

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

**RESISTÊNCIA GENÉTICA E BIOCONTROLE NO MANEJO DA PODRIDÃO-
DO-PÉ E PINTA-PRETA DO MAMOEIRO**

Maria Iza de Arruda Sarmiento

CRUZ DAS ALMAS - BA

2025

RESISTÊNCIA GENÉTICA E BIOCONTROLE NO MANEJO DA PODRIDÃO- DO-PÉ E PINTA-PRETA DO MAMOEIRO

Maria Iza de Arruda Sarmento

Tecnóloga em Agroecologia, Instituto Federal da Paraíba, 2017

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, na área de concentração Agricultura Tropical, como requisito final para a obtenção do Título de Doutora em Ciências Agrárias.

Orientador: Dr. Carlos Alberto da Silva Ledo

Coorientador: Dr. Leandro de Souza Rocha

CRUZ DAS ALMAS - BA

2025

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Francineide e Raimundo pela vida, pelo amor, dedicação, carinho e pelas orações e aos meus irmãos Márcia e Geremias, porque, simplesmente estiveram ao meu lado quando decidi lutar pelos meus sonhos, se fazendo necessário afastar-me fisicamente dos que mais me fazem bem.

A Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), Campus Cruz das Almas, pela oportunidade do doutorado, especialmente ao Programa de Pós Graduação em Ciências Agrárias, que possibilitou o tempo necessário para a realização do curso.

À Embrapa Mandioca e Fruticultura, pela infraestrutura disponibilizada e por conceder as condições necessárias para a execução de todas as etapas do trabalho e pela oportunidade de aprendizado.

À Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB), pela concessão da bolsa.

Ao meu orientador Carlos Alberto da Silva Ledo e ao coorientador Leandro de Souza Rocha, pelas orientações, compreensão, incentivo permanente, dedicação e, principalmente, pela vocação de transmitir seus conhecimentos, guiando-me para realização desse trabalho.

À toda equipe de funcionários da Embrapa Mandioca e Fruticultura, em especial, a toda equipe de campo, principalmente a João Carlos, Amós e Seu Osvaldo, pela ajuda e parceria na execução das atividades de campo.

À toda equipe do Laboratório de Fitopatologia da Embrapa, principalmente a Sinésio, Jonas, Jean, Manuela e Emily por fornecerem guia e suporte para realizar as atividades laboratoriais, além de proporcionar bons momentos no convívio.

Aos amigos que dividiram essa trajetória comigo, Yanka, Carla, Paula, Djalma e Sirlândia que foram sempre presentes. Obrigada pela parceria e pelos momentos de muita alegria.

À todas as pessoas que, de forma direta ou indireta, contribuíram para a realização deste trabalho, meus sinceros reconhecimentos.

Na verdade, um rio imundo é o homem. É preciso ser um oceano para acolher um rio imundo sem se tornar impuro.

Friedrich Nietzsche

RESISTÊNCIA GENÉTICA E BIOCONTROLE NO MANEJO DA PODRIDÃO-DO-PÉ E PINTA-PRETA DO MAMOEIRO

RESUMO: A cultura do mamoeiro (*Carica papaya* L.) representa uma atividade de expressiva importância socioeconômica para o Brasil, contudo enfrenta sérios desafios fitossanitários que limitam sua produtividade. Dentre as principais doenças, destacam-se a podridão-do-pé, causada pelo oomiceto *Phytophthora palmivora*, e a pinta-preta, ocasionada pelo fungo *Asperisporium caricae*. Diante das limitações do controle químico convencional, esta tese teve como objetivo central desenvolver estratégias sustentáveis para o manejo integrado dessas doenças, por meio da avaliação de resistência genética e do potencial de agentes de biocontrole. Todo o trabalho foi conduzido em laboratório, casa de vegetação e campo experimental na Embrapa Mandioca e Fruticultura. No Capítulo 1, avaliou-se a resistência de 17 genótipos de mamoeiro à infecção por *P. palmivora*, os resultados revelaram ampla variabilidade genética, com destaque para os genótipos BGCA-036 e BGCA-249, que apresentaram as menores medianas de severidade da doença, caracterizando-se como fontes promissoras de resistência. Em contrapartida, os genótipos BGCA-253, BGCA-011, BGCA-254 e BGCA-121 mostraram-se altamente susceptíveis. Esses achados fornecem bases sólidas para programas de melhoramento genético visando à seleção de cultivares com maior tolerância à podridão-do-pé. No Capítulo 2, identificou através de avaliação *in vitro* o potencial antagonico de isolados de *Trichoderma* spp. e *Bacillus* spp. contra *P. palmivora*. Os resultados demonstraram a superioridade do *Trichoderma* spp. e da linhagem bacteriana 10433 na inibição do crescimento micelial do patógeno, com reduções significativas e consistentes. Verificou-se ainda uma interação significativa entre isolados do patógeno e agentes de biocontrole, destacando a influência da variabilidade patogênica na eficácia do controle. Esses agentes mostraram-se promissores para a composição de consórcios microbianos visando ao manejo sustentável da doença. Já no Capítulo 3, investigou-se a resposta de 10 genótipos de mamoeiro à infecção por *A. caricae* e a eficácia do controle químico e biológico. Os genótipos BRS-L78 e BGCA-177 apresentaram maior susceptibilidade, enquanto o BGCA-254 mostrou maior tolerância. O fungicida Score® demonstrou tendência superior de eficiência em comparação ao agente biológico BAC1, porém a integração de genótipos tolerantes com métodos de controle mostrou-se a estratégia mais promissora para o manejo da pinta-preta. Em conclusão, esta tese corrobora que o manejo eficaz das doenças do mamoeiro requer uma abordagem multidimensional. A seleção de genótipos resistentes, particularmente aos isolados mais agressivos de *P. palmivora*, associada à utilização de agentes de biocontrole eficazes, como *Trichoderma* spp. e a linhagem 10433 de *Bacillus* spp., constitui a base para um controle sustentável. A significativa variabilidade observada tanto no patógeno quanto nos genótipos de mamoeiro reforça a necessidade de estratégias regionalizadas e do uso de consórcios microbianos para garantir eficácia duradoura e reduzir o risco de seleção de linhagens resistentes. Os resultados obtidos fornecem subsídios valiosos para programas de melhoramento genético e para a implementação de programas de MIP na cultura do mamoeiro.

Palavras-chave: Melhoramento genético, *Carica papaya*, *Asperisporium caricae*, *Phytophthora palmivora*.

RESISTANCE AND BIOCONTROL AS STRATEGIES FOR MANAGEMENT OF ROOT ROT AND BLACK SPOT IN PAPAYA GENOTYPES

ABSTRACT: Papaya (*Carica papaya* L.) cultivation represents an activity of significant socioeconomic importance for Brazil; however, it faces serious phytosanitary challenges that limit its productivity. Among the main diseases, foot rot, caused by the oomycete *Phytophthora palmivora*, and black spot, caused by the fungus *Asperisporium caricae*, stand out. Given the limitations of conventional chemical control, this thesis aimed to develop sustainable strategies for the integrated management of these diseases through the evaluation of genetic resistance and the potential of biocontrol agents. The entire work was conducted in the laboratory, greenhouse, and experimental field at Embrapa Cassava and Fruits. In Chapter 1, the resistance of 17 papaya genotypes to infection by *P. palmivora* was evaluated. The results revealed broad genetic variability, with emphasis on genotypes BGCA-036 and BGCA-249, which showed the lowest disease severity medians, characterizing them as promising sources of resistance. In contrast, genotypes BGCA-253, BGCA-011, BGCA-254, and BGCA-121 were highly susceptible. These findings provide a solid basis for breeding programs aimed at selecting cultivars with greater tolerance to foot rot. In Chapter 2, the *in vitro* antagonistic potential of *Trichoderma* spp. and *Bacillus* spp. isolates against *P. palmivora* was identified. The results demonstrated the superiority of *Trichoderma* spp. and the bacterial strain 10433 in inhibiting the pathogen's mycelial growth, with significant and consistent reductions. A significant interaction between pathogen isolates and biocontrol agents was also observed, highlighting the influence of pathogenic variability on control efficacy. These agents proved promising for the composition of microbial consortia aimed at sustainable disease management. In Chapter 3, the response of 10 papaya genotypes to infection by *A. caricae* and the efficacy of chemical and biological control were investigated. Genotypes BRS-L78 and BGCA-177 showed higher susceptibility, while BGCA-254 exhibited greater tolerance. The fungicide Score® demonstrated a superior efficiency trend compared to the biological agent BAC1; however, the integration of tolerant genotypes with control methods proved to be the most promising strategy for managing black spot. In conclusion, this thesis corroborates that effective management of papaya diseases requires a multidimensional approach. The selection of resistant genotypes, particularly to the most aggressive isolates of *P. palmivora*, combined with the use of effective biocontrol agents such as *Trichoderma* spp. and the 10433 strain of *Bacillus* spp., forms the basis for sustainable control. The significant variability observed in both the pathogen and papaya genotypes reinforces the need for regionalized strategies and the use of microbial consortia to ensure lasting efficacy and reduce the risk of selecting resistant strains. The results obtained provide valuable insights for breeding programs and the implementation of IPM programs in papaya cultivation.

Keywords: Plant breeding, *Carica papaya*, *Asperisporium caricae*, *Phytophthora palmivora*.

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1. SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE MAMOEIRO COM RESISTÊNCIA À *Phytophthora palmivora*.

Tabela 1. Código local, instituição doadora e/ou local de coleta, país de origem e grupo heterótico dos genótipos de mamoeiro avaliados do BAG-Mamão da Embrapa Mandioca e Fruticultura.42

Tabela 2. Código local, cidade de origem e cultura agrícola das amostras de solo utilizadas para o isolamento de *P. palmivora*.45

Tabela 3. Código local e origem dos isolados de *P. palmivora* selecionados no teste de patogenicidade.47

CAPÍTULO 2. POTENCIAL ANTAGONISTA DE MICROORGANISMOS PARA BIOCONTROLE DE *Phytophthora palmivora*.

Tabela 1. Tipo, microrganismos, código local/CEPA e origem dos isolados utilizados no ensaio de antagonismo.65

CAPÍTULO 3. RESPOSTA DE GENÓTIPOS DE MAMOEIRO A *Asperisporium caricae*: RESISTÊNCIA E CONTROLE BIOLÓGICO.

