

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PROTEÇÃO DE PLANTAS
CENTRO DE ENGENHARIAS E CIÊNCIAS AGRÁRIAS

WALISSON FERREIRA DA SILVA

ADAPTABILIDADE COMPARATIVA DE ESPÉCIES DO COMPLEXO *Fusarium*
***fujikuroi* ASSOCIADAS COM A PODRIDÃO DA COROA DA BANANA**

Rio Largo - AL

2025

WALISSON FERREIRA DA SILVA

**ADAPTABILIDADE COMPARATIVA DE ESPÉCIES DO COMPLEXO *Fusarium*
fujikuroi ASSOCIADAS COM A PODRIDÃO DA COROA DA BANANA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Proteção de Plantas da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Proteção de Plantas.

Orientadora: Prof. Dra. Kamila Câmara Correia
Coorientador: Prof. Dr. Sami Jorge Michereff

Rio Largo - AL

2025

Catálogo na Fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Campus de Engenharias e Ciências Agrárias
Bibliotecário Responsável: Erisson Rodrigues de Santana - CRB4 - 1512

S586a Silva, Walisson Ferreira da.

Adaptabilidade comparativa de espécies do complexo *Fusarium fujikuroi* associadas com a podridão da coroa da banana. / Walisson Ferreira da Silva. – 2025.

51f.: il.

Orientador(a): Kamila Câmara Correia.
Coorientador: Sami Jorge Michereff.

Dissertação (Mestrado em Proteção de plantas) – Programa de Pós -Graduação em Proteção de plantas, Campus de Engenharias e Ciências Agrárias, Universidade Federal de Alagoas. Rio Largo, 2025.

Inclui bibliografia.

1. *Musa* spp. 2. Fisiologia de fungos. 3. Potencial hídrico. 4. Fungicidas. 5. Estresse fisiológico I. Título.

CDU: 632.9 : 634.773

Folha de Aprovação

WALISSON FERREIRA DA SILVA

ADAPTABILIDADE COMPARATIVA DE ESPÉCIES DO COMPLEXO *Fusarium* *fujikuroi* ASSOCIADAS COM A PODRIDÃO DA COROA DA BANANA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Proteção de Plantas da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Proteção de Plantas.

Aprovada em: 27/02/2025

Documento assinado digitalmente
 KAMILA CAMARA CORREIA
Data: 12/03/2025 15:32:45-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Kamila Câmara Correia, Universidade Federal do Cariri (Orientadora)

Banca examinadora:

Documento assinado digitalmente
 RUI SALES JUNIOR
Data: 12/03/2025 15:45:27-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Rui Sales Junior, Universidade Federal Rural do Semi-Árido

Documento assinado digitalmente
 SARAH JACQUELINE CAVALCANTI DA SILVA
Data: 12/03/2025 17:09:32-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Sarah Jacqueline Cavalcanti da Silva, Universidade Federal de Alagoas

DEDICATÓRIA

Tomou, então, Samuel uma pedra, e a pôs entre Mispa e Sem, e lhe chamou Ebenézer, e disse: Até aqui nos ajudou o Senhor.

1 Samuel 7:12

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelo seu imensurável amor e misericórdia por mim e por ter me ajudado nessa grande conquista.

À FAPEAL – Fundação de Amparo à Pesquisa do estado de Alagoas, pela bolsa concedida

Ao Programa de Pós-Graduação em Proteção de Plantas (PPGPP – UFAL), aos professores pelo conhecimento transmitido, infraestrutura e suporte financeiro.

A minha querida orientadora Prof. Dra. Kamila Câmara Correia, por todos os conselhos dados, por ter me ajudado nessa trajetória, pela orientação e por acreditar em mim.

Ao meu querido coorientador Prof. Dr. Sami Jorge Michereff por todo apoio prestado nessa trajetória, pela orientação e por acreditar em mim.

Ao laboratório de Fitopatologia da UFCA na pessoa da técnica Dra. Ivna Salmito por todos os momentos agradáveis vivenciados e pelos conhecimentos transmitidos.

Aos alunos da pós-graduação do laboratório representados pelos meus queridos amigos Jadson Araújo, Raquel Maria e Rodrigo Marques, aos alunos da graduação representados por meus queridos amigos Rafael Luis e Germana Vitória pela boa convivência.

Aos meus avós Maria de Fátima e José Ferreira pela constante atenção e dedicação.

Aos meus pais José Manoel e Rubeci Ferreira, aos meus irmãos Max Douglas e Alessandra, pela força, apoio e amor.

Aos meus tios e tias Rusthem, Robeilson, Roberto, Railson, Raphael, Robeval, Roberta, Rosangela, Rafaela, Rozilene, Robevania, Roseane, Rosineide e Maria do Socorro pelo incentivo, apoio e vibração a cada vitória e conquista.

Agradeço aos meus familiares Edson, Dhivinny, Jefferson, Joyce, Genisson, Ronaldo, Roberta, Sophia, Eloá, Safira, Theo, Marcos, Alice, Eduarda, Samuel, Andressa, Pedro, Miguel, Toni, Viviane, Nicolas, Dayane, Fabio, Ricardo, Carol, Manoel, Quitéria, Gorete, Damiana e Aparecida por toda vibração nas conquistas.

Enfim, a todos que de alguma forma me ajudaram a chegar até aqui

RESUMO

A produção de banana (*Musa* spp.) tem grande importância socioeconômica no Brasil, mas as doenças causam muitas perdas na pós-colheita, com destaque para a podridão da coroa. Essa doença é causada por diversos fungos, incluindo espécies do complexo *Fusarium fujikuroi* (FFSC), sendo *F. annulatum*, *F. musae* e *F. sacchari* as mais prevalentes. Estudos sobre componentes de adaptabilidade são importantes para entender como os isolados se adaptam em resposta à perturbação ou estresse fisiológico, mas não existiam estudos dessa natureza envolvendo as espécies de *Fusarium* associadas à podridão da coroa. Diante disso, o objetivo dessa dissertação foi comparar a adaptabilidade de nove isolados de *F. annulatum*, *F. musae* e *F. sacchari*, sendo três de cada espécie, em relação à: (a) taxa de crescimento micelial, esporulação e germinação dos esporos na temperatura de 25 °C; (b) temperaturas e potenciais hídricos ótimos para crescimento micelial, esporulação e germinação dos esporos; (c) sensibilidade a diferentes fungicidas; e (d) patogenicidade e agressividade dos isolados em frutos de banana, manga e mamão. Isolados da mesma espécie mostraram diferenças significativas entre si ($P \leq 0,05$) nas variáveis analisadas. Com a incubação a 25 °C, o crescimento micelial variou entre 4,1 e 6,7 mm/dia, a esporulação entre $1,9 \times 10^6$ e $44,7 \times 10^6$ esporos/mL e a germinação dos esporos entre 67,4 e 100%. As temperaturas ótimas para o crescimento micelial variaram entre 26,6 e 30,1 °C, para a esporulação entre 25,5 e 34,9 °C, e para a germinação de esporos entre 27,1 e 31,5 °C. Os potenciais hídricos ótimos para o crescimento micelial variaram de -0,16 a -1,24 MPa, para a esporulação entre 0,01 e -1,88 MPa e para a germinação dos esporos entre -0,05 e -1,80 MPa. Somente tiofanato metílico não apresentou atividade inibitória sobre o crescimento micelial de todos os isolados, enquanto apenas esse fungicida e azoxistrobina inibiram a esporulação de todos os isolados. Somente azoxistrobina e piraclostrobina inibiram a germinação de esporos de todos os isolados, enquanto tebuconazol e tiofanato metílico não apresentaram nenhum efeito inibitório sobre a germinação dos esporos dos isolados. Todos os isolados foram patogênicos à banana e manga, com diferentes níveis de agressividade. Nenhum isolado foi patogênico ao mamão. Utilizando o conjunto dados e a análise por UPGMA, os isolados foram separados em seis grupos de similaridade. Essas diferenças de adaptabilidade devem ser consideradas na elaboração de estratégias eficientes de manejo da podridão da coroa da banana.

Palavras-chaves: *Musa* spp., fisiologia de fungos, temperatura, potencial hídrico, fungicidas, agressividade, estresse fisiológico.

ABSTRACT

Banana (*Musa* spp.) production is highly economically important in Brazil, but diseases cause many postharvest losses, especially crown rot. This disease is caused by several fungi, including species of the *Fusarium fujikuroi* complex (FFSC), with *F. annulatum*, *F. musae* and *F. sacchari* being the most prevalent. Studies on fitness components are important to understand how isolates respond to disturbance or physiological stress. Still, no studies of this nature involving *Fusarium* species associated with crown rot. Therefore, the objective of this dissertation was to compare the adaptability of nine isolates of *F. annulatum*, *F. musae* and *F. sacchari*, three of each species, in relation to: (a) mycelial growth rate, sporulation and spore germination at 25 °C; (b) optimum temperatures and water potentials for mycelial growth, sporulation and spore germination; (c) sensitivity to different fungicides; and (d) pathogenicity and aggressiveness of the isolates in banana, mango and papaya fruits. Isolates of the same species showed significant differences ($P \leq 0.05$) in the analyzed variables. With incubation at 25 °C, mycelial growth ranged from 4.1 to 6.7 mm/day, sporulation from 1.9×10^6 to 44.7×10^6 spores/mL, and spore germination from 67.4 to 100%. The optimum temperatures for mycelial growth ranged from 26.6 to 30.1 °C, for sporulation from 25.5 to 34.9 °C, and for spore germination from 27.1 to 31.5 °C. The optimum water potentials for mycelial growth ranged from -0.16 to -1.24 MPa, for sporulation between 0.01 and -1.88 MPa, and for spore germination between -0.05 and -1.80 MPa. Only thiophanate-methyl did not show inhibitory activity on the mycelial growth of any isolates, while only this fungicide and azoxystrobin inhibited the sporulation of all isolates. Only azoxystrobin and pyraclostrobin inhibited spore germination of all isolates, while tebuconazole and thiophanate-methyl did not show any inhibitory effect on spore germination of the isolates. All isolates were pathogenic to banana and mango, with different levels of aggressiveness. No isolate was pathogenic to papaya. Using the data set and UPGMA analysis, the isolates were separated into six similarity groups. These differences in fitness should be considered when developing efficient strategies for managing banana crown rot.

Keywords: *Musa* spp., fungal physiology, temperature, water potential, fungicides, aggressiveness, physiological stress.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Agrupamento Sintomas e sinais da podridão da coroa da banana 15
- Figura 2 - Agrupamento de nove isolados do complexo *Fusarium fujikuroi* (Fa = *F. annulatum*, Fm = *F. musae* e Fs = *F. sacchari*, associados com a podridão da coroa da banana, baseado na distância Euclidiana estimada pelo método UPGMA (agrupamento aos pares pela média aritmética não ponderada), considerando o conjunto das variáveis analisadas 35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Isolados de três espécies do complexo <i>Fusarium fujikuroi</i> previamente obtidos de frutos de banana (cv. Prata Anã) com sintomas de podridão da coroa coletados em unidades de beneficiamento e pontos de comercialização no estado do Ceará (Brasil) e usados nesse estudo	20
Tabela 2 -	Taxa de crescimento micelial, esporulação e germinação dos esporos de isolados do complexo <i>Fusarium fujikuroi</i> associados com a podridão da coroa da banana, sob incubação a 25 °C no escuro	26
Tabela 3 -	Temperatura ótima para o crescimento micelial, esporulação e germinação dos esporos de isolados do complexo <i>Fusarium fujikuroi</i> associados com a podridão da coroa da banana	28
Tabela 4 -	Potencial hídrico (Ψ s) ótimo para o crescimento micelial, esporulação e germinação dos esporos de isolados do complexo <i>Fusarium fujikuroi</i> associados com a podridão da coroa da banana	29
Tabela 5 -	Inibição do crescimento micelial de isolados do complexo <i>Fusarium fujikuroi</i> associados com a podridão da coroa da banana por cinco fungicidas	31
Tabela 6 -	Inibição da esporulação de isolados do complexo <i>Fusarium fujikuroi</i> associados com a podridão da coroa da banana por cinco fungicidas	32
Tabela 7 -	Inibição da germinação dos esporos de isolados do complexo <i>Fusarium fujikuroi</i> associados com a podridão da coroa da banana por cinco fungicidas	33
Tabela 8 -	Agressividade (diâmetro da lesão) em três tipos de frutas de isolados do complexo <i>Fusarium fujikuroi</i> associados com a podridão da coroa da banana	34

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1	Produção de banana	13
2.2	Doenças pós-colheita da banana	14
2.3	Podridão da coroa da banana	15
2.4	Gênero <i>Fusarium</i>	17
2.5	Adaptabilidade de fungos fitopatogênicos	18
3	METODOLOGIA	20
3.1	Isolados fúngicos	20
3.2	Sensibilidade à temperatura	21
3.3	Sensibilidade ao potencial hídrico	22
3.4	Sensibilidade à fungicidas	22
3.5	Patogenicidade e agressividade em frutos	23
3.6	Análise de dados	24
4	RESULTADOS	26
4.1	Sensibilidade à temperatura	26
4.2	Sensibilidade ao potencial hídrico	28
4.3	Sensibilidade à fungicidas	30
4.4	Patogenicidade e agressividade em frutos	33
4.5	Agrupamento geral dos isolados	34
5	DISCUSSÃO	36
6	CONCLUSÃO	40
	REFERÊNCIAS	41
	ANEXOS	48

1. INTRODUÇÃO

A banana (*Musa* spp) é a segunda fruta mais produzida no Brasil (FAO, 2025) e constitui parte importante da renda dos pequenos produtores e da alimentação das mais diversas camadas da população brasileira (AMARO; FAGUNDES, 2016).

Diversas espécies de *Fusarium* já foram relatadas associadas a podridão da coroa da banana (ZAKARIA, 2023), reduzindo a vida útil e comprometendo o aproveitamento dos frutos. Recentemente, foram identificadas espécies do complexo *Fusarium fujikuroi* (FFSC) associadas à podridão da coroa da banana no Brasil (SILVA, 2024). Este complexo é constituído por espécies que são consideradas importantes patógenos de plantas e por serem produtoras de micotoxinas (QIU *et al.*, 2020; TAGUALI *et al.*, 2024).

A adaptabilidade de fungos fitopatogênicos é a habilidade relativa dos organismos para continuarem em um ambiente por um longo período (NELSON, 1979), mesmo sob perturbação ou estresse (ZHAN; MCDONALD, 2013). O conhecimento das características fisiológicas e necessidades ambientais dos patógenos permitem um melhor manejo das culturas hospedeiras, bem como a elaboração de um manejo eficiente das doenças nas fases de pré e pós-colheita.

