

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE MESTRADO**

**TYMIRIUM®: Sensibilidade de Isolados e Eficiência de Controle da Murcha
de Fusarium em Mudras de Bananeira**

Julia Piton Lopes

CRUZ DAS ALMAS – BA

ABRIL – 2025

TYMIRIUM®: Sensibilidade de Isolados e Eficiência de Controle da Murcha de Fusarium em Mudanças de Bananeira

Julia Piton Lopes

Bacharel em Engenharia Agrônômica, UFRB, 2022

Dissertação apresentada ao Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, como parte dos requisitos parciais para obtenção do Título de Mestre em Ciências Agrárias (Área de concentração: Agricultura Tropical).

Orientador: Dr. Fernando Haddad

Coorientador: Dr. Leandro de Souza Rocha


CRUZ DAS ALMAS – BA

ABRIL – 2025

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE MESTRADO**

**TYMIRIUM®: SENSIBILIDADE DE ISOLADOS E EFICIÊNCIA DE CONTROLE DA MURCHA
DE FUSARIUM EM MUDAS DE BANANEIRA**


Comissão Examinadora da Defesa de Dissertação de
Julia Piton Lopes

Documento assinado digitalmente
 **FERNANDO HADDAD**
Data: 30/06/2025 16:28:46-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. Dr. Fernando Haddad


Universidade Federal do Recôncavo da Bahia –
UFRB/Embrapa Mandioca e Fruticultura

Orientador

Documento assinado digitalmente
 **YURI CAIRES RAMOS**
Data: 30/06/2025 13:55:02-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Yuri Caires Ramos

Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Examinador Externo

Documento assinado digitalmente
 **CARLOS AUGUSTO DOREA BRAGANÇA**
Data: 27/06/2025 14:09:36-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Carlos Augusto Dórea Bragança
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Examinador Externo

**Ofereço a vovó Luzia,
Sei que dos céus, você está torcendo por mim.**

Agradecimentos

Então, cheguei ao fim de mais uma jornada na minha vida e me junto àqueles que dizem que o mestrado são dois anos de muita dificuldade e correria. Mas eu não conseguiria chegar até aqui sem a fé que tive em Jesus, Maria, meus Orixás e Guias, até porque, como diz a música, “se eu fosse só, já não estaria mais aqui”.

Agradeço à minha mãe Vera, que, nos momentos mais difíceis, ficou do meu lado, tentou me ajudar e me fez seguir em frente. À minha irmã Carolina e ao meu cunhado Leildo, pelo exemplo que me deram com suas jornadas acadêmicas. Ao meu primo e irmão Rodrigo que, com o seu jeito brincalhão, me fazia rir nos momentos de desespero. Agradeço à minha avó Luzia, que se despediu de nós em setembro do ano passado, mas que, em vida, nunca deixou de estar do meu lado e torcer por cada vitória. Sei que, dos céus, comemora por eu ter conseguido chegar até aqui. Eu amo muito a minha família, não seria nada sem as minhas três mulheres.

Agradeço ao meu orientador Fernando Haddad por ter confiado em mim essa atividade, pelos incentivos e orientações até em seus momentos de férias. Ao coorientador Leandro Rocha por ter me conduzido nos experimentos, sanado minhas dúvidas e me apoiado com os seus “você não confia em você, mas eu confio”. E a toda a equipe do laboratório de fitopatologia da Embrapa Mandioca e Fruticultura, principalmente a Emellinne, que se tornou uma grande amiga, Sinésio, João e Dominginhos.

Não posso deixar de agradecer as amizades: Diva e Kemelly, obrigada por estarem comigo desde o colégio. Elaine, te agradeço por ser tão presente na minha vida, por me apoiar e sempre querer o meu bem. E ao meu grupinho inseparável, Ana, Bia, Izis e Kamilla, gratidão pelos momentos de descontração e toda a ajuda que me deram. Gratidão por todos que contribuíram com o momento.

TYMIRIUM®: SENSIBILIDADE DE ISOLADOS E EFICIÊNCIA DE CONTROLE DA MURCHA DE FUSARIUM EM MUDAS DE BANANEIRA

RESUMO GERAL

A murcha de fusarium, causada pelo fungo *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (Foc), é uma das doenças mais destrutivas da bananicultura mundial. O patógeno invade o sistema vascular das plantas, bloqueando a condução de água e nutrientes, o que resulta em murcha, amarelecimento das folhas, e morte das plantas. O Foc é um fungo habitante de solo que se propaga por meio de esporos e pode persistir no ambiente por décadas, uma vez que forma estruturas de resistência, como os clamidósporos, que são altamente resistentes às condições adversas. Essa característica torna o controle da doença particularmente desafiador, uma vez que o fungo pode sobreviver por longos períodos no solo, mesmo na ausência de hospedeiros. O presente estudo teve como objetivo avaliar a eficácia do ciclobutrifluram (Tymirum®), um fungicida em investigação como alternativa promissora para o manejo da murcha de fusarium na bananeira. No experimento *in vitro*, diferentes concentrações de Tymirum® (0,01 ppm, 0,1 ppm, 1 ppm, 10 ppm e 100 ppm) foram testadas para avaliar sua capacidade de inibir o crescimento micelial de 39 cepas de Foc. Os resultados demonstraram que concentrações mais elevadas de Tymirum® (acima de 1 ppm) foram mais eficazes na inibição do crescimento do fungo, sendo que as concentrações de 10 ppm e 100 ppm se destacaram por promoverem uma inibição quase total, com destaque para as concentrações de 10 ppm e 100 ppm, que apresentaram inibição quase total. No experimento *in vivo*, realizado em casa de vegetação, o TYMIRIUM® foi testado em mudas de banana cultivar 'Prata' inoculadas com Foc, com diferentes doses (150 ml/ha e 200 ml/ha) aplicadas antes e após o plantio. Os resultados mostraram que a aplicação de 200 ml/ha após o plantio foi a mais eficaz, resultando em uma redução quase completa dos sintomas da doença, tanto externos (amarelecimento das folhas) quanto internos (descoloração do câmbio vascular), quando comparado ao controle. O TYMIRIUM® demonstrou ser uma alternativa promissora para integrar o manejo da murcha de fusarium, mostrando-se eficaz na proteção das plantas, porém estudos e testes em campo se fazem necessário para, de maneira segura adir o produto ao manejo integrado da doença.

Palavras-chave: Banana, Manejo Integrado, *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*

TYMIRIUM®: SENSITIVITY OF ISOLATES AND CONTROL EFFICIENCY OF FUSARIUM WILT IN BANANA SEEDLINGS

GENERAL ABSTRACT

Fusarium wilt, caused by the fungus *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (Foc), is one of the most devastating diseases in global banana production. The pathogen invades the vascular system of plants, obstructing water and nutrient transport, which leads to wilting, leaf yellowing, and ultimately plant death. Foc is a soil-dwelling fungus that spreads through spores and can persist in the environment for decades, owing to its production of resistant structures, such as chlamydospores, which are highly resistant to adverse conditions. This characteristic makes disease control particularly challenging, as the fungus can survive for extended periods in the soil, even in the absence of host plants. This study aimed to evaluate the efficacy of cyclobutrifluram (Tymirium®), a fungicide under investigation as a promising alternative for managing Fusarium wilt in banana crops. In an in vitro experiment, different concentrations of Tymirium® (0.01 ppm, 0.1 ppm, 1 ppm, 10 ppm, and 100 ppm) were tested to assess their ability to inhibit mycelial growth of 39 Foc strains. The results demonstrated that higher concentrations of Tymirium® (above 1 ppm) were more effective at inhibiting fungal growth, with concentrations of 10 ppm and 100 ppm achieving nearly complete inhibition. In the in vivo experiment conducted in a greenhouse, cyclobutrifluram was tested on banana seedlings of the 'Prata' cultivar inoculated with Foc, using different doses (150 ml/ha and 200 ml/ha) applied before and after planting. The results showed that the application of 200 ml/ha after planting was the most effective, resulting in almost complete reduction of disease symptoms, both external (leaf yellowing) and internal (vascular cambium discoloration), when compared to the control. Cyclobutrifluram has demonstrated itself to be a promising alternative for integrating into Fusarium wilt management, proving effective in protecting plants. However, field studies and testing are necessary to ensure the safe incorporation of this product into integrated disease management strategies.

Keywords: Banana, Integrated Management, *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*.

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1.

Tabela 1. Identificação das cepas de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (Foc), armazenadas na micoteca do Laboratório de Fitopatologia da Embrapa Mandioca e Fruticultura.....31

Tabela 2. Na tabela é possível encontrar os códigos de identificação utilizado para identifica as cepas na micóteca do Laboratório de Fitopatologia da Embrapa Mandioca e Fruticultura, e as respectivas DL50 e DL90.....35

CAPÍTULO 2.

Tabela 1. Tratamentos avaliados no experimento *in vivo* de aplicação do Tymirium.....46

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

Figura 1. Porcentagem de inibição do crescimento micelial de 39 cepas de Foc na presença de 5 concentrações de Tymirium® (0,01 ppm, 0,1 ppm, 1 ppm, 10 ppm e 100 ppm). Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas, BA, 2024.....34

Figura 2. Distribuição percentual dos isolados nas diferentes faixas de DL50 (Dose Letal 50%) em ppm. Cada fatia da pizza representa a porcentagem de isolados que se encaixam em uma faixa específica de DL50, com as faixas variando de 0,01–0,10 ppm até 0,81–0,90 ppm. Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas, BA, 2024.....36

Figura 3. O gráfico de pizza a seguir mostra a distribuição percentual dos isolados nas diferentes faixas de DL90 (Dose Letal 90%) em ppm. As fatias da pizza representam a porcentagem de isolados que se enquadram em cada faixa de DL90, variando de 0,01–1,00 ppm. Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas, BA, 2024.....37

CAPÍTULO 2

Figura 1. Índice de Intensidade dos Sintomas Externa e Internos nos diferentes tratamentos com Tymirium® e controle. Os valores foram calculados de acordo com a fórmula de McKinney, sua média foram comparadas pelo Teste de Tukey, letras diferentes representam diferenças entre as médias ao nível de 5% de propabilidade, onde as letras maiúsculas represeta o Índice de Intensidade dos Sintomas Externa e a minúscula o Índice de Intensidade dos Sintomas Internos . Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas, BA, 2024.....48

Figura 2. Gráfico que apresenta Eficiência de Regressão dos Sintomas Externa e Internos nos diferentes tratamentos avaliados. média foram comparadas pelo Teste de Tukey, letras diferentes representam diferenças entre as médias ao nível de 5% de propabilidade, onde as letras maiúsculas represeta o Eficiência de Regressão dos Sintomas Externa o Eficiência de Regressão dos Sintomas Internos. Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas, BA, 2024.....49

Figura 3. Imagens representada a aparência interna e externa das plantas de cada tratamento. Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas, BA, 2024.....50

SUMÁRIO

1.0 INTRODUÇÃO GERAL.....	14
2.0 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
2.1 Banana.....	15
2.1.1 Exigências Edafoclimáticas Para o Plantio.....	16
2.1.2 Banana ‘Prata-Anã’.....	16
2.1.3 Problemas Fitopatológicos	17
2.2 Murcha de fusarium.....	17
2.2.1 Raças	17
2.2.2 Ciclo Da Doença e Condições Edafoclimáticas Para Seu Desenvolvimento.....	18
2.2.3 Sintomatologia.....	20
2.3 Tymirium®.....	21
3.0 REFERÊNCIAS.....	23
CAPÍTULO 1 – Potencial de inibição do TYMIRIUM® sobre isolados de <i>Fusarium oxysporum f. sp. cubense</i>.....	28
RESUMO.....	28
ABSTRACT.....	29
1.0 INTRODUÇÃO.....	30
2.0 MATERIAL E MÉTODOS.....	31
2.1 Teste <i>in vitro</i>.....	31
2.1.1 Reativação das Cepas de <i>Fusarium oxysporum f. sp. cubense</i>	31
2.1.2. Preparo dos Meios.....	32
2.1.3 Potencial de inibição do ciclobutrifluram (Tymirium®) sobre os 39 isolados de <i>Fusarium oxysporum f. sp. cubense</i>	32
3.0 RESULTADOS.....	33
4.0 DISCUSSÃO.....	37
5.0 CONCLUSÕES.....	40
6.0 REFERÊNCIAS.....	41
CAPÍTULO 2 – Ação fungicida de TYMIRIUM® sobre o patossistema da bananeira ‘Prata Anã’ e <i>Fusarium oxysporum</i> em casa de vegetação.....	43
RESUMO.....	43
ABSTRACT.....	44
1.0 INTRODUÇÃO.....	45
2.0 MATERIAL E MÉTODOS.....	46
2.1 Local e Desenvolvimento.....	46
2.1.1 Preparo do inóculo e inoculação.....	46
2.1.2 Avaliações e Análises Estatística.....	47
3.0 RESULTADOS.....	48
4.0 DISCUSSÃO.....	50
5.0 CONCLUSÕES.....	51
6.0 REFERÊNCIAS.....	53

1.0 INTRODUÇÃO GERAL

A banana (*Musa* spp.) é uma das principais culturas frutíferas dos trópicos e subtropicais e faz uma contribuição vital para as economias de muitos países (Omolola, Jideani e Kapila, 2015). A FAO (2023) estimou que a sua produção mundial no ano de 2022 chegou a 135.112.326,37 toneladas, onde o Brasil, segundo IBGE (2023), teve a totalidade de 6.854.222 toneladas.

Mesmo com grande importância econômica, sendo considerada uma das frutas mais comercializadas do mundo (Voora, Larrea e Bermudez, 2020), a produção global de banana é cada vez mais limitada por diversas pragas e doenças, sendo a Murcha de fusarium a mais significativa (Siamak; Zheng, 2018).

