

**INSTITUTO FEDERAL GOIANO – CAMPUS CERES
LICENCIATURA EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
JOÃO MARCOS RIBEIRO SILVA**

**BACTÉRIAS ENDOFÍTICAS E SEU POTENCIAL PARA A PROMOÇÃO DO
CRESCIMENTO DE CANA-DE-AÇÚCAR: UMA REVISÃO DE LITERATURA**

**CERES – GO
2021**

JOÃO MARCOS RIBEIRO SILVA

**BACTÉRIAS ENDOFÍTICAS E SEU POTENCIAL PARA A PROMOÇÃO DO
CRESCIMENTO DE CANA-DE-AÇÚCAR: UMA REVISÃO DE LITERATURA**

Trabalho de curso apresentado ao curso de Licenciatura em Ciências Biológicas do Instituto Federal Goiano – Campus Ceres, como requisito parcial para a obtenção do título de Licenciado em Licenciatura em Ciências Biológicas, sob orientação do Prof.^a Dra. Priscila Jane Romano Gonçalves Selari.

**CERES – GO
2021**

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

SSI586
b Silva, João Marcos Ribeiro
BACTÉRIAS ENDOFÍTICAS E SEU POTENCIAL PARA A
PROMOÇÃO DO CRESCIMENTO DE CANA-DE-AÇÚCAR: UMA
REVISÃO DE LITERATURA / João Marcos Ribeiro Silva;
orientadora Dra. Priscila Jane Romano Gonçalves
Selari. -- Ceres, 2021.
31 p.

Monografia (Graduação em Licenciatura em Ciências
Biológicas) -- Instituto Federal Goiano, Campus
Ceres, 2021.

1. Controle biológico. 2. Ceratocystis paradoxa.
3. Fusarium oxysporum. 4. Micro-organismos
endofíticos. 5. Saccharum officinarum. I. Selari,
Dra. Priscila Jane Romano Gonçalves, orient. II.
Título.



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

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

- | | |
|----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Tese | <input type="checkbox"/> Artigo Científico |
| <input type="checkbox"/> Dissertação | <input type="checkbox"/> Capítulo de Livro |
| <input type="checkbox"/> Monografia - Especialização | <input type="checkbox"/> Livro |
| <input checked="" type="checkbox"/> TCC - Graduação | <input type="checkbox"/> Trabalho Apresentado em Evento |
| <input type="checkbox"/> Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: João Marcos Ribeiro Silva

Matrícula: 2016103220510060

Título do Trabalho:

BACTÉRIAS ENDOFÍTICAS E SEU POTENCIAL PARA A PROMOÇÃO DO CRESCIMENTO DE CANA-DE-AÇÚCAR: UMA REVISÃO DE LITERATURA

Restrições de Acesso ao Documento

Documento confidencial: Não Sim, justifique: _____

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: __/__/__

O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim 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;

Cumprir 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

Ceres, 04 de março de 2021.

(Assinado Eletronicamente)

Priscila Jane Romano Goncalves Selari

1410439

(Assinatura do Docente, Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais)

Documento assinado eletronicamente por:

- **João Marcos Ribeiro Silva**, 2016103220510060 - Discente, em 05/03/2021 08:12:39.
- **Priscila Jane Romano Goncalves Selari**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 04/03/2021 20:39:24.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 04/03/2021. 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: 245635
Código de Autenticação: 21b71a489b



INSTITUTO FEDERAL GOIANO

Campus Ceres

Rodovia GO-154, Km.03, Zona Rural, None, CERES / GO, CEP 76300-000

(62) 3307-7100



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Ata nº 22/2021 - GE-CE/DE-CE/CMPCE/IFGOIANO

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CURSO

Ao dia 23 do mês de fevereiro do ano de dois mil e vinte e um, realizou-se a defesa de Trabalho de Curso do acadêmico João Marcos Ribeiro Silva, do Curso de Licenciatura em Ciências Biológicas matrícula 2016103220510060, cujo título é “Bactérias endofíticas e seu potencial para a promoção do crescimento de cana-de-açúcar: uma revisão de literatura”. A defesa iniciou-se às 17 horas e 07 minutos, finalizando-se às 18 horas e 45 minutos. A banca examinadora considerou o trabalho APROVADO com média 9,3 no trabalho escrito, média 9,7 no trabalho oral, apresentando assim média aritmética final 9,5 de pontos, estando o estudante APTO para fins de conclusão do Trabalho de Curso.

Após atender às considerações da banca e respeitando o prazo disposto em calendário acadêmico, o estudante deverá fazer a submissão da versão corrigida em formato digital (.pdf) no Repositório Institucional do IF Goiano - RIIF, acompanhado do Termo Ciência e Autorização Eletrônico (TCAE), devidamente assinado pelo autor e orientador.

Os integrantes da banca examinadora assinam a presente.

(Assinado Eletronicamente)

Priscila Jane Romano Gonçalves Selari

Orientador(a)

(Assinado Eletronicamente)

Flávia Oliveira Abrão Pessoa

Membro

(Assinado Eletronicamente)

Mônica Lau da Silva Marques

Membro

Documento assinado eletronicamente por:

- **Flavia Oliveira Abrao Pessoa**, GERENTE - CD4 - GPGPI-CE, em 23/02/2021 20:38:18.
- **Monica Lau da Silva Marques**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 23/02/2021 19:22:05.
- **Priscila Jane Romano Goncalves Selari**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 23/02/2021 19:19:07.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 23/02/2021. 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: 242668

Código de Autenticação: ded765aa33



INSTITUTO FEDERAL GOIANO
Campus Ceres
Rodovia GO-154, Km.03, Zona Rural, None, CERES / GO, CEP 76300-000
(62) 3307-7100

DEDICATÓRIA: Dedico este trabalho aos meus pais, os quais indiscutivelmente desempenham grande papel na minha formação como ser humano, como cidadão, investindo incentivos e propriedades para o meu sucesso pessoal e profissional.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Jeová, pelo dom da vida, por ter me dado muita saúde, coragem, força de vontade para conseguir realizar meus objetivos e nunca ter me abandonado

Aos meus pais, José Vaz e Simone, por terem me proporcionado toda a estrutura necessária

A meu irmão, por estar sempre ao meu lado, me apoiando e acreditando em meu sucesso!

A Priscila, por me ensinar cada detalhe com muito carinho! Além de uma orientadora extraordinária, acredito ter ganhado uma grande amiga!

Agradeço à banca examinadora, por tão gentilmente terem aceitado compartilhar comigo deste passo tão importante em minha formação

A todos os meus amigos que sempre estiveram ao meu lado, me dando o suporte necessário

Ao laboratório de Microbiologia, por ter me proporcionado a estrutura necessária para a realização deste trabalho

A todos que, de alguma forma, contribuíram para que eu pudesse chegar até aqui.
Meu muito obrigado a todos!

RESUMO

Há uma grande preocupação da sociedade com o uso demasiado de agrotóxicos sendo empregados na agricultura, na sua grande maioria para controlar pragas ou doenças que geram assim vários prejuízos econômicos aos produtores rurais, sendo necessárias pesquisas de novos métodos de controle desses patógenos. Bactérias endofíticas oferecem uma vasta gama de oportunidades para sua utilização, como promover o aumento do crescimento vegetal em diversas culturas de maneira eficiente, de forma barata e sustentável. Portanto, este trabalho teve por objetivo realizar, através de uma revisão bibliográfica, um levantamento da importância da aplicação de micro-organismos endofíticos na agricultura, destacando-se o controle biológico. A seleção dos artigos científicos foi feita com o auxílio da inserção dos descritores: promoção do crescimento vegetal, bactérias endofíticas, cana-de-açúcar, fungos fitopatogênicos, *Fusarium oxysporum*, *Ceratocystis paradoxa* e controle biológico, escritos em idioma português e inglês. Este estudo ressaltou a importância do emprego de bactérias endofíticas em diversas culturas, onde muitos isolados dos gêneros *Bradyrhizobium* sp., *Rhizobium* sp., *Paenibacillus* sp., *Herbaspirillum seropedicae* e *Bacillus* sp. entre outros, apresentaram características marcantes na promoção do crescimento vegetal por diferentes mecanismos, tais como, disponibilização de nutrientes para a planta, fixação de nitrogênio atmosférico, controle biológico e a produção de reguladores de crescimento vegetal.

Palavras-chave: controle biológico; *Ceratocystis paradoxa*; *Fusarium oxysporum*; micro-organismos endofíticos, *Saccharum officinarum*.

ABSTRACT

There is a great concern of society with the overuse of pesticides being used in agriculture, most of them to control pests or diseases that thus generate several economic losses to rural producers, requiring research on new methods of controlling these pathogens. Endophytic bacteria offer a wide range of opportunities for their use, such as promoting the growth of plant growth in different cultures efficiently, inexpensively and sustainably. Therefore, this work aimed to carry out, through a bibliographic review, a survey of the importance of the application of endophytic microorganisms in agriculture, highlighting biological control. The selection of scientific articles was made with the aid of the insertion of the descriptors: promotion of plant growth, endophytic bacteria, sugar cane, phytopathogenic fungi, *Fusarium oxysporum*, *Ceratocystis paradoxa* and biological control, written in Portuguese and English. This study highlighted the importance of using endophytic bacteria in several cultures, where many isolates of the genera *Bradyrhizobium* sp., *Rhizobium* sp., *Paenibacillus* sp., *Herbaspirillum seropedicae* and *Bacillus* sp. among others, they showed remarkable characteristics in promoting plant growth through different mechanisms, such as making nutrients available to the plant, fixing atmospheric nitrogen, biological control and the production of plant growth regulators.

Keywords: biological control; *Ceratocystis paradoxa*; *Fusarium oxysporum*; endophytic microorganisms; *Saccharum officinarum*.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Isolado de <i>Fusarium oxysporum</i> in vitro; B – Aspecto da doença Murchas vasculares.	8
Figura 2 - Fungo <i>Ceratocystis paradoxa</i> isolado in vitro; B - Cana-de-açúcar com podridão abacaxi	10
Figura 3 - Local de colonização das BPCVs através da rizosfera.	14
Figura 4 - Habilidades das BPCVs para promoção de crescimento e suas respectivas funções.....	15

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
2 DESENVOLVIMENTO	3
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1 Cultura da cana-de-açúcar	4
3.2 Fungos fitopatogênicos de cana-de-açúcar.....	5
3.2.1 <i>Fusarium oxysporum</i>	5
3.2.2 <i>Ceratocystis paradoxa</i>	8
3.3 O uso indiscriminado de agrotóxicos na agricultura	10
3.4 Mecanismos relacionados a promoção do crescimento vegetal	12
3.5 Micro-organismos endofíticos.....	16
3.6 Controle biológico de fungos fitopatógenos.....	18
3.7 Exemplos de bactérias endofíticas no controle biológico de patógenos	19
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	23
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	24

1 INTRODUÇÃO

A preocupação da sociedade com relação ao emprego de agrotóxicos na agricultura cresce anualmente, devido aos males à saúde e ao meio ambiente que podem causar. Por causa disso, nas últimas décadas, vem ocorrendo uma busca crescente da comunidade científica na procura de micro-organismos endofíticos, a fim de demonstrar suas competências e suas associações com diversas espécies de vegetais, estabelecendo assim, associações com seu hospedeiro, sem causar doenças ou danos aparentes (GARCIA et al., 2015).

