas à cultura da canola (*Brassica napus* L.)**. 2019. Dissertação (Mestrado em Genética e Biologia Molecular) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019.

RODRIGUES, G. S. S. C.; ROSS, J. L. S. **A trajetória da cana-de-açúcar no Brasil: perspectivas geográfica, histórica e ambiental.** Uberlândia: Edufu, 2020. doi: 10.14393/EDUFU/978-65-86084-00-9.

RODRIGUES, L. D. **A cana-de-açúcar como matéria-prima para a produção de biocombustíveis: impactos ambientais e o zoneamento agroecológico como ferramenta para mitigação.** 2010. Trabalho de conclusão de curso - Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora. 2010.

SANTOS, F.; BORÉM, A. **Cana-de-Açúcar: do plantio à colheita** (eds). Viçosa: editora UFV, 2016.

SANTOS, M. H. L.C.; MARIANO, R. DE L. R.; CAMARA, T. R.; DE ANDRADE, A. G.; WILLADINO, L.; LIMA, G. P. P. Bactérias promotoras de crescimento no desenvolvimento de *Heliconia psittacorum* L.f. **Hoehnea**, v. 32, n. 2, p. 301-308, 2005.

SANTOS, I,B.;LIMA, D, R,M.;BARBOSA,J.G.;OLIVEIRA,J. T.C.;FREIRE, F.J.; Kuklinsky-Sobral, J. Bactérias diazotróficas associadas a raízes de cana-de-açúcar: solubilização de fosfato inorgânico e tolerância à salinidade.2012.Bioscience Journal. v.38, n.1.

SANTOYO, G. MORENO-HAGELSIEB, G.; OROZCO-MOESQUEDA, MA.DEL C.; GLICK, B. R. Plant growth-promoting bacterial endophytes. **Microbiological Research**, v. 183, p. 92-94, 2016. doi: 10.1016/j.micres.2015.11.008.

SILVA, M. DE O.; FREIRE, F. J.; KUKLINSKY-SOBRAL, J.; DE OLIVEIRA, E. C. A.; FREIRE, M. B. G. DOS S.; APOLINÁRIO, V. X. DE O. Bacteria associated with sugarcane in Northeastern Brazil. **African Journal of Microbiology Research**, v. 10, n. 37, p. 1586-1594, 2016. doi: 10.5897/AJMR2016.8241.

SILVEIRA, M. A. G.; VITUSSO, L.; MEDINA, N. H. Distribuição de Potássio em Cana-de-Açúcar. **Brazilian Journal of Radiation Sciences.** 2008**.** v. 3, n. 1A, p. 1-8, 2015. doi: https://doi.org/10.15392/bjrs.v3i1A.138.

SHAHZAD, R.; KHAN, A. L.; BILA, S.; WAQAS, M.; KANG, S.-M.; LEE, I.-J. Inoculation of abscisic acid-producing endophytic bacteria enhances salinity stress tolerance in *Oryza sativa.* **Environmental and Experimental Botany**, v. 136, p. 68-77, 2017.

SHAHZAD, R.; KHAN, A. L.; BILAL, S.; ASAF, S.; LEE, I-J. Plant growth-promoting endophytic bacteria versus pathogenic infections: an example of *Bacillus amyloliquefaciens* RWL-1 and *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* in tomato. **Peer Journal**, v. 5, p. 1-21, 2017.

SHIN, W.; ISLAM, R.; BENSON, A.; JOE, M. M.; KIM, K.; GOPAL, S.; SAMADDAR, S. et al. Role of diazotrophic bacteria in biological nitrogen fixation and plant growth improvement. **Korean Journal Soil Science**, v. 49, n. 1, p. 17-29, 2016. doi: http://dx.doi.org/10.7745/KJSSF.2016.49.1.017.

SHOEBITZ, M; RIBAUDO, C.M.; PARDO, M.A.; CANTORE, M.L.; CIAMPI, L.; CURA, J.A. 2009. Plant growth promoting properties of a strain of *Enterobacter ludwigii* isolated from *Lolium perenne* rhizosphere. Soil Biol. Biochem. 41, 1768-1774.

SOFI, P. A.; BABA, Z. A.; HAMID, B.; MEENA, R. S. Harnessing soil rhizobacteria for improving drought resilience in legumes. **Legumes for Soil Health and Sustainable Management***,* p. 235–275, 2018. doi:10.1007/978-981-13-0253-4_8.

SUGIYAMA, A.; UEDA, Y.; ZUSHI, T.; TAKASE, H.; YAZAKI, K. Changes in the bacterial community of soybean rhizospheres during growth in the field. **PLoS One**, v. 9, n. 6, p. 1-9, 2014. doi: https://dx.doi.org/10.1371%2Fjournal.pone.0100709.

SPOLAOR, L. T.; GONÇALVES, L. S. A.; DOS SNATOS, O. J. A. P.; DE OLIVEIRA, A. L. M.; SCAPIM, C. A.; BERTAGNA, F. A. B.; KUKI, M. C. Bactérias promotoras de crescimento associadas a adubação nitrogenada de cobertura no desempenho agronômico de milho pipoca. **Bragantia**, v. 75, n. 1, p. 33-40, 2016. doi: http://dx.doi.org/10.1590/1678-4499.330.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6ª ed., Porto Alegre: Artmed, 2017.