A murcha de Fusarium é uma das doenças de solo de maior impacto econômico, representando uma séria ameaça ao crescimento e à produtividade de diversas culturas. Na bananicultura, é causada pelo fungo *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (Foc). Atualmente, o manejo da doença baseia-se principalmente na prevenção da introdução do patógeno em áreas e no uso de variedades resistentes (López-Zapata e Castaño-Zapata, 2019). Além dessas estratégias, a aplicação de microrganismos benéficos tem sido explorada como uma alternativa promissora para a supressão da doença (Xue et al., 2015).

Reconhecendo a necessidade de alternativas para o manejo da Murcha de Fusarium, a Syngenta lançou a tecnologia Tymirium®, um produto desenvolvido para proporcionar proteção duradoura contra nematoides, parasitas de plantas altamente destrutivos, e doenças transmitidas pelo solo, especialmente as causadas por espécies de *Fusarium* (Syngenta, [s.d.]). Com o objetivo de fortalecer as estratégias do manejo integrado da doença, este estudo busca avaliar a eficácia dessa nova tecnologia, gerando resultados que possam contribuir para a atualização e aprimoramento das práticas de manejo integrado da Murcha de Fusarium.

2.0 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Banana

Pertencente à família da Musaceae, a banana (*Musa* spp.) originou-se de cruzamentos interespecíficos entre *M. acuminata* Colla (genoma A) e *M. Balbisiana* Colla (genoma B). A banana (*Musa* spp.) apresenta cerca de 30 espécies conhecidas do gênero *Musa* e mais de 700 variedades (Asmar et al., 2023; Silva et al., 2013). Originária do Sudeste Asiático e no Oeste do Pacífico, foi 1500 o ano da sua introdução no Brasil e em 1820 a bananicultura se tornou uma atividade agrícola, onde hoje o seu produto, de forma *in natura*, é a fruta mais consumida no país (Embrapa, [s.d.]). Atualmente, o Brasil é o quarto maior produtor mundial de bananas, com uma produção de 6.811.000 toneladas, ficando atrás da Índia (33.062.000 t), da China (11.724.000 t) e da Indonésia (8.741.000 t) (FAO, [s.d.]).

A bananeira é de fácil identificação devido ao seu caule subterrâneo, do tipo rizoma, e ao pseudocaule, que lhe confere a aparência de uma árvore.

Quando em produção, suas brácteas são grandes, medindo 15-20 cm de comprimento, com seu formato ovalado e coloração vermelho-escuro, atuando na proteção do desenvolvimento das flores que originam o fruto, formando o cacho (Imam; Akter, 2011; Ajijolakewu et al, 2021). Seus frutos partenocárpicos são bagas alongadas e triloculares, a depender da variedade seus frutos podem sofrer variação de número de frutos por cacho, formato de fruto e tamanho (Dantas; Dantas; Alves,1999). Com comportamento climatérico, seus frutos passam por diversas mudanças no processo de maturação (saindo do estágio 1 – casca totalmente verde, para o estágio 6 – casca totalmente amarela e pronta para consumo) sendo eles: aumento de taxa respiratória, aumento na produção de etileno, aumento na concentração de açúcares, solubilização das substâncias pécticas, degradação de pigmentos, aumento na concentração de fenólicos e ácidos, produção de voláteis, variações nos teores de enzimas, vitaminas, minerais e mudanças na permeabilidade dos tecidos(Chitarra e Chitarra, 1984).

Com uma enorme variedade de uso, podendo ser consumida verde ou madura, crua ou processada, banana é amplamente consumida e reconhecida por suas propriedades culturais medicinais e nutricionais. Considerada uma fruta completa, ela contém vitaminas (A, B e C), minerais (Ca, K e Fe), apresenta baixo teor calórico (90

a 120 Kcal/100 g) e de gordura (0,37 a 0,48 g/100 g), além de possuir 70% de água em sua composição e fornecer 8% do valor diário recomendado de potássio para um adulto saudável (Ranjha, 2022; Trindade, 2004).

2.1.1. Exigências Edafoclimáticas Para o Plantio

Atualmente, a banana é cultivada em uma extensa área dos trópicos e subtropicais (Ferreira et al., 2015). No Brasil, as condições climáticas permitem que seja cultivada em todos os estados, durante todo o ano (Pereira et al., 2019). De modo geral, a bananicultura pode ser desenvolvida em diversos tipos de solo, sendo ideal uma faixa de temperatura entre 15 °C e 35 °C e uma precipitação mensal variando de 100 mm a 180 mm. A cultura exige alta luminosidade, que contribui para a redução do tempo de colheita dos cachos; no entanto, níveis excessivos de radiação solar podem causar queimaduras nas folhas e frutos. A velocidade do vento deve ser inferior a 40 km/h, enquanto a umidade relativa do ar (UR) acima de 80% favorece o desenvolvimento da bananeira. No entanto, essa alta umidade também pode estimular o surgimento de doenças, o que representa uma preocupação para os produtores (Borges e Souza, 2021; Silva et al., 1999).

2.1.2. Variedades ‘Prata-Anã’

Fruto de uma parceria entre a Embrapa e outra(s) instituição(ões), a ‘Prata – Anã’ foi originada por mutação natural ocorrida em Santa Catarina na década de 1980, e oficialmente lançada cinco anos depois, (Embrapa, [s.d.]). Destacando-se entre as principais cultivares de banana, por apresentar frutos semelhantes à cultivar Prata em forma, tamanho, sabor e resistência ao transporte, com boa vida útil e ótima aceitabilidade comercial, além de algumas vantagens sobre a Prata, como menor altura da planta e maior produtividade. Sendo então uma variedade suscetível a murcha vascular causada pelo fungo *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*, conhecida também como Mal-do-Panamá, doença que pode dizimar até 100% da produção de uma variedade suscetível (Embrapa, [s.d.]).

2.1.3 Problemas Fitopatológicos

Os problemas fitossanitários estão entre os principais fatores que impactam a produção de alimentos, causando uma significativa redução na produtividade, tanto em termos físicos quanto econômicos. Em determinados cenários, esses problemas

podem até mesmo comprometer a viabilidade da atividade agrícola (Adabe et al., 2021). As doenças fúngicas constituem os principais problemas fitopatológicos da bananicultura, afetando todo o ciclo vegetativo e produtivo da planta e comprometendo diferentes partes de sua estrutura. (raiz, pseudocaule, folha e fruto) (Cordeiro; De Matos, 2000).

O presente trabalho tem como foco a murcha vascular, conhecida como Murcha de Fusarium, uma das doenças mais destrutivas e de maior relevância para a cultura da bananeira (Ploetz et al., 2015).

2.2. Murcha do fusarium

Anteriormente conhecida como Mal do Panamá, a Murcha de fusarium foi descrita pela primeira vez na Austrália em 1874. Sua etiologia está associada ao fungo de solo *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (Foc) (FERNANDES et al., 2006). Em 1890, uma epidemia de murcha com etiologia desconhecida afetou as plantações de banana da variedade 'Gros Michel' no Panamá, levando à nomenclatura "Mal-do-Panamá". Mais tarde, a disseminação da murcha da bananeira estendeu-se para a Costa Rica. O agente patogênico responsável por essa enfermidade foi identificado em 1910 a partir de uma amostra de origem cubana (Stover et al., 1962; Ploetz et al., 1994).

2.2.1. Raças

O fungo é dividido em três raças que acometem a bananicultura causando reais prejuízos com base em sua gama de hospedeiros e virulência: Raça 1 (R1), Raça 2 (R2) e Raça 4 (R4), com distinção adicional em vários Grupos de Compatibilidade Vegetativa (VCG) dentro de cada raça. A Raça 1 foi responsável pela epidemia da Murcha de Fusarium, que dizimou a cultivar 'Gros Michel', altamente suscetível à doença. Embora variedades do subgrupo Cavendish sejam resistentes a essa raça, outras cultivares, como 'Maçã' e 'Prata', ainda são suscetíveis. A R2 afeta principalmente a bananeira *Bluggoe* (subgrupo ABB), uma cultivar de banana usada para cozimento. Essa raça tem menor impacto comercial em relação à Raça 1 e Raça 4. A R4, mais agressiva e preocupante, pois infecta tanto cultivares suscetíveis à Raça 1 e 2 quanto as do subgrupo Cavendish, que antes eram resistentes (Dita et al., 2018; Li et al., 2011; Ploetz, 2006; Stover 1986; Waite, 1963). A raça tropical 4 é responsável

pela devastação de cultivos de banana e pela geração de condições inadequadas de solo em quase todos os continentes, estando presente na Ásia, África, Indonésia e América do Sul (Ploetz et al., 2015; Dita et al., 2018; García-Bastidas et al., 2020; Rocha et al., 2021; Rocha et al., 2022) Por outro lado, a raça subtropical 4 (ST4) é caracterizada por induzir sintomas em cultivares Cavendish em regiões subtropicais quando existem fatores de estresse ambiental, como extremos de temperatura ou déficits hídricos (Maryani et al., 2019; Mostert et al., 2017; Rocha et al., 2022)

2.2.2. Ciclo Da Doença e Condições Edafoclimáticas Para Seu Desenvolvimento

O *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*, fungo que compõe a comunidade de microorganismos presentes no solo, apresenta sua reprodução estritamente assexuada, produzindo clamidósporos como principais estruturas de sobrevivência (López-Zapata; Castaño-Zapata, 2019). O patógeno é considerado hemibiotrófico, pois a infecção inicial ocorre de forma biotrófica, estabelecendo uma relação de parasitismo com o hospedeiro. No entanto, à medida que a infecção progride, transita para uma fase necrotrófica, na qual o tecido do hospedeiro é morto. Isso permite que múltiplos ciclos de infecção se repitam em uma plantação de banana onde o *Foc* está presente (Dita et al., 2018; Ploetz, 2019; Ploetz, 2015).

O controle desse patógeno é bastante difícil devido à sua elevada capacidade de persistência no ambiente. Ele forma estruturas de resistência chamadas clamidósporos, que podem permanecer viáveis no solo por décadas. Além disso, o fungo pode crescer como hifas em restos orgânicos e sobreviver de forma assintomática, como endófito, em plantas não hospedeiras (Hennessy et al., 2005). Seus clamidósporos são estimulados a germinar na presença de nutrientes liberados pelas raízes de bananeiras ou de outras plantas, bem como pelo contato com resíduos vegetais não colonizados (Dita et al., 2018)

O ciclo da murcha de *Fusarium* se inicia com a germinação dos esporos no solo, que aderem às coifas das raízes da bananeira e iniciam o processo de colonização. O *Foc* invade as células epidérmicas das raízes rompendo a parede celular ou penetrando em feridas ou locais danificados (Adhikary et al., 2024).

Uma vez dentro do sistema radicular, as hifas penetram intracelularmente e intercelularmente, progredindo para invadir o tecido do córtex e passar pela endoderme. Chegando aos vasos dos xilemas, movem-se de forma acropetal através

seiva (Adhikary et al., 2024; Ploetz, 2015; Yadete e Thomma, 2013). A planta hospedeira murcha devido ao intenso crescimento micelial e à esporulação nos vasos do xilema, o que reduz a absorção de água. A infecção desencadeia uma resposta de defesa do hospedeiro, envolvendo a produção de géis, tilos e lignificação, que leva a oclusão dos vasos (Ploetz, 2015).

A restrição ao movimento da água resulta na redução da transpiração e na manifestação dos sintomas externos. Um dos primeiros sinais da infecção é o surgimento de uma faixa tênue de coloração amarelo-pálida na base do pecíolo das folhas mais velhas, seguido por clorose foliar que progride das folhas inferiores para as superiores, murcha e divisão longitudinal da base foliar (Ploetz, 2015).

Além disso, fitotoxinas fortes, como ácido fusárico, liberadas por *Foc* durante a colonização, exacerbam a morte das células da planta (Laluk e Mengistea, 2010). As bananeiras liberam H_2O_2 e enzimas protetoras como catalase, superóxido dismutase, peroxidases e polifenol oxidases em resposta à infecção por *Foc* (Thakker et al., 2013). Ao degradar tecidos mortos da planta, como folhas, pseudocaules e raízes, o fungo continua a sobreviver no solo de forma saprofítica. Nesse processo, ele produz uma grande quantidade de esporos em estado de repouso, que são assimilados pela microbiota do solo (Adhikary et al., 2024).

Como estratégia de sobrevivência, o fungo forma clamidósporos, que representam o principal conídio de resistência do patógeno. Eles são produzidos em plantas mortas e doentes e são liberados nos solos após a sua decomposição, permanecendo dormentes nos restos de tecido em decomposição do hospedeiro até serem estimulados a germinar por exsudatos das raízes das bananeiras, hospedeiros alternativos ou restos culturais (Ploetz, 2015).

Durante o seu ciclo, a disseminação pode ser dada de forma ativa e passiva. A disseminação ativa ocorre a partir de uma infecção já existente na área. O fungo permanece presente nas raízes das plantas infectadas e, à medida que a bananeira morre, essas raízes apodrecem, liberando esporos no solo. As raízes de plantas saudáveis, ao crescerem, entram em contato com esses esporos, o que leva ao surgimento de novas infecções. A dispersão passiva ocorre quando o inóculo é transportado para áreas livres por diferentes meios, incluindo o movimento do patógeno pela água, o transporte de solo aderido a roupas, veículos, máquinas e

ferramentas, além da disseminação por meio de material de plantio contaminado e insetos (Ploetz, 2015). Segundo Guillén Sánchez et al. (2023), o *Cosmopolites sordidus*, conhecido popularmente como moleque da bananeira ou gorgulho-da-bananeira, é mais atraído por pseudocaulos contaminados com *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (Foc) do que por aqueles sadios. Esse inseto atua como vetor da doença, pois pode transportar propágulos do patógeno, desempenhando um papel importante na disseminação da murcha de Fusarium nas plantações de banana.