Tabela 1. Código local, instituição doadora e/ou local de coleta, país de origem e grupo heterótico dos genótipos de mamoeiro avaliados do BAG-Mamão da Embrapa Mandioca e Fruticultura.89

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1. SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE MAMOEIRO COM RESISTÊNCIA À *Phytophthora palmivora*

Figura 1. Método de isca de pepino (*Cucumis sativus*) utilizado para captura de *Phytophthora palmivora* em amostra de solo (Luz *et al.*, (2008). A) Preparo da isca em caixa Gerbox; B) Projeção superior do método de isca 24h após o preparo; C) Micélios de *Phytophthora* após 5 dias de incubação.....45

Figura 2. Ensaio de patogenicidade de isolados de *Phytophthora palmivora* em frutos de mamoeiro (*Carica papaya* L.) mantidos sob condições controladas de laboratório. A) Inoculação de fruto de mamoeiro com discos de meio de cultura contendo estruturas do patógeno; B) Frutos sobre bancada em câmara úmida; C) Fruto após 5 dias em contato com o patógeno.46

Figura 3. Distribuição da Área Abaixo da Curva de Progressão da Doença (AACPD) para os genótipos de mamoeiro BGCA-003, BGCA-249, BGCA-176, BGCA-248, BGCA-157, BGCA-258, BGCA-250, BGCA-077, BGCA-177, BRS-L78, BGCA-035, BGCA-154, BGCA-175, BGCA-011, BGCA-254, BGCA-121 e BGCA-253. inoculados com *Phytophthora palmivora*.....51

Figura 4. Valores médios da área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) para os genótipos de mamoeiro BGCA-003, BGCA-249, BGCA-176, BGCA-248, BGCA-157, BGCA-258, BGCA-250, BGCA-077, BGCA-177, BRS-L78, BGCA-035, BGCA-154, BGCA-175, BGCA-011, BGCA-254, BGCA-121 e BGCA-253. inoculados com *Phytophthora palmivora*.....52

CAPÍTULO 2. POTENCIAL ANTAGONISTA DE MICRORGANISMOS PARA BIOCONTROLE DE *Phytophthora palmivora*.

Figura 1. *Box-plots* do crescimento micelial de oito isolados de *Phytophthora palmivora* submetidas a quatro inibidores após 24 h de incubação.69

Figura 2. Valores médios de inibidor em função de isolados para crescimento micelial com 24 horas. Médias de inibidor seguidas pelas mesmas letras maiúsculas para cada isolado pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade

e Médias de isolados seguidas pelas mesmas letras minúsculas para cada inibidor pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.72

Figura 3. *Box-plots* do crescimento micelial de oito isolados de *Phytophthora palmivora* submetidas a quatro inibidores após 7 dias de incubação.....74

Figura 4. Valores médios de inibidor em função de isolados para crescimento micelial com 7 dias. Médias de inibidor seguidas pelas mesmas letras maiúsculas para cada isolado pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade e Médias de isolados seguidas pelas mesmas letras minúsculas para cada inibidor pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.77

CAPÍTULO 3. RESPOSTA DE GENÓTIPOS DE MAMOEIRO A *Asperisporium caricae*: RESISTÊNCIA E CONTROLE BIOLÓGICO

Figura 1. Escala de notas para avaliação da incidência da pinta-preta em folhas de mamoeiro. Fonte: Oliveira, A. A. R. & Dantas, J. L. L. (2002).83

Figura 2. *Blox-plots* da Incidência (INC) e Severidade (SEV) de ataque da doença em função de diferentes genótipos de mamoeiro (BGCA – 011, BGCA – 121, BGCA – 157, BGCA – 175, BGCA – 176, BGCA – 177, BGCA – 254, BGCA – 258, BGCA – 261 e BRS L78) afetados por *Asperisporium caricae*.....86

Figura 3. *Blox-plots* da Incidência (INC) e Severidade (SEV) de ataque de *Asperisporium caricae* em função da aplicação de controle químico e biológico em genótipos de mamoeiro.....88

Figura 4. Valores médios da área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) da Incidência (INC) e Severidade (SEV) de ataque de *Asperisporium caricae* em função da aplicação de controle químico e biológico em genótipos de mamoeiro.....89

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	13
2. REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1. Cultura do mamoeiro (<i>Carica papaya</i>)	15
2.2. Melhoramento genético do mamão	17
2.3. Resistência Genética a doenças do mamoeiro	19
2.4. Doenças do mamoeiro	21
2.4.1. Podridão-do-pé (<i>Phytophthora palmivora</i>)	23
2.4.2. Pinta-preta (<i>Asperisporium caricae</i>)	25
2.5. Controle Biológico	27
3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	29

CAPÍTULO 1. SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE MAMOEIRO COM RESISTÊNCIA À *Phytophthora palmivora*.

1. INTRODUÇÃO	40
2. METODOLOGIA.....	42
2.1. Local de trabalho, material vegetal e condução do experimento	42
2.2. Obtenção dos isolados de <i>Phytophthora palmivora</i>	44
2.3. Ensaio de patogenicidade de <i>Phytophthora palmivora</i>	46
2.4. Preparo e Inoculação	47
2.5. Delineamento experimental e análise estatística	48
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	50
4. CONCLUSÃO.....	55
5. REFERÊNCIAS.....	56

CAPÍTULO 2. POTENCIAL ANTAGONISTA DE MICRORGANISMOS PARA BIOCONTROLE DE *Phytophthora palmivora*.

1. INTRODUÇÃO	62
---------------------	----

2. METODOLOGIA.....	64
2.1 Origem dos agentes de controle biológico.....	64
2.2 Preparo dos microrganismos utilizados nos ensaios <i>in vitro</i>.....	65
2.3 Teste de Antagonismo	66
2.4 Delineamento experimental e Análise Estatística	67
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	68
5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	81

CAPÍTULO 3. RESPOSTA DE GENÓTIPOS DE MAMOEIRO A *Asperisporium caricae*: RESISTÊNCIA E CONTROLE BIOLÓGICO.

1. INTRODUÇÃO	87
2. METODOLOGIA.....	89
2.1. Área de estudo e condução do experimento	89
2.2. Avaliação da incidência e da severidade foliar da doença.....	90
2.3. Controle Biológico	91
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	93
4. CONCLUSÃO.....	100
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	101
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	104

1. INTRODUÇÃO GERAL

O cultivo do mamoeiro (*Carica papaya* L.) é uma atividade de grande relevância econômica e social, tanto para o Brasil quanto para o cenário internacional. Em 2024, o país ocupou a 4ª posição entre os maiores produtores mundiais de mamão, com produção anual estimada em aproximadamente 1,11 milhão de toneladas, atrás apenas da Índia, República Dominicana e México, o que representou cerca de 8,1% da produção global (FAO/FAOSTAT, 2024). No mesmo ano, o mamão figurou como a 5ª fruta mais exportada pelo Brasil (MAPA, 2024), consolidando sua importância para o agronegócio nacional. As projeções para 2034 indicam que a produção mundial poderá alcançar 17 milhões de toneladas, o que corresponde a um crescimento anual de 1,9% (FAO/FAOSTAT, 2022; FAO/OECD, 2025), evidenciando o potencial de expansão do setor.

Apesar da expressiva produção, a cultura do mamoeiro enfrenta desafios fitossanitários que comprometem a produtividade e a qualidade dos frutos, refletindo diretamente nos custos de produção, descarte pós-colheita e redução da competitividade no mercado externo. Entre as doenças mais limitantes destacam-se a pinta-preta, causada pelo fungo *Asperisporium caricae*, e a podridão-do-pé, causado pelo oomiceto *Phytophthora palmivora*. A pinta-preta pode ocasionar perdas de até 40% da produção comercializável, principalmente pela redução da qualidade e consequente descarte de frutos destinados à exportação, enquanto a podridão-do-pé é considerada uma das enfermidades mais destrutivas, podendo levar à morte de até 60% das plantas em áreas não manejadas, além de reduzir a longevidade dos pomares e elevar os custos com replantio e tratamentos culturais (VENTURA e REZENDE, 2016; OLIVEIRA e MEISSNER FILHO, 2011). Esses impactos demonstram a urgência em avançar no desenvolvimento de estratégias eficazes de manejo.

Dentre as alternativas disponíveis, o uso de genótipos resistentes é considerado a forma mais eficiente e sustentável de controle, permitindo reduzir custos e ampliar a competitividade da cultura (VIVAS *et al.*, 2012). O papel dos bancos ativos de germoplasma (BAGs) é central nesse processo, uma vez que reúnem e conservam materiais geneticamente diversos que podem servir como fontes de resistência e outras características agronomicamente desejáveis. A diversidade genética presente nos BAGs possibilita a identificação de genitores divergentes e

promissores, que podem ser utilizados em programas de hibridação para gerar híbridos com maior vigor, variabilidade e resistência a doenças (FALCONER, 1987; LUCENA e DANTAS, 2015).

Além da resistência genética, o biocontrole tem emergido como uma estratégia promissora, especialmente pelo uso de agentes como *Trichoderma* spp. e *Bacillus* spp., capazes de antagonizar patógenos do solo e reduzir a dependência de fungicidas químicos. Embora já existam resultados positivos, a eficácia do biocontrole ainda pode variar conforme as condições ambientais e o sistema de cultivo, exigindo estudos adicionais para consolidar sua aplicação em larga escala.

Entretanto, lacunas científicas ainda limitam o avanço no manejo integrado das principais doenças do mamoeiro, em especial no que se refere à compreensão da interação entre patógeno, hospedeiro e ambiente, aos mecanismos de resistência genética e ao desempenho de agentes de biocontrole em condições de campo (SILVÉRIO *et al.*, 2019; DIANESE *et al.*, 2007). Investigar essas interações é essencial para subsidiar programas de melhoramento e a implementação de práticas sustentáveis de manejo.

Diante desse contexto, o objetivo geral desta tese é identificar e selecionar genótipos de mamoeiro resistentes às doenças podridão-do-pé e pinta-preta, bem como avaliar a eficiência de agentes de biocontrole no manejo dessas enfermidades, contribuindo para alternativas sustentáveis de gestão fitossanitária da cultura. Para atingir esse objetivo, a tese buscou avaliar mudas de genótipos de mamoeiro quanto à resistência à infecção por *P. palmivora*, com o intuito de identificar linhagens e cultivares promissoras presentes no banco de germoplasma da Embrapa Mandioca e Fruticultura que possam ser utilizadas como fontes de resistência. Também foram conduzidos estudos *in vitro* para analisar o potencial antagônico de isolados de *Trichoderma* spp. e *Bacillus* spp. contra *P. palmivora*, visando determinar sua viabilidade como alternativa biológica no controle da podridão-do-pé. Além disso, investigou-se a resposta de diferentes genótipos de mamoeiro à infecção por *A. caricae* e a eficácia do biocontrole com o isolado BAC1 em comparação ao fungicida Score®, buscando identificar possíveis correlações entre características morfofisiológicas e resistência à pinta-preta, de modo a fornecer subsídios para programas de melhoramento genético e estratégias de manejo integrado de doenças.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Cultura do mamoeiro (*Carica papaya*)

O mamoeiro (*Carica papaya* L.) é uma fruteira de ampla distribuição nos trópicos e de grande importância socioeconômica, sendo consumida em praticamente todo o território brasileiro, sendo a região Nordeste a maior produtora do país, seguido pela região sudeste (IBGE, 2025). De acordo com a Pesquisa Agrícola Municipal (PAM) de 2023, a produção brasileira de mamão alcançou aproximadamente 1,13 milhão de toneladas, com rendimento médio de cerca de 42 toneladas por hectare.

Historicamente, houve mudança nos polos produtores: enquanto nas décadas anteriores estados como Pará e São Paulo chegaram a concentrar parcela significativa da área, a produção nacional deslocou-se para o Nordeste e Sudeste, com destaque atual para Bahia e Espírito Santo, que respondem por parcela majoritária da produção nacional, com estimativa de aproximadamente 70% em levantamentos recentes (IBGE, 2025). A expansão de polos como Ceará e Rio Grande do Norte esteve associada, em períodos recentes, à proximidade logística com o mercado norte-americano, que impulsionou exportações marítimas no fim dos anos 1990.