A bioprospecção microbiana é uma metodologia empregada na busca desses recursos, que consiste na identificação de micro-organismos, genes, enzimas e na exploração da diversidade de vida existente em um determinado local. Tudo isso visando à produção de fármacos, aplicações biotecnológicas e o desenvolvimento de tecnologias inovadoras sustentáveis (SILVA et al., 2019).

A agricultura é essencial na produção de alimentos, no entanto, para atingir grandes produções, é utilizada uma grande quantidade de agrotóxicos e um excesso de fertilizantes inorgânicos que, podem acarretar uma série de prejuízos ao solo, à saúde humana e dos animais, havendo um grande desequilíbrio no ecossistema (GARCIA et al., 2015).

A cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) está amplamente difundida no agronegócio mundial, chegando a ser cultivada em cerca de 80 países, e o Brasil está entre os maiores produtores e exportadores mundiais de cana-de-açúcar do mundo (CONAB, 2020). Essa cultura é de grande importância para a economia brasileira, por movimentar milhões de dólares anualmente pela produção de açúcar, etanol, bagaço e outros derivados (BARNABAS et al., 2015).

O solo do cerrado brasileiro é pobre em nutrientes, ácido, rico em alumínio e caracterizado por condições ambientais extremas, como elevadas temperaturas e longos períodos de estiagem (ESPÍNDOLA et al., 2018). Os micro-organismos encontrados em tais condições apresentam grande potencial para serem utilizados como inoculantes biológicos, pois adaptados a condições de déficit hídrico e escassez nutricional, sendo assim um excelente recurso no emprego da biotecnologia, com o intuito de aumentar a produção agrícola, bem como combater pragas e doenças em diversas culturas (COSTA et al., 2013).

Os fungos fitopatogênicos trazem uma série de prejuízos tanto para planta quanto para a biodiversidade, e alguns fitopatógenos se destacam devido sua alta capacidade de propagação, entre eles *Ceratocystis paradoxa*, causador da podridão abacaxi, e *Fusarium oxysporum*, que causa murchas vasculares em diversas culturas, incluindo a cana-de-açúcar, levando a grandes perdas econômicas ao produtor (MENDES et al., 2007).

Neste contexto, a utilização de micro-organismos, que influenciam de forma positiva no controle biológico de pragas e doenças, se torna uma alternativa benéfica, sem que haja a necessidade de aplicações de fertilizantes e agrotóxicos, proporcionando economia ao produtor, aumento da produtividade e benefícios incalculáveis ao meio ambiente.

2 DESENVOLVIMENTO

Para esta revisão literária foi realizada a leitura de artigos científicos, livros e teses distintos. As informações aqui utilizadas foram identificadas em trabalhos científicos disponíveis e publicados em revistas indexadas nas bases de dados Scientific Electronic Library Online (SciELO) e Public Medline (Pubmed).

Foram utilizados os seguintes descritores: bactérias endofíticas, cana-de-açúcar, fungos fitogênicos, *Fusarium oxysporum*, *Ceratocystis paradoxa* e controle biológicos, escritos nos idiomas português e inglês. Após a coleta dos dados, foi feita a leitura do material e as principais informações que apresentaram correlação entre esses termos foram selecionadas, buscando assim ampliar o conhecimento sobre o tema pesquisado e elaborar assim o referencial teórico.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Cultura da cana-de-açúcar

Cultivada nas regiões tropicais e subtropicais do planeta a cultura da cana-de-açúcar teve sua origem principalmente nas regiões da Indonésia e Nova Guiné. A extração da sacarose, como principal produto para a produção do açúcar, vem sendo explorada desde 2500 a.C., no sudeste asiático, e, atualmente, se encontra em posição de destaque na produção de energia limpa. A cultura da cana-de-açúcar pertence à divisão Magnoliophyta, subdivisão Angiosperma, reino Plantae, classe Liliopsida, ordem Poales, família Poaceae, gênero *Sccharum* e espécie *Saccharum officinarum* (NASCIMENTO et al., 2015).

Entre os sistemas agrícolas estabelecidos, o plantio da cana-de-açúcar tem se sobressaído pela enorme expansão nos últimos tempos. A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) apresenta um ciclo médio de quatro anos, desde o início do plantio até a renovação das áreas plantadas. Atualmente são reconhecidas seis espécies de *Saccharum*: *S. barberi*, *S. edule*, *S. officinarum*, *S. robustum*, *S. sinense* e *S. spontaneum* (CASTRO, 2015).

Contudo, a cana-de-açúcar vem sendo explorada desde a época do Brasil colônia, oficialmente trazida por Martim Afonso de Sousa em 1532, onde se iniciaram os primeiros plantios das mudas, provenientes da ilha da Madeira (NOCELLI et al., 2017). Inicialmente instalada no nordeste do Brasil, essa cultura ficou concentrada até a década de 80 nas regiões nordeste e sudeste do país, e depois com o passar do tempo, a produção se estendeu para o restante do território nacional, fazendo parte da história nacional (OLIVER, 2014).

Seu cultivo tem um papel considerável para a economia mundial, bem como para o agronegócio brasileiro por ser responsável pela produção de matérias-primas que dão origem à produção de açúcar, etanol (álcool etílico), entre outros derivados, caracterizando a cultura como uma das melhores fontes de energia renovável, com perspectivas extremamente favoráveis (NOCELLI et al., 2017). Devido à fabricação de produtos agroindustriais e artesanais, como rapadura, cachaça, melaço, açúcar mascavo, a cana é empregada também na alimentação. Além disso, tem-se buscado aumentar a eficiência do setor, através de bioprocessos, com o objetivo de transformar

a matéria-prima bruta resultante, em produtos comercializáveis (MATOSO et al., 2020).

O Brasil atualmente está entre os maiores produtores e exportadores mundiais de cana-de-açúcar bruta do mundo, estima-se que durante a safra 2019/2020 foram produzidas 915,98 milhões de toneladas e uma área de aproximadamente 9 milhões de hectares. Foram produzidas também 31,8 milhões de toneladas de açúcar e 30,3 bilhões de litros de etano, de acordo com os últimos dados da Companhia Nacional de Abastecimento, ficando assim, na frente de países como Índia, China, Tailândia e Paquistão (CONAB, 2020).

O plantio e a propagação da cana-de-açúcar estão em constante mudança, variando desde um sistema manual, que representa um alto custo de mão de obra e a necessidade de muitos trabalhadores, por haver necessidades básicas como picar o colmo em partes menores, entre outros métodos, até um plantio mecanizado, com menos mão de obra, baixo rendimento operacional e uma maior eficiência no setor (MARTINS et al., 2016).

Devido os solos do cerrado em sua maioria, serem extremamente pobres em nutrientes, entre eles o fósforo e nitrogênio, essa cultura necessita de uma grande demanda destes em todas as suas fases de desenvolvimento, sendo na sua grande maioria recompensados pelo uso de grandes quantidades de fertilizantes químicos (SILVA, 2017). Quando em falta na planta, o nitrogênio resulta em deficiência no crescimento e desenvolvimento em toda o ciclo da cultura, apresentando sintomas como: as folhas mais velhas, estreitas, amareladas e também perfilhamento reduzido (MARTINS et al., 2016). Portanto, micro-organismos que disponibilizem tais nutrientes para a planta podem contribuir para o desenvolvimento da cultura e aumento sustentável da produtividade.

3.2 Fungos fitopatogênicos de cana-de-açúcar

3.2.1 *Fusarium oxysporum*

O gênero *Fusarium* foi descrito primeiramente por Link e Grey em 1821, pertencente ao Domínio Eukarya, Reino Fungi, Filo Ascomycota, Classe Sordariomycetes, Ordem Hypocreales e Família Nectriaceae (AYDI et al., 2020). Este fungo encontra-se em uma distribuição geográfica generalizada, algumas espécies

são encontradas em diversas condições climáticas (regiões tropicais, temperadas, desérticas, alpinas) (CARVALHO et al., 2011).

Os autores Júnior et al. (2015) realizaram estudos em seis municípios do Estado de Goiás, sendo eles, Santo Antônio de Goiás, Rio Verde, Jussara, Anápolis, Cristalina e Laciara onde verificaram a diversidade patogênica de *Fusarium oxysporum* f. sp. *phaseoli*. Segundo os autores, dos 37 isolados, 18 isolados foram classificados como “novos patótipos”.

Segundo os autores, estes resultados indicam que a variabilidade patogênica do fungo é bem maior do que se conhecia nos anos anteriores, pois, até então, só havia relatos da ocorrência dos patótipos de uma (raça americana) e duas (raças brasileiras), sendo sete patótipos no mundo todo. Esta variabilidade pode estar relacionada à diversidade de genótipos de feijoeiros cultivados no Brasil, o que pode causar uma seleção direcional na população do patógeno, assim como a capacidade que os fungos apresentam de realizar mutações (JÚNIOR et al., 2015).

As primeiras grandes revisões envolvendo o gênero *Fusarium* foram realizadas por WOLLENWEBER e REINKING (1935), deste então, cerca de 1000 espécies já foram relatadas (AYDI et al., 2020). Contudo todos são patogênicos, provocando doenças em diversas culturas de interesse medicinal e agrônômico, prejudicando animais, plantas e humanos.

Atualmente são encontradas 20 espécies de *Fusarium* as quais compõem o complexo *Gibberella fujikuroi*, a saber *F. sambucinum*; *F. chlamydosporum*; *F. incarnatum-equiseti*; *F. tricinctum*; *F. heterosporium*; *F. fujikuroi*; *F. nisijadoi*; *F. oxysporum*; *F. redolens*; *F. bardina*; *F. concolor*; *F. lateritium*; *F. buharicum*; *F. buxicola*; *F. staphyleae*; *F. solani*; *F. decemcellulare*; *F. albidum*; *F. dimerum*; *F. ventricosum* (O'DONNELL et al., 2013). Estes fungos estão associados a doenças em diversas culturas, em especial: milho (*Zea mays*), trigo (*Triticum* sp.) e cana-de-açúcar (WALKER et al., 2016).

Tradicionalmente, para a identificação deste gênero, são levadas em consideração algumas características marcantes como a produção de macroconídios (conídeos fusóides e multiseptados), odores, e mais recentemente, através da técnica de Reação em Cadeia da Polimerase (PCR), porém é importante ressaltar que os custos de técnicas mais sofisticadas se tornam mais elevados (CARRER, 2014).

O fungo *F. oxysporum* é uma espécie que vem sendo estudada no decorrer dos últimos anos por apresentar uma alta capacidade fitopatogênica em diversas culturas de grande interesse econômico e agrícola (AYDI et al., 2020). Entre elas o tomate (*Solanum lycopersicum*), maracujá (*Passiflora edulis*), feijão (*Phaseolus vulgaris*), cana-de-açúcar, soja (*Glycine max*), monocotiledôneas e dicotiledôneas (JESUS, et al., 2016).