Até o presente momento, não existem informações sobre o potencial de adaptabilidade das espécies do FFSC associadas à podridão da coroa da banana. Diante do exposto, o objetivo dessa dissertação foi comparar a adaptabilidade dos isolados das espécies *Fusarium annulatum*, *Fusarium musae* e *Fusarium sacchari* associados à podridão da coroa da banana em relação à (a) taxa de crescimento micelial, esporulação e germinação dos esporos na temperatura de 25 °C, (b) temperaturas e potenciais hídricos ótimos para crescimento micelial, esporulação e germinação dos esporos, (c) sensibilidade a diferentes fungicidas, e (d) patogenicidade e agressividade dos isolados em frutos de banana, manga e mamão.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Produção de banana

A bananeira (*Musa* spp.) é originária da região da Malásia e Indonésia, resultado da domesticação e hibridização de duas espécies selvagens: *Musa acuminata* Colla (genoma A) e *Musa balbisiana* Colla (genoma B) (ROUARD *et al.*, 2018). É classificada como uma planta perene, monocotiledônea e herbácea, apresentando um caule denominado de rizoma que se encontra enterrado no solo e na parte aérea encontra-se o pseudocaule que é formado pela compactação das bainhas foliares e do seu centro emerge a inflorescência que dará origem aos frutos (BORGES; SOUZA, 2004).

A bananeira é cultivada em mais de 130 países e ocupa uma área superior a 20 milhões de hectares (AL-DAIRI *et al.*, 2023). A Índia é o principal país produtor de banana, com 34,5 milhões de toneladas, seguida pela China com 11,7 milhões de toneladas, Indonésia com 9,2 milhões de toneladas e Brasil com 6,8 milhões de toneladas (FAO, 2025).

No Brasil, a produção de banana tem importante papel social por ser uma atividade agrícola que possibilita a geração de emprego, trazendo um aumento na renda familiar e está presente em áreas de pequenos, médios e grandes produtores (AMARO; FAGUNDES, 2016). A produtividade média brasileira é de 15,09 t/ha. O cultivo da bananeira é realizado em todos os Estados brasileiros, mas São Paulo é o estado com a maior produção de banana (976,4 mil toneladas), representando 14,3% da produção nacional, seguido pela Bahia (862 mil toneladas) e Minas Gerais (846 mil toneladas). A região Nordeste a maior produtora de banana do País, com destaque para os estados da Bahia (862,6 mil toneladas), Pernambuco (482,6 mil toneladas) e Ceará (421,3 mil toneladas). Nesse último estado, destacam-se os municípios de Limoeiro do Norte (56,6 mil toneladas), na região do Baixo Jaguaribe, e Missão Velha (33,4 mil toneladas), na região do Cariri cearense (IBGE, 2025).

Atualmente, existem mais de 1.000 variedades de bananeiras, que atendem diferentes modelos de produção (SUGIANTI *et al.*, 2022). Dentre as cultivares mais produzidas no Brasil destacam-se ‘Prata’, ‘Prata Anã’ e ‘Pacovan’, pertencentes ao grupo genômico AAB, responsáveis por aproximadamente 60% da área cultivada e consumidas somente no mercado interno. Para o mercado de exportação destacam-se ‘Nanica’, ‘Nanicão’ e ‘Grand Naine’, pertencentes ao grupo genômico AAA (SILVA *et al.*, 2016).

Apesar da elevada produtividade, somente cerca de 40% dos frutos de banana colhidos nas lavouras brasileiras chegam efetivamente às mãos dos consumidores. As principais causas

dessas perdas incluem danos mecânicos devido ao manuseio inadequado antes e após a colheita, armazenamento e a embalagem inadequados, e o desenvolvimento de doenças na pós-colheita (LICHTEMBERG *et al.*, 2016).

2.2. Doenças pós-colheita da banana

As doenças de pós-colheita da banana necessitam de uma atenção especial, pois os frutos são infectados no campo e geralmente os sintomas se manifestam durante o transporte e no momento da comercialização, resultando na inviabilização da comercialização dos frutos por comprometerem a aparência e a qualidade da polpa (ALVINDIA, 2020; PLOETZ; KEMA; MA, 2015; SNEHALATHARANI; DEVAPPA; SANGEETHA, 2021).

As principais doenças que afetam a banana na pós-colheita são a antracnose e a podridão da coroa. Normalmente, os sintomas se manifestam quando as frutas amadurecem e a incidência dessas doenças está intimamente relacionada às práticas culturais e de manejo inadequados no campo, tanques de lavagem e embalagens infestadas, bem como manuseio e transporte pós-colheita inadequados (ALVINDIA, 2020; JONES; MUIRHEAD, 2019; SNEHALATHARANI; DEVAPPA; SANGEETHA, 2021).

A antracnose é a principal doença na pós-colheita de banana em nível mundial (ALDAIRI *et al.*, 2023; JONES; MUIRHEAD, 2019; PLOETZ; KEMA; MA, 2015), causada por fungos do gênero *Colletotrichum*, sendo *C. musae* (Berk. & Curt.) V. Arx a espécie mais prevalente no Brasil (VIEIRA *et al.*, 2017a). É uma doença investigada intensivamente desde seus primeiros relatos, o que resultou no desenvolvimento de estratégias de manejo baseadas na etiologia, condições que favorecem o desenvolvimento, diversidade dos patógenos e eficácia de produtos químicos (PLOETZ; KEMA; MA, 2015; VIEIRA *et al.*, 2017b).

Por outro lado, por ser considerada uma doença de importância secundária, a podridão da coroa tem sido pouco estudada e as informações sobre essa doença são reduzidas, quando comparadas à antracnose (LASSOIS; DE LAPEYRE DE BELLAIRE, 2014). No entanto, nos últimos anos aumentaram os relatos da podridão da coroa como fator limitante à comercialização de banana em diversas regiões produtoras do mundo (ALVINDIA, 2020; NGUYEN *et al.*, 2024; SNEHALATHARANI; DEVAPPA; SANGEETHA, 2021; TAGUALI *et al.*, 2024), elevando a importância da doença e aumentando a necessidade de informações para elaboração de medidas de manejo visando a redução dos danos.

2.3. Podridão da coroa da banana

A podridão da coroa tem se tornado umas das doenças de pós-colheita da banana mais importantes devido as frequentes ocorrências e os prejuízos causados na comercialização dos frutos (JONES; MUIRHEAD, 2019; LASSOIS; DE LAPEYRE DE BELLAIRE, 2014). Os patógenos penetram nos frutos através de ferimentos encontrados que são ocasionados durante o manuseio dos frutos, principalmente no corte dos cachos, lavagem em água contaminada, despencamento e no momento da comercialização, com os sintomas aparecendo na coroa e passando para o pedúnculo e assim chegando no fruto onde o prejuízo é maior (XIE *et al.*, 2022; ZAKARIA *et al.*, 2023).

Os sintomas iniciais da podridão da coroa aparecem durante o transporte dos frutos ou na comercialização. Isso constitui um obstáculo para os frutos que são destinados para exportação, pois os sintomas aparecendo quando estes chegam no destino final, ocasionando uma rejeição dos mesmos devido a redução da qualidade. Os sintomas se caracterizam pelo escurecimento e amolecimento dos tecidos da coroa, que se expandem para o pedicelo e atingem os frutos (Figura 1). Em estádios mais graves, prejudicam a polpa, podendo ocorrer o aparecimento de um mofo branco e acinzentado sobre as lesões (PLOETZ; THOMAS; SLABAUGH, 2003; SANDANUWAN *et al.*, 2020; XIE *et al.*, 2022; ZAKARIA *et al.*, 2023).



Figura 1 – Sintomas e sinais da podridão da coroa da banana. Fonte: o autor.

O controle da podridão da coroa da banana é difícil, sendo fundamental a adoção de medidas integradas, envolvendo a condução do cultivo no campo, os procedimentos de colheita

e o manejo na pós-colheita (JONES; MUIRHEAD, 2019; LASSOIS *et al.*, 2010; LASSOIS; DE LAPEYRE DE BELLAIRE, 2014;).

No campo, o cultivo deve ser mantido em boas condições sanitárias, com a realização de podas para aumentar a circulação do ar, diminuir a umidade e a concorrência dos brotos por água e nutrientes, com a remoção das folhas que possam causar lesões nas pencas e pela remoção de brácteas, restos florais, folhas em senescência e folhas secas (ALVINDIA, 2020; CORDEIRO; MATOS; KIMATI, 2016; JONES; MUIRHEAD, 2019; LASSOIS; DE LAPEYRE DE BELLAIRE, 2014). A cobertura do cacho no campo com saco plástico perfurado é recomendada para reduzir a contaminação fúngica da coroa e a liberação de esporos na água de lavagem durante as operações na casa de embalagem (ALVINDIA, 2000; SILVA *et al.*, 2022; LASSOIS; DE LAPEYRE DE BELLAIRE, 2014).

A colheita dos cachos deve ser realizada quando os frutos ainda estiverem verdes, observando os padrões exigidos para cada subgrupo de banana (LASSOIS; DE LAPEYRE DE BELLAIRE, 2014). O traslado dos cachos do campo até a casa de embalagem deve ser realizado preferencialmente em cabos aéreos, o que reduz os danos nos frutos, que favorecem a infecção pelos patógenos (JONES; MUIRHEAD, 2019; LASSOIS *et al.*, 2010).

A sanitização da casa de embalagem é essencial para o controle da podridão da coroa, devendo ser mantida livre de resíduos de folhas, restos florais e frutas descartadas (ALVINDIA, 2020; CORDEIRO; MATOS; KIMATI, 2016; JONES; MUIRHEAD, 2019). A água dos tanques de lavagem deve ser mantida limpa e trocada periodicamente, na qual deve ser adicionado sabão ou alvejante para remover o látex dos frutos e das pencas, bem como um desinfetante à base de cloro (ALVINDIA, 2020; PLOETZ; THOMAS; SLABAUGH, 2003).

Os frutos de banana podem ser tratados com fungicidas, principalmente pelos métodos de imersão ou pulverização (ALVINDIA, 2020; CORDEIRO; MATOS; KIMATI, 2016; LASSOIS *et al.*, 2010; PLOETZ; THOMAS; SLABAUGH, 2003). Atualmente, apenas os ingredientes ativos imazalil e tiabendazol, e a mistura azoxistrobina + fludioxonil, são registrados no Brasil para o controle de doenças pós-colheita da banana, incluindo a podridão da coroa (MAPA, 2025).

Por muito tempo, a podridão da coroa foi associada principalmente às espécies *C. musae* e *Lasiodiplodia theobromae* (Pat.) Griff & Maubl (CORDEIRO; MATOS; KIMATI, 2016; PLOETZ; THOMAS; SLABAUGH, 2003). Porém, com o avanço das pesquisas, foi constatada que um complexo de diferentes fungos também estava associado à doença, incluindo: *Acremonium* spp. Link, *Arthrinium phaeospermum* (Corda) M. B. Ellis, *Aspergillus* spp. P. Micheli, *Ceratocystis paradoxa* (Dade) C. Moreau, *Cladosporium* spp. Link, *C. musae*,

Curvularia luneta (Wakker) Boedijn, *Musicillium theobromae* (Turconi) Zare & W. Gams, *Nigrospora sphaerica* (Sacc.) E. W. Mason, *Penicillium* spp. E. M. Fries, *Phomopsis* spp. (Sacc.) Bubák, *Phyllosticta musarum* (Cooke) Aa, *Thielaviopsis paradoxa* (De Seynes) Höhn. e muitas espécies de *Fusarium* Link (CORDEIRO; MATOS; KIMATI, 2016; LASSOIS; DE LAPEYRE DE BELLARE, 2014; RENGANATHAN *et al.*, 2022; SALEM *et al.*, 2020; WALIULLAH *et al.*, 2022; ZAKARIA *et al.*, 2023).

2.4. Gênero *Fusarium*

O gênero *Fusarium* pertence ao reino Fungi, filo Ascomycotas, ordem Hypocreales e família Nectriaceae (MYCOBANK, 2025). Tem destacada importância para a agricultura, pois causa importantes doenças em plantas cultivadas, como murchas, podridões e cancos, além de apresentar distribuição em todas as regiões geográficas do mundo (SUMMERELL, 2019; TORRES-CRUZ *et al.*, 2022). Algumas espécies produzem micotoxinas, causando graves problemas de saúde em humanos e animais (YILMAZ *et al.*, 2021), além disso, o gênero tem sido associado a infecções em humanos (CIGHIR *et al.*, 2023; MARINELLI; KIM; HALLIDAY, 2024).

As principais características morfológicas do gênero *Fusarium* incluem: colônias com cotonosa ou aveludada, coloração variando entre branco, rosa, violeta, amarelo ou alaranjado; micélio com coloração variável e septado; conidióforos simples ou ramificados; macroconídios multicelulares, fusiformes, com 3 a 5 septos transversais; microconídios geralmente unicelulares, ovalados a elípticos, produzidos a partir de fiálides delgadas; clamidósporos formados isoladamente ou em cadeias. Essas características variam bastante com a espécie e as condições de cultivo (LESLIE; SUMMERELL, 2006).

A identificação precisa das espécies de *Fusarium* é de extrema importância, pois permite aos profissionais diagnosticarem doenças, desenvolverem estratégias de manejo adequadas e tomarem decisões de tratamentos eficientes (THOMAS *et al.*, 2019). Durante muitos anos, as espécies desse gênero foram identificadas por características morfológicas e fisiológicas, que ao longo do tempo gerou muitas controvérsias. Atualmente, para distinção de espécies do gênero são utilizadas características morfológicas combinadas com estudos filogenéticos baseados em sequências gênicas (BABADOOST, 2018; CROUS *et al.*, 2021, 2022; GEISER *et al.*, 2021; SUMMERELL, 2019; O'DONNELL *et al.*, 2022). Diversas regiões do DNA têm sido utilizadas para identificar espécies de *Fusarium* de importância agrícola e médica com base no sequenciamento dos genes fator de alongamento da tradução 1- α (TEF), calmodulina

(CAL), maior subunidade da RNA polimerase I (RPB1), segunda maior subunidade da RNA polimerase II (RPB2) e β -tubulina (TUB). No entanto, EF1- α e RPB2 são os dois principais genes usados em todos os trabalhos para identificação de espécies desse gênero (CROUS *et al.*, 2022; GEISER *et al.*, 2021; O'DONNELL *et al.*, 2022).

O gênero *Fusarium* é distribuído em 23 linhagens monofiléticas, referidas como complexos de espécies, e mais de 300 espécies distintas filogeneticamente (GEISER *et al.*, 2021; O'DONNELL *et al.*, 2022). As espécies de maior importância para a agricultura estão agrupadas em seis complexos de espécies, que são: complexo de espécie *Fusarium fujikuroi* (FFSC), complexo de espécie *Fusarium oxysporum* (FOSC), complexo de espécie *Fusarium solani* (FSSC), complexo de espécie *Fusarium incarnatum-equiseti* (FIESC), complexo de espécie *Fusarium sambucinum* (FSAMSC) e complexo de espécie *Fusarium tricinctum* (FTSC) (O'DONNELL *et al.*, 2022).

Várias espécies dentro de FFSC foram relatadas como agentes etiológicos de podridões pós-colheita em frutos de banana, incluindo *F. verticillioides* (Sacc.) Nirenberg, *F. proliferatum* (Matsush.) Nirenberg, *F. pseudocircinatum*, *F. sacchari* (E.J. Butler) W. Gams e *F. musae* Van Hove, Waalwijk, Munaut, Logrieco & Moretti (IÑIGUEZ-MORENO *et al.*, 2022; MOLNÁR; BARTÓK; SZÉCSI, 2015; MORETTI *et al.*, 2004; RIOLO *et al.*, 2020; WALIULLAH *et al.*, 2022). A ocorrência de fungos do FFSC associados a frutos tem destacada importância, pois indivíduos desse complexo são potenciais produtores de micotoxinas e, conseqüentemente, passíveis de contaminação dos alimentos (ESKOLA *et al.*, 2020).