No cenário internacional, a participação do mamão no comércio de frutas representa menos de 3 % da produção global destinada ao mercado externo (EDWARDS e BALLEEN, 2009). Historicamente, os Estados Unidos têm figurado entre os principais importadores mundiais de mamão fresco, absorvendo mais da metade do volume comercializado no período de 2007 a 2009 (EDWARDS e BALLEEN, 2009). Entretanto, nas últimas décadas, a União Europeia consolidou-se como o principal destino das exportações brasileiras, que em 2021 alcançaram 35,57 mil toneladas, enquanto os Estados Unidos importaram cerca de 1,56 mil toneladas do Brasil nesse mesmo ano (WORLD BANK/UN COMTRADE, 2021).

Dados mais recentes indicam crescimento expressivo do comércio brasileiro: entre janeiro e novembro de 2024, as exportações de mamão somaram 39 mil toneladas, correspondendo a US\$ 52 milhões em receitas, valor 16 % superior ao registrado no mesmo período do ano anterior (FRESHPLAZA, 2024). Esses

resultados estão diretamente relacionados às condições climáticas favoráveis exigidas pela cultura, como temperatura média anual de 25 °C e precipitação bem distribuída em torno de 1.500 mm.

De acordo com Diniz *et al.* (2018), a cultura está adaptada à região nordeste do país, e sua relevância nos polos frutícolas refletem sua importância socioeconômica regional. Essa cadeia produtiva gera empregos diretos e indiretos, devido à produção contínua ao longo do ano e à necessidade frequente de renovação dos pomares (SANTOS *et al.*, 2015; SÁ *et al.*, 2013) ressaltando a importância de ampliar a diversidade genética para garantir a sustentabilidade do cultivo.

Para Nobre, (2021), a base genética do mamoeiro cultivado permanece relativamente estreita, limitando a diversidade varietal nas principais regiões produtoras do Brasil e do mundo. Essa restrição genética pode comprometer a resistência a estresses bióticos e abióticos, além de limitar o potencial de melhoramento genético. As cultivares do grupo 'Solo' são, em geral, linhagens puras, enquanto as do grupo 'Formosa' são híbridos F1, apresentando características distintas em termos de tamanho de fruto, textura e adaptação (NOBRE, 2021). Entre as cultivares mais amplamente cultivadas no Brasil e no exterior, destacam-se 'Sunrise Solo', 'Golden' e 'Golden THB' no grupo Solo, e os híbridos 'Tainung 01' e 'Calimosa' no grupo Formosa, que possuem grande importância comercial devido à qualidade dos frutos e produtividade (OLIVEIRA *et al.*, 2023).

Devido à sua importância econômica e social, o mamoeiro tem sido amplamente estudado em diversos trabalhos científicos recentes (SANTOS *et al.*, 2021; LIMA *et al.*, 2022). Além da importância social e econômica atribuída à cultura do mamoeiro, um aspecto que merece destaque são as propriedades nutricionais do fruto, que são altamente recompensadas para a saúde humana. De acordo com Ferreira e Almeida (2020), o fruto do mamão é uma fonte significativa de cálcio e excelente de beta-caroteno, além de ser rico em vitaminas A, C e do complexo B, além de conter minerais essenciais como potássio e magnésio.

Além do aspecto nutritivo, o látex da planta de mamão contém a enzima proteolítica papaína, que possui ação semelhante à pepsina, sendo utilizada nas farmacêuticas, alimentícias, têxteis, laticínios e de perfumes (SINGH *et al.*, 2008). Das folhas, frutos e sementes da planta de mamão, é extraído um alcalóide chamado carpaína, que atua como ativador do músculo cardíaco, ambos com significativa importância no mercado comercial (PATIL *et al.*, 2014).

As características nutricionais do fruto merecem destaque devido aos seus benefícios para a saúde humana, combinando sabor agradável, baixa acidez, alto teor de vitamina C e presença de açúcares naturais. Essas qualidades fazem do mamão um fruto altamente valorizado pelos consumidores, principalmente quando consumido fresco, seja *in natura* ou minimamente processado (SILVA *et al.*, 2022).

Diante dos desafios enfrentados pela cultura do mamoeiro, especialmente relacionados à limitada diversidade genética e às exigências do mercado, o melhoramento genético surge como a principal estratégia para os produtores. Por meio do desenvolvimento de cultivares mais resistentes, produtivas e adaptadas, o melhoramento oferece uma solução sustentável para aumentar a competitividade e garantir a continuidade da produção, beneficiando toda a cadeia produtiva.

2.2. Melhoramento genético do mamão

O melhoramento genético do mamoeiro remonta à década de 1930, com os primeiros estudos sobre herança sexual, que marcaram o início da compreensão da biologia dessa planta e o desenvolvimento de técnicas de melhoramento (CHÁVEZ-PESQUEIRA; NÚÑEZ FARFÁN, 2017). Desde então, a cultura tem enfrentado desafios significativos relacionados à propagação por sementes sem controle de polinização, o que dificulta a obtenção de linhagens geneticamente puras e adaptadas às necessidades do mercado. Embora a variabilidade genética do mamoeiro ainda ofereça grandes oportunidades para o melhoramento, poucas linhagens melhoradas têm sido desenvolvidas, especialmente no que tange à resistência a doenças e ao aumento da produtividade. Nos últimos anos, a busca por variedades resistentes a doenças como a podridão-do-pé e a pinta-preta tem se intensificado, dada a sua grande importância para a produtividade e a sustentabilidade da cultura.

Estudos recentes, como os de NUNES *et al.* (2023), indicam que, embora o potencial genético do mamoeiro seja ainda pouco explorado, a identificação de genótipos resistentes às principais doenças da cultura representa um avanço significativo. A identificação de genótipos com algum nível de resistência a doenças, especialmente a podridão-do-pé e a pinta-preta, é crucial para reduzir o uso de defensivos químicos, promovendo um manejo mais sustentável e aumentando a estabilidade da produção. O melhoramento genético, portanto, tem se mostrado uma

ferramenta essencial na criação de cultivares mais adaptadas, não apenas à resistência fitossanitária, mas também a condições climáticas adversas.

Entre os métodos utilizados no melhoramento genético do mamoeiro, destacam-se a seleção recorrente, que visa a escolha contínua das melhores plantas em várias gerações, e a introgressão de genes de resistência a partir de variedades crioulas e acessos silvestres, como o gênero *Vasconcellea*. Este último é uma das principais fontes de resistência genética contra doenças, especialmente o PRSV (*Papaya Ringspot Virus*), além de apresentar resistência à podridão-do-pé e a outros patógenos (COSTA *et al.*, 2019). No entanto, apesar dos avanços, esses métodos tradicionais ainda enfrentam limitações como o tempo necessário para alcançar resultados significativos, a dificuldade em manter a compatibilidade genética e os desafios impostos pela polinização cruzada não controlada.

Para acelerar o processo de obtenção de cultivares superiores, especialmente em relação à resistência a doenças como a podridão-do-pé e a pinta-preta, avanços biotecnológicos têm sido fundamentais. O uso de marcadores moleculares, como os microsátélites e SNPs (*polimorfismos de nucleotídeo único*), permite a seleção assistida, tornando possível a identificação precoce de genes de resistência em genótipos promissores. Essa tecnologia tem acelerado significativamente os programas de melhoramento, pois permite que características desejáveis sejam identificadas e selecionadas sem a necessidade de observação fenotípica por várias gerações, como ocorre no melhoramento tradicional. A seleção assistida por marcadores moleculares, combinada com a edição genômica, como CRISPR-Cas9, representa um futuro promissor para a criação de cultivares de mamoeiro mais resistentes e com melhor desempenho agrônomico (SILVA *et al.*, 2020).

No entanto, a adoção de cultivares geneticamente modificadas e a utilização dessas tecnologias biotecnológicas em larga escala enfrentam desafios relacionados aos aspectos regulatórios e de biossegurança. Muitos países, especialmente os da União Europeia, têm uma aceitação restrita de produtos geneticamente modificados, o que pode dificultar a comercialização de cultivares de mamoeiro resistentes a doenças, caso estas sejam desenvolvidas por meio de transgenia (HALFORD, 2018). Além disso, o processo de regulamentação de cultivares modificadas geneticamente envolve uma série de testes rigorosos de segurança alimentar e ambiental, que podem atrasar a liberação desses produtos no mercado. Embora a resistência genética a

doenças por meio de melhoramento convencional e biotecnológico seja uma abordagem eficaz, as questões regulatórias podem ser um obstáculo significativo para a adoção em larga escala dessas tecnologias (DANTAS e OLIVEIRA, 2019).

Os resultados de programas de melhoramento voltados especificamente para a resistência à podridão-do-pé e à pinta-preta já mostram progresso. Domingo (2024) investigou a resistência parcial à *P. palmivora* em diferentes cultivares de mamoeiro, incluindo o SunUp. Embora o SunUp tenha mostrado resistência ao PRSV, sua resistência à podridão-do-pé foi limitada. Por outro lado, o cultivar Kamiya apresentou maior tolerância à doença. A pesquisa identificou marcadores moleculares associados à resistência à *P. palmivora*, que podem ser utilizados para o melhoramento genético visando maior resistência a essa doença. Programas de melhoramento têm mostrado que é possível melhorar a resistência do mamoeiro sem comprometer características essenciais como o sabor e a qualidade do fruto, além de permitir maior produtividade com menor uso de produtos fitossanitários. As abordagens modernas de melhoramento genético, aliadas a ferramentas de biotecnologia, têm a capacidade de acelerar esses resultados, fornecendo uma base sólida para a criação de novas cultivares com maior resistência a doenças (COPLAND *et al.*, 2020).

O trabalho proposto para esta tese contribui diretamente para o melhoramento genético do mamoeiro por meio da seleção de genótipos resistentes à podridão-do-pé e à pinta-preta, utilizando materiais genéticos de acesso silvestre e variedades crioulas, utilizando abordagem da seleção convencional de genótipos com resistência natural a essas doenças. O foco será na identificação de plantas com características fenotípicas de resistência, por meio da avaliação de suas respostas a infecções naturais ou induzidas pelos patógenos. Essa seleção ajudará a identificar genótipos promissores que podem ser utilizados em programas de melhoramento, com o objetivo de obter cultivares mais resistentes e adaptadas às condições fitossanitárias adversas, visando contribuir para o desenvolvimento de novas variedades de mamoeiro que sejam mais resilientes, com maior potencial de produtividade e qualidade, e que atendam às exigências do mercado e dos produtores.

2.3. Resistência Genética a doenças do mamoeiro

O mamoeiro é uma cultura tropical de grande importância econômica, especialmente no Brasil, que enfrenta desafios significativos devido às doenças, especialmente as causadas por fungos e vírus. Dentre as doenças que mais impactam a produtividade, destacam-se a podridão-do-pé, causada por *P. palmivora*, e a pinta-preta, causada pelo fungo *A. caricae*. Essas doenças podem levar a perdas produtivas de até 50% da produção, afetando a qualidade dos frutos e reduzindo a competitividade da cultura (MARTINS e COSTA, 2003). Diante desse cenário, o uso de resistência genética no mamoeiro surge como uma estratégia promissora para o controle de doenças, sendo as espécies silvestres do gênero *Vasconcellea* materiais valiosos para o desenvolvimento de cultivares resistentes.