Por sua vez, o referido patógeno pode infectar as plantas em diferentes estádios, desde mudas a plantas em um estágio mais avançado, e as doenças causadas por esse grupo, na grande maioria estão relacionadas ao sistema radicular e quando são despercebidas nos períodos iniciais podem atingir estágios mais avançados e as opções de controle se tornam cada vez mais limitadas (VIEIRA et al., 2017).

O inóculo do patógeno no sistema radicular do hospedeiro é um processo complexo que compreende várias fases de interação, uma vez que a penetração do fungo se dá principiante através da parede celular das raízes, coifa, aberturas naturais ou ferimentos (JESUS et al., 2018). Outro motivo do sucesso de seu desenvolvimento, se dá pela germinação dos esporos presentes no solo que se diferenciam em hifas. Por sua vez, quando germinadas, as hifas se aderem às raízes do hospedeiro, penetrando-as diretamente sem a necessidade de alguma abertura especializada (CARRER, 2014).

Dentro das raízes após a penetração, tem início a fase de pré-colonização onde as hifas crescem no meio intracelular e extracelular, com o intuito de atravessar a endoderme até atingir os vasos do xilema (LOPES, 2018). Logo, ocorre a fase de colonização, que se caracteriza pela invasão progressiva e sistêmica do fungo no xilema, utilizando esse canal como meio para sua colonização e multiplicação provocando assim, os primeiros sintomas na planta (CARVALHO et al., 2011).

Em resultado, os primeiros sintomas observados são o ressecamento de folhas o apodrecimento de raízes e o bloqueio do xilema, causando as conhecidas “Murchas-Vasculares” (CARRER, 2014). As murchas por sua vez, provocam danos nos vasos xilemáticos, prejudicando assim o transporte de seiva bruta e a translocação de nutrientes, gerando consequências na absorção dos nutrientes essenciais para o desenvolvimento da planta (DIAS et al., 2013).

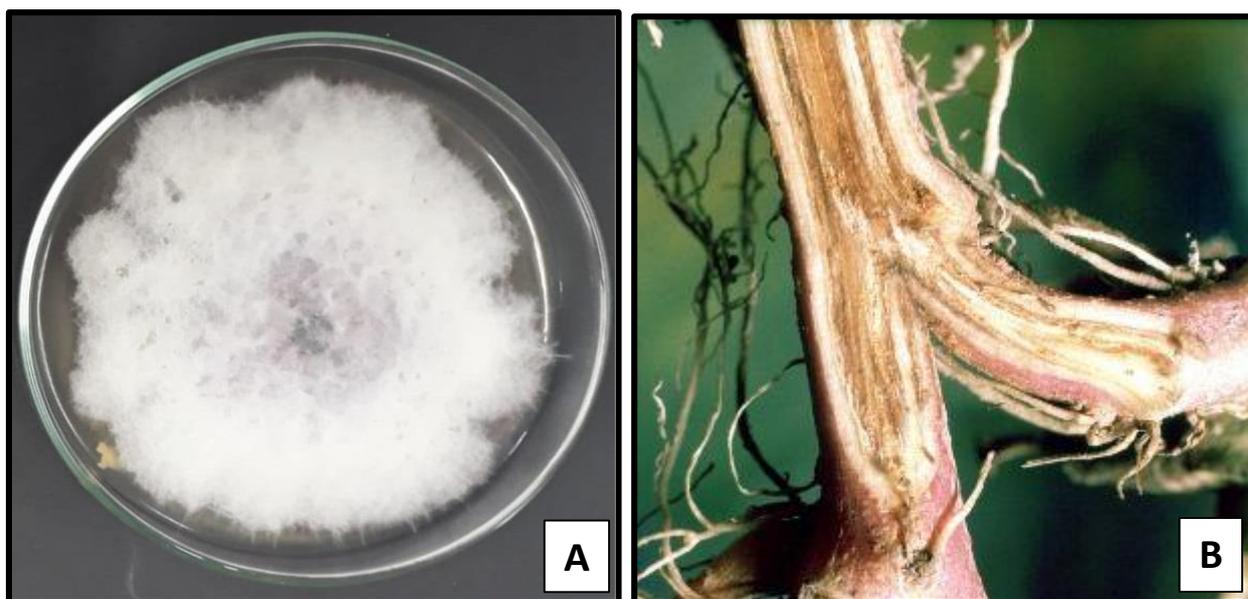


Figura 1. A - Isolado de *Fusarium oxysporum* in vitro; B - Aspecto da doença murcha vascular. Fonte: A: Arquivo pessoal; B: www.grupocultivar.com.br.

Alguns métodos são utilizados para o controle de *F. oxysporum*, na maioria dos cultivos, é realizado por meio da aplicação de fungicidas, controle químico, utilização de sementes saudáveis ou a solarização do solo, entre outros (DIAS et al., 2013). Dentre estes, está o uso de agentes de biocontrole, ou seja, micro-organismos com capacidade de controlar o crescimento de patógenos, o que é, comprovadamente, um método bastante eficaz e vem crescendo nos últimos anos com o objetivo de diminuir os efeitos deste patógeno nas áreas de plantio.

Uma vez presente no solo, o fungo *F. oxysporum* pode sobreviver em diversas condições climáticas, incluindo regiões secas e com elevadas temperaturas, permanecendo assim por vários anos dormente na forma de estrutura de resistência, conhecidas como clamidósporos, em restos culturais ou tecidos deteriorados no solo, permitindo assim sua sobrevivência por até oito anos no solo mesmo na ausência de um hospedeiro (PINHEIRO et al., 2015).

3.2.2 *Ceratocystis paradoxa*

O fungo *Ceratocystis paradoxa* consiste em um fitopatógeno pertencente à sub-divisão Ascomycetes, classe Pirenomicetes, ordem Microascales e família Ophiostomatacea (TAMANHO et al., 2014). Entretanto, as primeiras observações

desse gênero só foram feitas em 1886, pelo pesquisador francês De Seynes, onde ao analisar frutos de abacaxi, percebeu que havia podridão e a queima de alguns frutos, logo o fungo em questão foi descrito como *Sporochisma paradoxum* (UZAN, 2019).

De acordo com Wismer (1961), esse fungo foi observado posteriormente em 1893, em culturas de cana-de-açúcar por WENT, a partir da observação de toletes doentes de cana-de-açúcar, nos quais havia um odor semelhante ao cheiro de abacaxi, em resultado disso, renomeou-se a doença para “podridão abacaxi”, e reclassificou-se o fungo causador de *Thielaviopsis ethaceticus* Went (UZAN, 2019; EDGERTON, 1958).

Von Höhnel em 1940, encontrou uma doença com características semelhantes às descritas por Went, reclassificando para *Thielaviopsis paradoxa* (de Seynes) Höhn (WISMER, 1961). Logo, a doença podridão abacaxi, é causada pelo patógeno *Thielaviopsis paradoxa* que possui duas fases de desenvolvimento, sendo uma anamórfica (estágio assexual) (WISMER, 1961), e a outra, teleomórfica (estágio sexual), a qual foi nomeada de *Ceratocystis paradoxa* por Moreau desde 1952 (UZAN, 2019; WISMER, 1961; EDGERTON, 1958).

Os sintomas mais típicos da doença podridão-abacaxi em cana-de-açúcar são a retardação das gemas e a inibição da brotação. Bem como, a fermentação dos tecidos dos toletes, dos quais exala um odor característico ao cheiro de abacaxis maduros (FERREIRA, 2018). Alguns fatores estão relacionados com tal odor, como a produção de acetato de etila, substância sintetizada pelo fungo (CHAPOLA, et al., 2014).

A penetração de *T. paradoxa* no hospedeiro só ocorre quando há cortes ou ferimentos, sendo incapaz de penetrar por seus próprios meios em tecidos íntegros ou sadios. A doença avança à medida que a podridão se aprofunda dentro da planta, causando um encharcamento do tecido. Mais tarde, a coloração do tecido é alterada para um avermelhado, progredindo a cinza-pardo, finalmente negra, seguido da morte rápida da planta (SANTOS et al., 2012).

Entre os métodos de controle do *T. paradoxa* são recomendáveis a aplicação de fungicidas químicos em estágios mais avançados da doença. Entretanto, é recomendada a aplicação de algumas técnicas para a prevenção da doença, como evitar o replantio de mudas em solos recentemente contaminados, realizar o plantio em épocas corretas e realizar um bom preparo do solo para receber os futuros toletes.

Estas técnicas aceleram a germinação e constituem o melhor controle da doença (PEREIRA et al., 2018).

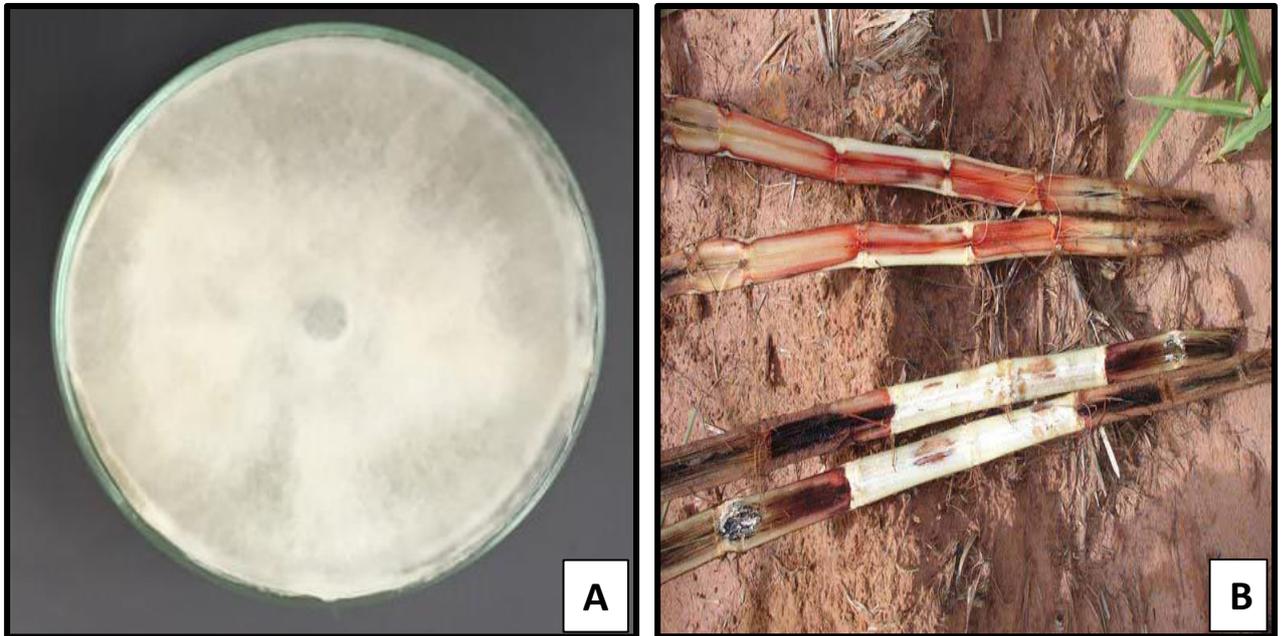


Figura 2. A - Fungo *Ceratocystis paradoxa* isolado *in vitro*; B - Cana-de-açúcar com podridão abacaxi; Fonte: A: Arquivo pessoal; B: www.agencia.cnptia.embrapa.br.