Além do moleque da bananeira, os nematoides também contribuem para o agravamento da doença, especialmente nas regiões irrigadas do Brasil. Dentre eles, os do gênero *Meloidogyne* são os mais relevantes (Cofcewicz et al., 2004). Em estudo conduzido por Rocha et al. (2018), observou-se que a presença simultânea de *Meloidogyne javanica* e Foc aumenta significativamente a severidade da murcha de Fusarium.

Os fatores ambientais também influenciam fortemente a interação entre o hospedeiro e o patógeno. Temperatura, períodos prolongados de umidade ou seca, má drenagem, baixa aeração e condições físico-químicas inadequadas do solo são fatores que favorecem o desenvolvimento da doença (Brake et al., 1995; Pegg et al., 2019).

Um dos principais agravantes é o manejo inadequado da irrigação. A inundação do solo pode causar hipóxia (redução de oxigênio) ou anoxia (ausência total de oxigênio) nas raízes da bananeira, tornando-as mais suscetíveis à infecção. Por outro lado, solos bem drenados e arejados ajudam a reduzir a incidência da doença, pois favorecem a atividade microbiana benéfica e o desenvolvimento saudável das raízes (Aguilar, Turner e Sivasithamparam, 2000; Stover e Simmonds, 1987).

2.2.3. Sintomatologia

O sintoma característico da murcha de Fusarium em bananeiras é a clorose, que se manifesta inicialmente pelo amarelecimento das folhas mais velhas, geralmente começando pelas margens e avançando em direção ao centro da lâmina foliar. Independentemente da variedade, dois sintomas consistentes da doença são a progressão dos sintomas das folhas velhas para as mais novas, além da curvatura e queda dos pecíolos nas folhas afetadas. Outro sintoma externo comum da murcha de Fusarium é a formação de rachaduras no pseudocaulo (Adhikary et al., 2024; Pegg et al., 2019; Ploetz, 2015).

Embora os sintomas externos, como o amarelecimento e a murcha das folhas, sejam evidentes, é crucial não se basear exclusivamente nesses indicadores para o diagnóstico. A murcha de *Fusarium* também provoca alterações internas específicas no pseudocaule e no rizoma, independentemente da variedade de banana afetada. O corte longitudinal de pseudocaulos comprometidos revela lesões de coloração marrom-avermelhada nas bases das folhas. Essas lesões se expandem ao longo do tecido vascular, e a divisão longitudinal do pseudocaule permite observar claramente seu desenvolvimento. Nas infecções iniciais, as lesões apresentam uma descoloração amarela-clara a avermelhada, restrita aos vasos do xilema, criando um ambiente favorável para o isolamento de Foc, processo para obtenção do fungo a partir de tecidos infectados. Com o tempo, as lesões aumentam de tamanho e escurecem, podendo ser co-colonizadas por contaminantes secundários (Adhikary *et al.*, 2024; Ploetz, 2015).

2.3. Tymirium®

Um sistema de manejo integrado da murcha de fusarium consiste na utilização de combinações entre métodos de controle biológico, genético e práticas culturais, que, de forma integrada, levam à diminuição do patógeno no solo e à redução dos danos à cultura. Em pesquisa, Lichtemberg e Lichtemberg (2011) constataram que houve pouco progresso no controle desta doença, a menos que se considere o desenvolvimento de novas variedades de plantas resistentes à enfermidade.

De acordo com informações do MAPA (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento), atualmente existem apenas três produtos aprovados para o manejo da murcha de *Fusarium*. O Mertec e o Tecto SC compartilham o mesmo ingrediente ativo, o tiabendazol (que pertence ao grupo químico dos benzimidazóis), enquanto o Timorex Gold é composto por extrato de folhas de *Melaleuca alternifolia*, que contém terpenos. Os tiabendazóis, ingrediente ativo dos dois únicos produtos químicos liberado para o manejo da doença, vem apresentando resultado nada satisfatórios, como mostrado no trabalho feito por Cannon *et al.*, (2022), o que gera uma necessidade do mercado por novos produtos.

Visando a lacuna existente de produtos químicos para o controle da murcha de fusarium, a Syngenta (2023), desenvolveu o Tymirium®, produto que segundo a empresa, oferece proteção de longa duração contra nematoides e doenças causadas por patógenos presentes no solo, com foco especial nas espécies de *Fusarium*. As principais vantagens dessa tecnologia incluem sua capacidade de preservar as raízes

das plantas contra infecções, bem como de se translocar para partes acima do solo, proporcionando proteção contra doenças no início do desenvolvimento vegetativo.

A tecnologia Tymirium® (TYMIRIUM®) é um nematicida de solo do grupo N-3 do IRAC recentemente desenvolvido para aplicação em sementes e solo (IRAC Grupo N-3: Inibidores do transporte de elétrons do complexo II mitocondrial. Succinato-coenzima Q redutase) (FRAC, 2024) e fungicida (FRAC Classe 7: Complexo II, inibidor da succinato desidrogenase (SDHI)) (FRAC, 2024). Classificado no grupo químico das Fenetilarilamida, o Tymirium®, é um nematicida baseado em carboxamida de ciclobutil, desenvolvido para agir sobre fitonematoides. O desenvolvimento de Tymirium® começou com a identificação de um composto acilaminocetona, por meio de triagens fenotípicas, que demonstrou atividade biológica significativa contra nematoides. Esse composto foi então otimizado para inibir a succinato desidrogenase (SDHI), uma enzima chave na cadeia de respiração mitocondrial. Através de técnicas de docking molecular e modificações estruturais, os pesquisadores desenvolveram o ciclobutriflurano, um composto da classe fenetil piridinaamida. Ele oferece uma solução eficaz tanto para aplicações em sementes quanto no solo, controlando com potência uma variedade de nematoides parasitas das plantas e doenças, como os nematoides de galhas e *Fusarium* (Maienfisch e Koerber, 2024).

3.0 REFERÊNCIAS

ABADE, A.; FERREIRA, P. A.; DE BARROS VIDAL, F. Plant diseases recognition on images using convolutional neural networks: A systematic review. **Computers and electronics in agriculture**, v. 185, n. 106125, p. 106125, 2021.

ADHIKARY, Shanta et al. Fusarium wilt of banana: challenges and resilience. **OnLine J Biol Sci**, v. 24, n. 4, p. 678-694, 2024.

AGUILAR, E. A.; TURNER, D. W.; SIVASITHAMPARAM, K. *Fusarium oxysporum* f. sp. *ubense* inoculation and hypoxia alter peroxidase and phenylalanine ammonia lyase activities in nodal roots of banana cultivars (*Musa* sp.) differing in their susceptibility to Fusarium wilt. **Australian journal of botany**, v. 48, n. 5, p. 589, 2000.

AJIJOLAKEWU, K. A. et al. A review of the ethnomedicinal, antimicrobial, and phytochemical properties of *Musa paradisiaca* (plantain). **Bulletin of the National Research Centre**, v. 45, n. 1, 2021.

ASMAR, S. A. et al. Changes in leaf anatomy and photosynthesis of micropropagated banana plantlets under different silicon sources. **Scientia horticulturae**, v. 161, p. 328–332, 2013.

BAI, T.-T. et al. Transcriptome and expression profile analysis of highly resistant and susceptible banana roots challenged with *Fusarium oxysporum* f. sp. *ubense* tropical race 4. **PLoS one**, v. 8, n. 9, p. e73945, 2013.

BANCROFT, J. Report of the Board Appointed to Enquire into the Cause of Disease Affecting Livestock and Plants. **Votes and Proceedings**, v. 3, p. 1011–1038, 1876.

BORGES, A. L.; DA SILVA SOUZA, L. Calagem e adubação para a bananeira. Em: BORGES, A. L. (Ed.). **Recomendações de calagem e adubação para abacaxi, acerola, banana, citros, mamão, mandioca, manga e maracujá**. Brasília: Embrapa, 2021. p. 139–164.

BRAKE, V. M. et al. The influence of temperature, inoculum level and race of *Fusarium oxysporum* f.sp. *ubense* on the disease reaction of banana cv. Cavendish. **Australian journal of agricultural research**, v. 46, n. 3, p. 673, 1995.

CANNON, S.; KAY, W.; KILARU, S.; SCHUSTER, M.; GURR, S. J.; STEINBERG, G. Multi-site fungicides suppress banana Panama disease, caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *ubense* Tropical Race 4. **PLoS Pathogens**, v. 18, n. 10, 1 out. 2022.

CHITARRA, D. R.; CHITARRA, M. I. F. **Manejo Pos-Colheita E Amadurecimento Comercial De Banana**. p. 761–771, 1984.

CORDEIRO, Z. J. M.; DE MATOS, A. P. Doenças Fúngicas e Bacterianas. Em: CORDEIRO, Z. J. M. (Ed.). **Banana Fitossanidade**. Brasília: Embrapa, 2000. p. 36–

65.

COFCEWICZ, E. T. et al. Reação de cultivares de bananeira a diferentes espécies de nematóides das galhas. **Nematologia Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 1, p. 11-22, 2004.

DANTAS, A. C. V.; DANTAS, J. L. L.; ALVES, É. J. Estrutura da Planta. Em: ALVES, É. J. (Ed.). **A Cultura da Banana**. Brasília: Embrapa, 1999.

DITA, M. *et al.* Fusarium wilt of banana: Current knowledge on epidemiology and research needs toward sustainable disease management. **Frontiers in plant science**, v. 9, p. 1468, 2018.

Embrapa. **Banana - Portal Embrapa**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/mandioca-e-fruticultura/cultivos/banana>>. Acesso em: 15 abr. 2024.

Embrapa. **Banana Prata-Anã - Portal Embrapa**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/7409/banana-prata-ana>>. Acesso em: 15 abr. 2024.

FAN, H. et al. Pectin methylesterases contribute the pathogenic differences between races 1 and 4 of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*. **Scientific reports**, v. 7, n. 1, 2017.

FAO. **Banana market review 2022**. Disponível em: <<https://www.fao.org/3/cc3421en/cc3421en.pdf>>. Acesso em: 15 abr. 2024.

FAOSTAT. Disponível em: <<https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>>. Acesso em: 15 abr. 2024

FERREIRA, C. F. ET AL. **O agronegócio da banana**. Brasília: Embrapa, 2015.

FRAC. **FRAC Code List© 2024: Fungal control agents sorted by cross-resistance pattern and mode of action**. Disponível em: <<https://www.frac.info/docs/default-source/publications/frac-code-list/frac-code-list-2024.pdf>>. Acesso em: 27 jan. 2025.

GARCÍA-BASTIDAS, F. A. et al. First report of Fusarium wilt tropical race 4 in Cavendish bananas caused by *Fusarium odoratissimum* in Colombia. **Plant disease**, v. 104, n. 3, p. 994–994, 2020.

GUILLÉN SÁNCHEZ, C. et al. Preference of *Cosmopolites sordidus* for fusarium wilt-diseased banana plants. **Zeitschrift für angewandte Entomologie [Journal of applied entomology]**, v. 147, n. 2, p. 140–146, 2023.

HENNESSY, C. et al. Weed hosts of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* tropical race 4 in northern Australia. **Australasian plant pathology: APP**, v. 34, n. 1, p. 115, 2005.

IMAM, M. Z.; AKTER, S. *Musa paradisiaca* L. and *Musa sapientum* L.: A phytochemical and pharmacological review. **Journal of Applied Pharmaceutical Science**, p. 14–20, 2011.

LALUK, K.; MENGISTE, T. Necrotroph attacks on plants: wanton destruction or covert extortion? **The Arabidopsis book**, v. 8, p. e0136, 2010.

LI, C. et al. The use of GFP-transformed isolates to study infection of banana with *Fusarium oxysporum* f. sp. *ubense* race 4. **European journal of plant pathology**, v. 131, n. 2, p. 327–340, 2011.

LICHTEMBERG, L. A.; LICHTEMBERG, P. DOS S. F. Avanços na bananicultura brasileira. **Revista brasileira de fruticultura**, v. 33, n. spe1, p. 29–36, 2011.

LÓPEZ-ZAPATA, S. P.; CASTAÑO-ZAPATA, J. Integrated management of Panama disease [*Fusarium oxysporum* Schlechtend.: Fr. f. sp. *ubense* (E.F. SM.) W.C. Snyder & H.N. Hansen]: A review. **Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgacion Científica**, v. 22, 2019.

MAIENFISCH, P.; KOERBER, K. Recent innovations in crop protection research. **Pest Management Science**, 30 set. 2024.

MAPA. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Disponível em: <https://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons>. Acesso em: 27 jan. 2024.

MARYANI, N. et al. Phylogeny and genetic diversity of the banana *Fusarium* wilt pathogen *Fusarium oxysporum* f. sp. *ubense* in the Indonesian centre of origin. **Studies in mycology**, v. 92, p. 155–194, 2019.

MEJÍAS HERRERA, R. et al. First Report of *Fusarium* Wilt of Cavendish Bananas Caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *ubense* Tropical Race 4 in Venezuela. **Plant disease**, v. 107, n. 10, p. 3297, 2023.

MOSTERT, D. et al. The distribution and host range of the banana *Fusarium* wilt fungus, *Fusarium oxysporum* f. sp. *ubense*, in Asia. **PloS one**, v. 12, n. 7, 2017.

NIU, Y. et al. Comparative digital gene expression analysis of tissue-cultured plantlets of highly resistant and susceptible banana cultivars in response to *Fusarium oxysporum*. **International journal of molecular sciences**, v. 19, n. 2, 2018.

NIWAS, R.; CHAND, G.; NATH GUPTA, R. *Fusarium* wilt: A destructive disease of banana and their sustainable management. In: **Fusarium - An Overview of the Genus**. [s.l.] IntechOpen, 2022.

PEGG, K. G. et al. The epidemiology of *Fusarium* wilt of banana. **Frontiers in plant science**, v. 10, p. 1395, 2019.

PEREIRA, L. V. et al. Comportamento produtivo e vegetativo de cultivares de bananeira originárias da “Prata-Anã”, com e sem irrigação 1. **EPAMIG**, 2019.