As espécies de *Vasconcellea*, como *V. cauliflora* e *V. cundinamarcensis*, têm se destacado como fontes naturais de resistência não apenas ao PRSV-P, mas também à podridão-do-pé e à pinta-preta. Estudos recentes têm demonstrado que a introdução de genes de resistência provenientes dessas espécies silvestres em híbridos de mamoeiro tem se mostrado eficaz na redução da severidade das infecções por esses patógenos (GONSALVES *et al.*, 2010). Um exemplo interessante é a utilização de híbridos de mamoeiro com resistência parcial à podridão-do-pé, onde a resistência foi transmitida a partir de *V. cauliflora*, mostrando que a incorporação de genes resistentes pode proporcionar uma proteção significativa contra o avanço dessas doenças fúngicas. Além disso, técnicas de edição genômica, como o CRISPR, tem sido exploradas para facilitar a transferência desses genes para cultivares comerciais, acelerando o processo de desenvolvimento de variedades resistentes de forma mais eficiente e precisa (CASTRO *et al.*, 2022).

A resistência a doenças fúngicas também é uma das principais vantagens de utilizar *Vasconcellea* no melhoramento genético do mamoeiro. Espécies como *V. cauliflora* demonstraram não só resistência à podridão-do-pé, mas também tolerância a outros estresses bióticos e abióticos, como seca e alta salinidade (UCHOI *et al.*, 2025). O uso dessas espécies silvestres no melhoramento, por meio de cruzamentos e retrocruzamentos, tem mostrado resultados promissores, permitindo a incorporação dessas características sem comprometer a produtividade da planta. Com a crescente preocupação com as mudanças climáticas, essas características adicionais de resistência a estresses abióticos se tornam fundamentais para o desenvolvimento de cultivares que possam se adaptar a condições ambientais adversas, mantendo a qualidade e a quantidade da produção (RAJASEKARAN *et al.*, 2021).

No que diz respeito ao controle integrado de doenças, a resistência genética desempenha um papel essencial. Porém, para que a eficácia no controle da podridão-do-pé e da pinta-preta seja otimizada, é necessário combinar a resistência genética com outras práticas de manejo. O uso de fungos antagonistas, como *Trichoderma* spp., tem sido uma alternativa promissora para o controle biológico das doenças fúngicas no mamoeiro, reduzindo a necessidade de fungicidas químicos (SILVA *et al.*, 2025). Além disso, a rotação de culturas e o manejo adequado do solo são fundamentais para prevenir a disseminação de patógenos e melhorar a saúde das plantas. A utilização de cultivares resistentes também pode ser combinada com o controle biológico, promovendo uma agricultura mais sustentável.

Contudo, o uso de resistência genética no mamoeiro também apresenta desafios. Um dos principais obstáculos é a redução da diversidade genética nas cultivares comerciais, que pode aumentar a vulnerabilidade das plantas a novos patógenos ou até mesmo a novas cepas do mesmo patógeno. Isso pode resultar em resistência limitada ou mesmo em falha no controle da doença a longo prazo. Para mitigar esses riscos, é essencial utilizar uma variedade de fontes de resistência genética, incluindo aquelas provenientes de *Vasconcellea*, o que pode aumentar a diversidade genética das cultivares e garantir uma proteção duradoura. Além disso, é necessário um monitoramento constante dos patógenos para detectar possíveis mutações que possam reduzir a eficácia da resistência genética (REIS *et al.*, 2015).

Em suma, o uso de materiais silvestres no melhoramento genético do mamoeiro para resistência a doenças como a podridão-do-pé e a pinta-preta é uma estratégia promissora para o controle integrado dessas doenças. A combinação de resistência genética com outras práticas sustentáveis, como o controle biológico e o manejo adequado do solo, pode levar a uma produção de mamão mais resistente, adaptada às condições ambientais e com menor dependência de produtos químicos. O avanço em tecnologias como a edição genômica e o uso de recursos genéticos silvestres deve ser explorado para acelerar o desenvolvimento de cultivares mais eficientes, sustentáveis e adaptados às mudanças climáticas.

2.4. Doenças do mamoeiro

A cultura do mamoeiro é altamente suscetível a diversas doenças que podem comprometer significativamente a produtividade, levando, em casos extremos, à

destruição total dos pomares. Esse cenário pode provocar mudanças constantes nas áreas de cultivo e até o abandono de regiões produtoras, especialmente aquelas em expansão. Além disso, os problemas fitossanitários elevam consideravelmente os custos de produção e comprometem a qualidade dos frutos obtidos nas principais regiões produtoras do país, configurando-se como um dos principais entraves à sustentabilidade da cultura (COSMI *et al.*, 2017).

Os dois principais grupos de genótipos do mamoeiro que possuem uma diversidade genética significativa, são o grupo ‘Solo’ e o grupo ‘Formosa’, compondo a base da produção comercial brasileira. No entanto, apenas três cultivares — ‘Golden’, ‘Sunrise Solo’ (do grupo Solo) e ‘Tainung nº 1’ (do grupo Formosa) — dominam a maior parte das áreas cultivadas no país. Essa concentração em um número reduzido de genótipos compromete a sustentabilidade da cultura, pois limita a variabilidade genética disponível. Como consequência, há um aumento da suscetibilidade das lavouras ao ataque de pragas e, sobretudo, às doenças, o que impacta negativamente a qualidade dos frutos produzidos e eleva os riscos fitossanitários (DANTAS; OLIVEIRA, 2009).

A cultura do mamoeiro é altamente suscetível a doenças que comprometem seriamente sua produtividade, com destaque para viroses e enfermidades fúngicas, que podem causar destruição rápida dos pomares (COSMI *et al.*, 2017). Entre as viroses de maior impacto econômico estão a mancha anelar do mamoeiro, causada pelo *Papaya ringspot virus* (PRSV), e a meleira do mamoeiro, provocada pelo *Papaya meleira virus* (PMeV), ambas responsáveis por perdas significativas na qualidade e produção dos frutos (COSMI *et al.*, 2017; SÁ ANTUNES *et al.*, 2020).

Quanto às doenças causadas por fungos, destacam-se a varíola ou pinta-preta, ocasionada pelo patógeno *A. caricae* (Speg.) Maubl., a podridão-do-pé e dos frutos, causada por *P. palmivora* (Butler) Butler, e a antracnose, provocada por *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.). Tais patógenos figuram entre os principais responsáveis por perdas econômicas no cultivo do mamoeiro, comprometendo a qualidade dos frutos, restringindo a exportação de mamão *in natura* e diminuindo a rentabilidade no mercado interno.

Essas enfermidades fúngicas têm impacto significativo na qualidade e viabilidade da cultura do mamoeiro. A pinta-preta, causada por *A. caricae*, reduz o valor comercial dos frutos ao provocar lesões na epiderme e nas folhas, gerando perdas diretas no rendimento comercial (SANTOS *et al.*, 2019). Já a podridão-do-pé,

provocada por *P. palmivora*, compromete a pós-colheita ao provocar severas lesões em frutos, especialmente sob condições de alta umidade, e representa uma das principais causas de descarte de produção no Brasil (OLIVEIRA *et al.*, 2014)

Em especial, a podridão-do-pé é uma das doenças mais destrutivas em áreas úmidas, sendo capaz de dizimar plantações inteiras em poucos dias (TAVARES *et al.*, 2016), enquanto a pinta-preta tem se tornado um dos principais entraves à produção de mamão com qualidade comercial (SILVERIO *et al.*, 2018). Nesse contexto, torna-se essencial o desenvolvimento de cultivares resistentes a essas doenças, como estratégia fundamental para garantir a sustentabilidade da cultura e a competitividade do agronegócio papaieiro.

2.4.1. Podridão-do-pé (*Phytophthora palmivora*)

Entre as principais doenças que limitam a produção deste fruto está a podridão-do-pé e dos frutos do mamoeiro, causada pelo agente etiológico *P. palmivora* Butler (*Phytophthoraceae*, *Peronosporales*, *Oomicota*, *Stramenopili*). Esse patógeno hemibiotrófico possui hifas cenocíticas, heterotáticas (5-8 µm) e produz esporângios terminais e intercalados, caducos e papilados (50-33µm) em abundância. Os zoósporos biflagelados (entre 10 e 40) são formados dentro de esporângios maduros. Também produz clamidosporos globosos (35 a 45 µm de diâmetro), estrutura de resistência, que constitui um dos principais inóculos no solo. A espécie *P. palmivora* é patogênica às diversas plantas cultivadas, podendo causar doenças, além do mamoeiro, em coqueiro e palmáceas, pimentas, cacau, citrus e seringueira, dentre outras (ERWIN e RIBEIRO, 1996; DRENTH e GUEST, 2012; MAIZATUL-SURIZA *et al.*, 2019).

No campo, temperaturas entre 25-30 °C, alta umidade e solos mal drenados favorecem o desenvolvimento da podridão-do-pé do mamoeiro, que pode incidir em qualquer idade da planta. A *P. palmivora* é comumente disseminado em pomares por meio de substratos contaminados, mudas e plântulas infectadas, além de ser veiculado pela água de irrigação, facilitando sua propagação e estabelecimento em novas áreas (OLIVEIRA *et al.*, 2014).

Quando em condições favoráveis, os esporângios liberam zoósporos móveis, que atraídos quimiotaticamente e eletrostaticamente pelos exsudados da raiz encistam e germinam. Após a germinação de um zoósporo, um tubo germinativo

emerge e cresce em toda a superfície da planta até o desenvolvimento de um apressório, que tem a função de penetrar nas células epidérmicas (FAWKE *et al.*, 2015).

O patógeno produz um grande número de esporângios na superfície dos tecidos doentes, principalmente quando a temperatura está próxima a 25 °C. Por outro lado, a produção de esporângios é reduzida ou inibida quando a temperatura é inferior a 15 °C ou superior a 35 °C. Durante a estação seca, os clamidósporos permanecem dormentes no solo e germinam sob condições de alta umidade, que coincidem com o crescimento das raízes, reiniciando o ciclo infeccioso (GYELTSHEEN *et al.*, 2021).

Estes fitopatógenos são polípagos, cosmopolitas e causam diferentes manifestações de doenças como tombamento, podridão de raízes, cancrios, necroses e queima foliar (LUZ *et al.*, 2001). Ao passo que ocorre o processo de infecção das raízes, concomitantemente ocorre o amarelecimento de folhas, assim como sua queda prematura e a de frutos, o que pode ocasionar muitas vezes a morte da planta (REZENDE e FANCELLI, 2016).

Em plantas jovens de mamoeiro, *P. palmivora* geralmente inicia a infecção a partir das raízes laterais, avançando para a raiz principal e causando a degradação dos tecidos parenquimáticos, o que pode levar à morte das plantas. Plantas mais maduras tendem a resistir por mais tempo, porém, quando ocorre o anelamento basal completo, é comum a perda da sustentação física, resultando no tombamento das plantas. Além disso, observa-se queda prematura dos frutos, murcha do ápice e eventual morte das plantas adultas (SANTOS *et al.*, 2021).