A aplicação de produtos ou métodos utilizando pesticidas químicos na agricultura, de maneira descontrolada ou indiscriminada, pode causar prejuízos sérios, tanto do ponto de vista econômico quanto ambiental, havendo assim, a necessidade de critérios quanto a sua utilização (FERREIRA, 2018). Fica evidente que, para o sucesso do controle de uma determinada doença, é imprescindível haver uma busca contínua por métodos alternativos e/ou a otimização de recursos já empregados, de maneira menos agressiva ao meio ambiente.

3.3 O uso indiscriminado de agrotóxicos na agricultura

O Brasil está entre os maiores importadores de agrotóxicos do mundo. A utilização indiscriminada ao longo dos anos, vem provocando sérios prejuízos que afetam a saúde humana, em especial, os trabalhadores rurais que se expõem direta ou indiretamente ao recurso, entretanto há também consequências ambientais, como a contaminação do ecossistema, devido ao acúmulo destes resíduos na biota que contamina a água e o solo (SILVA et al., 2015).

Segundo dados da Organização Mundial da Saúde (OMS) estima-se que ocorram anualmente no mundo todo cerca de 3 milhões de intoxicações provenientes da exposição ao uso de agrotóxicos agrícolas, ou seja, baixas doses por um longo período de exposição, resultando em aproximadamente 220 mil mortes por ano (GOMES et al., 2020).

Segundo Christoffoleti et al. (2009), quando aplicado no solo, os agrotóxicos entram em contato com a matriz coloidal, assim passam por vários processos pelos organismos ali presentes através do contato com a água, processos físicos, químicos, físico-químicos e biológicos, que determinam seu comportamento no ambiente. Segundo o autor, os processos são retenção, transporte e transformação.

A retenção consiste na capacidade que o solo possui em absorver as moléculas de agrotóxicos (sorção, adsorção). O transporte é o processo responsável pela dissipação dos agrotóxicos no ambiente, na grande maioria através de recursos hídricos (lixiviação), e, por fim, a transformação é compreendida como o processo de degradação (química e biológica) das moléculas (CHRISTOFFOLETI et al., 2009).

A movimentação dos agrotóxicos no solo se dá, principalmente, através das chuvas, em que a perda destes resíduos empregados nas culturas ocorre por meio do escoamento superficial ou lixiviação, podendo ocorrer contaminação de lençóis freáticos, rios e lagos (ANDRADE et al., 2011).

Dentre estes recursos se encontram os herbicidas, inseticidas, agrotóxicos, praguicidas, defensivos químicos, venenos, biocidas em geral. Essas substâncias são utilizadas no controle de patógenos, pragas e doenças em diversas culturas, bem como para aumentar a eficácia da produção agrícola (TEIXEIRA et al., 2014).

Entre as culturas com maior aplicabilidade de agrotóxicos se encontra a cana-de-açúcar, sendo representada pelo terceiro lugar no consumo de agrotóxico no Brasil, entretanto, órgãos fiscalizadores, como a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), estabelecem limites na quantidade de aplicações destes recursos (RANGEL, 2011).

Entretanto, a utilização de alguns agrotóxicos, além de erradicar as pragas, também elimina os agentes de controle biológico (vírus, fungos, bactérias), bem como predadores e competidores responsáveis pela mortalidade natural das pragas no campo. Com a morte destes agentes vão sendo selecionados indivíduos com um

genótipo mais forte e mais resistentes, havendo assim a necessidade de aplicações de diferentes agrotóxicos em concentrações cada vez maiores (PORTO et al., 2012).

Reis et al. (2009) avaliaram o efeito do inseticida (endossulfan) + fungicida (tebuconazole), segundo os autores a mistura destes dois agentes parece ser mais danosa à população de micro-organismos do solo, pois a redução do carbono da biomassa microbiana (CBM) foi mais pronunciada (65,05%) em relação à testemunha. Isso pode ser devido ao possível efeito sinérgico entre ambas as misturas, potencializando desse modo o efeito negativo desses compostos sobre os microrganismos do solo (REIS et al., 2009).

No estudo de Antunes (2013), o autor avaliou os impactos do cloreto de cobre e do fungicida a base de metalaxil-M, quando foram aplicados sozinhos ou em misturas, na comunidade decompositora dos detritos foliares em microcosmos de rio. O autor concluiu que a aplicação de concentrações elevadas do fungicida Ridomil 72 plus, cujos compostos ativos incluem o metalaxil e o cloreto de cobre, afetou negativamente a atividade de micro-organismos de solo, o que pode levar a alterações na decomposição da folhada (ANTUNES, 2013). Isto evidencia o impacto ambiental de fungicidas químicos sobre a comunidade microbiana do solo.

3.4 Mecanismos relacionados à promoção do crescimento vegetal

Estudos sobre a interação planta-micro-organismos demonstram o enorme potencial das BPCVs (Bactérias Promotoras do Crescimento Vegetal), que representam uma alternativa ao uso exagerado dos agrotóxicos e fertilizantes químicos (BALDOTTO et al., 2010). Por atuarem direta ou indiretamente na promoção do crescimento das plantas, o que pode ocorrer de diferentes formas, como por exemplo, facilitando o transporte e a mobilização de nutrientes essenciais para o vegetal, uma vez que estes micro-organismos também auxiliam na captação de nutrientes que em condições normais, estariam escassas ou em poucas quantidades para a planta, como o nitrogênio, fósforo, ferro, entre outros (OLIVEIRA et al., 2003).

Diversas pesquisas direcionadas a plantações e a produtividade têm revelado que as bactérias promotoras de crescimento vegetal, apresentam resultados positivos no aumento do crescimento em diversos tipos de culturas como o feijão-caupi, onde as estirpes bacterianas de *Bradyrhizobium* sp., *Rhizobium* sp., *Paenibacillus* sp., e *Bacillus* sp. foram capazes de fixar o nitrogênio, além de formarem nódulos na cultura

(COSTA et al., 2013), na cultura do arroz, os isolados tratados com *Bacillus sp.* promoveram incremento médio de 24,3 e 27,1%, respectivamente, no comprimento de raiz das plântulas (SOUSA et al., 2019). Isolados de *Bacillus subtilis* também apresentaram respostas positivas para o crescimento das plantas de milho, bem como para o acúmulo de nitrogênio (AQUINO et al., 2019).

Barreti et al. (2008) verificou que em plantas de tomate tratadas com *Acinetobacter johnsonii* e *Bacillus pumilus* houve um crescimento maior em altura em 9,5% e 20,2% respectivamente, em relação às plantas que não foram tratadas com as bactérias endofíticas. Os mesmos isolados bacterianos foram capazes de controlar o patógeno *Ralstonia solanacearum* responsáveis pela infecção (BARRETTI et al., 2008). Na cultura da cana-de-açúcar, toletes tratados com estirpes de bactérias endofíticas do gênero *Herbaspirillum seropedicae* estimularam o crescimento radicular provocando um incremento de massa ao redor de 120% em relação às plantas controle (MARQUES et al., 2008). O emprego de bactérias endofíticas podem afetar diretamente o metabolismo vegetal, modificando o padrão de crescimento e o desenvolvimento das plantas, incrementando o sistema de produção agrícola de forma sustentável.

Grande parte deste crescimento vegetal está relacionado com mecanismos importantes como: a fixação biológica de nitrogênio, solubilização e mineralização de fósforo, a produção de fitormônios, entre eles o ácido indolacético (AIA), promovendo a absorção de água e de nutrientes, contribuindo no crescimento das gemas apicais (OLIVEIRA et al., 2003; SANTOS et al., 2018).

Outra forma benéfica envolvendo essa associação, se dá pelo fato de que tais micro-organismos previnem ou limitam o dano que poderia ser causado por algum fitopatógeno como os fungos, bactérias ou nematoides, por apresentar a capacidade de competição e/ou produzir substâncias importantes, como ácido cianídrico, bacteriocinas e antibióticos, que induzem uma resistência sistêmica ao hospedeiro (GÍRIO et al., 2015).

As bactérias promotoras de crescimento podem colonizar o solo (ectorrizosfera), e se aderir à superfície da raiz através do rizoplaneo em alguma etapa de seu ciclo de vida, devido à disponibilidade de uma ampla fonte de nutrientes exsudados pelas raízes da planta. Após essa atração inicial, as bactérias penetram a planta e ocupam os espaços vazios em porções do córtex e da endoderme

(endorrizosfera), isso demonstra que as raízes são a principal porta de entrada para essas bactérias (Figura 3) (BALDANI et al., 2002).

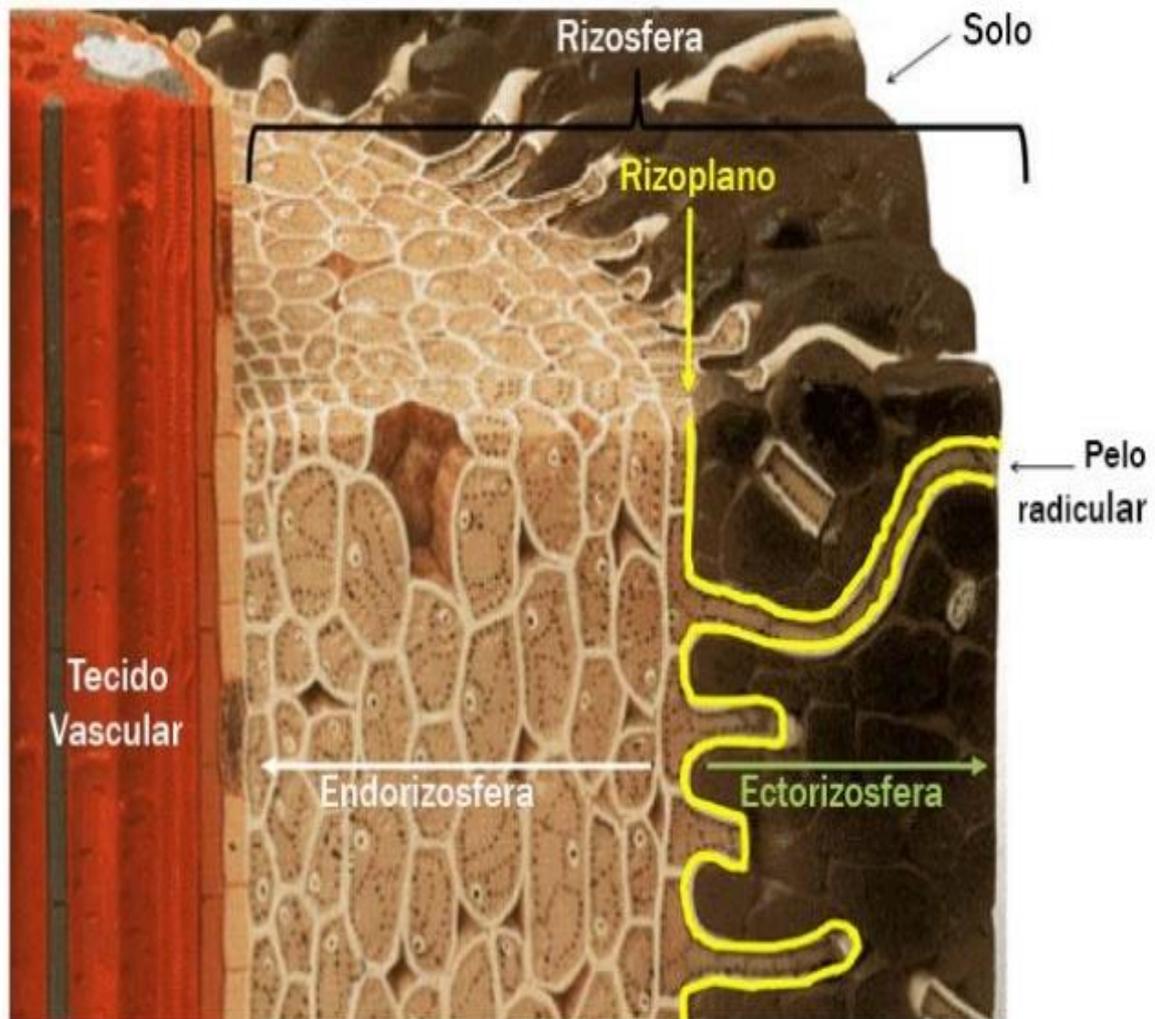


Figura 3 - Local de colonização das BPCVs através da rizosfera Fonte: (McNear Jr., 2013).