Somente um estudo foi realizado no Brasil, até o momento, sobre as espécies de *Fusarium* associadas à podridão da coroa da banana. Nesse estudo, 64 isolados deste fungo foram obtidos de frutos de banana coletados em locais de comercialização e unidades de beneficiamento na região do Cariri cearense (estado do Ceará). Baseado no sequenciamento dos genes EF1- α e RPB2, as análises filogenéticas identificaram cinco espécies de *Fusarium*: *F. annulatum* Bugnic., *F. musae*, *F. pseudocircinatum*, *F. sacchari* e *F. verticillioides*. Houve diferença de prevalência entre as espécies, sendo *F. musae* o mais prevalente, seguido de *F. annulatum* e *F. sacchari* (SILVA, 2024).

2.5. Adaptabilidade de fungos fitopatogênicos

A seleção natural está intimamente ligada à evolução dos organismos e ocorre por conta da quantidade de descendentes capazes de sobreviver. Esta sobrevivência não é aleatória, sendo muitas vezes dependente da adaptabilidade (“fitness”) dos indivíduos (MILGROOM, 2015). A

adaptabilidade biológica de um patógeno de planta é descrita como a habilidade relativa para persistir em um ambiente por um longo período de tempo (NELSON, 1979), sendo constituída de adaptabilidade saprofítica e adaptabilidade patogênica (HARTEVELD *et al.*, 2014). A combinação desses atributos leva a um incremento na reprodução e sobrevivência pelo crescimento micelial, esporulação, patogenicidade e agressividade dos fungos fitopatogênicos (LEACH *et al.*, 2001; PRINGLE; TAYLOR, 2002).

A capacidade competitiva pode ser inferida indiretamente por componentes de adaptabilidade. Como a adaptabilidade é relativa, deve ser estimada pela mensuração de caracteres que propiciam alguma vantagem adaptativa entre os indivíduos. Vários componentes de adaptabilidade podem ser mensurados em patógenos de plantas, dependendo da sua biologia e da facilidade de obtenção por métodos experimentais (MILGROOM, 2015). Marcadores fenotípicos, como taxa de crescimento micelial, potencial reprodutivo, sensibilidade a fungicidas e agressividade tem sido úteis para avaliar a adaptabilidade em patógenos das plantas (ANTONOVICS; ALEXANDER, 1989; ALLEN; LENNÉ; WALLER, 1999; BROWN, 2006; LANNOU, 2012; MILGROOM, 2015).

Estudos sobre componentes de adaptabilidade são importantes para caracterizar coleções de isolados de fungos fitopatogênicos (LANNOU, 2012). No entanto, até o momento não existem estudos de comparação da adaptabilidade de isolados ou espécies de *Fusarium* associadas à podridão da coroa da banana no Brasil. Esses estudos podem fornecer informações importantes sobre como os isolados se adaptam em resposta à perturbação ou estresse fisiológico, bem como sobre as possíveis consequências dessa variabilidade na adaptação.

3. METODOLOGIA

3.1. Isolados fúngicos

Em todos os experimentos foram utilizados nove isolados de três espécies do complexo *Fusarium fujikuroi* obtidos de bananas com sintomas de podridão da coroa no estado do Ceará, Brasil (Tabela 1). Os isolados foram cedidos pela Coleção de Culturas de Fungos Fitopatogênicos do Cariri (CFC) da Universidade Federal do Cariri (Crato, CE, Brasil). Esses isolados foram previamente identificados por inferência filogenética baseada na sequência dos genes fator de alongamento da tradução 1- α (EF1- α) e segunda maior subunidade da RNA polimerase II (RPB2), e tiveram a patogenicidade comprovada (SILVA, 2024). Culturas estoque foram mantidas em tubos de ensaio com meio de cultura batata-dextrose-ágar (BDA; Acumedia, Lansing, EUA) inclinado a 5 °C no escuro.

Tabela 1 – Isolados de três espécies do complexo *Fusarium fujikuroi* previamente obtidos de frutos de banana (cv. Prata Anã) com sintomas de podridão da coroa coletados em unidades de beneficiamento e pontos de comercialização no estado do Ceará (Brasil) e usados nesse estudo.

Espécie de <i>Fusarium</i>	Isolado ^a	Município	Local de coleta
<i>F. annulatum</i>	CFC-1579	Missão Velha	Unidade de beneficiamento
	CFC-1585	Missão Velha	Unidade de beneficiamento
	CFC-1601	Brejo Santo	Unidade de beneficiamento
<i>F. musae</i>	CFC-1604	Brejo Santo	Unidade de beneficiamento
	CFC-1608	Crato	Ponto de comercialização
	CFC-1614	Nova Olinda	Ponto de comercialização
<i>F. sacchari</i>	CFC-1115	Barbalha	Ponto de comercialização
	CFC-1575	Barbalha	Unidade de beneficiamento
	CFC-1596	Missão Velha	Unidade de beneficiamento

^a CFC = Coleção de Culturas de Fungos Fitopatogênicos do Cariri da Universidade Federal do Cariri (Crato, Ceará, Brasil).

Fonte: elaborada pelo autor.

Os isolados foram comparados em relação à sensibilidade do crescimento micelial, esporulação e germinação de esporos a diferentes temperaturas, níveis de potencial hídrico e fungicidas, bem como agressividade em frutos.

3.2. Sensibilidade à temperatura

Esses experimentos avaliaram a influência da temperatura no crescimento micelial, esporulação e germinação de esporos dos isolados. Para determinação da influência da temperatura no crescimento micelial, um disco de micélio (5 mm de diâmetro) de cada isolado foi retirado da margem de uma colônia com sete dias de crescimento em BDA e transferido para o centro de uma placa de Petri (90 mm de diâmetro) contendo 20 mL de BDA. As placas foram incubadas em temperaturas variando de 15 a 35 °C, em intervalos de 5 °C, no escuro. Antes do uso, as incubadoras foram estabilizadas nas respectivas temperaturas por no mínimo 12 horas. O diâmetro de cada colônia foi mensurado após 96 horas de incubação com o auxílio de paquímetro digital em duas direções perpendiculares, sendo calculada a taxa de crescimento micelial (mm/hora).

Na análise do efeito da temperatura na esporulação dos isolados, às placas do experimento de crescimento micelial foram adicionados 10 mL de água destilada estéril e a superfície da colônia foi raspada com um bisturi esterilizado para liberação dos esporos. As suspensões resultantes foram filtradas em gaze em camada dupla antes da adição de 500 µL de lactoglicerol para evitar a germinação dos esporos. As concentrações de esporos (esporos/mL) foram determinadas usando uma câmara de Neubauer observada sob um microscópio ótico.

Na determinação da influência da temperatura na germinação de esporos dos isolados, colônias com sete dias de crescimento em BDA foram submetidas ao procedimento do teste de esporulação, sem a adição de lactoglicerol. As suspensões foram ajustadas para 1×10^6 esporos/mL com água destilada estéril e alíquotas (50 µL) de cada suspensão foram transferidas para quatro pontos equidistantes em placas de Petri (90 mm de diâmetro) contendo meio ágar-água (AA) a 2%. Cada gota foi coberta com uma lamínula de vidro esterilizada e as placas foram incubadas no escuro em temperaturas variando de 15 a 35 °C, em intervalos de 5 °C. Após nove horas de incubação, um total de 100 esporos foram examinados aleatoriamente em cada placa, sob microscópio ótico, para contagem do número de esporos germinados e cálculo da porcentagem de germinação. Um esporo foi considerado germinado se o comprimento do seu tubo germinativo mediu pelo menos a metade da sua largura.

Cada experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, em arranjo fatorial 9x5, representado por nove isolados de *Fusarium* e cinco temperaturas, com quatro repetições (placas de Petri) por combinação de isolado e temperatura.

3.3. Sensibilidade ao potencial hídrico

Com esses experimentos foi avaliada a influência do potencial hídrico no crescimento micelial, esporulação e germinação de esporos dos isolados. Na análise da influência do potencial hídrico no crescimento micelial, um disco de micélio (5 mm de diâmetro) de cada isolado foi retirado da margem de uma colônia com sete dias de crescimento em BDA e transferido para o centro de uma placa de Petri contendo BDA suplementado com KCl para obter os valores de potencial hídrico (Ψ s) de 0, -1, -2, -4, -6 e -8 MPa, conforme Aujla e Paulitz (2017). As placas foram incubadas no escuro a 25 °C. Após 96 horas de incubação, foi mensurado o diâmetro de cada colônia e calculada a taxa de crescimento micelial (mm/hora).

Na avaliação da influência do potencial hídrico na esporulação dos isolados, as placas do experimento anterior foram submetidas aos procedimentos utilizados na análise do efeito da temperatura na esporulação e obtidas as concentrações de esporos (esporos/mL).

Na determinação do efeito do potencial hídrico na germinação de esporos dos isolados, colônias com sete dias de crescimento em BDA suplementado com KCl nos níveis do teste de influência do potencial hídrico no crescimento micelial, foram submetidas aos mesmos procedimentos da análise da influência da temperatura na germinação de esporos e obtida a porcentagem de germinação de esporos.

Cada experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, em arranjo fatorial 9x6, representado por nove isolados de *Fusarium* e seis níveis de potencial hídrico, com quatro repetições (placas de Petri) por combinação de isolado e nível de potencial hídrico.

3.4. Sensibilidade à fungicidas

Com esses experimentos foi analisado o efeito de cinco fungicidas no crescimento micelial, esporulação e germinação de esporos dos isolados. Foram utilizadas formulações comerciais dos fungicidas azoxistrobina (Amistar 500 WG, 500 g de ingrediente ativo (i.a.)/L, Syngenta, São Paulo - SP), difenoconazol (Score, 250 g i.a./L, Syngenta), piraclostrobina (Comet, 250 g i.a./L, Basf, São Paulo - SP), tebuconazol (Folicur 200 EC, 200 g i.a./L, Bayer, São Paulo - SP) e tiofanato metílico (Cercobin 700 WP, 700 g de i.a./kg, Iharabras, São Paulo - SP). Esses fungicidas foram selecionados por serem registrados e utilizados no controle de várias doenças da bananeira em condições de campo (MAPA, 2025).

Para avaliação da sensibilidade no crescimento micelial, os fungicidas foram solubilizados em água destilada estéril e adicionados ao meio BDA fundente (45 °C) para atingirem a concentração de 1,0 μ g i.a./mL. No caso da azoxistrobina e da piraclostrobina,

foram adicionadas 75 µg de ácido salicílico-hidroxiácido (SHAM) diluído em metanol por litro de BDA contendo o fungicida, para suprimir a via alternativa da oxidase (CHEN *et al.*, 2020). Um disco de micélio (5 mm de diâmetro) de cada isolado de *Fusarium* foi retirado da margem de colônia com sete dias de crescimento em BDA e transferido para placa de Petri contendo BDA suplementado com cada fungicida. Placas contendo BDA sem fungicida foram utilizadas como testemunhas. As placas foram incubadas no escuro a 25 °C e cada fungicida foi avaliado separadamente. O crescimento de cada colônia foi mensurado com 72 horas de incubação com o auxílio de paquímetro digital e obtida a média (mm).

Na análise da influência dos fungicidas na esporulação dos esporos dos isolados, as placas do experimento anterior foram submetidas aos procedimentos utilizados na análise do efeito da temperatura na esporulação e obtidas as concentrações de esporos (esporos/mL).

Na determinação do efeito dos fungicidas na germinação de esporos dos isolados, colônias com sete dias de crescimento em BDA suplementado com os fungicidas nas concentrações do teste de influência no crescimento micelial foram submetidas aos mesmos procedimentos da análise da influência da temperatura na germinação de esporos e obtida a porcentagem de germinação de esporos.

Os fungicidas foram avaliados separadamente. Para cada fungicida e experimento, o delineamento foi inteiramente casualizado, com nove tratamentos (isolados de *Fusarium*) e três repetições (placa de Petri) por tratamento.

Com os dados foi calculada a porcentagem de inibição do crescimento micelial (ICM), da esporulação (IES) e da germinação de esporos (IGE) para cada fungicida pela fórmula: $ICM/IES/GER = [(Tes - Fun) / Tes] \times 100$, onde Tes = crescimento micelial, esporulação ou germinação de esporos em placas testemunhas (sem fungicida) e Fun = crescimento micelial, esporulação ou germinação de esporos em placas contendo BDA suplementado com o fungicida.

3.5. Patogenicidade e agressividade em frutos

A patogenicidade e a agressividade dos isolados foram avaliadas em frutos de banana (cv. Prata Anã), manga (cv. Tommy Atkins) e mamão (cv. Golden), no estágio de maturação comercial, selecionados pela uniformidade de tamanho e largura, bem como pela ausência de qualquer dano ou sintoma de doença. Antes da inoculação, os frutos foram desinfestados superficialmente por lavagem em água corrente, imersão em solução de NaOCl a 1% por 3 minutos e enxague duas vezes em água destilada. Após secagem por 1 hora sobre toalhas de

papel estéreis, os frutos foram colocados sobre uma bandeja de ovos previamente desinfestada pela pulverizada com NaOCl a 1%. Cada tipo de fruto foi avaliado separadamente, e em cada bandeja de ovos foram colocados 10 frutos de banana e 3 frutos de manga ou mamão. Após esse procedimento, as bandejas de ovos foram depositadas em uma bandeja plástica forrada com quatro camadas de papel toalha umedecidas com água destilada (80 mL/bandeja).

Os frutos foram inoculados com e sem ferimentos. O ferimento foi feito com um molde circular e dois pregos pequenos esterilizados, sendo que a epiderme de cada fruto foi perfurada em dois pontos equidistantes, com uma profundidade de 3 mm e largura de 0,8 mm. Nas duas situações (sem e com ferimento), a inoculação foi efetuada pela deposição de 20 μ L de uma suspensão de esporos (1×10^6 esporos/mL), obtida conforme descrito no experimento de influência da temperatura na esporulação dos isolados. Água destilada esterilizada sem a presença de esporos do fungo foi utilizada como testemunha. Foram utilizadas cinco repetições (frutos) por isolado. As bandejas foram colocadas dentro de sacos plásticos umedecidos para a formação da câmara úmida (~90% de umidade relativa) e mantidas em condições de laboratório (~28 °C). A câmara úmida foi retirada após 48 horas e as bandejas mantidos na mesma temperatura.

As avaliações da patogenicidade e da agressividade dos isolados foram realizadas após 72 horas da inoculação. O isolado foi considerado patogênico quando constatada a presença de lesão necrótica na área inoculada. A agressividade foi avaliada pela mensuração do diâmetro da lesão (mm) na área inoculada em duas direções perpendiculares para calcular o diâmetro médio da lesão (mm).

Para cada tipo de fruto, o experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, em arranjo fatorial 9x2, representado por nove isolados de *Fusarium* e duas situações de ferimento (sem e com), com cinco repetições (frutos) por combinação de isolado e situação de ferimento.

3.6. Análise de dados

Todos os experimentos foram realizados duas vezes. Os dados das duas réplicas independentes de cada experimento foram reunidos após a realização da análise de homogeneidade de variância pelo teste de Levene, que não detectou heterogeneidade significativa ($P > 0,05$).