Duas espécies de *Phytophthora* são citadas como causadoras de podridões em mamoeiro: *P. palmivora* Butler e *P. parasitica* Dastur e tem sido relatada em vários países, com grande intensidade em algumas localidades, o que pode acarretar grandes perdas, já que o oomiceto causa a morte das plantas. Essas espécies apresentam ampla gama de hospedeiros e alta capacidade de sobrevivência no solo, dificultando o manejo da doença em áreas já infestadas

Algumas das medidas de controle cultural como evitar o plantio em solos excessivamente argilosos, mal drenados e em regiões com alta pluviosidade, além de solos quimicamente pobres; promover o plantio em curvas de nível, camalhões ou leitos elevados; cultivar em áreas isentas do patógeno, utilizar substrato esterilizado para mudas; evitar lesões nas plantas durante as capinas; (VAWDREY; GUEST;

GHALEHGHAN, 2008) e a remoção sistemática de frutos e plantas infectadas podem ser eficazes na redução da incidência da podridão-do-pé.

Considerando a ausência de medidas de controle químico eficazes contra *P. palmivora* e a inexistência de cultivares comerciais resistentes a essa doença, o uso de genótipos com algum nível de resistência parcial continua sendo uma das estratégias mais promissoras e economicamente viáveis para mitigar os danos causados pelo patógeno (SANTOS *et al.*, 2021). Além disso, o controle biológico tem se mostrado uma alternativa sustentável e eficiente, especialmente por meio do uso de microrganismos como *Trichoderma spp.*, capaz de inibir o crescimento de *P. palmivora* por meio de mecanismos como competição, antibiose e micoparasitismo, sendo recomendados principalmente para a produção de mudas e o manejo do solo em áreas infestadas (SOUZA *et al.*, 2020).

2.4.2. Pinta-preta (*Asperisporium caricae*)

A varíola ou pinta-preta do mamoeiro é considerada a principal doença fúngica foliar que acomete a cultura no Brasil, sendo amplamente distribuída nas regiões produtoras e responsável por expressivas perdas econômicas (REZENDE & MARTINS, 2005). Devido à sua elevada severidade e rápida disseminação em condições favoráveis, exige aplicações frequentes de fungicidas, impactando diretamente nos custos de produção e na sustentabilidade do cultivo.

O agente causal da pinta-preta é *A. caricae* (Speg.) Maubl., fungo pertencente ao filo *Ascomycota*, classe *Dothideomycetes*, ordem *Capnodiales* e família *Mycosphaerellaceae*. A classificação taxonômica do gênero *Asperisporium* ainda apresenta controvérsias, sobretudo quanto à identificação de sua fase teleomórfica, anteriormente atribuída a *Mycosphaerella caricae* Syd. & P. Syd (MINNIS *et al.*, 2011).

Do ponto de vista morfológico, *A. caricae* apresenta esporodóquios subcuticulares ou intraepidérmicos, de coloração marrom-escura a preta, medindo entre 40–120 µm de diâmetro, com estroma bem desenvolvido que rompe a epiderme e dá origem a conidióforos curtos dispostos em feixes densos. Os conidióforos são geralmente simples, retos ou curvos, de coloração marrom a olivácea, com múltiplas cicatrizes conidiais apicais. Os conídios são elipsoidais a piriformes, bicelulares, hialinos a castanho-claros, verrugosos, com dimensões variando entre 12–28 µm × 7–14 µm

(MAUBLANC, 1913; ELLIS e HOLLIDAY, 1972; KOBAYASHI *et al.*, 1998; SHANTAMMA *et al.*, 2018).

No Brasil, a primeira descrição oficial da doença foi realizada por Maublanc (1913), no estado do Rio de Janeiro, conforme citado por Martelleto (2009). Atualmente, é amplamente encontrada nas principais regiões produtoras de mamão, como Espírito Santo, Bahia, Minas Gerais, Ceará e Paraná.

A infecção inicia-se geralmente na face inferior das folhas mais velhas, que atuam como fonte primária de inóculo para os frutos. Condições de alta umidade relativa e chuvas frequentes favorecem o desenvolvimento da doença, que se manifesta inicialmente como pequenas manchas circulares escuras com frutificações pulverulentas visíveis na face abaxial das folhas (ADIKARAM e WIJEPALA, 1995; ELDER *et al.*, 2000), formando manchas pequenas, geralmente menores do que 4 mm de diâmetro, circulares, ligeiramente angulosas de coloração escura. Na face adaxial, observam-se manchas pardo-claras rodeadas por halos amarelados e discretamente deprimidas, com lesões semelhantes de coloração pardo-clara envolvida por uma pequena depressão e halo amarelo (LUNA, 1986).

Nos frutos verdes, as lesões se assemelham às das folhas, mas aumentam de tamanho conforme o fruto se desenvolve, tornando-se salientes, escuras e ásperas ao tato. Embora restritas à epiderme, essas manchas comprometem a qualidade visual dos frutos e os predisõem a infecções secundárias em pós-colheita, inviabilizando sua comercialização e exportação (LIBERATO *et al.*, 2007; KIMATI *et al.*, 2005).

Quanto às estratégias de controle, o manejo da pinta-preta tradicionalmente baseia-se na aplicação de fungicidas protetores e sistêmicos e na remoção de folhas e frutos infectados para reduzir a pressão de inóculo (REZENDE *et al.*, 2016). Contudo, alternativas sustentáveis têm ganhado destaque, como a indução de resistência por elicitores (SANTOS *et al.*, 2017) e o uso de agentes de biocontrole capazes de inibir o crescimento micelial de *A. caricae* e reduzir a severidade da doença em condições controladas (VIVAS *et al.*, 2017). A resistência genética também é considerada a abordagem mais desejável a longo prazo, porém, ainda não há genótipos de mamoeiro com resistência comprovada à pinta-preta.

2.5. Controle Biológico

O controle biológico tem se consolidado como uma estratégia sustentável e eficiente no manejo de doenças do mamoeiro, especialmente frente aos desafios impostos pela resistência de patógenos a fungicidas químicos e as restrições ambientais ao uso excessivo de defensivos agrícolas (SANTOS *et al.*, 2021). Essa abordagem utiliza organismos vivos, como fungos, bactérias e outros microrganismos antagonistas, que atuam na supressão de patógenos por meio de mecanismos diversos, incluindo competição, parasitismo, antibiose e indução da resistência nas plantas (MENDES *et al.*, 2020).

Dentre os agentes biológicos empregados na cultura do mamoeiro, o gênero *Trichoderma* destaca-se pela capacidade de antagonizar patógenos do solo e da parte aérea, como *P. palmivora* e *A. caricae*, causadores respectivamente da podridão-do-pé e da pinta-preta (COSTA *et al.*, 2019). Estudos apresentados por Dianese *et al.* (2012) têm demonstrado que a aplicação de *Trichoderma* em mudas e no solo pode reduzir significativamente a incidência dessas doenças, promovendo também o crescimento vegetal e o fortalecimento das defesas naturais da planta. No campo, esse controle biológico tem sido bem-sucedido, especialmente em áreas com menor pressão de patógenos, onde a combinação de *Trichoderma* com boas práticas de manejo tem mostrado resultados promissores. No entanto, a eficácia do biocontrole no campo depende de variáveis como condições climáticas e práticas culturais, o que pode ser um desafio em áreas com alta infestação de patógenos.

Além dos fungos antagonistas, algumas bactérias do gênero *Bacillus* têm sido utilizadas com sucesso no controle biológico do mamoeiro, devido à sua capacidade de produzir metabólitos antibióticos e estimular a resistência sistêmica induzida na planta (SILVA *et al.*, 2021). Pesquisas recentes apontam que a combinação de agentes biológicos, associada a práticas culturais adequadas, potencializa o controle de doenças, além de contribuir para a sustentabilidade dos sistemas de produção (SANTOS *et al.*, 2022). Em condições de campo, esses consórcios microbianos têm se mostrado eficazes, oferecendo uma abordagem mais robusta para o manejo integrado de doenças, especialmente quando combinados com induzidores de resistência que promovem a defesa natural das plantas. No entanto, as formulações ainda são incipientes, e a persistência desses organismos no ambiente pode ser

afetada por variáveis climáticas, como temperatura e umidade, além da disponibilidade de nutrientes no solo.

Outro aspecto relevante do controle biológico é a redução dos impactos ambientais e na saúde humana em comparação ao uso intensivo de fungicidas químicos. A integração do controle biológico com outras práticas, como o manejo integrado de pragas (MIP), tem sido amplamente recomendada para o cultivo do mamoeiro, visando aumentar a eficiência no controle de doenças e promover sustentabilidade ambiental (BUENO *et al.*, 2023). No entanto, desafios como a persistência limitada dos agentes biológicos no campo e a dependência de condições climáticas ideais são limitações importantes a serem consideradas. O biocontrole, muitas vezes, precisa ser combinado com aplicações de bioestimulantes e indutores de resistência para alcançar um efeito sinérgico, o que pode melhorar a resistência das plantas a doenças e, ao mesmo tempo, melhorar sua produtividade em condições adversas (CAVALCANTE *et al.*, 2022).

De acordo com Castilho *et al.* (2022), o controle biológico surge como uma alternativa promissora para o manejo das principais doenças do mamoeiro, alinhando eficiência, sustentabilidade e segurança alimentar. Contudo, ainda são necessárias pesquisas para otimizar as formulações, as doses e as formas de aplicação desses agentes, bem como para ampliar o conhecimento sobre a interação entre microrganismos benéficos, patógenos e o ambiente da cultura. Embora o biocontrole tenha mostrado grande potencial, uma análise custo-benefício revela que, em algumas situações, o controle químico pode ser mais vantajoso, especialmente em pomares com alta incidência de doenças. No entanto, o custo ambiental e os impactos para a saúde humana tornam o biocontrole uma alternativa cada vez mais atrativa a longo prazo.

Portanto, o controle biológico, especialmente com o uso de consórcios microbianos e o apoio de indutores de resistência e bioestimulantes, pode ser uma solução eficaz e sustentável para o manejo de doenças no mamoeiro. A integração dessas estratégias com práticas culturais adequadas e o manejo integrado de pragas pode não apenas aumentar a resistência das plantas, mas também melhorar a qualidade e a produtividade do mamoeiro, tornando a cultura mais competitiva no mercado global.

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADIKARAM, N. K. B.; WIJEPALA, M. *Asperisporium* black spot in *Carica papaya*: a new disease in Sri Lanka. **Journal of the National Science Foundation of Sri Lanka**, v. 23, n. 4, p. 213–219, 1995.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). **Boletim Hortigranjeiro – Dados da fruticultura e exportação do mamão**. Brasília, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/hortigranjeiros-prohort/boletim-hortigranjeiro/boletim-hortigranjeiro-2024.pdf>. Acesso em: 29 dez. 2024.

BUENO, A. F.; SUTIL, W. P.; JAHNKE, S. M.; CARVALHO, G. A.; CINGOLANI, M. F.; COLMENAREZ, Y. C.; CORNIANI, N. Biological Control as Part of the Soybean Integrated Pest Management (IPM): Potential and Challenges. **Agronomy**, v. 13, n. 10, p. 2532, 2023.