Tem sido demonstrado o efeito benéfico da utilização de BPCVs que atuam como solubilizadoras de fosfato (Figura 4), que tem como principal objetivo substituir total ou parcialmente a aplicação de fertilizantes químicos como já mencionado. Essa utilização pode ser considerada um fator interessante, pois além de estimular o desenvolvimento da planta, também reduz os custos da aplicação de produtos químicos. Deste modo, constituem uma alternativa benéfica e necessária a ser aplicada (SANTOS et al., 2018).

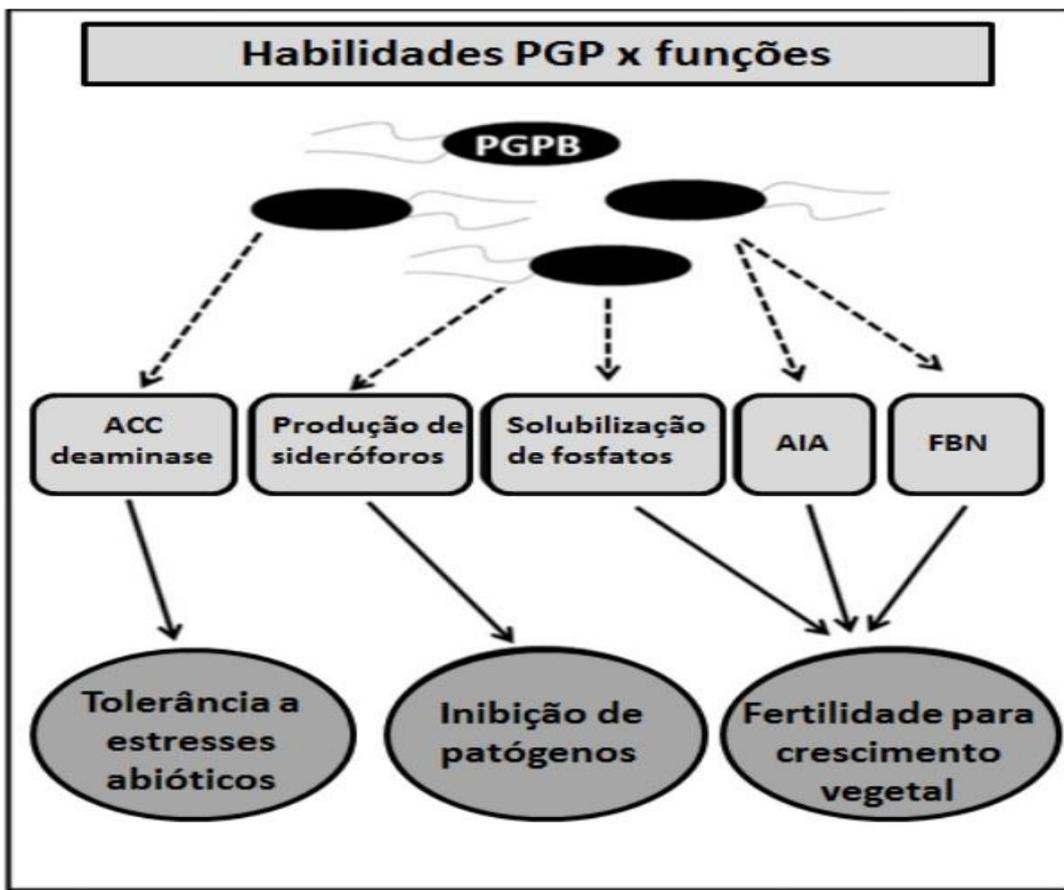


Figura 4 - Habilidades das BPCVs para promoção de crescimento e suas respectivas funções Fonte: (Souza et al 2015).

O fósforo é o segundo elemento mais requerido na nutrição das plantas, logo após o nitrogênio, sendo um nutriente essencial ao crescimento do vegetal. Muitas vezes esse nutriente se encontra indisponível para as plantas, devido estar em cerca de 95% a 99% formato inorgânico (GUIMARÃES et al., 2017). Para suprir a deficiência deste nutriente no solo, é necessário o acréscimo de fertilizantes, resultando em um processo financeiramente elevado, e que acaba gerando prejuízos ao meio ambiente. Por sua vez, os micro-organismos que solubilizam o fosfato facilitam a aquisição deste nutriente pelas raízes da planta, convertendo a sua forma inorgânica em orgânica (BATISA et al., 2018).

A produção de sideróforos (*Sideros*, ferro e *pheros*, portador) também são outro traço funcional marcante de algumas bactérias promotoras de crescimento. Os sideróforos consistem em substâncias orgânicas com baixo peso molecular, que captam o ferro presente no ambiente (AGUIAR, 2012). Logo, os micro-organismos presentes no solo e na rizosfera que produzem sideróforos possuem vantagem

competitiva no ambiente. Durante a competição por nutrientes e elementos essenciais, bactérias produtoras de sideróforos podem impossibilitar o crescimento de patógenos por captar o ferro ali presente, tornando impossível sua utilização pelos antagonistas, que acabam morrendo sem o nutriente (BATISTA et al., 2018). Uma vez que o ferro atua em vários processos fisiológicos e metabólicos, da planta como fotossíntese, fosforilação, biossíntese, síntese de ácidos nucleicos entre vários outros, ele é crucial para o desenvolvimento microbiano (ANDRADE et al., 2013).

Para que a produção de sideróforos para a captação deste mineral seja realmente eficaz, e necessário que haja condições ambientais adequadas, pois, sua concentração está intimamente relacionada com níveis de concentração de pH do solo. Quando o pH do solo está baixo, ou seja, ácido, a disponibilidade de ferro é aumentada, e, por sua vez, os sideróforos se tornam menos eficientes na captação deste mineral (BATISTA et al., 2018).

Na literatura científica também são encontrados relatos sobre alguns micro-organismos, inclusive alguns endofíticos, que ao se associarem as plantas, são capazes de sintetizar o ACC desaminases (ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico) um precursor direto do etileno (VIEIRA, 2015). A produção deste composto se dá através do gás etileno, um importante hormônio vegetal, e sua produção se dá em resposta a diversas situações de estresse, além disso bactérias que possuem a capacidade de sintetizar ACC desaminase, podem reduzir os efeitos negativos que o estresse pode causar no desenvolvimento da planta (CAPITANI et al., 1999).

Diante do exposto, as bactérias promotoras de crescimento apresentam características marcantes que fazem delas importantes ferramentas biotecnológicas.

3.5 Micro-organismos endofíticos

Originalmente o termo endófitos (endo: dentro + fito: planta) é empregado para descrever o local onde os micro-organismos, entre eles os fungos e as bactérias estão em associação com seus hospedeiros, neste caso, como assintomáticos dentro do tecido vegetal (MORAIS et al., 2014). Os primeiros registros envolvendo esses micro-organismos capazes de colonizar tais tecidos só foram descritos em 1866 por De Bary, onde o autor propôs uma possível distinção entre os endofíticos e os fitopatógenos (STONE, 1988; AZEVEDO, 1999; HALLMANN et al., 1997).

A falta de recursos tecnológicos envolvendo os primeiros registros desses micro-organismos resultou em grandes dificuldades para seu isolamento e sua identificação, ocasionando que os endófitos fossem durante séculos, ignorados por não apresentarem estruturas externas de fácil visualização (LI, 2016). Contudo, durante o avanço dos estudos e o aperfeiçoamento da área da microscopia, permitiu-se uma melhor visualização de suas estruturas, onde foi possível descobrir propriedades de grande interesse, ganhando assim notável reconhecimento no meio acadêmico.

Na literatura são encontrados relatos de endófitos em diversas plantas cultivadas em diferentes cenários ambientais, tais como florestas, manguezais, pastagens, campos agrícolas, entre outros (ARAÚJO et al., 2014). Mendes e Azevedo (2007) ao analisar micro-organismos cultiváveis e não cultiváveis, concluíram que tais agentes, podem ser divididos em dois tipos, sendo o primeiro tipo, os que não produzem estruturas externas à planta e o segundo tipo, os que apresentam estruturas externas de fácil visualização, como no caso as bactérias simbiotes e os fungos micorrízicos (MENDES et al., 2007).

Os micro-organismos endófitos adentram as plantas de diversas maneiras, principalmente através de aberturas naturais e ferimentos, podendo ser por meio dos estômatos, hidatódios, nectários, tricomas quebrados ou raízes danificadas (LACAVA et al., 2018). Entretanto, umas das principais portas de entradas, são as raízes, por meio de rupturas, através das pontas radiculares ou até mesmo pela propagação vegetativa (CASTRO et al., 2018; AZEVEDO, 1999). As bactérias endofíticas necessitam dessas aberturas, diferentes dos fungos que possuem, possuem estruturas que facilitam sua penetração.

As bactérias endofíticas podem beneficiar as plantas de diversas maneiras possíveis, desde a produção de substâncias que atuam diretamente no metabolismo da planta até a capacidade de produzir substâncias antimicrobianas, que dão às plantas resistência contra possíveis ataques de fungos patogênicos (CASTRO, et al., 2018). Além disso, elas são capazes de produzir uma grande quantidade de enzimas extracelulares como celulases, lacases, pectinases e proteinases, além de fitormônios, como o AIA, e realizar a fixação biológica do nitrogênio (POLLI et al., 2012; LACAVA et al., 2014).