Os dados de taxa de crescimento micelial, esporulação e germinação de esporos a 25 °C foram utilizados para comparação dos isolados. Ao plotar os dados em relação às diferentes

temperaturas, as curvas de taxa de crescimento micelial e germinação de esporos foram ajustadas ao modelo de regressão polinomial cúbica ($y = a + bx + cx^2 + dx^3$), enquanto a curva de esporulação foi ajustada ao modelo Lorentziano com três parâmetros ($y = a / (1 + [(x - b) / c]^2)$). Na plotagem dos dados em relação aos diferentes níveis de potencial hídrico, as curvas de taxa de crescimento micelial e germinação de esporos foram ajustadas ao modelo de regressão polinomial de quarto grau ($y = a + bx + cx^2 + dx^3 + ex^4$), enquanto a curva de esporulação foi ajustada ao modelo Lorentziano com três parâmetros. As temperaturas e níveis de potencial hídrico ótimos, definidos como aqueles que produzem as maiores taxas de crescimento micelial, esporulação e germinação de esporos, foram estimados calculando as derivadas dos parâmetros dos modelos de regressão e utilizando os resumos numéricos do software TableCurve 2D v. 5.01 (Systat Software, Chicago, EUA).

Inicialmente, os valores das variáveis estimados nos experimentos para cada isolado dentro da mesma espécie de *Fusarium* foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste de diferença mínima significativa (LSD) de Fisher, ao nível de 5% de probabilidade ($P = 0,05$). Como em todos os experimentos os isolados da mesma espécie diferiram significativamente entre si ($P \leq 0,05$), as análises foram realizadas considerando os isolados independentemente das espécies. Portanto, os valores das variáveis estimados para cada isolado nos experimentos foram submetidos à ANOVA e as médias comparadas pelo teste LSD de Fisher ($P = 0,05$). As correlações entre as variáveis dentro de cada experimento foram analisadas pela correlação de Pearson ($P = 0,05$). Essas análises foram realizadas com o auxílio do programa Statistix v. 9.0 (Analytical Software, Tallahassee, EUA). Posteriormente, para o agrupamento geral dos isolados, foi efetuada uma análise multivariada considerando o conjunto dos resultados e a análise de agrupamento pela distância Euclidiana com o método UPGMA (agrupamento aos pares pela média aritmética não ponderada), com auxílio do programa Statistica 12.0 (StatSoft, Tulsa, EUA).

4. RESULTADOS

4.1. Sensibilidade à temperatura

Todos os isolados de *F. annulatum*, *F. musae* e *F. sacchari* apresentaram crescimento, esporulação e germinação dos esporos em temperaturas variando de 15 °C a 35 °C. Isolados da mesma espécie mostraram diferenças significativas entre si ($P \leq 0,05$) nas variáveis analisadas.

A taxa de crescimento micelial dos isolados a 25 °C variou entre 4,1 mm/dia e 6,7 mm/dia. Os isolados CFC-1115 e CFC-1575, ambos de *F. sacchari*, apresentaram as maiores taxas de crescimento micelial, sem diferirem significativamente entre si. Por outro lado, os isolados CFC-1579, CFC-1601, CFC-1608 e CFC-1614 apresentaram as menores taxas de crescimento micelial, sem diferirem significativamente entre si (Tabela 2).

Tabela 2 – Taxa de crescimento micelial, esporulação e germinação dos esporos de isolados do complexo *Fusarium fujikuroi* associados com a podridão da coroa da banana, sob incubação a 25 °C no escuro.

Espécie de <i>Fusarium</i>	Isolado ^a	TCM ^b (mm/dia)	ESP ^c (x10 ⁶ esporos/mL)	GER ^d (%)
<i>F. annulatum</i>	CFC-1579	4,1 d ^e	10,0 d	91,9 bc
	CFC-1585	4,6 c	34,8 b	100,0 a
	CFC-1601	4,5 cd	10,9 d	90,5 cd
<i>F. musae</i>	CFC-1604	4,7 c	8,3 d	95,9 abc
	CFC-1608	4,1 d	35,4 b	96,9 ab
	CFC-1614	4,2 cd	1,9 e	95,8 abc
<i>F. sacchari</i>	CFC-1115	6,5 a	8,7 d	86,1 d
	CFC-1575	6,7 a	44,7 a	99,1 a
	CFC-1596	5,4 b	30,7 c	67,4 e

^a CFC = Coleção de Culturas de Fungos Fitopatogênicos do Cariri da Universidade Federal do Cariri (Crato, Ceará, Brasil).

^b Taxa de crescimento micelial no meio de cultura batata-dextrose-ágar (BDA).

^c Esporulação após 96 horas de incubação.

^d Germinação dos esporos após nove horas de incubação.

^e Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem significativamente pelo teste LSD de Fisher ($P > 0,05$).

Fonte: elaborada pelo autor.

A esporulação dos isolados a 25 °C variou entre $1,9 \times 10^6$ esporos/mL e $44,7 \times 10^6$ esporos/mL. O isolado CFC-1575 apresentou a maior esporulação, seguido de CFC-1608 (*F. musae*) e CFC-1585 (*F. annulatum*). O isolado CFC-1614 (*F. musae*) apresentou a menor esporulação (Tabela 2). A germinação dos esporos a 25 °C variou de 67,4 % a 100%, sendo que cinco isolados apresentaram esporulação superior a 95% (CFC-1585, CFC-1604, CFC-1608 e CFC-1614), sem diferirem significativamente entre si. Por outro lado, o isolado CFC-1596 (*F. sacchari*) apresentou a menor esporulação, diferindo significativamente dos demais.

Não houve correlação significativa ($P > 0,05$) entre taxa de crescimento micelial, esporulação e germinação de esporos a 25 °C.

Os modelos de regressão utilizados para as estimativas das temperaturas ótimas para crescimento micelial, esporulação e germinação de esporos propiciaram excelentes ajustes dos dados ($R^2 > 0,96$) (Anexos 1 a 3).

As temperaturas ótimas para o crescimento micelial variaram entre 26,6 °C e 30,1 °C. A menor temperatura ótima de crescimento foi observada para o isolado CFC-1608, enquanto as temperaturas ótimas mais elevadas foram observadas para os isolados CFC-1585, CFC-1115 e CFC-1596, com valores entre 29,4 °C e 30,1 °C. Os demais isolados apresentaram valores intermediários, variando de 27,6 °C a 29,0 °C (Tabela 3).

As temperaturas ótimas para esporulação variaram de 25,5 °C a 34,9 °C. O isolado CFC-1614 (*F. musae*) apresentou a maior temperatura ótima para esporulação, enquanto os isolados, CFC-1115, CFC-1596 e CFC-1604, CFC-1608 apresentaram as menores temperaturas ótimas para esporulação, sem diferirem significativamente entre si. Os demais isolados apresentaram valores intermediários de temperaturas ótimas para a esporulação, variando entre 27,5 °C e 29,1 °C.

As temperaturas ótimas para germinação dos esporos variaram de 27,1 °C a 31,5 °C. Os isolados CFC-1115, CFC-1575, CFC-1585, CFC-1596 e CFC-1614 apresentaram as maiores temperaturas ótimas para germinação dos esporos, com valores entre 29,9 °C e 31,5 °C. Por outro lado, os demais isolados apresentaram temperaturas ótimas entre 27,1 °C e 27,8 °C, sem diferirem significativamente entre si (Tabela 3).

Foi constatada correlação significativa ($P \leq 0,05$) entre temperatura ótima para o crescimento micelial e temperatura ótima para germinação de esporos ($r = 0,82$).

Tabela 3 – Temperatura ótima para o crescimento micelial, esporulação e germinação dos esporos de isolados do complexo *Fusarium fujikuroi* associados com a podridão da coroa da banana.

Espécie de <i>Fusarium</i>	Isolado ^a	T _{ot} CM ^b (°C)	T _{ot} ESP ^c (°C)	T _{ot} GER ^d (°C)
<i>F. annulatum</i>	CFC-1579	27,8 c ^e	28,7 bc	27,2 c
	CFC-1585	30,1 a	29,1 b	31,1 a
	CFC-1601	27,6 c	27,5 cd	27,8 bc
<i>F. musae</i>	CFC-1604	29,0 b	26,1 e	27,3 c
	CFC-1608	26,6 d	26,6 de	27,1 c
	CFC-1614	28,9 b	34,9 a	29,9 ab
<i>F. sacchari</i>	CFC-1115	29,7 ab	25,5 e	31,5 a
	CFC-1575	28,9 b	28,7 bc	30,3 a
	CFC-1596	29,4 ab	25,9 e	31,0 a

^a CFC = Coleção de Culturas de Fungos Fitopatogênicos do Cariri da Universidade Federal do Cariri (Crato, Ceará, Brasil).

^b Temperatura ótima para o crescimento micelial estimada pelo modelo de regressão polinomial cúbico: $y = a + bx + cx^2 + dx^3$, onde y = taxa de crescimento micelial (mm/dia); a , b , c e d = parâmetros da regressão; x = temperatura. Foi utilizado o meio de cultura batata-dextrose-ágar (BDA) e as placas incubadas no escuro em temperaturas de 15 a 35 °C.

^c Temperatura ótima para a esporulação estimada pelo modelo Lorentziano de três parâmetros: $y = a / (1 + [(x - b) / c]^2)$, onde y = esporulação ($\times 10^6$ esporos/mL); a , b e c = parâmetros da regressão; x = temperatura. Foi utilizado o meio BDA e as placas incubadas no escuro em temperaturas de 15 a 35 °C.

^d Temperatura ótima para a germinação dos esporos estimada pelo modelo de regressão polinomial cúbico. Foi utilizado o meio de cultura ágar-água e as placas incubadas no escuro em temperaturas de 15 a 35 °C.

^e Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem significativamente pelo teste LSD de Fisher ($P > 0,05$).

Fonte: elaborada pelo autor.

4.2. Sensibilidade ao potencial hídrico

Todos os isolados demonstraram crescimento micelial, esporulação e germinação dos esporos nos diferentes potenciais hídricos testados (0, -1, -2, -4, -6 e -8 MPa). Os isolados da mesma espécie apresentaram diferenças significativas entre si ($P \leq 0,05$) nas variáveis avaliadas. Os modelos de regressão utilizados para as estimativas dos potenciais hídricos ótimos para crescimento micelial, esporulação e germinação de esporos propiciaram excelentes ajustes dos dados ($R^2 > 0,98$) (Anexos 4 a 6).

Os potenciais hídricos ótimos para o crescimento micelial variaram de -0,16 a -1,24 MPa. O isolado CFC-1575 (*F. sacchari*) apresentou o maior valor de potencial hídrico ótimo para o crescimento micelial, enquanto os isolados CFC-1608 e CFC-1614, apresentaram os

menores valores para essa variável. Os demais isolados apresentaram valores intermediários, variando de -0,50 a -0,92 MPa (Tabela 4).

Os valores do potencial hídrico ótimo para a esporulação dos isolados variaram entre -0,01 a -1,88 MPa. O isolado CFC-1579 (*F. annulatum*) apresentou o menor valor de potencial hídrico ótimo para o crescimento micelial, enquanto os maiores valores foram apresentados pelos isolados CFC-1585, CFC-1601 (*F. annulatum*) e CFC-1608 (*F. musae*) (Tabela 4).

Tabela 4 – Potencial hídrico (Ψ_s) ótimo para o crescimento micelial, esporulação e germinação dos esporos de isolados do complexo *Fusarium fujikuroi* associados com a podridão da coroa da banana.

Espécie de <i>Fusarium</i>	Isolado ^a	Ψ_{sotCM}^b (MPa)	Ψ_{sotESP}^c (MPa)	Ψ_{sotGER}^d (MPa)
<i>F. annulatum</i>	CFC-1579	-0,93 b ^d	-1,88 a	-0,70 bc
	CFC-1585	-0,66 cd	-0,01 d	-0,39 c
	CFC-1601	-0,50 d	-0,01 d	-1,96 a
<i>F. musae</i>	CFC-1604	-0,92 b	-0,52 c	-0,85 b
	CFC-1608	-1,24 a	-0,22 cd	-1,80 a
	CFC-1614	-1,02 ab	-1,30 b	-1,52 a
<i>F. sacchari</i>	CFC-1115	-0,50 d	-1,08 b	-0,73 bc
	CFC-1575	-0,16 e	-1,05 b	-0,62 bc
	CFC-1596	-0,82 bc	-1,35 b	-0,05 d

^a CFC = Coleção de Culturas de Fungos Fitopatogênicos do Cariri da Universidade Federal do Cariri (Crato, Ceará, Brasil).

^b Potencial hídrico ótimo para o crescimento micelial (CM) estimado pelo modelo de regressão polinomial de quarto grau: $y = a + bx + cx^2 + dx^3 + ex^4$, onde y = taxa de crescimento micelial (mm/dia); a, b, c, d, e = parâmetros da regressão; x = potencial hídrico; R^2 = coeficiente de determinação. Foi utilizado o meio de cultura batata-dextrose-água com potencial hídrico de 0 a -8 MPa e as placas incubadas no escuro a 25 °C.

^c Potencial hídrico ótimo para a esporulação estimado pelo modelo Lorentziano de três parâmetros: $y = a / (1 + [(x - b) / c]^2)$, onde y = esporulação ($\times 10^6$ esporos/mL); a, b e c = parâmetros da regressão; x = potencial hídrico. Foi utilizado o meio BDA com potencial hídrico de 0 a -8 MPa e as placas incubadas no escuro a 25 °C.

^d Potencial hídrico ótimo para a germinação dos esporos estimado pelo modelo de regressão polinomial de quarto grau. Foi utilizado o meio de cultura meio ágar-água com potencial hídrico de 0 a -8 MPa e as placas incubadas no escuro a 25 °C.

^e Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem significativamente pelo teste LSD de Fisher ($P > 0,05$).

Fonte: elaborada pelo autor.

Em relação à germinação dos esporos, os valores de potencial hídrico ótimo variaram entre -0,05 e -1,80 MPa. O isolado CFC-1596 (*F. sacchari*) apresentou o maior valor de potencial hídrico ótimo para germinação. Por outro lado, os isolados CFC-1601, CFC-1608 e

CFC-1614 apresentaram os menores valores, sem diferirem significativamente entre si (Tabela 4).

Não foram constatadas correlações significativas ($P>0,05$) entre o potencial hídrico ótimo para o crescimento micelial, a esporulação e a germinação dos esporos.

4.3. Sensibilidade à fungicidas

Os isolados de *F. annulatum*, *F. musae* e *F. sacchari* apresentaram diferenças significativas entre si ($P\leq 0,05$) em relação à sensibilidade do crescimento micelial, esporulação e germinação dos esporos aos fungicidas azoxistrobina, difenoconazol, piraclostrobina, tebuconazol e tiofanato metílico, na concentração de 1 µg de i.a./mL (Tabela 5).

Somente tiofanato metílico não apresentou atividade inibitória sobre o crescimento micelial de todos os isolados, enquanto apenas esse fungicida e azoxistrobina inibiram a esporulação de todos os isolados, embora com níveis variáveis de inibição. Somente azoxistrobina e piraclostrobina inibiram a germinação de esporos de todos os isolados, enquanto tebuconazol e tiofanato metílico não apresentaram nenhum efeito inibitório sobre a germinação dos esporos dos isolados (Tabelas 5, 6 e 7).