CASTILHO, R. C.; FERLA, J. J.; AZEVEDO, E. B. de; BARROS, Á. R. A.; ZUFFO, V.; MORAES, G. J.; QUEIROZ, R. B.; MARTINS, D. S. Ácaros do mamoeiro: manejo e controle. In: SIMPÓSIO DO PAPAYA BRASILEIRO, 8., 2022, Linhares, ES. **Papaya Brasil: produção e sustentabilidade**. Vitória, ES: Incaper, 2022. p. 111-119.

CASTRO, L. F.; SANTOS, M. A.; SOUZA, L. L.; OLIVEIRA, P. R.; SILVA, A. T.; PEREIRA, C. P. Técnicas de edição genômica, como o CRISPR, têm sido exploradas para facilitar a transferência desses genes para cultivares comerciais, acelerando o processo de desenvolvimento de variedades resistentes de forma mais eficiente e precisa. **Revista Brasileira de Biotecnologia**, v. 22, n. 1, p. 45-59, 2022.

CAVALCANTE, W. S. Silva; MONTEIRO, R. T. R.; SPOLTI, P.; SANTOS, R. M. dos; SILVA, M. A. da. Uso do indutor de resistência associado a diferentes fungicidas na cultura da soja. *Research, Society and Development*, v. 11, n. 1, e51711125204, 2022.

CHÁVEZ-PESQUEIRA, M.; NÚÑEZ-FARFÁN, J. Domesticação e genética do mamoeiro: uma revisão. **Front. Ecol. Evol.**, v. 5, p. 1–9, 2017.

COPLAND, R. G. R.; SINGH, S. P.; KUMAR, D.; WANG, L. Advances in papaya breeding for disease resistance and improved productivity. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, p. 126, 2020.

COSMI, F. C.; ALVES, K. S.; MORAES, W. B.; VENTURA, J. A.; MORAES, S. P. C. B.; MORAES, W. B.; JESUS JÚNIOR, W. C. Análise epidemiológica da evolução temporal da meleira do mamoeiro. **Summa Phytopathologica**, v.43, n.4, p.303-309, 2017.

COSTA, A.; SILVA, R. L.; LOPES, C. A.; OLIVEIRA, M. A. Melhoramento genético do mamoeiro: uso de variedades crioulas e introgressão de genes de resistência. **Horticultura Brasileira**, v. 37, p. 212–221, 2019.

COSTA, F. G.; OLIVEIRA, R. A.; SOUZA, P. H. Aplicação de marcadores moleculares no melhoramento genético do mamoeiro: uma revisão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 54, n. 10, p. 256, 2019.

DANTAS, C. D.; OLIVEIRA, M. A. Melhoramento genético e a produção de cultivares de mamoeiro com resistência a doenças. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 4, p. 88–95, 2009.

DANTAS, J. L. L.; OLIVEIRA, E. J. O melhoramento genético do mamoeiro: avanços, desafios e perspectivas. In: I Simpósio Nordestino de Genética e Melhoramento de Plantas, 2009, Fortaleza - CE. **Anais: O melhoramento genético no contexto atual**. Fortaleza - CE: Embrapa Agroindústria Tropical, 2009. v. 1. p. 151-180.

DIANESE, A. C.; BLUM, L. E. B.; DUTRA, J. B.; LOPES, L. F.; SENA, M. C.; FREITAS, L. F.; YAMANISHI, O. K. Reação de genótipos de mamoeiro à varíola e à podridão-do-pé. **Fitopatologia Brasileira**, v. 32, p. 419-423, 2007.

DIANESE, A. C.; BLUM, L. E. B.; MELLO, S. C. M. **Uso de *Trichoderma* spp. para o manejo da podridão-do-pé-do-mamoeiro causada por *Phytophthora palmivora* Butler**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 25 p., 2012.

DINIZ, G. L.; SALES, G. N.; SOUSA, V. F. O.; ANDRADE, F. H. A.; SILVA, S. S.; NOBRE, R. G. Produção de mudas de mamoeiro sob salinidade da água irrigação e adubação fosfatada. **Revista de Ciências Agrárias**, v.41, n.1, p.218-228, 2018.

DOMINGO, R. S. **Exploring *Phytophthora palmivora* partial resistance in papaya cultivars**. 2024.

DRENTH, A.; GUEST, D. I. ***Phytophthora palmivora* in tropical tree crops**. *Phytophthora: a global perspective*, 187-196, 2012.

EDWARDS, D.; BALLEEN, F. Papaya: **An Economic Assessment of the Feasibility of Providing Multiple-Peril Crop Insurance**. United States Department of Agriculture (USDA), Risk Management Agency, 2009.

ELDER, R. J.; MACLEOD, W. N. B.; BELL, K. L.; TYAS, J. A.; GILLESPIE, R. L. Growth, yield and phenology of hybrid papayas (*Carica papaya* L.) as influenced by method of water application. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, 40:739-746, 2000.

ELLIS, M. B.; HOLLIDAY, P. *Asperisporium caricae*, CMI **Descriptions of Pathogenic Fungi and Bacteria**, v.347, p, 1–2. 1972.

ERWIN, D.C.; RIBEIRO, O. K. **Phytophthora diseases worldwide**. American Phytopathological Society (APS Press). Cap. 5, 1996.

FALCONER, D. S. **Introdução à genética quantitativa**. Viçosa: UFV, 1987. 279p.

FAO. **FAOSTAT: Crops and livestock products – Papaya**. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2022. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat>. Acesso em: 21 abr. 2025.

FAWKE, S.; DOUMANE, M.; SCHORNACK, S. Oomycete interactions with plants: infection strategies and resistance principles. **Microbiology and Molecular Biology Reviews**, 79 (3):263-280, 2015.

FERREIRA, D. M.; ALMEIDA, C. R. Composição química e benefícios do mamão (*Carica papaya*) para a saúde. **Journal of Food Science and Nutrition**, v. 12, n. 1, p. 23-31, 2020.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **The agricultural production**. 2024. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>>. Consultado em: fev. 2023.

FRESHPLAZA. **Brazil exported 39,000 tons of papaya from January to November 2024**. 2024.

GONSALVES, D.; VEGAS, A. L.; PRASARTSEE, V.; DREW, R.; FERMIN, G.; MANSCHARDT, R.; FITCH, M. M. Developing papaya to control papaya ringspot virus by transgenic resistance, intergeneric hybridization, and tolerance breeding. In: JANICK, J.; MOORE, J. N. (Ed.). **Plant breeding reviews**. V. 34. Wiley-Blackwell, 2010.

GYELTSHEN, J.; DUNSTAN, W. A.; GRIGG, A. H.; BURGESS, T. I.; HARDY, G. S. J. The influence of time, soil moisture and exogenous factors on the survival potential of oospores and chlamydospores of *Phytophthora cinnamomi*. **Forest Pathology**, v. 51, e12637, 2021.

HALFORD, N. G. Legislation governing genetically modified and genome-edited crops in the European Union. **Plant Biotechnology Journal**, v. 16, n. 2, p. 315-325, 2018.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa Agrícola Municipal – **PAM 2025: Produção, rendimento médio e valor da produção de mamão**. Rio de Janeiro: IBGE, 2025. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1613>. Acesso em: 12 mar. 2025.

KIMATI, H.; AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L. E. A. Manual de fitopatologia: Doenças das plantas cultivadas. **Agronômica Ceres**. Ed 4^a.v. 2, p. 479, 2005.

KOBAYASHI; NAKASHIMA, C.; NISHIJIMA, T. Addition and re-examination of Japanese species belonging to the genus *Cercospora* and allied genera. V. collections from the Nansei Islands. **Mycoscience**, v.43, p. 219-227, 1998.

LIBERATO, J. R.; ZAMBOLIM, L. Controle das doenças causadas por fungos, bacterias e fitonematóides em mamoeiro. In: ZAMBOLIM, L.; VALE, F. X. R.; MONTEIRO, A. J. A.; COSTA H. (Eds.) **Controle de doenças de plantas fruteiras**. v.2. Viçosa. p.1023-1169, 2007.

LIMA, T. S.; PEREIRA, M. J.; SOUZA, R. A. **Importância nutricional do mamão para a alimentação humana**. *Nutrição em Foco*, v. 15, n. 3, p. 45-53, 2022.

LUCENA, R. S.; DANTAS, J. L. L. Divergência genética por meio de caracteres morfoagronômicos e de qualidade de frutos de linhagens e híbridos de mamoeiro. **Magistra**, v. 27, n. 1, p. 101–109, 2015.

LUNA, J. V. U. **Variedades de mamoeiro**. Epamig, Belo Horizonte, MG Informe Agropecuário. v. 12, n. 134, p. 14-18, 1986.

LUZ, E. D. M. N. **Doenças causadas por Phytophthora no Brasil**. Livraria e Editora Rural Ltda. Cap. 14, 2001.

MAIZATUL-SURIZA, M.; DICKINSON, M.; IDRIS, A. S. Molecular characterization of *Phytophthora palmivora* responsible for bud rot disease of oil palm in Colombia. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, 35 (3):1-23, 2019.

MARTELLETO, L. A. P.; RIBEIRO, R. L. D.; CARMO, M. G. F. SUDO-MARTELLETO, M.; GOES, A.. Incidência da varíola, causada por *Asperisporium caricae*, em folhas de mamoeiros submetidos ao manejo orgânico, em diferentes ambientes de cultivo. **Summa Phytopathologica**, v. 35, n. 4, p. 288-292, 2009.

MARTINS, R. R.; COSTA, M. C. **Doenças do mamoeiro: Principais agentes fitopatológicos e controle**. Embrapa, 2003.

MAUBLANC, A. Disease of the leaves of papaya (*Carica papaya*). **Socitey Mycologique de France**, v.29, n.1, p. 353-358, 1913.

MENDES, J. A. *et al.* Mecanismos de ação e aplicação dos agentes de controle biológico em plantas cultivadas. **Ciência Rural**, v. 50, n. 6, p. 1-10, 2020.

MINNIS, A. M.; KENNEDY, A. H.; GRENIER, D. B.; REHNER, S. A.; BISCHOFF, J. F. *Asperisporium* and *Pantospora* (*Mycosphaerellaceae*): epitypifications and phylogenetic placement. **Persoonia: Molecular Phylogeny and Evolution of Fungi**, v. 27, p. 1–8, 2011.

NOBRE, V. F.; SILVA, S. O.; SILVA, M. O. Caracterização morfoagronômica de acessos de mamoeiro do banco de germoplasma da Embrapa Mandioca e Fruticultura. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v. 38, n. 1, e26771, 2021.

NUNES, C.; GOMES, L. A.; FERREIRA, M. A.; COSTA, P. L. A variabilidade genética do mamoeiro e suas implicações no melhoramento genético. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 11, n. 2, p. 211–219, 2023.

OLIVEIRA, A. A. R.; SANTOS FILHO, H. P.; ANDRADE, E. C. de; MEISSNER FILHO, P. E. Impacto potencial das mudanças climáticas sobre as doenças do mamoeiro no Brasil. In: GHINI, R.; HAMADA, E.; BETTIOL, W. (Ed.). **Impactos das mudanças climáticas sobre doenças de importantes culturas no Brasil**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 356 p., 2011.