PLOETZ, R. C. Panama disease: Return of the first banana menace. **International journal of pest management**, v. 40, n. 4, p. 326–336, 1994.

PLOETZ, R. C. Fusarium wilt of banana. **Phytopathology**, v. 105, n. 12, p. 1512–1521, 2015.

PLOETZ, R. et al. Tropical race 4 of Panama disease in the Middle East. **Phytoparasitica; Israel journal of plant protection sciences**, v. 43, n. 3, p. 283–293, 2015.

RANJHA, M. M. A. N. et al. A comprehensive review on nutritional value, medicinal uses, and processing of banana. **Food reviews international**, v. 38, n. 2, p. 199–225, 2022.

ROCHA, A. DE J. et al. Improvements in the resistance of the banana species to Fusarium wilt: A systematic review of methods and perspectives. **Journal of fungi (Basel, Switzerland)**, v. 7, n. 4, p. 249, 2021.

ROCHA, A. DE J. et al. Molecular, Histological and Histochemical Responses of Banana Cultivars Challenged with *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* with Different Levels of Virulence. **Plants**, v. 11, n. 18, p. 2339, 2022.

ROCHA, L. D. E. S. et al. Reaction of banana cultivars to the *Meloidogyne javanica* X *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* complex. **Revista Caatinga**, v. 31, n. 3, p. 572–583, 2018.

SILVA, S. O.; AMORIM, E. P.; SANTOS-SEREJO, J. A.; FERREIRA, C. F.; ROGRIGUEZ, M. A. D. Melhoramento genético da bananeira: estratégias e tecnologias disponíveis. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.35, p.919-931, 2013

SILVA, S. de O.; ALVES, E. J.; SHEPHERD, K.; DANTAS, Z. L. L. Cultivares. In: ALVES, E. J. (Org.). **A cultura da banana: aspectos técnicos, socioeconômicos e agroindustriais**. 2. ed. Brasília: Embrapa-SPI/Cruz das Almas: Embrapa-CNPMPF, 1999. p. 85-105.

STAVER, C. et al. Ex ante assessment of returns on research investments to address the impact of Fusarium wilt tropical race 4 on global banana production. **Frontiers in plant science**, v. 11, p. 844, 2020.

STOVER, R. H. *et al.* Banana breeding: polyploidy, disease resistance and productivity. **Fruits**, v. 41, p. 175–191, 1986.

STOVER, R. H. ET AL. Fusarial wilt (Panama disease) of bananas and other Musa species. **Fusarial wilt (Panama disease) of bananas and other Musa species**, 1962.

STOVER, R. H.; SIMMONDS, N. W. Bananas. 3. ed. Nashville, TN, USA: John Wiley & Sons, 1987.

SYNGENTA. **TYMIRIUM® technology**. Disponível em: <https://www.syngenta.com/en/protecting-crops/products-list/tymiriumr>. Acesso em: 05 nov. 2022.

THAKKER, J. N.; PATEL, S.; DHANDHUKIA, P. C. Induction of Defense-Related Enzymes in Banana Plants: Effect of Live and Dead Pathogenic Strain of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*. **ISRN Biotechnology**, v. 2013, p. 601303, 2013.

TRINDADE, A. V. ET AL. **O Cultivo da Banana**. Brasília: Embrapa, 2004.

VIJAYASANTHI, S. et al. Survey, identification and management of *Fusarium* wilt of banana in Tamirabarani tract of Southern districts of Tamil Nadu. **Journal of biological control**, p. 64–70, 2022.

WAITE, B. H. Wilt of *Heliconia* spp. caused by *Fusarium oxysporum* f. *cubense* race 3. **Tropical Agriculture**, 1963

WARACZEWSKI, R.; SOŁOWIEJ, B. G. May bananas go extinct? The epidemic of Panama disease. A review. **Agronomy Science**, v. 77, n. 3, p. 139–148, 2022.

WU, Y. et al. Systemic acquired resistance in Cavendish banana induced by infection with an incompatible strain of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*. **Journal of plant physiology**, v. 170, n. 11, p. 1039–1046, 2013.

WU, Y. et al. Expression and distribution of extensins and AGPs in susceptible and resistant banana cultivars in response to wounding and *Fusarium oxysporum*. **Scientific reports**, v. 7, p. 42400, 2017.

YADETA, K. A.; J THOMMA, B. P. H. The xylem as battleground for plant hosts and vascular wilt pathogens. **Frontiers in plant science**, v. 4, p. 97, 2013.

CAPÍTULO 1

Potencial inibitório do TYMIRIUM® em isolados de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*

A murcha de *Fusarium* é uma das doenças mais devastadoras que afetam a bananicultura mundial. Esta doença é particularmente desafiadora devido à capacidade do patógeno de permanecer viável no solo por décadas. Neste estudo, foi avaliada a eficácia do fungicida Tymirium®, que ainda não foi introduzido no mercado brasileiro, sobre Foc. No presente experimento, foi avaliado o poder de inibição das concentrações de 0,01 ppm, 0,1 ppm, 1 ppm, 10 ppm e 100 ppm sobre o crescimento micelial de 39 cepas de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (Foc), coletadas em diferentes regiões do Brasil. Os testes envolveram a determinação da área de crescimento micelial e o cálculo do percentual de inibição do crescimento micelial (PICM). As análises demonstraram que o Tymirium® é altamente eficaz no controle de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*, mesmo em baixas concentrações, inferiores a 1 ppm. A dose letal média para 50% das cepas (DL₅₀) foi de 0,3223 ppm, enquanto a dose letal média para 90% das cepas (DL₉₀) foi de 1,947 ppm. Os resultados deste estudo indicam que o Tymirium® tem potencial para ser uma ferramenta inovadora no manejo integrado da murcha de *Fusarium*, contribuindo para a sustentabilidade da produção de bananas e promovendo maior segurança alimentar. É fundamental que futuras pesquisas avaliem não apenas a eficácia do TYMIRIUM®, mas também seus impactos ambientais e econômicos. Em síntese, a introdução desse fungicida como alternativa de controle da murcha de *Fusarium* representa um avanço promissor. No entanto, são necessárias validações adicionais para garantir seu uso de forma eficiente e sustentável no manejo da doença.

Palavras-chave: Inibição, Ciclobutrifluram, Fitopatógeno

ABSTRACT

Inhibition potential of cyclobutrifluram on *Fusarium oxysporum f. sp. cubense* isolates

Fusarium wilt is one of the most devastating diseases affecting banana cultivation globally. This disease is particularly problematic due to the pathogen's ability to persist in the soil for decades. This study evaluated the efficacy of the fungicide cyclobutrifluram, a component of Tymirium®, which has not yet been introduced to the Brazilian market, in controlling the disease. In the present experiment, the inhibitory power of concentrations of 0.01 ppm, 0.1 ppm, 1 ppm, 10 ppm, and 100 ppm on the mycelial growth of 39 strains of Foc, collected from different regions of Brazil, was tested. The tests included calculations of mycelial growth area and percentage of mycelial growth inhibition (PICM). The analyses showed that Tymirium® is highly effective in controlling *Fusarium oxysporum f. sp. cubense* even at low concentrations, below 1 ppm, with an average DL50 of 0.3223 ppm and an average DL90 of 1.947 ppm. The results of this study indicate that Tymirium® has the potential to be an innovative tool in the integrated management of Fusarium wilt, contributing to the sustainability of banana production and promoting greater food security. It is important that future research considers both the efficacy and the environmental and economic impacts of the use of this new fungicide. In summary, the introduction of cyclobutrifluram as a control option for Fusarium wilt represents a promising advancement but requires additional validations to ensure its efficient and sustainable use in disease management.

Keywords: Inhibition, Cyclobutrifluram, Phytopathogen

1.0 INTRODUÇÃO

Entre as doenças limitantes da bananicultura, a murcha de *Fusarium*, causado por *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (Foc) é considerado uma das mais destrutivas. Por produzir estruturas de resistência que pode perdurar por décadas no solo, o que torna o seu controle complexo (López-Zapata e Castaño-Zapata, 2019; Ploetz, 2015).

No Brasil os problemas fitopatológicos da doença têm sido causados pelas raças 1 e 4 subtropical. Esta doença representa um grande desafio para a produção sustentável de bananas, (FAO, [s.d]). No Brasil, a doença foi detectada pela primeira vez em 1930, no município de Piracicaba, no estado de São Paulo, onde os bananais que eram massivamente constituídos por bananas dos subgrupos Maçã e Prata, variedades suscetíveis. Por conta da doença plantios comerciais de banana Maçã e Prata também foram eliminados no Espírito Santo, Triângulo Mineiro e no sul de Goiás (Heck *et al.*, 2020)

Até o momento, o controle efetivo dessa doença tem sido uma incógnita, apesar dos esforços com fungicidas e estratégias como os cuidados com a saúde do campo e quarentena terem sido adotados (Pegg *et al.*, 2019).

O ciclobutrifluram, ativo principal da tecnologia Tymirium®, é um fungicida do subgrupo das carboxamidas, que age como inibidor da succinato desidrogenase (SDHIs). O Tymirium®, é um produto que está em processo de liberação para comercialização no mercado brasileiro, tendo informações relacionadas à sua eficácia de controle e risco de resistência são limitadas. Portanto, o presente estudo foi conduzido para avaliar os efeitos deste novo fungicida sobre o patógeno *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* visando um futuro uso no manejo integrado da murcha de fusarium nos bananais brasileiros.

2.0 MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Teste *in vitro*

Todas as atividades realizadas nos experimentos *in vitro*, foram executadas no Laboratório de Fitopatologia da Embrapa Mandioca e Fruticultura, situada na cidade de Cruz das Almas – BA (12°40'47.5"S 39°05'17.2"W).

2.1.1. Reativação das Cepas de *Fusarium oxysporum f. sp. cubense (Foc)*

As cepas de Foc foram pré-selecionadas por localização geográfica e pela agressividade e virulência, onde foram selecionadas 39 cepas da micoteca do Laboratório de Fitopatologia da Embrapa Mandioca e Fruticultura, localizada na cidade de Cruz da Almas – Ba, como pode ser observado na tabela (Tabela 1) a seguir:

Tabela 1. Identificação das cepas de *Fusarium oxysporum f. sp. cubense (Foc)*, armazenadas na micoteca do Laboratório de Fitopatologia da Embrapa Mandioca e Fruticultura.

Código de Identificação	Local de Origem	Material Coletado
01125	Bahia	Pseudocaule de 'Maçã'
01269	Bahia	Pseudocaule de 'Gran Naine'
01238	Bahia	Pseudocaule de 'Prata'
01161	Bahia	Pseudocaule de 'Prata Anã'
01214	Bahia	Pseudocaule de 'Prata'
0168	Bahia	Pseudocaule de 'Prata Anã'
0169	Bahia	Pseudocaule de 'Prata Anã'
01272	Bahia	Pseudocaule de 'TapMaeo'
0194	Bahia	Pseudocaule de 'Prata Anã'
01264	Bahia	Pseudocaule de 'Prata Gurutuba'
0141	Bahia	Pseudocaule de 'Pacovan'
01242	Ceará	Pseudocaule de 'Maçã'
0181	Minas Gerais	Pseudocaule de 'Prata Anã'
0124	Minas Gerais	Pseudocaule de 'Prata Catarina'
01668	Minas Gerais	Pseudocaule de 'Maçã'
01666	Minas Gerais	Pseudocaule de 'Maçã'
0180	Minas Gerais	Pseudocaule de 'Prata Catarina'
0149	Minas Gerais	Pseudocaule de 'Prata Catarina'
01670	Minas Gerais	Pseudocaule de 'Maçã'
01667	Minas Gerais	Pseudocaule de 'Maçã'
01250	Rio Grande do Norte	Pseudocaule de 'Tropical'
01256	Rio Grande do Sul	Pseudocaule de 'Prata'
01263	Rio Grande do Sul	Pseudocaule de 'Prata'
01661	Santa Catarina	Pseudocaule de 'Cavendish'
01649	Santa Catarina	Pseudocaule de 'Prata Anã'
01614	Santa Catarina	Pseudocaule de 'Prata'
01660	Santa Catarina	Pseudocaule de 'Cavendish'

01663	Santa Catarina	Pseudocaulis de 'Prata'
01262	Santa Catarina	Pseudocaulis de 'Prata'
01664	Santa Catarina	Pseudocaulis de 'Prata'
01513	São Paulo	Pseudocaulis de 'Prata'
01438	São Paulo	Pseudocaulis de 'Prata'
01445	São Paulo	Pseudocaulis de 'Prata'
01420	São Paulo	Pseudocaulis de 'Nanica'
01444	São Paulo	Pseudocaulis de 'Prata'
01247	São Paulo	Pseudocaulis de 'Tropical'
01551	São Paulo	Pseudocaulis de 'Prata Comum'
01438	São Paulo	Pseudocaulis de 'Prata'
01460	São Paulo	Pseudocaulis de 'Prata'

Os isolados foram retirados da coleção, onde estavam armazenados em papel de filtro ou pelo método de Castellani. Com o auxílio de uma pinça, foram transferidos para placas contendo meio BDA (Batata-Dextrose-Ágar) e mantidos em B.O.D. a 25 °C, com fotoperíodo de 12 horas, até que ocupassem toda a superfície da placa. Após o completo crescimento micelial na placa, os isolados foram repicados no mesmo meio e mantidos nas mesmas condições previamente estabelecidas.

2.1.2. Preparo dos meios

O produto Tymirium®, com concentração original de 450.000 ppm, foi utilizado para o preparo de uma solução estoque na concentração de 10.000 ppm, a partir da qual foram realizadas diluições para obtenção das soluções de trabalho nas concentrações de 0,01 ppm, 0,1 ppm, 1 ppm, 10 ppm e 100 ppm. O meio de cultura batata-dextrose-ágar (BDA) foi preparado conforme as especificações do fabricante, utilizando-se 20 g do meio desidratado para 500 mL de água destilada. As soluções de Tymirium® foram incorporadas ao meio ainda líquido e homogeneizadas antes da solidificação, resultando nas diferentes concentrações de tratamento. O controle negativo foi composto por meio BDA isento da adição do produto. As formulações foram vertidas em placas de Petri de acrílico com dimensões de 90 × 15 mm, sob condições assépticas, e deixadas à temperatura ambiente até a completa solidificação.