TJAMOS, S. E.; FLEMETAKIS, E.; PAPLOMATAS, E. J.; KATINAKIS, P. Induction of resistance to *Verticillium dahlia* in *Arabidopsis thaliana* by the biocontrol agent k-165 and pathogenesis-related proteins gene expression. **Molecular Plant-Microbe Interactions**, v. 18, n. 6, p. 555–561, 2005. doi:10.1094/mpmi-18-0555.

TEJERA,N.A.; RODÉS, R.; ORTEGA, E.; CAMPOS, R.; LLUCH, C. Comparative analysis of physiological characteristics and yield components in sugarcane cultivars. 2007. **Field Crops Research**. v. 102. p.64-72.

VACHERON, J., DESBROSSES, G., BOUFFAUD, M.-L., TOURAINE, B., MOËNNE-LOCCOZ, Y., MULLER, D., LEGENDRE, L.; et al. Plant growth-promoting rhizobacteria and root system functioning. **Frontiers in Plant Science**, v. 4, p. 1-19, 2013. doi:10.3389/fpls.2013.00356.

VASSILEV, N.; MENDES, G. de O. Solid-State Fermentation and Plant-Beneficial Microorganisms. *In:* Pandey,A.; Larroche, C.; Soccol, C. R. (eds. **Current Developments in Biotechnology and Bioengineering**. Elsevier, 2018. p. 435-450. doi: 10.1016/B978-0-444-63990-5.00019-0.

VELLOSO, C. C. V.; DE CARVALHO, C. G.; PAIVA, C. A. DE O.; LANA, U. G. DE P.; GOMES, E. A.; PESTINA, M. M.; GUIMAR~ES, L. J. M. et al. **Resposta diferencial de genótipos de milho à inoculação com bactérias promotoras do crescimento de plantas.** Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2019.

VISWANATHA, R.; SAMIYAPPAN, R. Siderophores e a nutrição com ferro nas pseudomonas mediaram o antagonismo contra Colletotrichum falcatum na cana-de-açúcar. *SugarTech* 9, 57–60, 2007.

VITTI, G. C.; MAZZA, J. A. Planejamento, estratégias de manejo e nutrição da cultura de cana-de-açucar. **POTAFOS**, Piracicaba, p. 1-16, 2002.

VITTI,A.C.;TRIVELIN,P.C.O.;GAVA,G.J.C.;PENATTI,C.P.;BOLOGMA,I.R.;FARONI,C. E.;FRANCO,H.C.J. Produtividade da cana-de-açúcar relacionada ao nitrogênio residual da adubação e do sistema radicular. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42. p.249-256, 2007.doi: 10.1590/S0100.

XU, Y.; WANG, G.; JIN, J.; LIU, J. ZHANG, Q.; LIU, X. Bacterial communities in soybean rhizosphere in response to soil type, soybean genotype, and their growth stage. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 41, n. 5, p. 919-925, 2009. doi: https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2008.10.027.

ZAIED, K. A.; HADABD EL-HADY, A. H.; AFIFY, A. H.; NASSEF, M. A. Yield and nitrogen assimilation of winter wheat inoculated with new recombinant inoculants of rhizobacteria. **Pakistan Jouenal of Biological Sciences**, v.6, n 4, p.344-358, 2003. doi: https://dx.doi.org/10.3923/pjbs.2003.344.358.

ZAHRAN, H. H. Rhizobia from wild legumes: diversity, taxonomy, ecology, nitrogen fixation and biotechnology. **Journal of Biotechnology**, v. 91, n. 2-3, p. 143-153, 2001. doi: https://doi.org/10.1016/S0168-1656(01)00342-X.

ZAIN, M.; YASMIN, S.; HAFEEZ, F. Y. Iisolation and characterization of plant growth promoting antagonistic bacteria from cotton and sugarcane plants for suppression of phytopathogenic fusarium species**. Iran Journal of Biotechnoly,** v. 17, n. 2, p. 61-70 ,2019. doi: https://dx.doi.org/10.21859/ijb.1974.

ZHANG, H.; KIM, M-S.; SUN; Y.; DOWD, S. E.; SHI, H.; PARÉ, P. W. Soil bacteria confer plant salt tolerance by tissue-specific regulation of the sodium transporterhkt1. **Molecular Plant-Microbe Interactions,** v. 21, n. 6, p. 737–744, 2008. doi:10.1094/mpmi-21-6-0737.

ZHAO, K.; PENNTTINEN, P.; ZHANG, X. P.; AO, X. L.; LIU, M. K.; YU, X. M. Maize rhizosphere in Sichuan, China, hosts plant growth promoting Burkholderia cepacia with phosphate solubilizing and antifungal abilities. **Microbiol. Res.** v. 169. p. 76–82. 2014. doi: 10.1016/j.micres.2013.07.003