A inibição do crescimento micelial por azoxistrobina variou entre 32,2% e 82,3%, com os isolados CFC-1585 e CFC-1604 apresentando os menores e maiores valores, respectivamente, e diferindo significativamente entre si e dos demais isolados. Para piraclostrobina, a inibição do crescimento micelial variou de 54,6% a 86,5%. Os isolados CFC-1585 e CFC-1596 foram os mais sensíveis, enquanto os isolados CFC-1579, CFC-1601, CFC-1604 e CFC-1614 mostraram a menor sensibilidade (Tabela 5).

Houve inibição do crescimento micelial entre 55,9% e 80,3% com a utilização de difeconazol. Seis isolados (CFC-1115, CFC-1575, CFC-1579, CFC-1585, CFC-1596 e CFC-1608) se destacaram pela maior inibição, sem diferirem significativamente entre si. A menor inibição foi apresentada pelo isolado CFC-1614, enquanto os isolados restantes (CFC-1601 e CFC-1604) apresentaram valores intermediários. Tebuconazol evidenciou elevada atividade inibitória do crescimento micelial dos isolados, pois somente um isolado (CFC-1601) foi inibido em menos de 95%. A inibição do crescimento micelial variou entre 83,7% e 96,9% e apenas CFC-1601, diferiu significativamente dos demais isolados. Com a utilização de tiofanato metílico a inibição do crescimento micelial variou entre 0% e 68,2%, apresentadas pelos isolados CFC-1585 e CFC-1575, respectivamente, que diferiram significativamente entre si e dos demais isolados. Valores de inibição entre 38,7% e 63,8% foram apresentados pelo

isolados restantes (Tabela 5).

Tabela 5 – Inibição do crescimento micelial de isolados do complexo *Fusarium fujikuroi* associados com a podridão da coroa da banana por cinco fungicidas.

Espécie de <i>Fusarium</i>	Isolado ^a	Fungicida ^b / Inibição do crescimento micelial (%)				
		Azoxi	Pirac	Difec	Tebuc	Tiofa
<i>F. annulatum</i>	CFC-1579	69,6 bc ^c	80,1 ab	78,4 a	95,9 a	40,9 ef
	CFC-1585	32,2 f	54,6 d	75,2 a	95,5 a	0,0 h
	CFC-1601	68,8 c	82,5 a	65,2 b	83,7 b	38,7 f
<i>F. musae</i>	CFC-1604	82,3 a	80,4 ab	67,1 b	96,9 a	63,8 bc
	CFC-1608	59,4 d	74,7 bc	79,0 a	96,6 a	46,3 de
	CFC-1614	73,4 b	86,1 a	55,9 c	96,7 a	48,3 cd
<i>F. sacchari</i>	CFC-1115	57,5 d	71,4 c	78,9 a	96,1 a	57,4 b
	CFC-1575	68,9 c	75,7 bc	79,2 a	95,8 a	68,2 a
	CFC-1596	51,9 e	59,0 d	80,3 a	96,9 a	17,6 g

^a CFC = Coleção de Culturas de Fungos Fitopatogênicos do Cariri da Universidade Federal do Cariri (Crato, Ceará, Brasil).

^b Azoxi = azoxistrobina, Pirac = piraclostrobina, Difec = difenoconazol, Tebuc = tebuconazol, e Tiofa = tiofanato-metílico. Os fungicidas foram utilizados na concentração de 1 µg de i.a./mL, no meio de cultura batata-dextrose-água.

^c Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem significativamente pelo teste LSD de Fisher (P>0,05).

Fonte: elaborada pelo autor.

A inibição da esporulação por azoxistrobina variou entre 18,4% e 79,2%. O isolado CFC-1614 demonstrou a maior inibição da esporulação, enquanto os isolados CFC-1579, CFC-1585 e CFC-1608 apresentaram as menores inibições. A inibição da esporulação por piraclostrobina variou de 0% a 79%. Dois isolados (CFC-1604 e CFC-1608) não apresentaram inibição, enquanto o isolado CFC-1614 foi o mais inibido. Os outros isolados mostraram inibições de esporulação entre 28,1% e 41,1% (Tabela 6).

Cinco isolados (CFC-1115, CFC-1575, CFC-1596, CFC-1604 e CFC-1614) não tiveram a esporulação inibida pelo difenoconazol, enquanto o isolado CFC-1608 teve a maior inibição (81,5%), diferindo significativamente dos demais. Os isolados restantes apresentaram inibições de esporulação entre 21,4% e 48,4% (Tabela 6).

O isolado CFC-1614 não teve a esporulação inibida pelo tebuconazol, enquanto o isolado CFC-1596 foi o mais inibido, seguido pelo isolado CFC-1575. Os outros isolados mostraram inibições de esporulação entre 30,9% e 64,2%. Todos os isolados tiveram a esporulação inibida pelo tiofanato metílico, com inibições variando entre 51,1% e 96,2%. O

isolado CFC-1579 apresentou a menor inibição, enquanto os isolados CFC-1115, CFC-1575, CFC-1604 e CFC-1608 foram os mais inibidos, com valores entre 91,9% e 96,2% (Tabela 6).

Tabela 6 – Inibição da esporulação de isolados do complexo *Fusarium fujikuroi* associados com a podridão da coroa da banana por cinco fungicidas.

Espécie de <i>Fusarium</i>	Isolado ^a	Fungicida ^b / Inibição da esporulação (%)				
		Azoxi	Pirac	Difec	Tebuc	Tiofa
<i>F. annulatum</i>	CFC-1579	19,7 f ^c	41,1 b	48,4 b	47,7 d	51,1 e
	CFC-1585	18,4 f	28,1 d	21,4 c	64,2 c	27,2 f
	CFC-1601	49,4 c	28,9 d	20,2 c	62,8 c	87,2 cd
<i>F. musae</i>	CFC-1604	42,7 d	0,0 e	0,0 d	32,3 f	96,2 a
	CFC-1608	24,2 ef	0,0 e	81,5 a	30,9 f	91,9 abc
	CFC-1614	79,2 a	79,0 a	0,0 d	0,0 g	86,0 d
<i>F. sacchari</i>	CFC-1115	67,0 b	40,9 b	0,0 d	38,9 e	92,2 ab
	CFC-1575	45,9 cd	36,3 bc	0,0 d	87,1 b	92,6 ab
	CFC-1596	27,2 e	30,9 cd	0,0 d	94,6 a	89,0 bcd

^a CFC = Coleção de Culturas de Fungos Fitopatogênicos do Cariri da Universidade Federal do Cariri (Crato, Ceará, Brasil).

^b Azoxi = azoxistrobina, Pirac = piraclostrobina, Difec = difenoconazol, Tebuc = tebuconazol, e Tiofa = tiofanato-metílico. Os fungicidas foram utilizados na concentração de 1 µg de i.a./mL, no meio de cultura batata-dextrose-ágar.

^c Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem significativamente pelo teste LSD de Fisher (P>0,05).

Fonte: elaborada pelo autor.

Em relação à inibição da germinação de esporos, todos os isolados foram sensíveis aos fungicidas azoxistrobina e piraclostrobina, enquanto quatro isolados não apresentaram inibição com o difenoconazol, e nenhum isolado foi afetado pelos fungicidas tebuconazol e tiofanato metílico (Tabela 6). A inibição da germinação de esporos por azoxistrobina variou entre 38,1% e 90,6%. O isolado CFC-1604 demonstrou a menor inibição com azoxistrobina, enquanto os isolados CFC-1115, CFC-1575, CFC-1596 e CFC-1601 apresentaram os maiores níveis de inibição. Os demais isolados mostraram valores intermediários de inibição da germinação dos esporos (Tabela 6).

Piraclostrobina inibiu completamente a germinação dos esporos de três isolados (CFC-1596, CFC-1601 e CFC-1604), enquanto o isolado CFC-1585 apresentou a menor inibição. Os outros isolados exibiram inibições de germinação de esporos variando de 68,2% a 88,9%. Quanto ao difenoconazol, o isolado CFC-1614 mostrou a maior inibição da germinação dos esporos, enquanto os isolados CFC-1575, CFC-1579, CFC-1601 e CFC-1608 não foram

inibidos.

As correlações foram significativas ($P \leq 0,05$) somente entre inibição do crescimento micelial pelos fungicidas azoxistrobina e piraclostrobina ($r = 0,90$), azoxistrobina e tiofanato metílico ($r = 0,81$), e piraclostrobina e tiofanato metílico ($r = 0,73$). Não foram constatadas correlações significativa ($P > 0,05$) entre os fungicidas nas demais variáveis analisadas.

Tabela 7 – Inibição da germinação dos esporos de isolados do complexo *Fusarium fujikuroi* associados com a podridão da coroa da banana por cinco fungicidas.

Espécie de <i>Fusarium</i>	Isolado ^a	Fungicida ^b / Inibição da germinação de esporos (%)				
		Azoxi	Pirac	Difec	Tebuc	Tiofa
<i>F. annulatum</i>	CFC-1579	58,3 d ^c	81,8 c	0,0 e	0,0 a	0,0 a
	CFC-1585	76,0 b	57,4 e	15,8 b	0,0 a	0,0 a
	CFC-1601	89,2 a	100,0 a	0,0 e	0,0 a	0,0 a
<i>F. musae</i>	CFC-1604	38,1 e	100,0 a	4,4 d	0,0 a	0,0 a
	CFC-1608	63,0 d	88,9 bc	0,0 e	0,0 a	0,0 a
	CFC-1614	69,9 c	68,2 d	39,4 a	0,0 a	0,0 a
<i>F. sacchari</i>	CFC-1115	86,0 a	82,9 c	7,5 c	0,0 a	0,0 a
	CFC-1575	90,6 a	96,6 ab	0,0 e	0,0 a	0,0 a
	CFC-1596	85,5 a	100,0 a	7,4 c	0,0 a	0,0 a

^a CFC = Coleção de Culturas de Fungos Fitopatogênicos do Cariri da Universidade Federal do Cariri (Crato, Ceará, Brasil).

^b Azoxi = azoxistrobina, Pirac = piraclostrobina, Difec = difenoconazol, Tebuc = tebuconazol, e Tiofa = tiofanato-metílico. Os fungicidas foram utilizados na concentração de 1 µg de i.a./mL, no meio de cultura batata-dextrose-ágar.

^c Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem significativamente pelo teste LSD de Fisher ($P > 0,05$).

Fonte: elaborada pelo autor.

4.4. Patogenicidade e agressividade em frutos

Sem a realização de ferimentos, os isolados das espécies do complexo *Fusarium fujikuroi* não induziram sintomas nos frutos de banana (cv. Prata Anã), mamão (cv. Golden) e manga (cv. Tommy Atkins). Por outro lado, quando submetidos a ferimentos, todos os isolados causaram lesões em banana e manga, com diferenças significativas entre si ($P \leq 0,05$) quanto ao diâmetro das lesões causadas em cada fruto (Tabela 8). Mesmo com ferimento, nenhum isolado induziu sintomas em mamão, indicando que não foram patogênicos para esse fruto.

Em banana, os diâmetros das lesões variaram de 3,2 mm a 4,1 mm. Seis isolados se destacaram ao induzirem as maiores lesões, com valores entre 3,7 mm e 4,1 mm, sem diferirem

significativamente entre si. Os outros três isolados (CFC-1585, CFC-1601 e CFC-1604) causaram as menores lesões, com valores entre 3,2 mm e 3,4 mm, não diferindo entre si. Em manga, os tamanhos das lesões variaram entre 4,1 mm e 9,9 mm, sendo este último induzido pelo isolado CFC-1596, que diferiu significativamente dos demais. Não houve correlação significativa ($P>0,05$) entre os níveis de severidade da doença constatados em banana e manga.

Tabela 8 – Agressividade (diâmetro da lesão) em três tipos de frutas de isolados do complexo *Fusarium fujikuroi* associados com a podridão da coroa da banana.

Espécie de <i>Fusarium</i>	Isolado ^a	Fruta / Diâmetro da lesão (mm)	
		Banana	Manga
<i>F. annulatum</i>	CFC-1579	3,4 bc ^b	4,6 bc
	CFC-1585	3,9 a	5,16 bc
	CFC-1601	3,2 c	4,1 c
<i>F. musae</i>	CFC-1604	3,3 bc	4,1 c
	CFC-1608	3,7 abc	5,0 bc
	CFC-1614	3,7 abc	5,7 b
<i>F. sacchari</i>	CFC-1115	4,0 a	4,2 bc
	CFC-1575	4,1 a	5,1 bc
	CFC-1596	3,8 ab	9,9 a

^a CFC = Coleção de Culturas de Fungos Fitopatogênicos do Cariri da Universidade Federal do Cariri (Crato, Ceará, Brasil).

^b Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem significativamente pelo teste LSD de Fisher ($P>0,05$).

Fonte: elaborada pelo autor.

4.5. Agrupamento geral dos isolados

Utilizando o conjunto de variáveis avaliadas, a análise multivariada da distância Euclidiana por UPGMA permitiu a separação dos isolados de *F. annulatum*, *F. musae* e *F. sacchari* associados à podridão da coroa da banana em seis grupos de similaridade. O grupo I foi formado por três isolados, incluindo as espécies *F. annulatum* (CFC-1579) e *F. musae* (CFC-1608 e CFC-1604). O grupo IV foi formado por dois isolados (CFC-1115 e CFC-1575), ambos de *F. sacchari*. Os demais grupos foram formados por somente um isolado, incluindo os grupos II (CFC-1601), III (CFC-1585), V (CFC-1596) e VI (CFC-1614) (Figura 2).

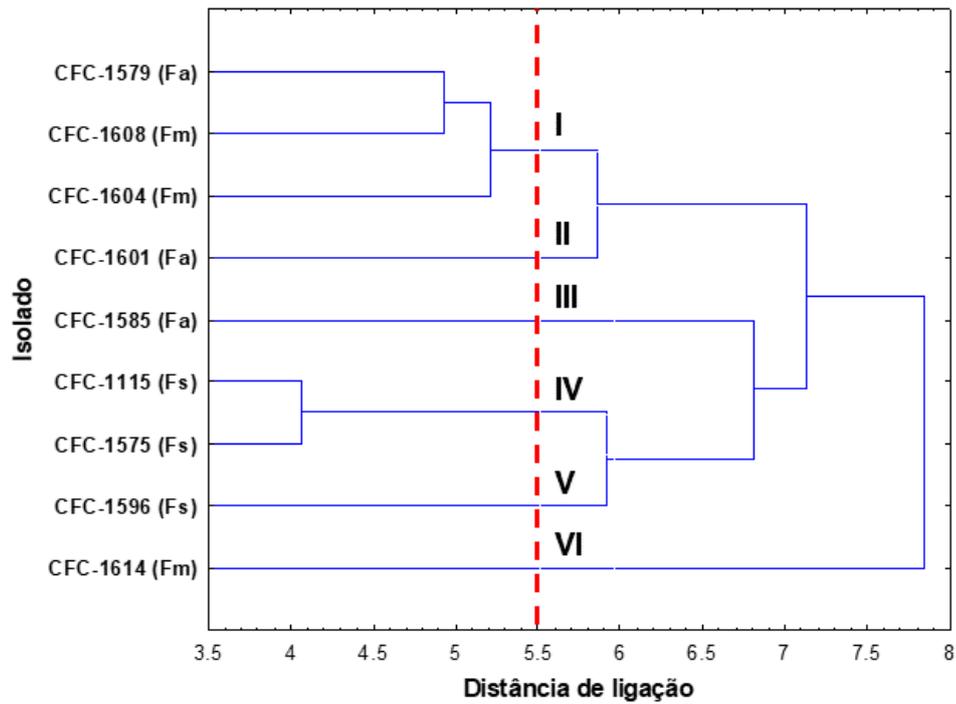


Figura 2 – Agrupamento de nove isolados do complexo *Fusarium fujikuroi* (Fa = *F. annulatum*, Fm = *F. musae* e Fs = *F. sacchari*, associados com a podridão da coroa da banana, baseado na distância Euclidiana estimada pelo método UPGMA (agrupamento aos pares pela média aritmética não ponderada), considerando o conjunto das variáveis analisadas. Fonte: elaborada pelo autor.