2.1.3. Potencial de inibição do Tymirium® (ciclobutrifluram) sobre os 39 isolados de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*

Após o estabelecimento da cultura na placa, o experimento foi montado adicionando um disco de micélio de 6 mm ao centro de placas vertidas com meio BDA, obtendo ciclobutrifluram nas concentrações de 0 ppm (controle), 0,01 ppm, 0,1 ppm, 1 ppm, 10 ppm e 100 ppm. As placas foram acondicionadas em BOD a 25°C, com

fotoperíodo de 12 horas. A avaliação foi realizada quando a placa controle estava completamente colonizada pelo micélio. Nesse momento, foram medidos os diâmetros do círculo micelial formado pelo crescimento do fungo.

Com os dados coletados obtivemos a área de crescimento micelial usando a fórmula $A = \pi r^2$ e sequencialmente o Percentual de Inibição do Crescimento Micelial (PICM) pela fórmula $\left(1 - \frac{A_t}{A_c}\right) \times 100$, onde A_t representa a área de crescimento micelial na presença do fungicida e A_c a área de crescimento micelial no controle.

O experimento foi conduzido utilizando um delineamento inteiramente casualizado (DIC), com as repetições distribuídas ao longo do tempo. As cinco repetições foram realizadas em dias distintos, com um intervalo de três dias entre cada montagem.

As análises foram realizadas no software R 4.4.0 (R Core Team, 2024). A análise de regressão dos dados foi conduzida por meio do pacote '**drc**', enquanto a criação de gráficos, incluindo a análise de regressão, também foi feita no **R**. Para a visualização de heatmaps, foram utilizados os pacotes 'gplots' e 'heatmap3', permitindo representações detalhadas e coloridas dos dados. Já os gráficos de pizza foram elaborados no Microsoft Excel.

Adicionalmente, foram testados diferentes modelos de regressão para estimar os valores de DL50 e DL90, incluindo modelos baseados nas distribuições Logística, Weibull (com diferentes parametrizações) e Gamma. A escolha do modelo mais adequado foi realizada com base nos critérios de informação de Akaike (AIC) e Bayesiano (BIC). Esses critérios permitiram avaliar e comparar a qualidade do ajuste dos modelos aos dados, penalizando modelos mais complexos, com o objetivo de selecionar o estimador que melhor representasse a relação entre dose e resposta.

3.0 RESULTADOS

Todas as concentrações testadas inibiram o crescimento micelial. No entanto a DL50 média foi de 0,2324 ppm e DL90 de 1,8272 ppm. A Figura 1 apresenta um heatmap ilustrando o percentual de inibição do crescimento micelial de 42 cepas de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (Foc) em resposta a cinco concentrações crescentes do fungicida Tymirium® (0,01; 0,1; 1; 10 e 100 ppm). As cepas estão listadas no eixo Y, enquanto as doses aplicadas estão no eixo X. A escala de cor indica a intensidade da inibição, variando de tons mais escuros (menor inibição) a tons

mais claros (maior inibição), conforme a legenda acima do gráfico.

Observa-se uma tendência clara de aumento na inibição com o aumento da concentração do fungicida. Na dose mais baixa (0,01 ppm), a maioria das cepas apresentou baixos níveis de inibição, com colorações predominantemente escuras, indicando baixa eficácia do produto nessa concentração. A partir de 0,1 ppm, já é possível notar um aumento na intensidade da resposta, com variações entre as cepas.

Concentrações de 1 ppm e, especialmente, de 10 e 100 ppm resultaram em elevada inibição micelial, evidenciada pelas tonalidades mais claras. Em 100 ppm, a maioria das cepas apresentou inibição próxima ou igual a 100%, indicando alta eficácia do Tymirium® contra o patógeno em condições in vitro. No entanto, também se nota certa variabilidade na sensibilidade entre cepas, especialmente nas doses intermediárias (0,1 e 1 ppm), o que pode refletir diferenças genéticas entre os isolados quanto à tolerância ao fungicida.

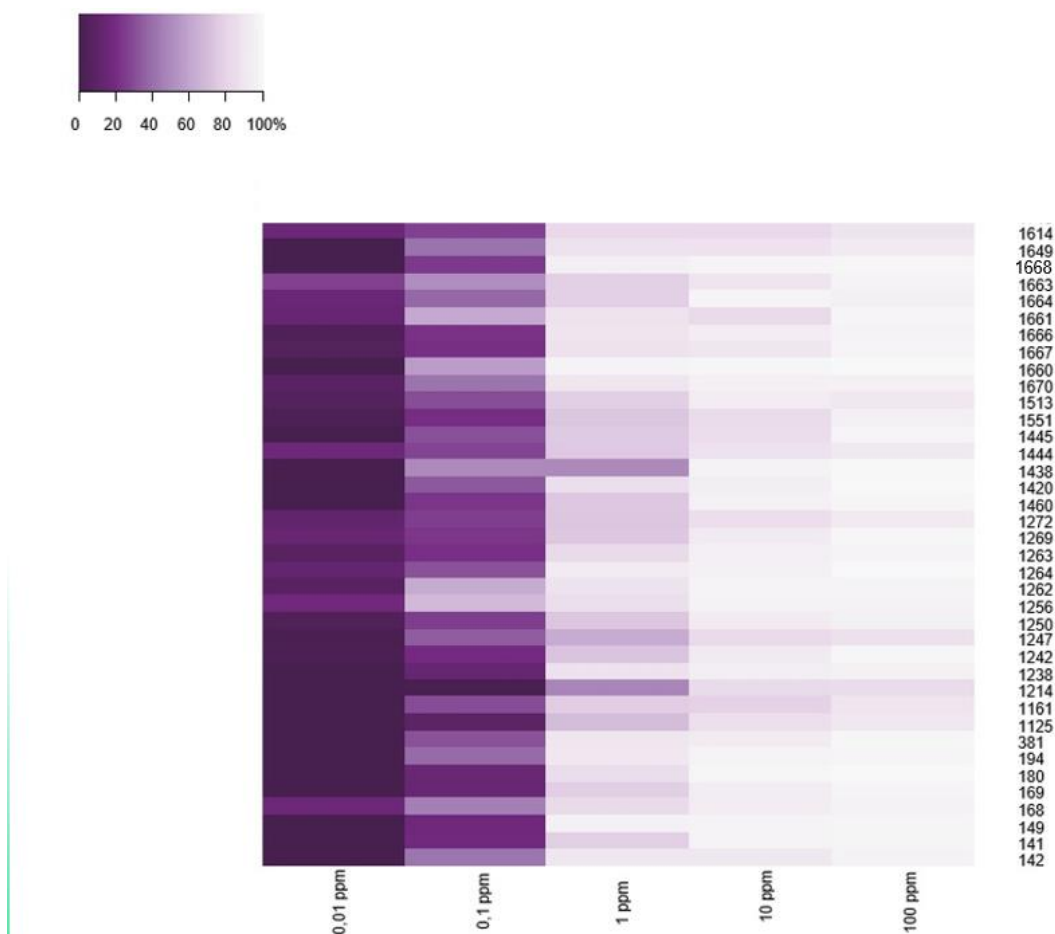


Figura 1. Porcentagem de inibição do crescimento micelial de 39 cepas de Foc na presença de 5 concentrações de Tymirium® (0,01 ppm, 0,1 ppm, 1 ppm, 10 ppm e 100 ppm). Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas, BA, 2024.

Na tabela 3, podem ser observados os dados obtidos para DL50 e DL90 das

39 cepas de *Fusarium oxysporum* f. sp. *ubense* expostas ao fungicida Tymirium, evidenciando a variação na resposta das cepas ao tratamento. A DL50, que representa a concentração de fungicida necessária para inibir 50% do crescimento micelial, variou de 0,045 ppm para a cepa 01661 até 0,886 ppm para a cepa 01214. Essa variação indica que algumas cepas são mais sensíveis ao fungicida, necessitando de concentrações abaixo de 1ppm para alcançar a inibição parcial do crescimento.

Ao analisar os valores de DL90, que indicam a concentração necessária para inibir 90% do crescimento micelial, observou-se uma variação mais expressiva. A cepa 01661 foi a mais sensível, apresentando um valor de DL90 de 0,744 ppm, enquanto a cepa 01663 demonstrou resistência considerável, com DL90 de 33,451 ppm. Outras cepas como 01247 (10,034 ppm) e 01242 (4,6702 ppm), também apresentaram valores elevados de DL90. Vale ressaltar que a maioria das cepas exibiu DL90 inferior a 10 ppm.

Tabela 2 Na tabela é possível encontrar os códigos de identificação utilizado para identifica as cepas na micóteca do Laboratório de Fitopatologia da Embrapa Mandioca e Fruticultura, e as respectivas DL50 e DL90.

Cepas	DL₅₀ (ppm)	DL₉₀ (ppm)
CMF-0124	0,1105	0,4320
CMF-0141	0,2915	2,6981
CMF-0149	0,1580	0,4061
CMF-0168	0,1065	2,1349
CMF-0169	0,3042	2,3573
CMF-0180	0,2559	1,4350
CMF-0194	0,1315	0,7535
CMF-0381	0,1496	0,7340
CMF-1125	0,3599	2,6195
CMF-01661	0,1538	1,0917
CMF-01214	0,8865	2,8141
CMF-01238	0,1160	0,8151
CMF-01242	0,3259	4,6702
CMF-01247	0,2223	10,0340
CMF-01250	0,2617	4,1151
CMF-01256	0,3732	0,6497
CMF-01262	0,0561	0,5129
CMF-01263	0,2157	1,3911
CMF-01264	0,2017	0,7285
CMF-01269	0,4427	2,5800
CMF-01272	0,2498	1,5943
CMF-01420	0,1600	1,1896
CMF-01438	0,0606	0,9997
CMF-01444	0,3396	1,8907

CMF-01445	0,2082	4,0306
CMF-01460	0,2990	4,5438
CMF-01513	0,1826	1,8232
CMF-01551	0,2566	2,7288
CMF-01614	0,3317	0,9016
CMF-01649	0,1096	0,4307
CMF-01660	0,1568	0,5258
CMF-01661	0,0452	0,7446
CMF-01663	0,0920	33,4510
CMF-01664	0,1792	1,8922
CMF-01666	0,2542	0,8345
CMF-01667	0,2623	0,8750
CMF-01668	0,0851	0,3481
CMF- 01670	0,1325	0,6819

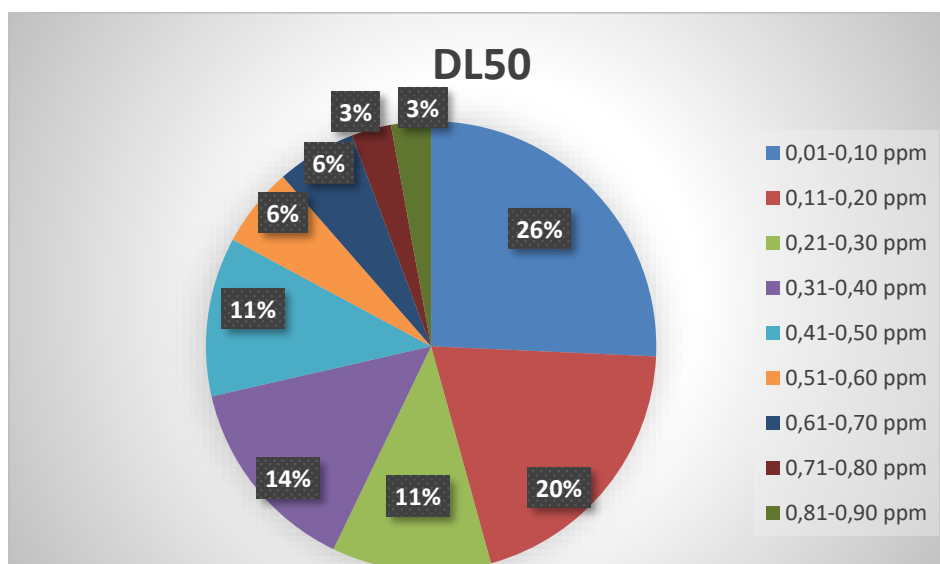


Figura 2. Distribuição percentual dos isolados nas diferentes faixas de DL50 (Dose Letal 50%) em ppm. Cada fatia da pizza representa a porcentagem de isolados que se encaixam em uma faixa específica de DL50, com as faixas variando de 0,01–0,10 ppm até 0,81–0,90 ppm. Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas, BA, 2024.

Para facilitar o entendimento dos dados, a Figura 2 apresenta a distribuição percentual dos isolados nas diferentes faixas de DL50. A maior parte dos isolados concentra-se nas faixas mais baixas, com 26% dos isolados apresentando DL50 entre 0,01 e 0,10 ppm. Em seguida, a faixa de 0,11 a 0,20 ppm abrange 20% dos isolados. As faixas intermediárias, como 0,21 a 0,30 ppm (11%), 0,31 a 0,40 ppm (14%) e 0,41 a 0,50 ppm (11%), também mostram uma distribuição significativa, embora com porcentagens menores. Já as faixas superiores, como 0,51 a 0,60 ppm, 0,61 a 0,70 ppm, 0,71 a 0,80 ppm e 0,81 a 0,90 ppm, representam uma porcentagem menor dos isolados. Esse padrão sugere que a maior parte dos isolados apresenta uma menor

letalidade (DL50 baixo), o que pode indicar uma maior resistência ou menor toxicidade entre os isolados analisados.