Embora atualmente a visualização dos micro-organismos endofíticos por microscopia ótica ou eletrônica seja de fácil acesso e manuseio, são necessários alguns cuidados especiais para seu isolamento, em que procedimentos que eliminem ou prejudiquem as populações internas do tecido do vegetal devem ser considerados (ARAÚJO et al., 2014). A desinfestação superficial é um dos procedimentos mais comuns e utilizados no isolamento de fungos e bactérias, onde consiste na lavagem com álcool 70% e hipoclorito de sódio da superfície dos órgãos vegetais da planta como folhas, caules, raízes, com o intuito de eliminar toda comunidade de micro-organismo contaminantes que vivem na superfície do tecido vegetal da planta hospedeira, ou seja, os epifíticos (HALLMANN et al., 1997).

Os endófitos podem ser isolados dos mais diferentes tecidos e órgãos vegetais, podendo ser a partir de folhas, raízes, caules, bem como estruturas florais como o pólen, estames, entre outros. No entanto, o tempo empregado para o tratamento agentes desinfestantes pode variar de acordo com a textura do material utilizado (ARAÚJO et al., 2002).

Outro fator importante que deve ser levado sempre em consideração é a composição apropriada do meio de cultura, no qual irá estimular o crescimento e desenvolvimento da comunidade microbiana estudada, pois alguns meios podem ter compostos que impedem o crescimento dos micro-organismos desejados (SARDI et al., 1992).

3.6 Controle Biológico de fungos fitopatógenos

Uma das alternativas viáveis para o uso exagerado e menos agressivo de produtos químicos é o controle biológico, que representa uma saída sustentável para tal problematização, a qual já se perpetua por vários anos. A introdução dessa técnica vem ganhando cada vez mais espaço no dia a dia em diversas culturas, pelo mundo todo (TOLOZA et al., 2020). O termo “Controle biológico” foi usado pela primeira vez em 1919, pelo pesquisador Harry S. Smith (BERTI, 2011) e representa um mecanismo indireto de promoção do crescimento vegetal.

O objetivo do controle biológico consiste na regulação de uma população, seja de animais, plantas, insetos ou pragas por inimigos naturais chamados de agentes bióticos (SIMONATO et al., 2014). No Brasil atualmente já existem diversos relatos de sucesso do uso do controle biológico em culturas, entre elas a cana-de-açúcar, devido

a presença de diversas infecções fúngicas envolvendo a cultura, entre elas a broca-da-cana causada pelo inseto *Diatraea saccharalis* (SIMONATO et al., 2014).

Geralmente, o controle biológico utilizando as bactérias promotoras de crescimento vegetal, sendo elas endofíticas ou rizosféricas, ocorre por meios de mecanismos importantes como competição por espaço e nutrientes, hiperparasitismo ou antibiose. Contudo, este último conceito é descrito como um dos mecanismos mais eficazes e estudados, pelo fato de apresentar uma inibição direta do crescimento do fitopatógeno (SHIOMI et al., 2008).

A antibiose está relacionada à produção de antibióticos e/ou metabólitos secundários tóxicos produzidos pelas bactérias, compostos capazes de matar, inibir o crescimento ou a reprodução de micro-organismos fitopatogênicos ou ainda enzimas, que degradam a parede celular destes fitopatógenos (GARCIA et al., 2015).

Entretanto, a utilização de agentes como biocontrole só está sendo possível devido ao aumento da percepção sobre as interações ecológicas envolvendo os organismos, partindo do pressuposto de que há um equilíbrio natural do ecossistema. A partir desse entendimento foi possível ampliar os métodos envolvendo o controle biológico, deste então passaram a envolver micro-organismos para o controle e tratamento de insetos e pragas (JÚNIOR et al., 2000).

A partir destes novos entendimentos, intensificou-se a busca da comunidade científica por alternativas seguras do controle de fitopatógenos, devido a necessidade de minimizar os impactos do uso indiscriminado de agrotóxicos. Dentre os possíveis agentes para o controle, destacam-se as bactérias endofíticas, por possuir propriedades de grande interesse (ALVES et al., 2013).

3.7 Exemplos de bactérias endofíticas no controle biológico de patógenos

Os autores Carrim et al. (2016) avaliaram os efeitos de bactérias endofíticas isoladas de *Jacaranda decurrens* Cham. (carobinha-do-campo), uma planta medicinal nativa do cerrado, onde foi analisado a atividade antimicrobiana, pela produção dos metabólitos frente a diferentes cepas indicadoras (*Rhodococcus equi*, *Micrococcus luteus*, *Agrobacterium tumefaciens*, *Corynebacterium glutamicum* e *Bacillus subtilis*). No trabalho, sete isolados apresentaram produção da substância antimicrobiana, e exibiram ação antagonista frente a pelo menos um dos micro-organismos indicadores

avaliados frente a cepas indicadoras, o que foi evidenciado pela formação de halos de inibição, apresentando um potencial para serem aplicados no controle biológico de patógenos (CARRIM et al., 2016).

Freitas (2015) avaliaram diferentes gêneros de bactérias endofíticas, que pudessem ser aplicadas no controle da doença podridão radicular na cultura de mandioca, sendo causada pelo fungo *Fusarium solani*. Diferentes espécies de isolados microbianos (*Rhizobium radiobacter*, *Bacillus subtilis*, *Microbacterium imperiale* e *Bacillus subtilis*) foram capazes de induzir o acúmulo significativo de ferro pelas plantas em condições ideais e de deficiência em ferro, os isolados também apresentaram efeito fungicida, protegendo gemas e ramos de mandioca contra a colonização de *F. solani* (FREITAS, 2015).

Szilagyi et al. (2014) selecionaram um total de seis isolados bacterianos, provenientes de raízes de milho, que em seguida foram identificados como *Bacillus* sp. e *Enterobacter* sp. Destes isolados, quatro cepas bacterianas foram mais eficazes na fixação de nitrogênio, mostrando-se também agentes atuantes na produção de AIA, sideróforos e enzimas líticas. Segundo os autores, as mesmas cepas também apresentaram características de antagonismo contra os fungos patogênicos *Fusarium verticillioides*, *Bipolaris maydis*, *Colletotrichum graminicola* e *Cercospora zea-maydis*, se mostrando eficazes inoculantes biológicos na cultura do milho (SZILAGYI et al., 2014).

No trabalho de Silva et al. (2016), os autores avaliaram *in vitro* 102 bactérias endofíticas isoladas de sementes de plantas de guaraná, obtidas na região do Amazonas e no Nordeste da Bahia, que foram avaliados quanto a sua potencialidade como agentes de biocontrole contra uma cepa fitopatogênica de *Colletotrichum gloeosporioides*, onde a maioria dos isolados testados apresentaram resultados positivos contra *C. gloeosporioides*, a qual foi relacionada a uma alta atividade enzimática (SILVA, 2016).

Liotti et al. (2018) relataram que bactérias endofíticas isoladas de *Paullinia cupana* (Guaraná), retiradas de três diferentes tipos de tecidos vegetais (folhas, sementes e raízes), apresentaram resultados satisfatórios na promoção do crescimento vegetal de *Sorghum bicolor*. Algumas cepas exibiram traços antagonísticos contra os principais fitopatógenos da cultura, tais cepas bacterianas também foram

relatadas como importantes agentes na melhoria na produtividade das lavouras (LIOTTI et al., 2018).

Na literatura também são encontrados relatos positivos sobre bactérias que apresentaram características de promoção do crescimento vegetal, mesmo estando em áreas altamente poluídas em menor grau, por hidrocarbonetos de petróleo, segundo os autores Pawlik et al. (2017). Ao realizarem estudos com 26 isolados endófitos de *Lotus corniculatus* L. (Cornichão perene) e *Oenothera biennis* L. (prímula) chegaram à conclusão de que os isolados foram capazes de colonizar as plantas nestas condições, por possuírem enzimas de degradação de hidrocarboneto e que mais de 90% cresceram em meio ao óleo diesel. Afirmaram também que tais agentes podem aumentar a fitorremediação em locais poluídos (PAWLIK et al., 2017).

Os autores Li et al. (2016) isolaram um total de 170 bactérias endofíticas de raízes, folhas e caules de *Ferula songorica*. Os autores relaram que além de apresentarem muitas propriedades medicinais de interesse industrial, a planta representa um reservatório extremamente rico para o isolamento, uma vez que, os micro-organismos endofíticos presentes nesta planta promoveram o crescimento em meio livre de nitrogênio, solubilizaram fosfato e produziram compostos biologicamente ativos, incluindo enzimas proteolíticas como a proteases e celulasas (LI et al., 2016).

No estudo de Junior (2006), o autor utilizou suspensões de estipes de bactérias endofíticas (*Gluconacetobacter diazotrophicus*, *Herbaspirillum seropedicae* e *Herbaspirillum rubrisubalbicans*) isoladas de cana-de-açúcar, combinadas com o patógeno *Leifsonia xyli* subsp. *xyli*, uma bactéria responsável por causar a doença de raquitismo da soqueira em cana-de-açúcar. Segundo o autor, a bactéria endofítica *H. rubrisubalbicans* testada em variedades suscetíveis ao raquitismo, proporcionou uma baixa incidência da doença, sendo capaz de induzir tolerância à doença e um efeito negativo na colonização do patógeno com bons rendimentos agronômicos (JUNIOR, 2006).

No trabalho de Faria et al. (2021) os autores realizaram o isolamento de bactérias endofíticas provenientes de raízes de *Anacardium othonianum* Rizzini (Cajueiro) nativo do Cerrado brasileiro. No estudo, foram selecionadas 22 bactérias endofíticas com traços para a promoção do crescimento vegetal, como a síntese de auxina, solubilização de fosfato, produção de fosfatase e sideróforos, além de capacidade de biocontrole contra *Fusarium oxysporum*, um fungo fitopatígeno de

cana-de-açúcar. Segundo os autores, as bactérias endofíticas *Acinetobacter lwoffii* e *Pantoea agglomerans* foram as mais promissoras para promover o crescimento de cajueiro, com múltiplos traços funcionais. Os autores reinocularam as duas linhagens bacterianas em sementes de *Anacardium othonianum*, onde este consórcio promoveu aumentos nos parâmetros biométricos de crescimento inicial da planta, caracterizando um grande potencial biotecnológico para futuras aplicações no cultivo de caju (FARIA et al., 2021).

No estudo de Gonçalves et al. (2019), os autores investigaram o potencial da bactéria *Burkholderia seminalis* linhagem TC3.4.2R3, isolada de raízes de cana-de-açúcar, no biocontrole de fungos e bactérias patogênicas, por produzir compostos naturais capazes de inibir o crescimento destes micro-organismos. Segundo os autores, a *Burkholderia seminalis* apresentou capacidade de inibir os fungos fitopatogênicos de cana-de-açúcar *F. oxysporum*, *C. paradoxa*, *Ceratocystis fimbriata* e *Colletotrichum* spp. *in vitro*. Além disso, a bactéria também aumentou a formação de biofilme, que ajuda na colonização da planta. A virulência da linhagem foi testada em larvas de *Galleria mellonella* L. (traça da cera), que são lepidópteros que atacam colméias de *Apis mellifera Linnaeus* (Abelha-europeia) e em camundongos, não sendo considerada virulenta em modelo animal, o que é imprescindível para sua aplicação como inoculante na agricultura. Mediante aos resultados apresentados pelos autores, foi possível observar o grande potencial biotecnológico envolvendo esta bactéria na proteção de plantas de cana-de-açúcar contra fungos fitopatogênicos (GONLÇAVES et al., 2019).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os micro-organismos endofíticos, além de exercerem diversas funções nos vegetais em que habitam, facilitam a interação da planta com o meio ambiente, sendo considerados importantes na agricultura e na indústria, em especial, na farmacêutica e de defensivos agrícolas.