OLIVEIRA, E. J. de; LIMA, C. R. de; MORAIS, J. V. de; SANTOS, L. F.; SILVA, M. C.; FERREIRA, R. P.; SOUZA, A. M. Reação de genótipos de mamoeiro à podridão-do-pé causada por *Phytophthora palmivora*. **Tropical Plant Pathology**, Brasília, v. 39, n. 6, p. 435–442, 2014.

OLIVEIRA, L. M.; LIMA, C. R.; MORAIS, J. V.; SANTOS, L. F.; SILVA, M. C.; FERREIRA, R. P.; SOUZA, A. M. Avanços no melhoramento genético do mamoeiro para resistência e qualidade de frutos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 58, e02123, 2023.

PATIL, T.; PATIL, S.; PATIL, A.; PATIL, S. *Carica papaya* leaf extracts - An Ethnomedicinal boon. **International Journal of Pharmacognosy and Phytochemical Research**, v. 6, n. 2, p. 260-265, 2014.

RAJASEKARAN, R.; KUMAR, S.; SINGH, R.; SHARMA, A.; DAS, M.; PATEL, D.; RAI, A.; PATEL, M.; KUMAR, P.; THAKUR, A. Genetic improvement of papaya for abiotic stress tolerance. **Journal of Horticultural Science & Biotechnology**, v. 96, n. 4, p. 439–448, 2021.

REIS, R. C.; VIANA, E. S.; JESUS, J. L.; DANTAS, J. L. L.; LUCENA, R. S. Caracterização físico-química de frutos de novos híbridos e linhagens de mamoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.50, n.3, p.210-217, 2015.

RESENDE, E. C. O. **Efeito do tratamento hidrotérmico quarentenário na pós-colheita de mamão**. 2016. 83p. Tese (Doutorado em Curso de Fisiologia e Bioquímica de Plantas), Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2016.

REZENDE, J. A. M.; MARTINS, M. C. Doenças do mamoeiro (*Carica papaya* L.). In: KIMATI, H.; AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L. E. A. **Manual de Fitopatologia: Doenças das Plantas Cultivadas**, Ceres, São Paulo - SP, p 435–443, 2005.

REZENDE, J. A. M.; FANCELLI, M. L. Doenças do Mamoeiro. In: L. AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO L. E. A. **Manual de Fitopatologia**, Vol. 2, Doenças de plantas cultivadas 5ª Edição. São Paulo: Agronômicas Ceres, 2016, 820 p.

SÁ ANTUNES, T. F.; LOPES, K. V.; OLIVEIRA, L. A. M.; SOUZA, R. L.; SANTOS, A. C.; CAVALCANTI, F. A.; COSTA, F. A.; ALVES, L. A.; REZENDE, J. A. M.; COSTA, P. M.; PINHEIRO, J. C.; ZANDONADI, F. S.; CAVALCANTI, R. S. Papaya sticky disease caused by virus “couples”: A challenge for disease detection and management. **Plant Disease**, St. Paul, v. 107, n. 6, p. 1649–1663, 2020.

SÁ, V. S.; BRITO, M. E. B.; MELO, A. S.; ANTÔNIO NETO, P.; FERNANDES, P. D. & FERREIRA, I. B. Produção de mudas de mamoeiro irrigadas com água salina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.10, p.1047-1054, 2013.

SANTOS, C. A. F.; SILVA, M. A.; LIMA, R. F.; OLIVEIRA, T. S.; PEREIRA, J. R.; ALMEIDA, D. F.; COSTA, F. A. Resistência de genótipos de mamoeiro a *Asperisporium caricae*, agente etiológico da pinta-preta. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 41, n. 5, e-089, 2019.

SANTOS, C. M.; GOMES, L. R.; ALVES, F. M.; CARVALHO, R. J.; MELO, P. S.; MENDES, A. L.; SOUZA, T. L. Controle biológico e alternativas sustentáveis para manejo de doenças em mamoeiro. **Journal of Plant Pathology**, v. 103, n. 2, p. 289-297, 2021.

SANTOS, D. B.; COELHO, E. F.; SIMÕES, W. L.; SANTOS JÚNIOR, J. A.; COELHO FILHO, M. A.; BATISTA, R. O. Influência do balanço de sais sobre o crescimento inicial e aspectos fisiológicos de mamoeiro. **Magistra**, Cruz das Almas – BA, v. 27, n.1, p.44-53, Jan/Mar, 2015.

SANTOS, F. R.; MENDES, L. F.; COSTA, A. P. Avanços no cultivo do mamoeiro: aspectos agrônômicos e socioeconômicos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 43, 2021.

SANTOS, M. R.; ALVES, J. M.; PEREIRA, F. R.; SOUZA, L. T. Integrated management strategies combining biological control and cultural practices for papaya disease suppression. **Biological Control**, v. 168, p. 104871, 2022.

SANTOS, P. H. D.; SILVEIRA, S. F.; VIVAS, M.; CARVALHO, B. M.; PEREIRA, M. G. Alternative control to black spot disease in papaya genotypes. **Summa Phytopathologica**, v.43, n.1, p.60-62, 2017.

SANTOS, R. F.; ALMEIDA, T. R. de; PEREIRA, M. L.; OLIVEIRA, J. S.; FERREIRA, C. R.; LIMA, D. F.; GOMES, A. C. Progressão e sintomas da podridão-do-pé causada por *Phytophthora palmivora* em mamoeiro. **Summa Phytopathologica**, v. 47, n. 3, p. 186–193, 2021.

SHANTAMMA, S. G.; MANTUR, S. C.; CHANDRASHEKAR, K. T.; RANGASWAMY and BHEEMANAGOUDA, P. Status of Black Spot of Papaya (*Asperisporium caricae*): A New Emerging Disease. **International Journal of Current Microbiology and Applied Science**, v.7, n.11, p.309-314, 2018.

SILVA, D. F.; OLIVEIRA, J. R.; SANTOS, M. R.; PEREIRA, L. A.; COSTA, F. A.; MORAES, G. J.; ALMEIDA, T. R. Uso de *Bacillus* spp. no controle biológico da podridão-do-pé do mamoeiro: produção de metabólitos e resistência sistêmica. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 52, n. 1, p. 45-55, 2021.

SILVA, J. E. V. da; SOYIMCHITEN, L. M.; SINGH, P. K. Análise do desenvolvimento de mudas de mamoeiro induzidas por *Trichoderma harzianum*. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 10, n. 3, p. 159-165, 2025.

SILVA, R. A.; SOUZA, M. L.; COSTA, P. R.; LIMA, A. F. Características nutricionais e qualidade sensorial do mamão (*Carica papaya* L.) em diferentes estádios de maturação. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 44, n. 1, p. 123-134, 2022.

SILVA, R. L.; ALMEIDA, F. A.; GOMES, L. A. Melhoramento genético do mamoeiro: estratégias para resistência a doenças. **Fitopatologia Brasileira**, v. 45, p. 58–70, 2020.

SILVERIO, T. C.; MARTELLETO, L. A. P.; REZENDE, N. C.; FERREIRA, L. I.; SILVEIRA, E. M. Influência das variáveis climáticas na incidência da varíola (*Asperisporium caricae*) no mamoeiro. **Agrogeoambiental**, v. 10, n. 1, p. 1–9, 2018.

SILVÉRIO, T. C.; MARTELLETO, L. A. P.; REZENDE, N. C.; PIVOTO, H. C.; FERREIRA, L. I. Influência das variáveis climáticas na incidência da varíola do mamoeiro “Sunrise Golden” em diferentes densidades de cultivo sob manejo orgânico de produção. **Revista Agrogeoambiental**, v.10, n.4, 2019.

SINGH, A. K.; BAJPAI, A.; SINGH, A. Classification of morpho-agronomic variability in papaya for developing elite cultivar. In: **II International Symposium on Papaya** 851. p. 137-144, 2008.

SOUZA, R. M. de; LIMA, C. R.; MENDES, A. L.; GOMES, L. R.; MARTINS, D. dos S. Potencial de *Trichoderma* spp. no controle de *Phytophthora palmivora* em mamoeiro. **Tropical Plant Pathology**, v. 45, p. 501–509, 2020.

TAVARES, G. M. *Phytophthora palmivora* em solos de pomares de mamoeiro. **Revista Agrotropica**, v. 28, n. 3, p. 213–220, 2016.

UCHOI, Julius; SOYIMCHITEN; SINGH, Praveen Kumar. Leveraging the genetic diversity of crop wild relatives for improvement of papaya (*Carica papaya* L.). **Agri Articles**, v. 5, n. 1, p. 542–545, 2025.

VAWDREY, S.; GUEST, D. I.; GHALEHGHAN, E. P. Integrated management strategy for *Phytophthora* root rot of papaya in Queensland, Australia: improving drainage, using pathogen-free planting material and crop rotation. **Australasian Plant Disease Notes**, v. 3, art. DN08052, 2008.

VENTURA, J. A.; REZENDE, J. A. M. Doenças do mamoeiro. In: L. AMORIM, J.A.M. REZENDE, A. BERGAMIM FILHO and L.F.A. CAMARGO, eds. **Manual de fitopatologia: doenças das plantas cultivadas**. 5. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, pp. 497-510, 2016.

VIVAS, J. M. S.; SILVEIRA, S. F.; SANTOS, P. H. D.; PINHO, D. B.; PEREIRA, O. L. Seleção de fungos com potencial para biocontrole da pinta-preta do mamoeiro. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, 47: 369-376, 2017.

VIVAS, M.; SILVEIRA, S. F.; VIVAS, J. M. S.; PEREIRA, M. G. Patometria, parâmetros genéticos e reação de progênies de mamoeiro à pinta-preta. **Bragantia**, 71:235-238, 2012.

WORLD BANK; UN COMTRADE. **International Trade Statistics Database**. 2021.