5. DISCUSSÃO

Este é o primeiro estudo a avaliar a sensibilidade do crescimento micelial, da esporulação e da germinação de esporos de isolados de *F. annulatum*, *F. musae* e *F. sacchari* associados à podridão da coroa da banana, em relação a diferentes temperaturas, potenciais hídricos e fungicidas, além de analisar a patogenicidade e agressividade em frutos de manga e mamão. A análise dos fatores que influenciam a adaptabilidade de fungos fitopatogênicos é essencial para compreender a biologia desses organismos sob condições de estresse, bem como as possíveis implicações na epidemiologia e no manejo das doenças (MILGROOM, 2015; ZHAN; MCDONALD, 2013).

As diferenças significativas de sensibilidade observadas entre os isolados de uma mesma espécie fúngica em relação às variáveis analisadas, como ocorreu nesse estudo, sugerem que a sensibilidade aos fatores avaliados é uma característica específica de cada isolado, independentemente da espécie (HEWITT *et al.*, 2016). Portanto, as variações significativas entre os isolados indicam diferenças na adaptabilidade às situações que foram submetidos.

A germinação de conídios é um dos primeiros processos de pré-infecção de fungos, enquanto o crescimento micelial e a esporulação representam eventos pós-infecção, por isso a importância de analisar a influência de fatores abióticos a essas três fases do processo infeccioso (SPANU; DI PIETRO; OLIVER, 2024).

A temperatura é um fator ambiental que influencia a distribuição, o crescimento, a sobrevivência e a patogenicidade de *Fusarium* (LESLIE; SUMMERELL, 2006; LIU *et al.*, 2022; MSHELIA *et al.*, 2020). Os isolados das três espécies de *Fusarium* associadas à podridão da coroa da banana cresceram, esporularam e germinaram os esporos em temperaturas de 15 °C a 35 °C, indicando que são mesófilos (DEACON, 2006). No entanto, a maioria das temperaturas ótimas para o crescimento micelial, esporulação e germinação dos esporos foram entre 27 °C e 30 °C, assemelhando-se ao constatado para isolados de outras espécies de *Fusarium* (DE VOS *et al.*, 2011; DONG *et al.*, 2023; FRANS *et al.*, 2017; MANSTRETTA *et al.*, 2016). Essas temperaturas são típicas de zonas tropicais onde a banana é produzida (DONATO *et al.*, 2016), incluindo a região na qual os isolados desse estudo foram obtidos. Estes resultados são uma indicação de que as diferentes espécies de *Fusarium* podem crescer, colonizar o tecido hospedeiro e produzir esporos em altas temperaturas, além dessa condição de temperatura constituir um dos fatores mais importantes na predisposição do hospedeiro à infecção (LASSOIS, L.; DE LAPEYRE DE BELLAIRE, 2014).

Alguns isolados deste estudo demonstraram maior adaptabilidade em temperaturas em

torno de 30 °C, mantendo a capacidade de esporulação e germinação dos esporos, enquanto outros isolados se mostraram mais adaptados a temperaturas próximas de 27 °C. Além disso, vale ressaltar que alguns isolados apresentaram maior crescimento micelial e germinação de esporos em temperaturas ao redor de 30 °C, enquanto a esporulação foi mais pronunciada em temperaturas entre 25 °C e 26 °C. Isso demonstra que esses isolados possuem um alto nível de plasticidade fisiológica, o que lhes confere maior adaptabilidade a diferentes temperaturas.

A disponibilidade de água é fator importante para o desenvolvimento de espécies de *Fusarium* (COOK, 1981; EZRARI *et al.*, 2021; PALACIOS *et al.*, 2014; RAMIREZ; CHULZE; MAGAN, 2006). O crescimento micelial, a esporulação e a germinação dos esporos de fungos são influenciadas pelo potencial hídrico. O estresse hídrico afeta de forma direta as relações osmóticas das células dos fungos, levando as células a perderem água e assim resultando na redução da pressão de turgor. Este fato leva as células a perderem a sua forma e impossibilita o desenvolvimento do fungo, comprometendo a capacidade de se desenvolver em ambientes de estresse hídrico (COOK; PAPENDICK, 1978; EAMUS; JENNINGS, 1986). Isso ocorre porque os fungos respondem às variações no potencial hídrico com mudanças nas atividades metabólicas, no crescimento vegetativo e nos estágios reprodutivos (DEACON, 2006; GRIFFIN, 1994). A diminuição do potencial hídrico reduz o crescimento micelial ao aumentar a taxa de respiração e a energia desviada do crescimento do fungo para manter o turgor das células hifais (MARTÍNEZ-VILLARREAL *et al.*, 2016).

O crescimento micelial, a esporulação e a germinação dos esporos das três espécies de *Fusarium* foram afetadas pelos níveis de potencial hídrico. Os valores de potencial hídrico ótimo constatados nesse estudo se assemelham aos observados em outros trabalhos com espécies de *Fusarium* (EZRARI *et al.*, 2021; MEDINA; MAGAN, 2010; PALACIOS *et al.*, 2014; RAMIREZ; CHULZE; MAGAN, 2006). No entanto, ficou evidente que a sensibilidade ao potencial hídrico variou conforme o isolado e o processo fisiológico em questão. Para alguns isolados, o déficit hídrico não afetou drasticamente o crescimento micelial, a esporulação e a germinação dos esporos, enquanto para outros, os valores ótimos de potencial hídrico para a esporulação e germinação dos esporos ocorreram em condições de maior disponibilidade de água. Esses resultados demonstram que alguns isolados de *Fusarium* associados à podridão da coroa da banana apresentam uma maior adaptabilidade para se desenvolverem em ambientes com estresse hídrico.

Não há fungicidas registrados no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) do Brasil para o controle de *Fusarium* em bananas na pós-colheita. No entanto, esse gênero fúngico pode ser exposto a ingredientes ativos usados no controle de outras doenças

tanto no campo quanto na pós-colheita (MAPA, 2025). Todos os fungicidas empregados neste estudo são registrados para o controle de doenças da bananeira no campo e possuem ação sistêmica, com base em mecanismos específicos, além de relatos de resistência em outros fungos (FRAC, 2024).

A ineficácia do fungicida tiofanato metílico para inibir a germinação de esporos dos isolados de *Fusarium* pode estar associada à menor capacidade do mecanismo de ação em atuar nesse processo. Os benzimidazóis, como tiofanato metílico, atuam inibindo a polimerização da tubulina, uma proteína essencial para a formação dos microtúbulos no interior das células fúngicas, afetando assim a mitose e o crescimento celular. Esse mecanismo de ação é eficaz, principalmente, no crescimento micelial e na divisão celular dos fungos (YOUNG, 2015). Outro aspecto importante é que esse grupo de fungicidas é classificado como de alto risco de resistência (FRAC, 2024).

Os fungicidas tebuconazol e difenoconazol causaram uma elevada inibição do crescimento micelial dos isolados de *Fusarium*, porém se mostraram ineficazes na inibição da esporulação e na germinação dos esporos. Isso pode ser decorrente do mecanismo de ação, pois esses princípios ativos, pertencentes ao grupo dos triazóis, atuam inibindo a biossíntese de ergosterol, um componente essencial na formação e manutenção das membranas celulares durante o crescimento micelial (STENZEL; VORS, 2019; ZIOGAS; MALANDRAKIS, 2015). A esporulação e a germinação dos esporos são processos que podem ser menos dependentes da biossíntese de ergosterol em comparação com o crescimento micelial, o que pode explicar a relativa falta de eficácia desses fungicidas em bloquear essas etapas reprodutivas.

A elevada efetividade dos fungicidas azoxistrobina e piraclostrobina na inibição da germinação dos esporos de *Fusarium* também foi relatada em estudos recentes (HOU *et al.*, 2023; SONG *et al.*, 2022) e está associada ao mecanismo de ação. As estrobilurinas, como azoxistrobina e piraclostrobina, pois atuam em um sítio específico na mitocôndria, inibindo a oxidação da nicotinamida adenina dinucleotídeo fosfato (NADPH) e a síntese de adenosina trifosfato (ATP), resultando na interrupção da produção de energia da célula, com isso ocorre a interrupção de processos que necessitam de um alto custo energético, como a germinação dos esporos (BALBA, 2007; GEWEHR; SAUTER, 2019; SIEROTZKI, 2015).

Houve grande variação entre os isolados de *Fusarium* associados à podridão da coroa da banana em relação à sensibilidade aos fungicidas, bem como o comportamento de cada isolado variou conforme a variável fisiológica avaliada. A constatação de isolados de *Fusarium* com reduzida sensibilidade do crescimento micelial a tiofanato metílico e da esporulação a piraclostrobina, difenoconazol e tebuconazol, bem como da ineficácia de difenoconazol para

inibir a germinação de alguns isolados e de tebuconazol e tiofanato metílico de inibir todos os isolados, pode ser um indicativo da ocorrência de indivíduos resistentes aos fungicidas. É importante destacar que os fungicidas podem atuar como um fator de seleção direcional, selecionando populações de espécies fúngicas com menor sensibilidade, que podem predominar a longo prazo em detrimento de espécies mais sensíveis (MILGROOM, 2015).

A patogenicidade de espécies de *Fusarium* em frutos de banana e manga foi relatada em outros estudos (GOUDARZI *et al*, 2021; KAMEL; CORTESI; SARACCHI, 2016; MOLNÁR; BARTÓK; SZÉCSI, 2015; LI; ZANG, 2023; SILVA, 2024; UMAÑA-ROJAS; GARCÍA, 2009). Como o mamão não apresentou sintomas, diferente do constatado em banana e manga, pode-se sugerir que os isolados de *Fusarium* provenientes de banana não sejam patogênicos para esse hospedeiro. Esse resultado pode estar relacionado a diferenças nas características das frutas. As frutas possuem diferentes concentrações de compostos bioquímicos, como açúcares, ácidos e antioxidantes, que podem afetar a capacidade do fungo de infectar e se proliferar. *Fusarium* pode se adaptar melhor ao ambiente fornecido pela banana e pela manga, mas não ao do mamão. O mamão pode ter mecanismos de defesa mais eficientes contra a infecção por *Fusarium*, como a produção de substâncias antimicrobianas ou uma estrutura celular que dificulta a proliferação de fungos. A casca e a polpa do mamão podem ser fisicamente diferentes da banana e da manga, o que pode influenciar a capacidade do fungo de colonizar e se espalhar. Outro aspecto a considerar é forma de inoculação de *Fusarium* em mamão, que pode não ter sido eficaz ou as condições experimentais podem não ter sido ideais para causar uma infecção. Portanto, uma investigação mais abrangente, incluindo outras cultivares, diferentes estádios de maturação e variadas condições ambientais, é fundamental para esclarecer melhor essa questão.

Informações sobre a agressividade das espécies de *Fusarium* em frutos são limitadas. Nesse estudo, não foi possível associar os níveis de agressividade em banana e manga às espécies de *Fusarium*, tendo em vista a variabilidade na agressividade constatada entre isolados da mesma espécie. O aspecto relevante é que isolados originários da banana podem causar doença em outros frutos, o que nos leva a especular que a infecção cruzada por *Fusarium* pode ocorrer em pomares, o que pode exigir ajustes de práticas culturais de manejo.

Os resultados obtidos nesse estudo indicam que os isolados de *Fusarium* associados à podridão da coroa da banana, mesmo pertencentes a uma mesma espécie, são separados em diferentes grupos de similaridade baseado na adaptabilidade às condições de temperatura, potencial hídrico, sensibilidade a fungicidas e agressividade a diferentes hospedeiros. Essas diferenças de adaptabilidade devem ser consideradas na elaboração de estratégias eficientes de manejo da podridão da coroa da banana.

6. CONCLUSÃO

1. Os isolados de *F. annulatum*, *F. musae* e *F. sacchari*, associados à podridão da coroa da banana, diferem dentro da mesma espécie quanto à sensibilidade à temperatura, potencial hídrico e fungicidas, bem como em relação à agressividade em frutos de banana e manga;
2. Existem variações significativas nas adaptabilidades entre os isolados de *F. annulatum*, *F. musae* e *F. sacchari*, associados à podridão da coroa da banana;
3. Temperatura, potencial hídrico e fungicidas exercem influências variáveis no crescimento micelial, na esporulação e na germinação dos esporos dos isolados de *F. annulatum*, *F. musae* e *F. sacchari*, associados à podridão da coroa da banana;
4. Os isolados de *F. annulatum*, *F. musae* e *F. sacchari*, associados à podridão da coroa da banana, têm capacidade de causar doença em frutos de manga, mas não em frutos de mamão;
5. Os isolados de *F. annulatum*, *F. musae* e *F. sacchari*, associados à podridão da coroa da banana, são separados em diferentes grupos de similaridade baseado nas adaptabilidades, o que deve ser considerado no desenvolvimento de estratégias de manejo da doença.

REFERÊNCIAS

AL-DAIRI, M. *et al.* Postharvest quality, technologies, and strategies to reduce losses along the supply chain of banana: A review. **Trends in Food Science**, Amsterdam, v. 134, n. 4, p. 177-191, 2023.

ALLEN, D. J.; LENNÉ, J. M.; WALLER, J. M. Pathogen biodiversity: its nature, characterization and consequences. *In*: WOOD, D.; LENNÉ, J. M. (ed.). **Agrobiodiversity: characterization, utilization and management**. Wallingford: CAB International, 1999. p. 123-153.

ALVINDIA, D. G. Banana and plantain. *In*: PALOU, L.; SMILANICK, J. L. (eds.). **Postharvest pathology of fresh horticultural produce**. Boca Raton: CRC Press, 2020. p. 277-301.

AMARO, A. A.; FAGUNDES, P. R. S. Aspectos econômicos e comercialização. *In*: FERREIRA, C. F.; SILVA, S. O.; AMORIM, E. P. *et al.* (ed.). **O agronegócio da banana**. Brasília: Embrapa, 2016. p. 727-752.

ANTONOVICS, J.; ALEXANDER, H. M. The concept of fitness in plant fungal pathogen systems. *In*: LEONARD, K. J.; FRY, W. E. (ed.). **Plant disease epidemiology**. New York: McGraw-Hill, 1989. p. 185-214.

AUJLA, I. S.; PAULITZ, T. C. An improved method for establishing accurate water potential levels at different temperatures in growth media. **Frontiers in Microbiology**, Lausanne, v. 8, e1497, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.01497>. Acesso em: 20 ago. 2024.