A figura 3, referente à DL90, ilustra a distribuição dos isolados em termos de letalidade para 90% da população. A maior parte dos isolados (43%) apresenta DL90 entre 0,01 e 1,00 ppm, indicando que a maioria possui uma letalidade relativamente baixa. As faixas 1,01–2,00 ppm (17%) e 2,01–5,00 ppm (17%) também apresentam uma distribuição considerável de isolados, com valores que indicam uma letalidade moderada. As faixas 5,01–10,00 ppm (13%) e 10,01–20,00 ppm (7%) representam uma porção menor da distribuição. Por fim, apenas 3% dos isolados possuem DL90 acima de 20 ppm. Esses dados refletem uma variação significativa na resistência dos isolados.

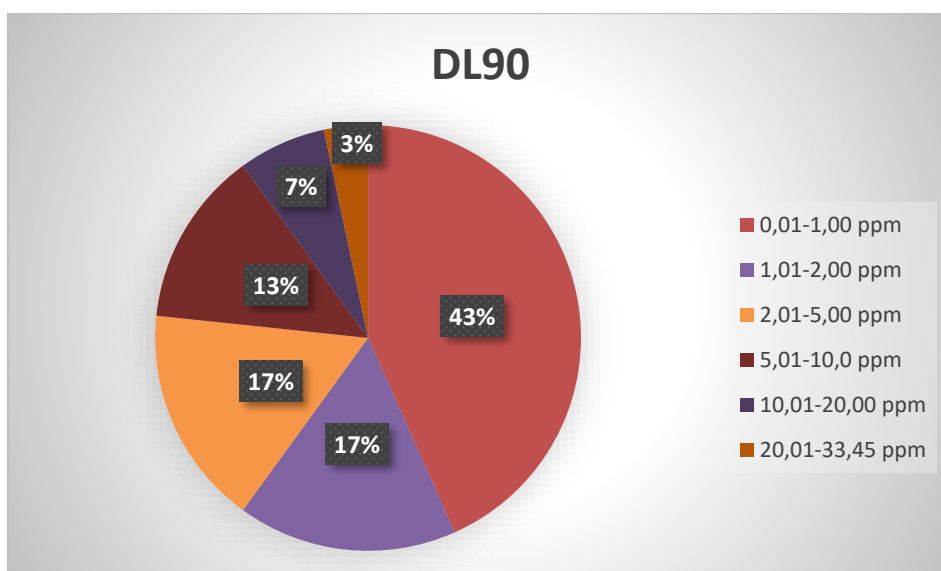


Figura 3. O gráfico de pizza a seguir mostra a distribuição percentual dos isolados nas diferentes faixas de DL90 (Dose Letal 90%) em ppm. As fatias da pizza representam a porcentagem de isolados que se enquadram em cada faixa de DL90, variando de 0,01–1,00 ppm. Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas, BA, 2024.

Assim, verifica-se que a eficiência do Tymirium® na inibição de *Fusarium oxysporum* f. sp. *ubense*, observando-se melhores resultados quando utilizado em dosagens superiores a 0,01 ppm e 0,1 ppm.

4.0 DISCUSSÃO

Em 2015, 195 países membros da ONU, incluindo o Brasil, firmaram um compromisso com o desenvolvimento sustentável, estabelecendo os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Essa agenda global contempla 17 objetivos e 169 metas, com a proposta de transformar o mundo até 2030, abordando os principais

desafios econômicos, sociais e ambientais (ONU, [s.d.]). Entre eles, o Objetivo 2 (ODS 2) busca erradicar a fome, garantir a segurança alimentar, melhorar a nutrição e promover uma agricultura sustentável, reconhecendo a importância de sistemas alimentares resilientes e inclusivos para o bem-estar global e o combate às desigualdades (ONU, [s.d.]).

No contexto brasileiro, onde a banana é uma das culturas mais importantes para a segurança alimentar e a geração de renda, seu papel ganha ainda mais destaque ao se considerar que ela é a fruta mais consumida no mundo (Embrapa, [s.d.]). Isso torna a cultura essencial para avançar no cumprimento do ODS 2, promovendo sistemas agrícolas sustentáveis e combatendo a fome. No entanto, um dos maiores desafios na produção de banana está relacionado às doenças, como a Murcha de *Fusarium*, que comprometem significativamente essa sustentabilidade ao reduzir a produção e elevar os custos (Embrapa, [s.d.]).

O fungo *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (Foc), causador da Murcha de *Fusarium*, pode acometer a bananeira em diversas fases de crescimento, desde mudas até plantas adultas. O material de plantio proveniente de plantas doentes também pode ser uma fonte de infecção (Listiyowati; Rustiani; Rahuyu, 2023). A massa micelial do Foc em bananeiras doentes obstrui o tecido vascular do xilema (Dita et al., 2018), interrompendo o fluxo de água e minerais (Růzicka et al., 2015). O controle desse patógeno é particularmente difícil devido à capacidade de seus clamidósporos persistirem no solo por várias décadas (Yadeta; Thomma, 2023), causando novas infecções mesmo após anos sem a presença de hospedeiros (Adhikary et al., 2024).

Os resultados do presente estudo demonstraram que o ciclobutrifluram (TYMIRIUM®) é altamente eficiente na supressão micelial de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*, com DL50 inferior a 1 ppm. Esse valor está em linha com os relatados para *Fusarium* spp. em outras culturas. Para *F. fujikuroi*, que acomete o arroz, os valores de DL50 variaram de 0,004 a 0,087 µg/mL, com uma média de 0,025 µg/mL (Xue et al., 2023). No trigo, os isolados de *F. pseudograminearum* apresentaram DL50 entre 0,016 e 0,142 mg/L, com média de 0,042 mg/L, enquanto os valores para *F. asiaticum* variaram de 0,010 a 0,041 mg/L, com média de 0,024 mg/L. Para *F. graminearum*, os valores foram de 0,012 a 0,059 mg/L, com média de 0,031 mg/L (Sun et al., 2024). Esses resultados reforçam o potencial do ciclobutrifluram como uma alternativa eficaz no manejo integrado da Murcha de *Fusarium*.

Ao comparar o TYMIRIUM® com o tiabendazol, atualmente o único ingrediente ativo registrado no Brasil para o controle da Murcha de Fusarium, observa-se uma eficiência superior do primeiro. Segundo Payán-Arzapalo et al. (2024), o tiabendazol, em concentração de 100 ppm, reduziu 93,33% do crescimento de *F. oxysporum*. Em contrapartida, a mesma concentração de TYMIRIUM® apresentou uma redução média de 96,11%. Em concentrações como 6,0 a 9,0 ppm, o tiabendazol alcançou apenas uma supressão entre 29,5% e 34,5% (Малахова et al., 2024), porcentagens resultantes de concentrações inferiores no uso ciclobutrifluram, evidenciando a superioridade do Tymirium® mesmo em baixas concentrações.

Estudos adicionais reforçam a eficácia do ciclobutrifluram no controle de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (Foc). Cannon et al. (2022) compararam a ação de diversos fungicidas frente às raças TR4 e R1 do patógeno, utilizando valores de DL_{50} como critério de avaliação. Entre os compostos testados, destacaram-se fungicidas pertencentes a diferentes classes químicas, como o triticonazol (triazol), a boscalida (carboxamida), o tiofanato-metílico e o tiabendazol (ambos benzimidazóis). Também foram incluídos o brometo de cetil trimetil amônio (CTAB), a dodine (guanidina), o composto experimental C18DMS, o óleo essencial de alho, o sulfato de cobre (fungicida cúprico) e a quitosa de baixo peso molecular (LMW quitosa).

Nenhum desses produtos, entretanto, superou o desempenho do ciclobutrifluram, o que evidencia o potencial da tecnologia TYMIRIUM® como uma alternativa altamente eficaz no manejo da Murcha de fusarium.

Os resultados obtidos neste estudo são promissores, evidenciando o potencial do Tymirium® como uma ferramenta eficaz para o manejo da Murcha de Fusarium em bananeiras. No entanto, é fundamental avançar com experimentos em condições de casa de vegetação e campo, permitindo avaliar o desempenho do produto no contexto real do patossistema da doença. Essa etapa é essencial para compreender a interação entre o fungicida, a planta hospedeira e o ambiente, garantindo a validação prática e a eficácia sustentável da tecnologia no controle da doença.

Os resultados obtidos reforçam a importância da pesquisa no contexto da sustentabilidade agrícola e segurança alimentar, alinhando-se aos objetivos da Agenda 2030 e contribuindo para o cumprimento do ODS 2. A introdução do ciclobutrifluram como uma nova ferramenta para o manejo integrado da Murcha de Fusarium representa um passo significativo para proteger a produção de banana e garantir a sustentabilidade dessa cultura tão relevante para a segurança alimentar

global.

5.0 CONCLUSÕES

Com base nos experimentos realizados, conclui-se que o Tymirium® apresenta alta eficiência na inibição do *Fusarium oxysporum f. sp. cubense* em condições *in vitro*, mesmo em concentrações extremamente baixas, inferiores a 1 ppm. Esses resultados evidenciam o potencial inovador do produto para o manejo integrado da Murcha de Fusarium, contribuindo para a sustentabilidade da produção de banana. Contudo, são necessários estudos adicionais em condições de casa de vegetação e de campo para validar sua eficácia no patossistema da doença, além de aprofundar o entendimento de sua interação com o ambiente e a cultura

6.0 REFERÊNCIAS

CANNON, S.; KAY, W.; KILARU, S.; SCHUSTER, M.; GURR, S. J.; STEINBERG, G. Multi-site fungicides suppress banana Panama disease, caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. cubense Tropical Race 4. **PLoS Pathogens**, v. 18, n. 10, 1 out. 2022.

DITA, M. *et al.* Fusarium wilt of banana: Current knowledge on epidemiology and research needs toward sustainable disease management. **Frontiers in plant science**, v. 9, p. 1468, 2018.

EMBRAPA. **Banana** - Portal Embrapa. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/mandioca-e-fruticultura/cultivos/banana>>. Acesso em: 23 jan. 2025.

FAO. **TR4 Basics**. Disponível em: <<https://www.fao.org/tr4gn/tr4-basics/ru/>>. Acesso em: 26 abr. 2024.

HECK, D. W. *et al.* O panorama do mal-do-Panamá no Brasil. Em: UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA (Ed.). **Fitopatologia no Brasil: um panorama de Norte à Sul**. [s.l.: s.n.].

LISTIYOWATI, S.; RUSTIANI, T.; RAHAYU, G. Antagonistic Mechanism of Entomopathogenic Fungi Against *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*, The Causal Agents of Banana's Panama Disease. **Jurnal Fitopatologi Indonesia**, v. 19, n. 2, 30 mar. 2023.

LÓPEZ-ZAPATA, S. P.; CASTAÑO-ZAPATA. Manejo integrado del mal de Panamá *Fusarium oxysporum* Schlechtend.: Fr. sp. cubense (EF SM.) WC Snyder & HN Hansen: una revisión. **Revista UDCA Actualidad & divulgación científica**, v. 22, 2019.

МАЛАХОВА, С. Д. *et al.* Оценка фитотоксического действия и биологической эффективности препарата на основе тиабендазола и флудиоксонила для защиты технических культур. **Земледелие**, n. 5, p. 46-51, 2024.

ONU. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>>. Acesso em: 23 jan. 2025.

ONU. **Sustainable Development Goal 2: Fome zero e agricultura sustentável**. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/2>>. Acesso em: 23 jan. 2025.

PAYÁN-ARZAPALO, M. A.; LÓPEZ-AVENDAÑO, J. E.; CÁZAREZ-FLORES, L. LL.; LÓPEZ-INZUNZA, H. DE J.; MOLINA-CÁRDENAS, L.; VEGA-GUTIÉRREZ, T. A.; TIRADO-RAMÍREZ, M. A. Effectiveness of Chemical Fungicides for the in vitro Control of *Fusarium* spp. Causing Basal Rot in Onion in Sinaloa, Mexico. **Agro Productividad**, 4 dez. 2024.

PEGG, K. G. et al. The epidemiology of Fusarium wilt of banana. **Frontiers in plant science**, v. 10, p. 1395, 2019.

R Core Team (2024). R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria

RŮŽIČKA, K. *et al.* Xylem development - from the cradle to the grave. **The new phytologist**, v. 207, n. 3, p. 519–535, 2015.

SUN, H.; CAI, S.; DENG, Y.; CAO, S.; YANG, X.; LU, Y.; LI, W.; CHEN, H. Efficacy of cyclobutrifluram in controlling Fusarium crown rot of wheat and resistance risk of three Fusarium species to cyclobutrifluram. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 198, 1 jan. 2024.

XUE, Z.; ZHONG, S.; SHEN, J.; SUN, Y.; GAO, X.; WANG, X.; LI, F.; LU, L.; LIU, X. Multiple Mutations in SDHB and SDHC2 Subunits Confer Resistance to the Succinate Dehydrogenase Inhibitor Cyclobutrifluram in *Fusarium fujikuroi*. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 71, n. 8, p. 3694–3704, 1 mar. 2023.

YADETA, K. A.; J THOMMA, B. P. H. The xylem as battleground for plant hosts and vascular wilt pathogens. **Frontiers in plant science**, v. 4, p. 97, 2013.