Esses micro-organismos podem beneficiar indiretamente o crescimento de plantas através da produção de metabólitos secundários bioativos, que impedem o crescimento e a atividade de organismos patogênicos através de suas propriedades inseticidas e antimicrobianas, que podem substituir total ou parcialmente o uso de agrotóxicos e pesticidas químicos nas lavouras. Portanto, são uma fonte de valor inestimável para a prospecção de novas moléculas de interesse biotecnológico e para a consolidação de uma agricultura sustentável.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR, K. P. Prospecção de bactérias promotoras do crescimento vegetal associadas a vermicompostos. **CCTA. Campos dos Goytacazes: Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy GUIMARÃES**, p. 101, 2012.
- ANTUNES, B. **Impactos do cobre e do metalaxil-M em cadeias tróficas detritívoras**. 2013. 46 f. Dissertação (mestrado) – Universidade do Minho, Escola de Ciências, Gualtar, 2013.
- ALVES, E. et al. Seleção de microrganismos antagonistas para biocontrole de *Fusarium verticillioides* na cultura do milho (*Zea mays L.*). **Embrapa Milho e Sorgo-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (infoteca-e)**, 2013.
- ANDRADE B. G. et al. Uso de *Bacillus spp.* no controle de fitopatógenos em sementes de soja variedade BRS Valiosa RR. **Revista Agroecossistemas**, v. 5, n. 1, p. 68-73, 2013.
- ANDRADE, A. S. et al. Potencial de lixiviação de herbicidas em solos agrícolas na região do Alto Paranaíba (MG). **Pesticidas: Revista de ecotoxicologia e meio ambiente**, v. 21, 2011.
- AQUINO, J. P. A. de et al. Bactérias endofíticas promotoras de crescimento em milho e sorgo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 49, 2019.
- ARAÚJO, W. L. et al. Manual: isolamento de microrganismos endofíticos. **Piracicaba: Calq**, v. 1, p. 86p, 2002.
- ARAÚJO, W. L. et al. Micro-organismos endofíticos: aspectos teóricos e práticos de isolamento e caracterização. **Santarém: UFOPA, PA, Brasil**, v. 1, p. 257, 2014.
- AYDI-BEN-ABDALLAH, R. et al. *Fusarium* wilt biocontrol and tomato growth stimulation, using endophytic bacteria naturally associated with *Solanum sodomaeum* and *S. bonariense* plants. **Egyptian Journal of Biological Pest Control**, v. 30, n. 1, p. 1-13, 2020.
- AZEVEDO, J. L. Botânica: uma ciência básica ou aplicada?. **Brazilian Journal of Botany**, v. 22, p. 225-229, 1999.
- BALDANI, J. I. et al. Bactérias endofíticas como vetores de genes de resistencia a insetos. **Recursos genéticos e melhoramento–microrganismos. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente**, p. 589-601, 2002.
- BALDOTTO, L. E. B. et al. Seleção de bactérias promotoras de crescimento no abacaxizeiro cultivar Vitória durante a aclimatização. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 2, p. 349-360, 2010.
- BARNABAS, L. et al. Sugarcane proteomics: An update on current status, challenges, and future prospects. **Proteomics**, v. 15, n. 10, p. 1658-1670, 2015.

BARRETTI, P. B. et al., Bactérias endofíticas como agentes promotores do crescimento de plantas de tomateiro e de inibição in vitro de *Ralstonia solanacearum*. **Ciencia e Agrotecnologia**, v. 32, n. 3, p. 731-739, 2008.

BATISTA, F. de C. et al. Potencial de microrganismos rizosféricos e endofíticos de milho em solubilizar o fosfato de ferro e produzir sideróforos. **Embrapa Milho e Sorgo-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E)**, 2018.

BERTI FILHO, E.; MACEDO, L. P. M. **Fundamentos de controle biológico de insetos-praga**. Natal: IFRN Editora, 2011. 180p.

CARRER F. R. **Detecção de resistência a *Fusarium oxysporum f. sp. lycopersici* e biocontrole da murcha de fusário em tomateiro com *Bacillus sp.*** 92 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2014.

CARRIM, A. J. I. et al. Atividade antimicrobiana de bactérias endofíticas isoladas de *Jacaranda decurrens Cham.* (carobinha-do-campo). **Enciclopédia Biosfera**, v. 13, n. 23, p. 1374-1385, 2016.

CARVALHO, D. C. et al. Controle de *Fusarium oxysporum f. sp. phaseoli* in vitro e em sementes, e promoção do crescimento inicial do feijoeiro comum por *Trichoderma harzianum*. **Tropical Plant Pathology**, v. 36, n. 1, p. 28-34, 2011.

CAPITANI, Guido et al. Structure of 1-aminocyclopropane-1-carboxylate synthase, a key enzyme in the biosynthesis of the plant hormone ethylene. **Journal of molecular biology**, v. 294, n. 3, p. 745-756, 1999.

CASTRO, R. B. R. **Potencial de solubilização de fosfato e identificação molecular de bactérias isoladas de solos sob cultivo de cana-de-açúcar**. 2015. xvi, 46 p. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal, 2015.

CASTRO, R. A. et al. Mangrove endophyte promotes reforestation tree (*Acacia polyphylla*) growth. **brazilian journal of microbiology**, v. 49, n. 1, p. 59-66, 2018.

CHAPOLA, R. G. et al. Controle da podridão abacaxi da cana-de-açúcar por meio da pulverização de fungicidas em rebolos no sulco de plantio. **Ciência Rural**, v. 44, n. 2, p. 197-202, 2014.

CHRISTOFFOLETI, P. J. et al. Comportamento dos herbicidas aplicados ao solo na cultura da cana-de-açúcar. **Piracicaba: CP**, v. 2, p. 72, 2009.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Série histórica das safras. Disponível em: Acesso: em 21 jan. 2021. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar>> Acesso: 25/01/2021.

COSTA, E. M. da et al. Promoção do crescimento vegetal e diversidade genética de bactérias isoladas de nódulos de feijão-caupi. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, n. 9, p. 1275-1284, 2013.

DIAS, P. P. et al. Controle de *Rhizoctonia solani* e *Fusarium oxysporum f.sp. phaseoli* por biopreparados de isolados de *Trichoderma spp.* **Summa phytopathol.**, Botucatu, v. 39, n. 4, p. 258-262, 2013.

ESPÍNDOLA, S. P. et al. Impact of nitrogen additions on soil microbial respiration and temperature sensitivity in native and agricultural ecosystems in the Brazilian Cerrado. **Journal of thermal biology**, v. 75, p. 120-127, 2018.

EDGERTON, C. W. Pineapple disease. In: **Sugar-cane and its diseases**. Louisiana State University Press: Baton Rouge, p. 103-106, 1958.

FARIA, Paula Sperotto Alberto et al. Potencial multifuncional de bactérias endofíticas de *Anacardium othonianum* Rizzini na promoção do crescimento de plantas in vitro e ex vitro. **Microbiological Research** , v. 242, p. 126600, 2021.

FERREIRA, T. **Bacillus spp. como agentes de controle de *Thielaviopsis paradoxa* e *Fusarium verticillioides* e promotores de crescimento de cana-de-açúcar e milho**. 2018. Tese de Doutorado. Tese (Proteção de Plantas). 87f. à Faculdade de Ciências Agrônômicas da Unesp Câmpus de Botucatu. 2018.

FREITAS, M. A. ***Bacillus subtilis* e bactérias endofíticas autóctones como agentes de biocontrole para *Fusarium solani* e bioacúmulo de ferro na cultura da mandioca**. 2015. Tese de Doutorado. Tese (Fitopatologia). 92f. Universidade Federal de Lavras.

GARCIA, T. V. et al. Bactérias endofíticas como agentes de controle biológico na orizicultura. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 82, 2015.

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

GOMES, A. M. et al. O uso indiscriminado de agrotóxicos e suas consequências na saúde humana e no ambiente: revisão bibliográfica. **Diversitas Journal**, v. 5, n. 3, p. 1691-1706, 2020.

GONÇALVES, P.J.R.d., Hume, C.C., Ferreira, A.J. et al. Environmental interactions are regulated by temperature in *Burkholderia seminalis* TC3.4.2R3. **Sci Rep** 9, 5486 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41598-019-41778-x>

GUIMARÃES, V. F. et al. Bactérias Promotoras de Crescimento Vegetal: da FBN à regulação hormonal, possibilitando novas aplicações. **Ciências Agrárias: Ética Do Cuidado, Legislação e Tecnologia Na Agropecuária. Centro de Ciências Agrárias/Unioeste, Marechal Candido Rondon**, p. 193-212, 2017.

HALLMANN, J. et al. Bacterial endophytes in agricultural crops. **Canadian journal of microbiology**, v. 43, n. 10, p. 895-914, 1997.

JESUS, J. M. I. et al. Eficácia in vitro do extrato etanólico de Sangra d'Água sobre o fungo *Fusarium oxysporium*. **Caderno De Ciências Agrárias**, v. 8, n. 2, p. 66-71, 2016.

JESUS, M. S. et al. Utilização de bactérias no controle de fungos fitopatogênicos in vitro. **Revista Ouricuri**, v. 8, n. 1, p. 048-056, 2018.

JÚNIOR, A. G. et al. Perspectivas do uso do controle biológico contra doenças florestais. **Floresta**, v. 30, n. 1/2, 2000.

JÚNIOR, da S.; M. L.; GONÇALVES, F. J.; WENDLAND, A. Variabilidade patogênica de isolados de *Fusarium oxysporum* f. sp. *phaseoli* coletados no Estado de Goiás. In: **Embrapa Arroz e Feijão-Resumo em anais de congresso (ALICE)**. In: SEMINÁRIO JOVENS TALENTOS, 9., 2015, Santo Antônio de Goiás. Coletânea dos resumos apresentados. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2015.

JUNIOR, J. de B. **Efeito do tratamento térmico e da inoculação de bactérias endofíticas no controle do raquitismo da soqueira da cana-de-açúcar**. 102 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual no Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 2006.

KHARE, E. et al. Multifaceted interactions between endophytes and plant: developments and prospects. **Frontiers in microbiology**, v. 9, p. 2732, 2018.

LACAVA, P. T.; AZEVEDO, J. L. Biological Control of Insect-Pest and Diseases by Endophytes. In: Verma, V. C.; Gange A. C. (eds.), **Advances in Endophytic Research**, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, p. 231-256, 2014.

LACAVA, P. T. et al. O. Controle biológico e simbiótico de insetospragas e doenças por micro-organismos endofíticos. In: AZEVEDO, J. L. et al. (Eds.). **Bioteconologia Microbiana Ambiental**. 1. ed. Maringá: Eduem, 2018. p. 83–104.