BABADOOST, M. *Fusarium*: Historical and continued importance. *In*: ASKUN, T. (ed.). **Fusarium: Plant diseases, pathogen diversity, genetic diversity, resistance and molecular markers**. Rijeka: IntechOpen, 2018. p. 13-22.

BALBA, H. Review of strobilurin fungicide chemicals. **Journal of Environmental Science and Health, Melbourne, Part B**, v. 42, n. 4, p. 441-451, 2007.

BORGES, A. L.; SOUZA, L. S. Exigências edafoclimáticas. *In*: BORGES, A. L.; SOUZA, L. S. (ed.). **O cultivo da bananeira**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2004. p. 15-23.

BROWN, J. K. M. Surveys of variation in virulence and fungicide resistance and their application to disease control. *In*: COOKE, B. M.; JONES, D. G.; KAYE, B. (ed.). **The epidemiology of plant diseases**. 2. ed. Dordrecht: Springer, 2006. p. 81-115.

CHEN, F. *et al.* Reduced sensitivity of azoxystrobin and thiophanate-methyl resistance in *Lasiodiplodia theobromae* from papaya. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, Berlin, v. 162, n. 1, p. 60-68, 2020.

CIGHIR, A. *et al.* *Fusarium* spp. in human disease: Exploring the boundaries between commensalism and pathogenesis. **Life**, Berna, v. 13, e1440, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/life13071440>. Acesso em: 02 feb. 2025.

COOK, J. R.; PAPENDICK, R. I. Role of water potential in microbial growth and development of plant disease, with special reference to postharvest pathology. **HortScience**, Alexandria, v. 13, n. 5, p. 559-564, 1978.

COOK, R. J. Water relations in the biology of *Fusarium*. In: NELSON, P. E.; TOUSSOUN, T. A.; COOK, R. J. (ed.). ***Fusarium*: diseases, biology and taxonomy**. University Park: The Pennsylvania State University, 1981. p. 236-243.

CORDEIRO, Z. J. M.; MATOS, A. P.; KIMATI, H. Doenças da bananeira (*Musa* spp.). In: AMORIM, L. *et al.* **Manual de fitopatologia: doenças das plantas cultivadas**. 5. ed. São Paulo: Ceres, v. 2, p. 109-123, 2016.

CROUS, P. W. *et al.* *Fusarium* and allied fusarioid taxa (FUSA). 1. **Fungal Systematics and Evolution**, Utrecht, v. 9, n. 1, p. 161-200, 2022.

CROUS, P. W. *et al.* *Fusarium*: more than a node or a foot-shaped basal cell. **Studies in Mycology**, Utrecht, v. 98, e00116, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.simyco.2021.100116>. Acesso em: 12 nov. 2024.

DE VOS, L. *et al.* Genetic analysis of growth, morphology and pathogenicity in the F1 progeny of an interspecific cross between *Fusarium circinatum* and *Fusarium subglutinans*. **Fungal Biology**, London, v. 115, n. 9, p. 902-908, 2011.

DEACON, J. W. **Fungal biology**. 4. ed. Malden: Blackwell, 2006.

DONATO, S. I. R. *et al.* Considerações ecológicas, fisiológicas e de manejo. LICHTENBERG, L. A. *et al.* Colheita, manuseio pós-colheita e conservação dos frutos. In: FERREIRA, C. F. *et al.* (ed.). **O agronegócio da banana**. Brasília: Embrapa, 2016. p. 45-110.

DONG, T. *et al.* Effect of abiotic conditions on growth, mycotoxin production, and gene expression by *Fusarium fujikuroi* species complex strains from maize. **Toxins**, Berna, v. 15, n. 4, e260, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/toxins15040260>. Acesso em: 11 nov. 2024.

EAMUS, D.; JENNINGS, D. H. Water, turgor and osmotic potentials of fungi. In: AYRES, P. G.; BODDY, L. (ed.). **Water, fungi and plants**. Cambridge: Cambridge University Press, 1986. p. 27-47.

ESKOLA, M. *et al.* Worldwide contamination of food-crops with mycotoxins: Validity of the widely cited 'FAO estimate' of 25%. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, London, v. 60, n. 16, p. 2773-2789, 2020.

EZRARI, S. *et al.* Environmental effects of temperature and water potential on mycelial growth of *Neocosmospora solani* and *Fusarium* spp. causing dry root rot of citrus. **Current Microbiology**, New York, v. 78, n. 8, p. 3092-3103, 2021.

FAO (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION). **FAOSTAT** [online]. Rome: FAO, 2025. Disponível em: https://www.fao.org/faostat/en/#rankings/countries_by_commodity. Acesso em: 18 jan. 2025.

FRAC (FUNGICIDE RESISTANCE ACTION COMMITTEE). **FRAC code list 2024** - Fungal control agents sorted by cross-resistance pattern and mode of action. Brussels: FRAC, 2024. Disponível em: <https://www.frac.info/knowledge-database/knowledge-database>. Acesso em: 02 fev. 2025.

FRANS, M. *et al.* Environmental effects on growth and sporulation of *Fusarium* spp. causing internal fruit rot in bell pepper. **European Journal of Plant Pathology**, Dordrecht, v. 149, n. 4, p. 875-883, 2017.

GEISER, D. M. *et al.* Phylogenomic analysis of a 55.1-kb 19-gene dataset resolves a monophyletic *Fusarium* that includes the *Fusarium solani* species complex. **Phytopathology**, St. Paul, v. 111, n. 7, p. 1064-1079, 2021.

GEWEHR, M.; SAUTER, H. Strobilurins and other complex III inhibitors. *In*: JESCHKE, P.; WITSCHEL, M.; KRÄMER, W.; SCHIRMER, U.(ed.). **Modern crop protection compounds**. 3. ed. Weinheim: Wiley-VCH Verlag, 2019. p. 634-681.

GOUDARZI, A. *et al.* Fungal pathogens associated with pre- and postharvest fruit rots of mango in southern Iran. **Journal of Phytopathology**. v. 169, n. 9, p. 545-555, 2021.

GRIFFIN, D. H. **Fungal physiology**. 2. ed. New York: Wiley-Liss, 1994.

HARTEVELD, D. O. C. *et al.* Comparative fitness of *Alternaria* species causing leaf blotch and fruit spot of apple in Australia. **Australasian Plant Pathology**, Canberra, v. 43, n. 5, p. 495-501.

HEWITT, S. K. *et al.* Phenotypic heterogeneity in fungi: Importance and methodology. **Fungal Biology Reviews**, London, v. 30, n. 4, p. 176-184, 2016.

HOU, Y. *et al.* Impact of pyraclostrobin on the growth of *Fusarium pseudograminearum* and its control efficacy against wheat crown rot in Henan Province, China. **Journal of Plant Pathology**, Bari, v. 105, n. 4, p. 1499-1510, 2023.

IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTÁTISTICA). **Produção de banana** [online]. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2025. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/banana/br>. Acesso em: 18 jan. 2025.

IÑIGUEZ-MORENO, M. *et al.* Nanofibers added with citral: Characterization and their application to postharvest control of *Fusarium pseudocircinatum* in bananas. **Journal of Food Processing and Preservation**, Hoboken, v. 46, n. 12, e17188, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/jfpp.17188>. Acesso em: 12 nov. 2024.

JONES, D. R.; MUIRHEAD, I. F. Fungal diseases of banana fruit: Postharvest diseases. *In*: JONES, D. R. (ed.). **Handbook of diseases of banana, abacá and enset**. Wallingford: CABI, 2019. p. 271-288.

KAMEL, M. A. M.; CORTESI, P.; SARACCHI, M. Etiological agents of crown rot of organic

bananas in Dominican Republic. **Postharvest Biology and Technology**, Lérída, v. 120, p. 112-120, 2016.

LANNOU, C. Variation and selection of quantitative traits in plant pathogens. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v. 50, p. 319-338, 2012.

LASSOIS, L. *et al.* Crown rot of bananas: Preharvest factors involved in postharvest disease development and integrated control methods. **Plant Disease**, St. Paul, v. 94, n. 6, p. 648-658, 2010.

LASSOIS, L.; DE LAPEYRE DE BELLAIRE, L. Crown rot disease of bananas. *In*: BAUTISTA-BAÑOS, S. (ed.). **Postharvest decay: control strategies**. Dordrecht: Elsevier, 2014. p. 103-130.

LEACH, J. E.; CRUZ, C. M. V.; BAI, J. F. *et al.* Pathogen fitness penalty as a predictor of durability of disease resistance genes. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v. 39, p. 187-224, 2001.

LESLIE, J. F.; SUMMERELL, B. A. **The *Fusarium* laboratory manual**. London: Blackwell, 2006.

LI, S. N.; ZANG, W. M. Occurrence of postharvest fruit rot of mango caused by *Fusarium pernambucanum* in Cinha. **Plant Disease**, St. Paul, v. 107, n. 8, p. 2279-2571, 2023.

LICHTEMBERG, L. A. *et al.* Colheita, manuseio pós-colheita e conservação dos frutos. *In*: FERREIRA, C. F. *et al.* (ed.). **O agronegócio da banana**. Brasília: Embrapa, 2016. p. 645-694.

LIU, N. *et al.* Transcriptional differences between major *Fusarium* pathogens of maize, *Fusarium verticillioides* and *Fusarium graminearum* with different optimum growth temperatures. **Frontiers in Microbiology**, Lausanne, v. 13, p. e1030523, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.1030523>. Acesso em: 11 fev. 2025.

MAPA (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO). **AGROFIT: Sistema de agrotóxicos fitossanitários** [online]. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2025. Disponível em: http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Acesso em: 15 jan. 2025.

MARINELLI, T. *et al.* *Fusarium* species, *Scedosporium* species, and *Lomentospora prolificans*: A systematic review to inform the World Health Organization priority list of fungal pathogens. **Medical Mycology**, New York, v. 62, myad128, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/mmy/myad128>. Acesso em: 02 fev. 2025.

MARTÍNEZ-VILLARREAL, R. *et al.* Bases bioquímicas de la tolerancia al estrés osmótico en hongos fitopatógenos: el caso de *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid. **Revista Argentina de Microbiología**, Buenos Aires, v. 48, n. 4, p. 347-357, 2016.

MEDINA, A.; MAGAN, N. Comparisons of water activity and temperature impacts on growth of *Fusarium langsethiae* strains from northern Europe on oat-based media. **International Journal of Food Microbiology**, London, v. 142, n. 3, p. 365-369, 2010.

MILGROOM, M. G. **Population biology of plant pathogens: Genetics, ecology and**

evolution. St. Paul: APS Press, 2015.

MOLNÁR, O.; BARTÓK, T.; SZÉCSI, Á. Occurrence of *Fusarium verticillioides* and *Fusarium musae* on banana fruits marketed in Hungary. **Acta Microbiologica et Immunologica Hungarica**, Budapest, v. 62, n. 2, p. 109-119, 2015.

MORETTI, A. *et al.* Toxin profile, fertility and AFLP analysis of *Fusarium verticillioides* from banana fruits. **European Journal of Plant Pathology**, Dordrecht, v. 110, n. 5, p. 601-609, 2004.

MSHELIA, L. P. *et al.* Efeito da temperatura, atividade da água e dióxido de carbono no crescimento fúngico e produção de micotoxinas de isolados aclimatados de *Fusarium verticillioides* e *F. graminearum*. **Toxins**, Berna, v. 12, n. 8, e478, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/toxins12080478> 2020. Acesso em: 11 fev. 2025.

MYCOBANK. **MYCOBANK database**: Fungal databases, nomenclature & species banks [online]. Utrecht: Westerdijk Fungal Biodiversity Institute, 2025. Disponível em: <https://www.mycobank.org/>. Acesso em: 15 jan. 2025.

NELSON, R. R. The evolution of parasitic fitness. *In*: HORSFALL, J. G.; COWLING, E. B. (ed.). **Plant disease: An advanced treatise**. v. 4: How pathogens induce disease. New York: Academic Press, 1979. p. 23-46.

NGUYEN, Q-D. *et al.* Identification of pathogenic fungi causing postharvest disease of banana fruit (*Musa acuminata* Cavendish subgroup) in Ho Chi Minh City, Vietnam. **Journal of Phytopathology**, Berlin, v. 172, n. 5, p. e13401, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/jph.13401>. Acesso em: 18 nov. 2024.

O'DONNELL, K. *et al.* DNA sequence-based identification of *Fusarium*: A work in progress. **Plant Disease**, St. Paul, v. 106, n. 6, p. 1597-1609, 2022

PALACIOS, S. *et al.* Impact of water potential on growth and germination of *Fusarium solani* soilborne pathogen of peanut. **Brazilian Journal of Microbiology**, São Paulo, v. 45, n. 3, p. 1105-1112, 2014.

PLOETZ, R. C.; KEMA, J. H. J.; MA, L. J. Impact of diseases on export and smallholder production of banana. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v. 53, p. 269-288, 2015.

PLOETZ, R. C.; THOMAS, J. E.; SLABAUGH, W. R. Diseases of banana and plantain. *In*: PLOETZ, R. C. (ed.). **Diseases of tropical fruit crops**. Wallingford: CAB International, 2003. p. 73-134.

PRINGLE, A.; TAYLOR, J. W. The fitness of filamentous fungi. **Trends in Microbiology**, Dordrecht, v. 10, n. 10, p. 474-481, 2002.

QIU, J. *et al.* *Fusarium fujikuroi* species complex associated with rice, maize, and soybean from Jiangsu province, China: phylogenetic, pathogenic, and toxigenic analysis. **Plant Disease**, v. 104, n. 8, p. 2193-2201, 2020.

RAMIREZ, M. L.; CHULZE, S.; MAGAN, N. Temperature and water activity effects on growth and temporal deoxynivalenol production by two Argentinean strains of *Fusarium*

graminearum on irradiated wheat grain. *International Journal of Food Microbiology*, v. 106, n. 3, p. 291–296, fev. 2006.

RIOLO, M. *et al.* First report of postharvest fruit rot caused by *Fusarium sacchari* on lady finger banana in Italy. **Plant Disease**, St. Paul, v. 104, n. 8, p. 2290-2290, 2020.

ROUARD, M. *et al.* Three new genome assemblies support a rapid radiation in *Musa acuminata* (wild banana). **Genome Biology and Evolution**, Oxford, v. 10, n. 12, p. 3129-3140, 2018.

SALEM, N. M. *et al.* First report of *Fusarium verticillioides* causing banana fruit rot in Jordan. **Plant Disease**, St. Paul, v. 104, n. 12, p. 3255, 2020.

SIEROTZKI, H. Respiration inhibitors: Complex III. *In*: ISHII, H.; HOLLOMON, D. W. (ed.). **Fungicide resistance in plant pathogens**. Tokyo: Springer Japan, 2015. p. 119-143.

SILVA, E. G. **Espécies do complexo *Fusarium fujikuroi* associadas à podridão da coroa da banana: Diversidade, patogenicidade, potencial micotoxigênico e sensibilidade à fungicida**. 2024. 94f. Tese (Doutorado em Proteção de Plantas) – Campus de Engenharias e Ciências Agrárias, Universidade Federal de Alagoas. Rio Largo, 2024.

SILVA, M. S. A. C. *et al.* Banana bunch cover: evaluation of promising bag materials. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, v. 13, e 3741, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.14295/CS.v13.3741>. Acesso em: 05 jan. 2025.