Capítulo 2

Ação fungicida de Tymirium® no patossistema da bananeira 'Prata Anã' e *Fusarium oxysporum* f. sp. *cupense* em casa de vegetação

O manejo integrado de doenças visa assegurar a saúde e qualidade dos cultivos, combinando diversas estratégias para alcançar elevados rendimentos e garantir a segurança alimentar. A murcha de Fusarium, causada pelo fungo *Fusarium oxysporum* f. sp. *cupense* (Foc), apresenta desafios significativos de controle devido à sua persistência no solo e aos fatores bióticos e abióticos que influenciam seu desenvolvimento. No Brasil, epidemias dessa doença são causadas pelas raças 1 e 4 subtropical, com risco de introdução da raça 4 tropicais (R4T). Práticas como desenvolvimento de variedades resistentes e redução do inóculo inicial são essenciais. O estudo realizou um experimento na Embrapa Mandioca e Fruticultura em Cruz das Almas, Bahia, testando a incorporação do Tymirium®, (ciclobutrifluram) no controle da murcha de fusarium Plantas da cultivar 'Prata-Anã'. As mudas foram cultivadas em substrato inoculado com Foc e submetidas aos tratamentos de Tymirium® na dosagem 150 ml/ha e 200 ml/ha antes e depois do plantio das mudas. A aplicação de 200 ml/ha antes e após o plantio mostrou-se altamente eficaz, reduzindo 100% dos sintomas da doença. Esses resultados indicam que o Tymirium pode ser uma solução química eficiente no manejo integrado da murcha de Fusarium, especialmente quando combinado com práticas biológicas. No entanto, testes adicionais em campo são necessários para confirmar sua eficácia e otimizar as práticas de controle visando um manejo sustentável da doença.

Palavras-chave: Manejo Químico, Murcha de fusarium, ciclobutrifluram

ABSTRACT

Fungicidal activity of Tymirium® on the banana 'Prata Anã' and Fusarium oxysporum pathosystem under greenhouse conditions

Integrated disease management aims to ensure the health and quality of crops by combining various strategies to achieve high yields and guarantee food security. Fusarium wilt, caused by the fungus *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (Foc), presents significant control challenges due to its persistence in the soil and the biotic and abiotic factors that influence its development. In Brazil, epidemics of this disease are caused by races 1 and 4 subtropical, with the risk of introduction of race 4 tropical (R4T). Practices such as the development of resistant varieties and reduction of the initial inoculum are essential. The study conducted an experiment at Embrapa Cassava & Fruits in Cruz das Almas, Bahia, testing the incorporation of Tymirium® (cyclobutrifluram) for controlling Fusarium wilt in 'Prata-Anã' banana plants. The seedlings were grown in a substrate inoculated with Foc and subjected to Tymirium® treatments at doses of 150 ml/ha and 200 ml/ha before and after planting. The application of 200 ml/ha before and after planting proved highly effective, reducing 100% of disease symptoms. These results indicate that Tymirium® could be an efficient chemical solution for integrated Fusarium wilt management, especially when combined with biological practices. However, additional field tests are necessary to confirm its effectiveness and optimize control practices for sustainable disease management.

Keywords: Chemical Management, Fusarium Wilt, cyclobutrifluram

1.0 INTRODUÇÃO

O manejo integrado de uma doença visa identificar as melhores estratégias para garantir a saúde e a qualidade dos cultivos, combinando diferentes abordagens que promovem não apenas a sanidade das plantas, mas também altos rendimentos e segurança alimentar. No entanto, estudos que integrem diversas estratégias de manejo para a murcha de fusarium são relativamente raros (López-Zapata e Castaño-Zapata, 2019; Ploetz, 2015).

A murcha de fusarium, doença causada pelo fungo, *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (Foc) é particularmente difícil de controlar devido a uma série de fatores. Entre eles, destaca-se a produção de clamidósporos, que confere ao fungo uma capacidade notável de sobrevivência no solo por longos períodos (mais de 20 anos), mesmo na ausência de plantas hospedeiras (López-Zapata e Castaño-Zapata, 2019; Ploetz, 2015; Siamak e Zheng, 2018). Até o momento, as epidemias da murcha de Fusarium nos plantios comerciais no Brasil têm sido causadas pelas raças 1 e 4 subtropical, porém, há um grande risco de introdução da R4ST, presentes em países vizinhos. E para se produzir bananas em regiões que possuem a presença do patógeno se faz necessário a adoção de práticas como: fuga da infecção, desenvolvimento e utilização de variedades resistentes, proteção de plantas e redução de inóculo inicial (Jiménez e Jiménez, 2011).

O presente estudo tem o intuito de apresentar resultados para que o Tymirium®, seja incorporado ao manejo integrado da murcha de fusarium, trazendo assim a possibilidade de novos mecanismos para o combate da doença, resultando em de produção e saúde do plantio.

2.0 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Local e Desenvolvimento

O experimento foi conduzido na Embrapa Mandioca e Fruticultura, localizada em Cruz das Almas, Bahia (12°40'46"S, 39°05'15"W), em condições de casa de vegetação. O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados (DBC), com quatro blocos. Utilizaram-se mudas micropropagadas da cultivar 'Prata-anã', transplantadas para recipientes plásticos com capacidade de três litros, preenchidos com substrato composto por uma mistura de Vivatto® e fibra de coco na proporção 1:1. O substrato foi previamente inoculado com o isolado de *Fusarium oxysporum* f. sp. cubense (Foc) CMF-1438. Cada tratamento contou com 10 repetições.

Tabela 1. Tratamentos avaliados no experimento *in vivo* de aplicação do Tymirium

Nomenclatura	Tratamento
Controle	Controle Com Inoculação de Foc (Controle)
Tratamento 1 (150 ml/ha antes)	aplicação de 150ml/ha antes do plantio
Tratamento 2 (150 ml/ha depois)	aplicação de 150ml/ha depois do plantio
Tratamento 3 (200 ml/ha antes)	Aplicação de 200ml/ha antes do plantio
Tratamento 4 (200 ml/ha depois)	Aplicação de 200ml/ha depois do plantio

As mudas testadas com as doses de 150 ml/ha e 200 ml/ha antes do plantio, seguindo as dosagens recomendadas pelo fabricante, receberam a aplicação dois dias após a infestação do substrato, e as mudas foram transplantadas 15 dias depois. No teste com 150 ml/g e 200 ml/g após o plantio, as mudas foram plantadas dois dias após a infestação do substrato, e a aplicação do Tymirium®, foi realizada 15 dias depois, sendo aplicado diretamente no solo.

2.1.1. Preparo do inóculo e inoculação

Para o preparo o inóculo que foi misturado ao solo, foram utilizados 10

quilogramas de arroz branco, que foram hidratados por 30 minutos e depois fracionados em sacos individuais contendo 500 g cada. Em seguida, esses sacos foram esterilizados em uma autoclave a 121 °C e 1 atm por 30 minutos.

No preparo da solução de esporos, 50 placas as placas de Petri contendo *Fusarium oxysporum* f. sp. *ubense* (CMF-01420), crescidos em BDA, foram minuciosamente raspadas com o auxílio de uma escova e adição de água destilada estéril. Todo o procedimento foi realizado em um ambiente controlado e estéril, como uma câmara de fluxo laminar.

Após o arroz atingir a temperatura ambiente, 10ml da solução de esporos foram inoculados nos sacos, os quais foram agitados manualmente. Após três dias da inoculação, foi feito um pequeno orifício neles com a ajuda de um bisturi. Em seguida, esses sacos contendo arroz inoculado com Foc foram mantidos em câmaras de crescimento a 25°C com fotoperíodo de 12 horas, até a colonização completa do meio pelo Foc.

Após o crescimento do fungo no arroz, os sacos de 500 g foram homogeneizados e uma amostra foi coletada para contagem de esporos utilizando câmara de Neubauer e microscópio. Este procedimento permitiu determinar a quantidade necessária de arroz, especificamente 50 gramas, para alcançar a concentração desejada de 10^8 esporos / ml.

2.1.2 Avaliações e Análises Estatística

As mudas foram submetidas a avaliações após 60 dias, abrangendo sintomas internos e externos. A avaliação de sintomas externos seguiu uma escala de notas baseada na metodologia de Dita et al. (2014): (1) ausência de sintomas; (2) amarelecimento inicial em folhas mais velhas; (3) amarelecimento de folhas mais velhas com descoloração inicial em folhas jovens; (4) todas as folhas com intenso amarelecimento; (5) planta morta.

Já a avaliação de sintomas internos seguiu a escala proposta por Dita al. (2024): (1) ausência de descoloração vascular; (2) pontos isolados de descoloração no câmbio vascular; (3) descoloração correspondente a até 1/3 do câmbio vascular; (4) descoloração entre 1/3 e 2/3 do câmbio vascular; (5) descoloração superior a 2/3 do câmbio vascular; (6) descoloração total do câmbio vascular. Para quantificar os sintomas, foi utilizado o Índice de Intensidade da Doença (ID), calculado conforme a

fórmula de McKinney (1923): $ID = [S \text{ (grau da escala} \times \text{frequência)} \times 100] / [\text{número total de unidades} \times \text{grau máximo da escala}]$.

Para calcular a eficiência de regressão da doença, foi utilizada a fórmula ERD = 100 - (Índice da doença de cada tratamento por bloco x 100 / Índice da doença do controle por bloco).

As variáveis analisadas foram submetidas a análise de variância – ANOVA ($p < 0,05$) e as médias obtidas foram agrupadas à teste Tukey a 5% de probabilidade, por meio do pacote “ExpDes” em software R 4.4.0 (R Core Team, 2024) e os gráficos confeccionados com auxílio do Excel.

3.0 RESULTADOS

Na análise estatística dos dados utilizando o teste de Tukey a um nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$), observou-se que apenas a variável "bloco" não apresentou diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos avaliados.

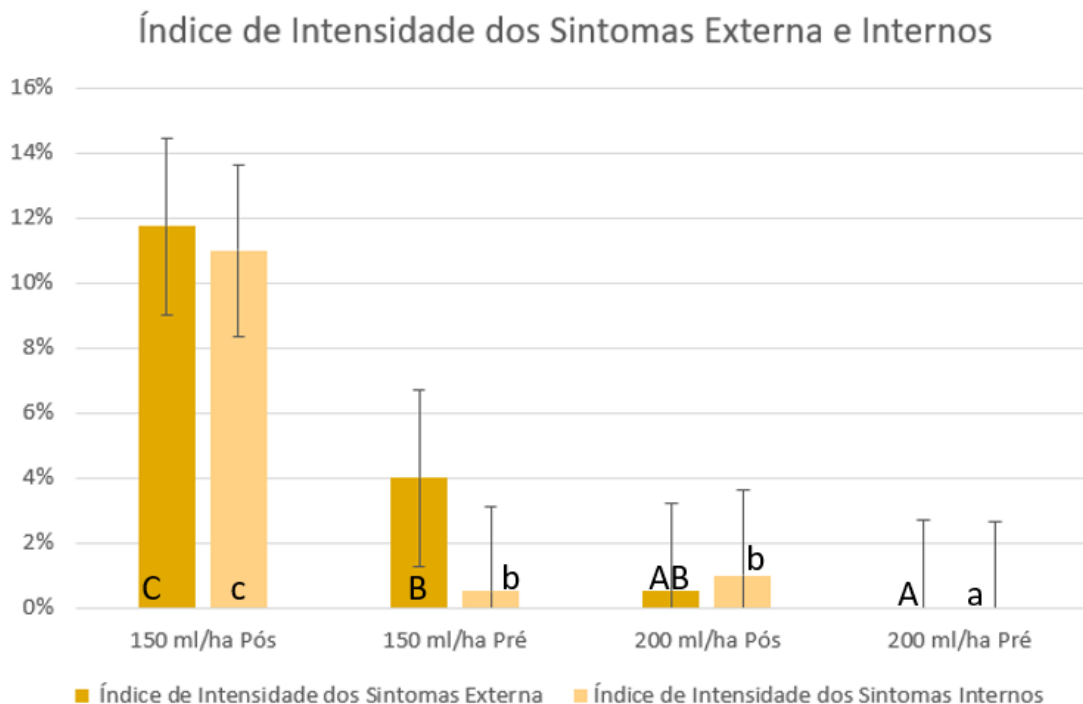


Figura 1. Índice de Intensidade dos Sintomas Externa e Internos nos diferentes tratamentos com Tymirium® e controle. Os valores foram calculados de acordo com a fórmula de McKinney, sua média foram comparadas pelo Teste de Tukey, letras diferentes representam diferenças entre as médias ao nível de 5% de propabilidade, onde as letras maiúsculas represeta o Índice de Intensidade dos Sintomas Externa e a minúscula o Índice de Intensidade dos Sintomas Internos . Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas, BA, 2024.

Na Figura 1, observa-se que as aplicações de 150 ml/ha antes e depois do

plântio reduziram os sintomas externos em aproximadamente 61,4% e 95,5%, respectivamente. De acordo com a análise estatística (teste de Tukey, $p \leq 0,05$), os tratamentos foram classificados com letras, permitindo a comparação entre eles. O tratamento com 200 ml/ha antes do plântio apresentou desempenho estatisticamente superior aos demais, enquanto o tratamento com 150 ml/ha após o plântio foi o menos eficaz, diferindo significativamente dos outros.