LI, Xia et al. The endophytic bacteria isolated from elephant grass (*Pennisetum purpureum* Schumach) promote plant growth and enhance salt tolerance of Hybrid *Pennisetum*. **Biotechnology for biofuels**, v. 9, n. 1, p. 190, 2016.

LIOTTI, R. G. et al. Diversity of cultivable bacterial endophytes in *Paullinia cupana* and their potential for plant growth promotion and phytopathogen control. **Microbiological research**, v. 207, p. 8-18, 2018.

LIU, Y. H., G. J. W., Salam, N. et al. Culturable endophytic bacteria associated with medicinal plant *Ferula songorica*: molecular phylogeny, distribution and screening for industrially important traits. **3 Biotech** 6, 209 (2016).

LOPES, U. P.; MICHEREFF, S. J. (Eds.). **Desafios do manejo de doenças radiculares causadas por fungos**. Recife: EDUFRPE, 2018. 208 p.

MARQUES J. R. B. et al. Promoção de enraizamento de microtoletes de cana-de-açúcar pelo uso conjunto de substâncias húmicas e bactérias diazotróficas endofíticas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 3, p. 1121-1128, 2008.

MARTINS, M.T.B. et al. Characterization of sugarcane (*Saccharum* spp.) leaf senescence: implications for biofuel production. **Biotechnol Biofuels** **9**, 153, 2016.

MATOSO, E. S. et al. Influência do uso de um mix de bactérias diazotróficas na biometria e no conteúdo de clorofila de plantas de cana-de-açúcar. **Brazilian Journal of Development**, **6**: 7261-7274, 2020.

MCNEAR JR, David H. The rhizosphere-roots, soil and everything in between. **Nature Education Knowledge**, v. 4, n. 3, p. 1, 2013.

MENDES, R.; AZEVEDO, J. L. Valor biotecnológico de fungos endofíticos isolados de plantas de interesse econômico. **Micologia: avanços no conhecimento. Sociedade Brasileira de Micologia, Recife, Brasil**, p. 129-140, 2007.

MORAIS, J. F. et al. Bioprospecção de microrganismos produtores de compostos bioativos com atividade antitumoral. **Revista UNINGÁ Review**, v. 17, n. 1, 2014.

NASCIMENTO, T. R. et al. Caracterização fenotípica de bactérias Diazotróficas Endofíticas isoladas da cana-de-açúcar cultivada em Juazeiro, BA. In: **Embrapa Semiárido-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: simpósio de mudanças climáticas e desertificação no semiárido brasileiro, 4., 2015, Petrolina. Experiências e oportunidades para o desenvolvimento. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2015.

NOCELLI, R. C. F. et al. Histórico da cana-de-açúcar no Brasil: contribuições e importância econômica. **Cana-de-açúcar e seus impactos: uma visão acadêmica**, p. 13, 2017.

O'DONNELL, K. et al. **Phylogenetic analyses of *RPB1* and *RPB2* support a middle Cretaceous origin for a clade comprising all agriculturally and medically important fusaria**, v. 52, p. 20-31, 2013.

OLIVARES, F.L., Busato, J.G., de Paula, A.M. et al. Plant growth promoting bacteria and humic substances: crop promotion and mechanisms of action. **Chem. Biol. Technol. Agric.** **4**, 30 (2017). <https://doi.org/10.1186/s40538-017-0112-x>

OLIVEIRA, A. L. M. et al. Processos e mecanismos envolvidos na influência de microrganismos sobre o crescimento vegetal. **Embrapa Agrobiologia-Documentos (INFOTECA-E)**, 2003.

OLIVER, R. **Interação entre bactérias diazotróficas e doses de n-fertilizante na cultura da cana-de-açúcar**. 2014. 61 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu, 2014.

PAWLIK, M., CANIA, B., THIJS, S. et al. Hydrocarbon degradation potential and plant growth-promoting activity of culturable endophytic bacteria of *Lotus corniculatus* and *Oenothera biennis* from a long-term polluted site. **Environ Sci Pollut Res** **24**, 19640–19652 (2017).

PEREIRA, M. N. et al. Efeito de óleos essenciais sobre o fungo *Thielaviopsis paradoxa*. **AMBIÊNCIA**, v. 14, n. 3, p. 513-521, 2018.

POLLI, A. et al. Aspectos da interação dos microrganismos endofíticos com plantas hospedeiras e sua aplicação no controle biológico de pragas na agricultura. **SaBios-Revista de Saúde e Biologia**, v. 7, n. 2, 2012.

PINHEIRO, A. C. F. et al. **Fatores bióticos de risco à incidência da fusariose do maracujazeiro e à sobrevivência do agente causal**. 2015. 87 f. Dissertação (mestrado) - Federal do Recôncavo da Bahia e Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2015).

PORTO, M. F. et al. Modelo de desenvolvimento, agrotóxicos e saúde: um panorama da realidade agrícola brasileira e propostas para uma agenda de pesquisa inovadora. **Revista brasileira de Saúde ocupacional**, v. 37, n. 125, p. 17-31, 2012.

RANGEL, C. de F. Uso de agrotóxicos e suas implicações na exposição ocupacional e contaminação ambiental. **Cad. saúde colet.,(Rio J.)**, 2011.

REIS, M. R. et al. Impacto do glyphosate associado a inseticida e fungicida na atividade microbiana e no potencial de solubilização de fosfato em solo cultivado com soja Roundup Ready®. **Planta daninha**, v. 27, n. 4, p. 729-737, 2009.

SILVA, D. R. C. et al. Potencial de bactérias isoladas do milho (*Zea mays*) para promoção do crescimento vegetal e colonização radicular. In: **Embrapa Milho e Sorgo-Resumo em anais de congresso (ALICE)**. In: simpósio de microbiologia da ufmg, 4., 2017, Belo Horizonte. Metabolismo microbiano: saúde, ambiente e biotecnologia: resumos. Belo Horizonte: UFMG, 2017. p. 112., 2017.

SILVA, C. M. M. de S.; FAY, E. F.; VIEIRA, R. F. Efeito dos fungicidas metalaxil e fenarimol na microbiota do solo. **Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, v. 15, 2005.

SANTOS, C. C. et al. Influência de *Trichoderma* spp. sobre o crescimento micelial de *Thielaviopsis paradoxa*. **Scientia Plena**, v. 8, n. 4 (b), 2012.

SANTOS, C. S. et al. Solubilização de fosfatos inorgânicos por bactérias endofíticas isoladas de maracujá amarelo (*Passiflora edulis* Sims f. *flavicarpa*). **Revista Craibeiras de Agroecologia**, v. 1, n. 1, 2018.

SARDI, P. et al. Isolation of endophytic *Streptomyces* strains from surface-sterilized roots. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 58, n. 8, p. 2691-2693, 1992.

SHIOMI, H. F. et al. Seleção de bactérias endofíticas com ação antagônica a fitopatógenos. **Scientia Agraria**, v. 9, n. 4, p. 535-538, 2008.

SILVA, F. M. et al. Os riscos no uso indiscriminado de agrotóxicos: uma visão bibliográfica. **Informativo Técnico do Semiárido**, v. 9, n. 1, p. 77-84, 2015.

SILVA, J. M. et al. Antagonismo de *thielaviopsis paradoxa* e *fusarium oxysporum* por fungos rizosféricos associados à cactáceas do semiárido alagoano e eficiência de duas técnicas de avaliação. **Global Science and Technology**, v. 12, n. 1, 2019.

SILVA, M. C. S. et al. Endophytic cultivable bacterial community obtained from the *Paullinia cupana* seed in Amazonas and Bahia regions and its antagonistic effects against *Colletotrichum gloeosporioides*. **Microbial pathogenesis**, v. 98, p. 16-22, 2016.

SIMONATO, J.; GRIGOLLI, J. F. J.; de OLIVEIRA, H. N. Controle biológico de insetos-praga na soja. **Embrapa Agropecuária Oeste-Capítulo em livro científico (ALICE)**, 2014.

SOUSA, I. M. et al. Bactérias promotoras do crescimento radicular em plântulas de cultivares de arroz irrigado por inundação. In: **Embrapa Arroz e Feijão-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: congresso brasileiro de arroz irrigado, 11., 2019. Balneário Camboriú, SC. Inovação e desenvolvimento na orizicultura: anais eletrônicos. Itajaí: Epagri: Sosbai, 2019.

SOUZA, R. et al. Plant growth-promoting bacteria as inoculants in agricultural soils. **Genet. Mol. Biol.**, Ribeirão Preto, v. 38, n. 4, p. 401- 419, 2015.

STONE, J.K. Fine structure of latent infections by *Rhabdocline parkeri* on Douglas-fir with observations on uninfected epidermal cells. **Canadian Journal of Botany**, v.66, p.45-54, 1988.

SZILAGYI-ZECCHIN, V. J. et al. Identification and characterization of endophytic bacteria from corn (*Zea mays* L.) roots with biotechnological potential in agriculture. **Amb Express**, v. 4, n. 1, p. 1-9, 2014.

TAMANHO, J. dos S. et al. Análise da variabilidade morfológica e genética do fungo *Thielaviopsis paradoxa*. In: **Embrapa Tabuleiros Costeiros-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: Seminário de iniciação científica e pós-graduação da embrapa tabuleiros costeiros, 4., 2014, Aracaju. Brasília, DF: Embrapa, 2014.

TEIXEIRA, J. R. B. et al. Intoxicações por agrotóxicos de uso agrícola em estados do Nordeste brasileiro, 1999-2009. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, v. 23, p. 497-508, 2014.

TOLOZA-MORENO, D.L. et al., Antagonist capacity of bacteria isolated from cape gooseberry cultures (*Physalis peruviana* L.) for biological control of *Fusarium oxysporum*. **Trop. plant pathol.** **45**, 1–12 (2020).

UZAN, J. **Podridão abacaxi da cana-de-açúcar: reação de variedades, controle químico e diversidade patogênica**. 2019. 72f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - universidade Federal de São Carlos, Araras, 2019.

VIEIRA, B. S. et al. Potencial antagonístico do isolado bacteriano (bsv-05) contra os patógenos radiculares do feijoeiro: *Fusarium solani* f. sp. *phaseoli*, *Fusarium*

oxysporum f. sp. phaseoli, *Macrophomina phaseolina* e *Rhizoctonia solani*. **Revista Ciência Agrícola**, v. 14, n. 1, p. 59-66, 2017.

VIEIRA, J. C. **Bactérias endofíticas de milho e seu potencial como promotoras de crescimento vegetal e agentes de controle biológico**. 2015. 147f. Dissertação (Mestrado em Microbiologia) - Universidade Federal de Minas Gerais, 2015.

WALKER, C. et al. Caracterização morfológica, molecular e patogenicidade de *Fusarium acuminatum* e *Fusarium verticillioides* a *Cordia americana*. **Ciênc. Florest.** Santa Maria, v. 26, n. 2, p. 463-473, June 2016.

WISMER, C. A. Pineapple disease. In: MARTIN, J. P.; ABBOTT, E. V.; HUGHES, C. G. Sugar cane diseases of the world. Amsterdam: **Elsevier Publishing Company**, 1961. v. 1, p. 223-235.