SILVA, S. O. *et al.* Cultivares. *In*: FERREIRA, C. F. *et al.* (ed.). **O agronegócio da banana**. Brasília: Embrapa, 2016. p. 137-170.

SNEHALATHARANI, A.; DEVAPPA, V.; SANGEETHA, G. G. Postharvest diseases of banana and their management. *In*: SINGH, D. *et al.* (ed.). **Postharvest handling and diseases of horticultural produce**. Boca Raton: CRC Press, 2021. p. 201-209.

SONG, Y. *et al.* In vitro determination of sensitivity of *Fusarium fujikuroi* to fungicide azoxystrobin and investigation of resistance mechanism. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, London, v. 70, n. 31, p. 9760-9768, 2022.

SPANU, P.; DI PIETRO, A.; OLIVER, R. P. Patogenicidade - Como os patógenos de plantas causam doenças? *In*: OLIVER, R. P. *et al.* (ed.). **Agrios' plant pathology**. 6. ed. London: Academic Press, 2024. p. 93-131.

STENZEL, K.; VORS, J-P. Sterol biosynthesis inhibitors. *In*: JESCHKE, P. *et al.* (ed.). **Modern crop protection compounds**. 3. ed. Weinheim: Wiley-VCH Verlag, 2019. p. 797-844.

SUGIANTI, C. *et al.* Recent postharvest technologies in the banana supply chain. **Reviews in Agricultural Science**, Gifu, v. 10, n. 1, p. 123-137, 2022.

SUMMERELL, B. A. Resolving *Fusarium*: Current status of the genus. **Annual Review of Phytopathology**, v. 57, p. 323-339, 2019.

TAGUALI, S. C. *et al.* Characterization of mycotoxins produced by two *Fusarium* species responsible for postharvest rot of banana fruit. **Journal of Plant Pathology**, Bari, v. 106, n. 4,

p. 1785-1800, 2024.

THOMAS, B. *et al.* Molecular identification of *Fusarium* species complexes: Which gene and which database to choose in clinical practice? **Journal de Mycologie Medicale**, Paris, v. 29, n. 1, p. 56-58, 2019.

TORRES-CRUZ, T. J. *et al.* FUSARIUM-ID v. 3.0: an updated, downloadable resource for *Fusarium* species identification. **Plant Disease**, St. Paul, v. 106, n. 6, p. 1610-1616, 2022.

UMAÑA-ROJAS, G; GARCÍA, J. Pathogenicity of organisms associated with banana crown rot in two banana cultivars. **Acta Horticulturae**, The Hague, n. 96, p. 219-223, 2009.

VIEIRA, W. A. S. *et al.* The impact of phenotypic and molecular data on the inference of *Colletotrichum* diversity associated with *Musa*. **Mycologia**, v. 109, n. 6, p. 912-934, 2017a.

VIEIRA, W. A. S. *et al.* Thiophanate-methyl resistance and fitness components of *Colletotrichum musae* isolates from banana in Brazil. **Plant Disease**, v. 101, n. 9. p. 1659-1665, 2017b.

WALIULLAH, S. *et al.* First report of crown rot of banana caused by *Fusarium proliferatum* in Georgia, USA. **Plant Disease**, St. Paul, v. 106, n. 5, p. 1526, 2022.

XIE, L. *et al.* Proteomic and physiological analysis provides an elucidation of *Fusarium proliferatum* infection causing crown rot on banana fruit. **Microbiological Research**, London, v. 256, e126952, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.micres.2021.126952>. Acesso em: 07 jan. 2025.

YILMAZ, N. *et al.* Redefining species limits in the *Fusarium fujikuroi* species complex. **Persoonia**, Utrecht, v. 46, n. 1, p.129-162, 2021.

YOUNG, D. H. Anti-tubulin agents. In: ISHII, H.; HOLLLOMON, D. W. (ed.). **Fungicide resistance in plant pathogens**. Tokyo: Springer Japan. 2015. p. 93-104.

ZAKARIA, L. *Fusarium* species associated with diseases of major tropical fruit crops. **Horticulturae**, Berna, v. 9, n. 3, e322, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/horticulturae9030322>. Acesso em: 11 nov. 2024.

ZHAN, J.; MCDONALD, B. A. Experimental measures of pathogen competition and relative fitness. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v. 51, p. 131-153, 2013.

ZIOGAS, B. N.; MALANDRAKIS, A. A. Sterol biosynthesis inhibitor: C14 demethylation (DMIs). In: ISHII, H.; HOLLLOMON, D. W. (ed.). **Fungicide resistance in plant pathogens**. Tokyo: Springer Japan, 2015. p. 199-216.

ANEXOS

Anexo 1 – Parâmetros do modelo utilizado na estimativa da temperatura ótima para o crescimento micelial de isolados do complexo *Fusarium fujikuroi* associados com a podridão da coroa da banana.

Espécie de <i>Fusarium</i>	Isolado ^a	Parâmetro do modelo ^b				
		a	b	c	d	R ²
<i>F. annulatum</i>	CFC 1579	15,1031	-2,4828	0,1360	-0,0022	0,999
	CFC 1585	4,9926	-1,0668	0,0697	-0,0012	0,996
	CFC 1601	0,7413	-0,4630	0,0484	-0,0010	0,966
<i>F. musae</i>	CFC 1604	14,3332	-2,3713	0,1275	-0,0020	0,986
	CFC 1608	-13,3862	1,3779	-0,0296	0,0009	0,990
	CFC 1614	27,3091	-4,2335	0,2099	-0,0032	0,992
<i>F. sacchari</i>	CFC 1115	15,8883	-2,6265	0,1450	0,0023	0,997
	CFC 1575	28,2394	-4,3787	0,2256	-0,0034	0,997
	CFC 1596	12,3624	-1,9046	0,1055	-0,0017	0,999

^a CFC = Coleção de Culturas de Fungos Fitopatogênicos do Cariri da Universidade Federal do Cariri (Crato, Ceará, Brasil).

^b Modelo de regressão polinomial cúbico: $y = a + bx + cx^2 + dx^3$, onde y = taxa de crescimento micelial (mm/dia); a , b , c , d = parâmetros da regressão; x = temperatura; R^2 = coeficiente de determinação. Foi utilizado o meio de cultura batata-dextrose-água e as placas incubadas no escuro em temperaturas de 15 a 35 °C.

Fonte: elaborada pelo autor.

Anexo 2 – Parâmetros do modelo utilizado na estimativa da temperatura ótima para a esporulação de isolados do complexo *Fusarium fujikuroi* associados com a podridão da coroa da banana.

Espécie de <i>Fusarium</i>	Isolado ^a	Parâmetro do modelo ^b			
		a	b	c	R ²
<i>F. annulatum</i>	CFC 1579	9,9574	28,6067	2,2051	0,9949
	CFC 1585	33,4451	29,0408	3,2277	0,9962
	CFC 1601	11,8589	28,3274	2,5249	0,9650
<i>F. musae</i>	CFC 1604	8,2046	26,1432	4,4366	0,9696
	CFC 1608	35,4294	26,6128	5,0467	0,9624
	CFC 1614	2,0516	38,523	10,9327	0,9983
<i>F. sacchari</i>	CFC 1115	8,3845	25,3658	5,3429	0,9749
	CFC 1575	44,4488	28,6523	3,4618	0,9792
	CFC 1596	30,6627	25,8853	3,0845	0,9646

^a CFC = Coleção de Culturas de Fungos Fitopatogênicos do Cariri da Universidade Federal do Cariri (Crato, Ceará, Brasil).

^b Modelo Lorentziano de três parâmetros: $y = a / (1 + [(x - b) / c]^2)$, onde y = esporulação ($\times 10^6$ esporos/mL); a, b, c = parâmetros da regressão; x = temperatura; R² = coeficiente de determinação. Foi utilizado o meio de cultura batata-dextrose-água e as placas incubadas no escuro em temperaturas de 15 a 35 °C.

Fonte: elaborada pelo autor.

Anexo 3 – Parâmetros do modelo utilizado na estimativa da temperatura ótima para a germinação dos esporos de isolados do complexo *Fusarium fujikuroi* associados com a podridão da coroa da banana.

Espécie de <i>Fusarium</i>	Isolado ^a	Parâmetro do modelo ^b				
		a	b	c	d	R ²
<i>F. annulatum</i>	CFC 1579	-188,0381	26,5937	-0,8314	0,0084	0,9938
	CFC 1585	28,8952	-9,4286	0,8352	-0,0147	0,9894
	CFC 1601	-4,8762	-6,2349	0,8171	-0,0169	0,9646
<i>F. musae</i>	CFC 1604	-386,9905	45,0460	-1,3605	0,0131	0,9946
	CFC 1608	-483,6571	56,5905	-1,8038	0,0187	0,9813
	CFC 1614	-57,3524	3,5079	0,2810	-0,0076	0,9729
<i>F. sacchari</i>	CFC 1115	37,1238	-11,5238	0,8771	-0,0147	0,9883
	CFC 1575	208,2857	-38,1746	2,1657	-0,0338	0,9856
	CFC 1596	505,7048	71,3825	3,2381	-0,0449	0,9957

^a CFC = Coleção de Culturas de Fungos Fitopatogênicos do Cariri da Universidade Federal do Cariri (Crato, Ceará, Brasil).

^b Modelo de regressão polinomial cúbico: $y = a + bx + cx^2 + dx^3$, onde y = taxa de crescimento micelial (mm/dia); a , b , c , d = parâmetros da regressão; x = temperatura; R^2 = coeficiente de determinação. Foi utilizado o meio de cultura ágar-água e as placas incubadas no escuro em temperaturas de 15 a 35 °C.

Fonte: elaborada pelo autor.

Anexo 4 – Parâmetros do modelo utilizado na estimativa do potencial hídrico (Ψ s) ótimo para o crescimento micelial de isolados do complexo *Fusarium fujikuroi* associados com a podridão da coroa da banana.

Espécie de <i>Fusarium</i>	Isolado ^a	Parâmetro do modelo ^b					
		a	b	c	d	e	R ²
<i>F. annulatum</i>	CFC 1579	4,6681	-1,5710	-1,1904	-0,2381	-0,0153	0,9906
	CFC 1585	4,8727	-0,7484	-0,6661	-0,0990	-0,0046	0,9998
	CFC 1601	4,7700	-0,8499	-0,9476	-0,1895	-0,0117	0,9999
<i>F. musae</i>	CFC 1604	4,4773	-2,7712	-1,9219	-0,3556	-0,0207	0,9927
	CFC 1608	4,2802	-1,4644	-0,7842	-0,1070	-0,0049	0,9999
	CFC 1614	4,4734	-1,2324	-0,8070	-0,1285	-0,0069	0,9981
<i>F. sacchari</i>	CFC 1115	4,6030	-0,7717	-0,8534	-0,1633	-0,0096	0,9891
	CFC 1575	5,9518	0,3501	-0,2830	-0,0450	-0,0020	0,9995
	CFC 1596	5,5938	-0,8849	-0,6190	-0,0724	-0,0025	0,9975

^a CFC = Coleção de Culturas de Fungos Fitopatogênicos do Cariri da Universidade Federal do Cariri (Crato, Ceará, Brasil).

^b Modelo de regressão polinomial de quarto grau: $y = a + bx + cx^2 + dx^3 + ex^4$, onde y = taxa de crescimento micelial (mm/dia); a, b, c, d, e = parâmetros da regressão; x = potencial hídrico; R^2 = coeficiente de determinação. Foi utilizado o meio de cultura batata-dextrose-ágar com potencial hídrico de 0 a -8 MPa e as placas incubadas no escuro a 25 °C.

Fonte: elaborada pelo autor.

Anexo 5 – Parâmetros do modelo utilizado na estimativa do potencial hídrico (Ψ s) ótimo para a esporulação de isolados do complexo *Fusarium fujikuroi* associados com a podridão da coroa da banana.

Espécie de <i>Fusarium</i>	Isolado ^a	Parâmetro do modelo ^b			
		a	b	c	R ²
<i>F. annulatum</i>	CFC 1579	3,1978	-2,6486	1,9927	0,9917
	CFC 1585	67,5107	1,0061	1,8063	0,9869
	CFC 1601	181,5226	1,7180	0,7868	0,9697
<i>F. musae</i>	CFC 1604	83,4237	-0,5142	1,7214	0,9678
	CFC 1608	97,0969	-0,5687	0,9176	0,9906
	CFC 1614	93,8843	-1,2961	0,8898	0,9824
<i>F. sacchari</i>	CFC 1115	48,9154	-1,0761	1,1375	0,9981
	CFC 1575	65,7642	-1,0455	0,6947	0,9994
	CFC 1596	73,2725	-1,3492	1,7149	0,9704

^a CFC = Coleção de Culturas de Fungos Fitopatogênicos do Cariri da Universidade Federal do Cariri (Crato, Ceará, Brasil).

^b Modelo Lorentziano de três parâmetros: $y = a / (1 + [(x - b) / c]^2)$, onde y = esporulação ($\times 10^6$ esporos/mL); a, b, c = parâmetros da regressão; x = potencial hídrico; R² = coeficiente de determinação. Foi utilizado o meio de cultura batata-dextrose-água com potencial hídrico de 0 a -8 MPa e as placas incubadas no escuro a 25 °C.

Fonte: elaborada pelo autor.

Anexo 6 – Parâmetros do modelo utilizado na estimativa do potencial hídrico (Ψ s) ótimo para a germinação dos esporos de isolados do complexo *Fusarium fujikuroi* associados com a podridão da coroa da banana.

Espécie de <i>Fusarium</i>	Isolado ^a	Parâmetro do modelo ^b					R ²
		a	b	c	d	e	
<i>F. annulatum</i>	CFC 1579	32,9485	-8,7998	-6,4858	-1,1569	-0,0667	0,9952
	CFC 1585	47,2677	-5,6925	-5,2020	-0,6035	-0,0168	0,9924
	CFC 1601	36,7144	-3,3412	2,1925	1,3077	0,1137	0,9911
<i>F. musae</i>	CFC 1604	47,6814	-8,2073	-5,9639	-0,9617	-0,0547	0,9982
	CFC 1608	44,2911	0,7572	3,6088	1,5548	0,1286	0,9946
	CFC 1614	39,9151	-2,0859	0,4731	0,6632	0,0617	0,9933
<i>F. sacchari</i>	CFC 1115	40,7241	-23,2253	-19,8282	-3,7715	-0,2169	0,9990
	CFC 1575	47,0039	-8,8430	-8,1397	-1,2182	-0,0538	0,9985
	CFC 1596	42,5673	1,1895	-5,3052	-1,1285	-0,0662	0,9880

^a CFC = Coleção de Culturas de Fungos Fitopatogênicos do Cariri da Universidade Federal do Cariri (Crato, Ceará, Brasil).

^b Modelo de regressão polinomial de quarto grau: $y = a + bx + cx^2 + dx^3 + ex^4$, onde y = taxa de crescimento micelial (mm/dia); a, b, c, d, e = parâmetros da regressão; x = potencial hídrico; R^2 = coeficiente de determinação. Foi utilizado o meio de cultura ágar-água com potencial hídrico de 0 a -8 MPa e as placas incubadas no escuro a 25 °C.

Fonte: elaborada pelo autor.