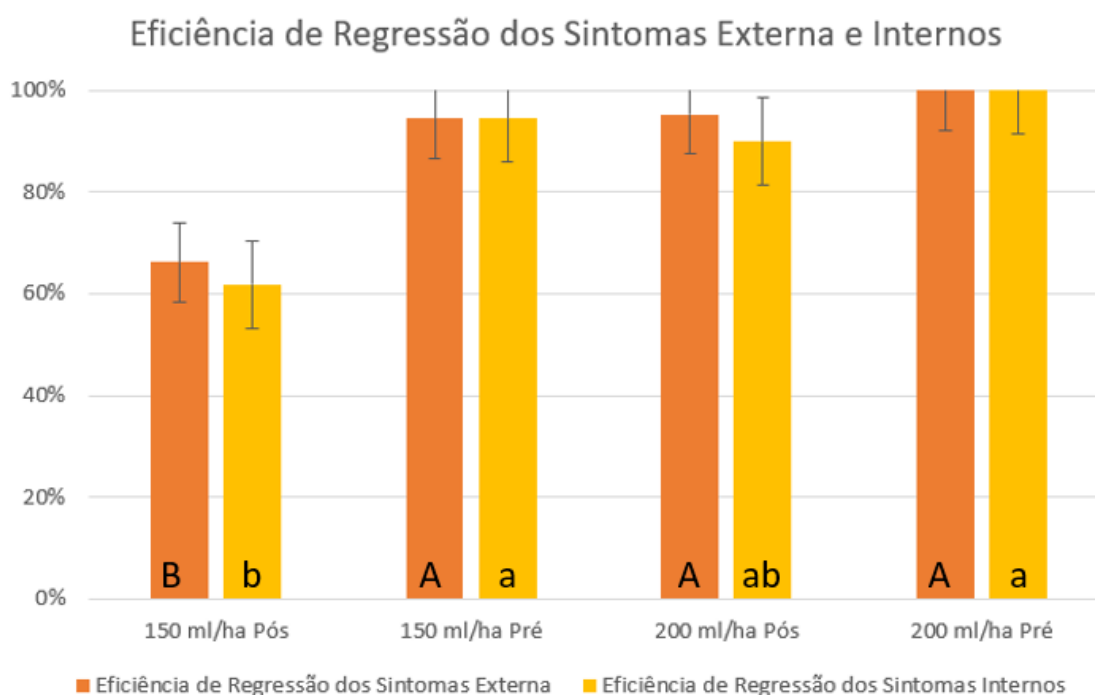


Figura 2. Gráfico que apresenta Eficiência de Regressão dos Sintomas Externa e Internos nos diferentes tratamentos avaliados. média foram comparadas pelo Teste de Tukey, letras diferentes representam diferenças entre as médias ao nível de 5% de propabilidade, onde as letras maiúsculas represeta o Eficiência de Regressão dos Sintomas Externa o Eficiência de Regressão dos Sintomas Internos. Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas, BA, 2024.

Na Figura 2, ao avaliar a eficácia dos tratamentos na redução dos sintomas internos da murcha de *Fusarium*, observou-se que a aplicação de 150 ml/ha após o plântio resultou em uma redução de 65,96% em relação ao controle. Quando aplicada antes do plântio, na mesma dose, a redução foi maior, atingindo 95,74%, evidenciando a influência do momento de aplicação. A dose de 200 ml/ha aplicada antes do plântio foi a mais eficaz, promovendo a eliminação total dos sintomas internos (redução de 100%).

Comparando as aplicações de 150 ml/ha, o tratamento pré-plântio foi 45% mais eficaz do que o pós-plântio, reforçando a importância da antecipação do tratamento. Além disso, a aplicação de 200 ml/ha após o plântio apresentou eficácia levemente

superior à mesma dose aplicada antes do plantio, com uma diferença de 5,55%, e também superou o tratamento com 150 ml/ha após o plantio na mesma proporção.

Do ponto de vista estatístico, com base na análise de comparação de médias pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$), os tratamentos com 150 ml/ha pré-plantio e 200 ml/ha pré-plantio não diferiram estatisticamente entre si, sendo ambos considerados estatisticamente superiores às demais combinações. Em contrapartida, o tratamento com 150 ml/ha após o plantio apresentou os piores resultados, diferindo significativamente dos demais.

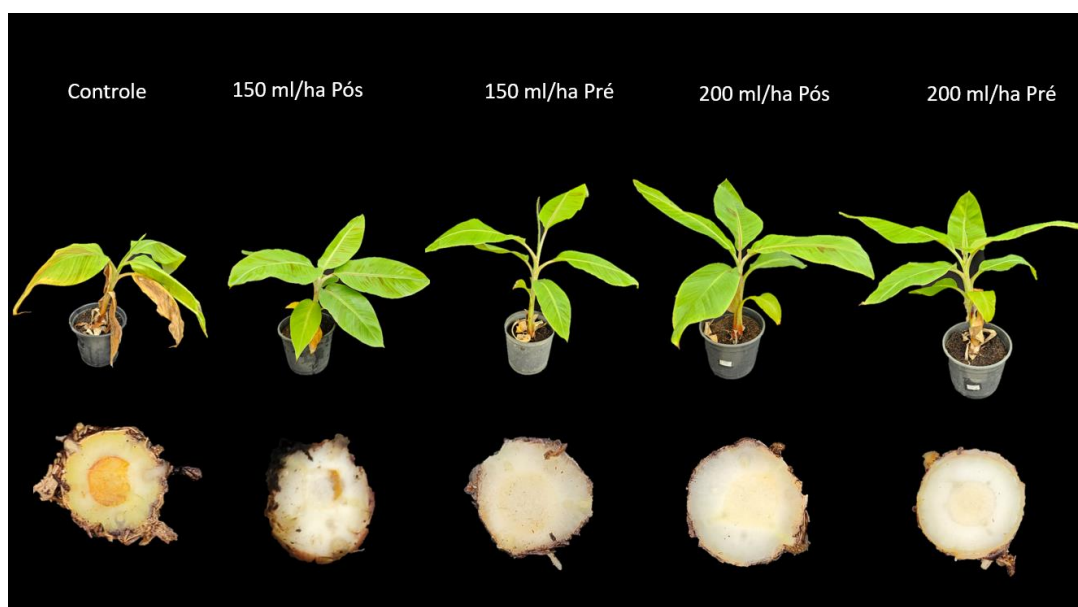


Figura 3. Imagens representada a aparência interna e externa das plantas de cada tratamento. Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas, BA, 2024.

Na Figura 3, é notável a distinção entre as características do controle e dos quatro tratamentos distintos. Evidencia-se que as plantas do controle exibem folhas amareladas, visivelmente menos vigorosas em comparação às plantas dos demais tratamentos. Também se observa o interior do pseudocaule: a descoloração vascular, sintoma típico da doença, está presente no controle e no tratamento com 150 ml/ha antes do plantio, mas ausente nos demais.

4.0 DISCUSSÃO

Assim como neste trabalho, que demonstrou resultados promissores com o uso do ciclobutrifluram no controle de FOC, Li et al. (2024) também observaram efeitos positivos do composto, atuando tanto de forma protetora quanto curativa contra a podridão da coroa do trigo (FCR), causada por *Fusarium*. Além disso, relataram sua

eficiente translocação sistêmica nas plantas. O ciclobutrifluram apresentou excelente desempenho no controle da contaminação do FCR e pelas micotoxinas tricotecenos, como o desoxinivalenol (DON), produzido por *F. pseudograminearum*, em condições de campo. Esses achados indicam que o ciclobutrifluram é um composto altamente promissor para o manejo da FCR e de outras doenças causadas por espécies do gênero *Fusarium*.

Nos estudos realizados por Cannon et al. (2022) onde foi avaliado diversos fungicidas, C18DMS, Moncozebe, Cobre, LMW chitosa, Dodine, CTAB e óleo essencial de alho, no controle da murcha de fusarium. Ao comparar com o presente trabalho, foi possível observar que Tymirium apresentou os melhores resultados, superando os tratamentos realizados pelo autor que mostraram maior eficiência com Dodine e C18DMS, onde a necrose dos pseudocaulos permaneceu abaixo de 30%. No entanto, mesmo esses resultados foram inferiores aos encontrados nas plantas tratadas com Tymirium, mesmo na menor dosagem utilizada.

Pesando no cenário atual, segundo a ONU (2024), a população mundial era composta por 8,2 bilhões de pessoas no ano de 2024, e há projeções de que alcançaremos 10,3 bilhões de habitantes em meados da década de 2080. Diante desse crescimento, a sobrevivência humana na Terra sem novas tecnologias agrícolas torna-se insustentável, uma vez que não é possível alimentar toda a população sem o controle de pragas e doenças (Alvarado et al., 2024). Nesse contexto, a banana desempenha um papel crucial como o quarto alimento mais consumido globalmente, atrás apenas do arroz, trigo e milho (Akila et al., 2011). Seu alto consumo a torna um produto estratégico para a segurança alimentar mundial (IICA, 2021), sendo reconhecida como a fruta mais consumida do planeta (Embrapa, [s.d.]). Entre as doenças limitantes da cultura está a murcha de fusarium, causada por *Fusarium oxysporum f. sp. cubense* sendo uma das mais destrutivas (Akila et al., 2011; Ploetz, 2015), ponto que compromete a sua produção em diversos países.

5.0 CONCLUSÃO

Os resultados deste experimento *in vivo* evidenciam a eficácia do Tymirium® no controle da murcha de Fusarium (*Fusarium oxysporum f.sp. cubense*) em bananeiras, com destaque para a aplicação de 200 ml/ha após o plantio, que proporcionou uma redução de 100% nos sintomas da doença. A dosagem de 150 ml/ha também se mostrou eficaz, com uma redução de aproximadamente 95,74%.

Esses resultados sugerem que o Tymirium® pode ser uma alternativa química eficiente no manejo integrado da doença, especialmente quando associado a práticas biológicas, como o uso de agentes de biocontrole. Contudo, é necessário realizar testes adicionais em campo, combinando o Tymirium® com outras estratégias de manejo, para uma avaliação mais aprofundada de sua eficácia e otimização das práticas de controle, visando melhorar o manejo sustentável da murcha de Fusarium.

6.0 REFERÊNCIAS

ADHIKARY, S. et al. Fusarium wilt of banana: Challenges and resilience. **OnLine journal of biological sciences**, v. 24, n. 4, p. 678–694, 2024.

AKILA, R. et al. Combined application of botanical formulations and biocontrol agents for the management of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (Foc) causing Fusarium wilt in banana. **Biological control: theory and applications in pest management**, v. 57, n. 3, p. 175–183, 2011.

ALVARADO, G. J. et al. Manejo integrado de cultivos y desarrollo sostenible. **Magazine de las Ciencias: Revista de Investigación e Innovación**, v. 9, n. 1, p. 22–35, 2024.

CANNON, S. et al. Multi-site fungicides suppress banana Panama disease, caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* Tropical Race 4. **PLoS pathogens**, v. 18, n. 10, p. e1010860, 2022.

Dita, M.A.; Pérez Vicente, L.; Martínez, E. Inoculation of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* causal agent of fusarium wilt in banana. In Technical Manual: Prevention and Diagnostic of Fusarium Wilt of Banana Caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* Tropical Race 4 (TR4); Pérez Vicente, L., Dita, M.A., de la Parte, E.M., Eds.; **Food and Agriculture Organization of the United Nations**: Rome, Italy, 2014; pp. 55–58.

EMBRAPA. **Banana - Portal Embrapa**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/mandioca-e-fruticultura/cultivos/banana>>. Acesso em: 28 jan. 2023.

HUANG, Y. H. et al. Control of Fusarium wilt in banana with Chinese leek. **European journal of plant pathology**, v. 134, n. 1, p. 87–95, 2012.

IICA. **Banana: um cultivo fundamental para a segurança alimentar que está sob ameaça**. Disponível em: <<https://iica.int/pt/press/noticias/banana-um-cultivo-fundamental-para-seguranca-alimentar-que-esta-sob-ameaca/>>. Acesso em: 28 jan. 2024.

JIMÉNEZ, R.; JIMÉNEZ, M. Integrated management of Fusarium wilt diseases. Em: ALVES-SANTOS, F.; DIEZ, J. J. (Eds.). **Control of Fusarium Diseases, Chapter**. [s.l: s.n.]. p. 177–215.

LI, Y. et al. Inhibitory activity to *Fusarium* spp. and control potential for wheat Fusarium crown rot of a novel succinate dehydrogenase inhibitor cyclobutrifluram. **Pest management science**, v. 80, n. 4, p. 2001–2010, 2024.

LONG, W. et al. A newly isolated *Trichoderma Parareesei* N4-3 exhibiting a biocontrol potential for banana fusarium wilt by Hyperparasitism. **Frontiers in plant science**, v. 14, p. 1289959, 2023.

LÓPEZ-ZAPATA, S. P.; CASTAÑO-ZAPATA, J. Manejo integrado del mal de

Panamá [*Fusarium oxysporum* Schlechtend.: Fr. sp. cubense (E.F. SM.) W.C. Snyder & H.N. Hansen]: una revisión. **Revista Udca Actualidad & Divulgacion Científica**, v. 22, n. 2, 2019.

MCKINNEY, H. H. Influence of soil, temperature and moisture on infection of wheat seedlings by *Helminthosporium sativum*. **Journal of Agricultural**, v. 26, p. 195–217, 1923.

NIWAS, R.; CHAND, G.; AZAD, C. S. Evaluation of micronutrients for inhibition of Panama wilt disease pathogen (*Fusarium oxysporum* f. sp. cubense) of Banana. **Annals of plant protection sciences**, v. 27, n. 1, p. 81, 2019.

ONU. **População mundial atingirá 10,3 bilhões em meados da década de 2080**. Disponível em: <<https://news.un.org/pt/story/2024/07/1834411>>. Acesso em: 28 set. 2025.

PATTISON, A. B. et al. Ground cover management alters development of *Fusarium* wilt symptoms in Ducasse bananas. **Australasian plant pathology: APP**, v. 43, n. 4, p. 465–476, 2014.

PLOETZ, R. C. *Fusarium* wilt of banana. **Phytopathology**, v. 105, n. 12, p. 1512–1521, 2015a.

PLOETZ, R. C. Management of *Fusarium* wilt of banana: A review with special reference to tropical race 4. **Crop protection (Guildford, Surrey)**, v. 73, p. 7–15, 2015b.

RAHMAN, S. S. M. S.; ZAINUDIN, N. A. I.; AZIZ, N. A. A. Evaluation of *Trichoderma asperellum* B1902 in Controlling *Fusarium* Wilt of Cavendish Banana Cultivar. **Sains Malaysiana**, v. 50, n. 9, p. 2549–2561, 2021.

SIAMAK, S. B.; ZHENG, S. Banana *Fusarium* Wilt (*Fusarium oxysporum* f. sp. cubense) Control and Resistance, in the Context of Developing Wilt-resistant Bananas Within Sustainable Production Systems. **Horticultural plant journal**, v. 4, n. 5, p. 208–218, 2018.

STOVER, R. H. **Fusarial Wilt (Panama Disease) of Bananas and Other Musa Species**. [s.l.] Commonwealth Mycological Institute, 1962.