CAPÍTULO 1**SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE MAMOEIRO COM RESISTÊNCIA À *Phytophthora palmivora***

Resumo: O mamoeiro (*Carica papaya* L.) é uma cultura de grande importância econômica no Brasil, mas a podridão-do-pé, causada por *Phytophthora palmivora*, representa uma das principais limitações à sua produção. Diante disso, o objetivo deste trabalho foi avaliar mudas de diferentes genótipos de mamoeiro quanto à resistência à infecção por *P. palmivora* e identificar possíveis linhagens e cultivares do banco de germoplasma da Embrapa Mandioca e Fruticultura que possam servir como fontes de resistência. Para isso, foram avaliados 17 genótipos de mamoeiro, submetidos à inoculação com um mix de oito isolados patogênicos de *P. palmivora*, previamente selecionados entre 18 isolados obtidos do solo, próximo ao sistema radicular de plantas em áreas com histórico da doença. Os isolados foram capturados pelo método de isca e testados em ensaio prévio de patogenicidade em frutos provenientes do BAG-Mamão. O experimento foi conduzido no Laboratório de Fitopatologia da Embrapa Mandioca e Fruticultura, em delineamento inteiramente casualizado, com 17 genótipos (BGCA-003, BGCA-249, BGCA-176, BGCA-248, BGCA-157, BGCA-258, BGCA-250, BGCA-077, BGCA-177, BRS-L78, BGCA-035, BGCA-154, BGCA-175, BGCA-011, BGCA-254, BGCA-121 e BGCA-253), 20 repetições e um tratamento controle, no qual aplicou-se água estéril no solo, pelo mesmo método da suspensão de inóculo. Após a inoculação, as mudas foram monitoradas diariamente, durante 30 dias, registrando-se a progressão da doença para cálculo da Área Abaixo da Curva de Progresso da Doença (AACPD). A análise gráfica por box-plot permitiu identificar contrastes consistentes entre os genótipos, destacando BGCA-036 e BGCA-249 pelas menores medianas de severidade, embora BGCA-036 tenha apresentado maior variabilidade intra-genotípica, enquanto BGCA-253, BGCA-121, BGCA-254 e BGCA-011 exibiram maiores medianas e valores máximos, caracterizando elevada suscetibilidade. Genótipos intermediários, como BGCA-177, BRS-L78, BGCA-035 e BGCA-154, apresentaram desempenho intermediário com variação intra-genotípica distinta. De forma geral, os materiais mais resistentes ou tolerantes (BRS-L78, BGCA-154, BGCA-177, BGCA-175, BGCA-035, BGCA-250, BGCA-176, BGCA-077, BGCA-157, BGCA-248, BGCA-249, BGCA-258 e BGCA-036) configuram recursos genéticos promissores para seleção de genótipos menos suscetíveis, enquanto BGCA-253, BGCA-011, BGCA-254 e BGCA-121 se confirmaram mais vulneráveis, evidenciando ampla variabilidade genética útil ao melhoramento e manejo sustentável da cultura do mamoeiro.

Palavras chave: *Carica papaya*, Podridão-do-pé, Resistência de doenças.

Abstract: The papaya tree (*Carica papaya* L.) is an economically important crop in Brazil, but foot rot caused by *Phytophthora palmivora* poses one of the main constraints to its production. This study aimed to evaluate seedlings of different papaya genotypes for resistance to *P. palmivora* infection and to identify potential lineages and cultivars from the Embrapa Cassava and Fruits Germplasm Bank that could serve as resistance sources. Seventeen papaya genotypes were inoculated with a mix of eight pathogenic *P. palmivora* isolates, previously selected from 18 isolates obtained from soil near the root system of plants in disease-prone areas. The isolates were captured using a baiting method and tested in a preliminary pathogenicity assay on fruits from the Papaya Germplasm Collection (BAG-Mamão). The experiment was conducted at the Phytopathology Laboratory of Embrapa Cassava and Fruits in a completely randomized design, with 17 genotypes (BGCA-003, BGCA-249, BGCA-176, BGCA-248, BGCA-157, BGCA-258, BGCA-250, BGCA-077, BGCA-177, BRS-L78, BGCA-035, BGCA-154, BGCA-175, BGCA-011, BGCA-254, BGCA-121 e BGCA-253), 20 replicates, and a control treatment (sterile water applied to the soil using the same method as the inoculum suspension). After inoculation, seedlings were monitored daily for 30 days, and disease progression was recorded to calculate the Area Under the Disease Progress Curve (AUDPC). Box-plot analysis revealed consistent contrasts among genotypes: BGCA-036 and BGCA-249 showed the lowest severity medians (though BGCA-036 had higher intra-genotypic variability), while BGCA-253, BGCA-121, BGCA-254, and BGCA-011 exhibited the highest medians and maximum values, indicating high susceptibility. Intermediate genotypes (e.g., BGCA-177, BRS-L78, BGCA-035, and BGCA-154) displayed moderate resistance with distinct intra-genotypic variation. Overall, the most resistant or tolerant materials (BRS-L78, BGCA-154, BGCA-177, BGCA-175, BGCA-035, BGCA-250, BGCA-176, BGCA-077, BGCA-157, BGCA-248, BGCA-249, BGCA-258, and BGCA-036) represent promising genetic resources for selecting less susceptible genotypes, whereas BGCA-253, BGCA-011, BGCA-254, and BGCA-121 were highly vulnerable. These results highlight the broad genetic variability available for papaya breeding and sustainable crop management.

Keywords: *Carica papaya*, *Phytophthora* foot rot, Disease resistance.

1. INTRODUÇÃO

O mamoeiro (*Carica papaya* L.) pertence à categoria *Dicotyledoneae*, subclasse *Archichlamydeae*, ordem *Violales*, subordem *Caricineae*, família *Caricaceae* e gênero *Carica* (MANICA, 1982). Sua origem central é, muito provavelmente, o Noroeste da América do Sul - vertente oriental dos Andes, ou mais precisamente, a Bacia Amazônica Superior - onde a máxima diversidade genética caracteriza o mamoeiro como uma planta tipicamente tropical (TRINDADE, 2000).

Trata-se de uma das fruteiras tropicais mais expressivas no cenário agrícola nacional e internacional, destacando-se pelo elevado consumo no mercado interno e pela crescente demanda nos mercados externos. Esse aumento está associado à maior valorização do consumo de alimentos saudáveis e à versatilidade do fruto. O Brasil ocupa posição de destaque na produção mundial, sendo o segundo maior produtor global, atrás apenas da Índia, com uma produção anual estimada entre 1,1 e 1,26 milhão de toneladas (WORLD STATS, 2025). Tal desempenho evidencia a relevância socioeconômica da cultura na fruticultura brasileira, tanto no que se refere ao abastecimento do mercado doméstico quanto à exportação de frutos *in natura*, contribuindo para a geração de renda e a dinamização das economias regionais.

Apesar da relevância socioeconômica da cultura do mamoeiro, sua produtividade é frequentemente comprometida pela podridão-do-pé, causada por *Phytophthora palmivora*, um oomiceto hemibiotrófico que ataca raízes e região basal do caule. Condições ambientais como umidade elevada, solo mal drenado e temperatura próxima a 25 °C propiciam infecções severas com alta densidade de zoósporos (10^6 a 10^7 zoósporos/mL), resultando em murcha, anelamento da base do colmo e tombamento das plantas. Estudos epidemiológicos recentes indicam que o período de molhamento foliar de 60 a 72 horas representa condição crítica para o desenvolvimento de infecção por *P. palmivora*, intensificando a severidade da podridão-do-pé (LÓPEZ-VÁSQUEZ *et al.*, 2024), principalmente em regiões com forte pressão de inóculo como Bahia e Espírito Santo.

De acordo com Carvalho (2018), quando a doença incide sobre os frutos, eles murcham, mumificam e caem no solo, liberando novos zoósporos. O controle da *P. palmivora* em plantios de mamão envolve uma abordagem integrada que combina práticas culturais, tais como a escolha de áreas bem drenadas e rotação de culturas,

bem como medidas preventivas como o controle de plantas infestadas e o uso de produtos químicos quando necessário, além da utilização de variedades resistentes a doença.

O controle deve ser realizado no início do aparecimento dos sintomas, sendo importante integrar práticas curativas, por meio da aplicação fungicidas à base de clorotalonil ou metalaxil, e práticas culturais, como é o caso da aplicação de fosfitos e de agentes de controle biológico, com destaque para espécies do gênero *Trichoderma* spp. (DIANESE *et al.*, 2007, DIANESE, BLUM, MELLO, 2012, SANTOS e OLIVEIRA, 2021). Porém, a utilização de cultivares com algum nível de resistência é a forma mais econômica de controlar *P. palmivora* em mamoeiro (DIANESE, 2006).

Desta forma, este trabalho tem por objetivo avaliar mudas de genótipos de mamoeiro com níveis de resistência à infecção por *P. palmivora* e identificar possíveis linhagens e cultivares de mamoeiro no banco de germoplasma de mamão da Embrapa Mandioca e Fruticultura que sejam fontes de resistência para *P. palmivora*.

2. METODOLOGIA

2.1. Local de trabalho, material vegetal e condução do experimento

O experimento foi realizado no Laboratório de Fitopatologia e em casa de vegetação da Embrapa Mandioca e Fruticultura, em Cruz das Almas-BA, situada a 12°40'39" de latitude S e 39°06'22" de longitude O de Greenwich, a 226 m de altitude. O clima da região é do tipo subúmido, com temperatura média de 24,1°C, umidade relativa de 86% e pluviosidade média anual de 1.400 mm, com períodos de chuvas entre os meses de março e agosto (INMET, 2023).

Foram avaliados 17 genótipos, oriundos do Banco Ativo de Germoplasma de Mamão e pertencentes ao programa de melhoramento genético da Embrapa Mandioca e Fruticultura (Tabela 1). Em casa de vegetação, foram preparadas mudas em sacos de polietileno com as dimensões de xx x xx, contendo substrato compostor pela mistura de fibra de coco (25%), substrato comercial Vivatto® (25%) e solo seco peneirado (50%).

Cada saco com substrato preparado recebeu três sementes e nos casos em que as três sementes germinaram, foi efetuado o desbaste, mantendo-se apenas uma plântula por saco. As adubações foram realizadas com fertilizante Osmocote® 15-9-12 conforme recomendado pelo fabricante e a irrigação foi realizada conforme as necessidades da cultura.

Tabela 1. Código local, instituição doadora e/ou local de coleta, país de origem e grupo heterótico dos genótipos de mamoeiro avaliados do BAG-Mamão da Embrapa Mandioca e Fruticultura.

Cód. Local	Instituição	País de Origem	Grupo Heterótico
BGCA – 011	Cenargen – Brasília (DF)	Costa Rica	Formosa
BGCA – 035	EBDA - Conceição do Almeida (BA)	Brasil	Solo
BGCA – 036	EBDA - Conceição do Almeida (BA)	Brasil	Formosa
BGCA – 077	Faz. Tietê-Alcobaça (BA)	EUA (Havaí)	Formosa
BGCA – 121	-	-	Formosa
BGCA – 154	-	Guatemala	Outros
BGCA – 157	Barra do Garças (MT)	Brasil	Outros
BGCA – 175	Rio Verde (GO)	Brasil	Formosa
BGCA – 176	Rio Verde (GO)	Brasil	Outros
BGCA – 177	-	Brasil	Solo
BGCA – 248	Eunápolis (BA)	Brasil	Solo
BGCA – 249	Eunápolis (BA)	Brasil	Solo
BGCA – 250	Eunápolis (BA)	Brasil	Solo
BGCA – 253	Eunápolis (BA)	Brasil	Solo
BGCA – 254	Cruz das Almas	Brasil	Solo
BGCA – 258	Itapicuru (BA)	Brasil	Outros
BRS L78	Embrapa Mandioca e Fruticultura - Cruz das Almas (BA)	Brasil	Solo

2.2. Obtenção dos isolados de *Phytophthora palmivora*

Foram utilizados 18 isolados de *P. palmivora*, isolados de amostras de solo coletados próximo ao sistema radicular de plantas cultivadas em áreas com histórico da doença (Tabela 2). Os isolados foram capturados pelo método de isca descrito por Luz *et al.*, (2008), onde utilizou-se uma camada de aproximadamente 1 cm de solo em caixa tipo Gerbox, juntamente com água destilada e autoclavada, formando uma lâmina de 1 cm acima da camada do solo. Em seguida, adicionou-se um disco de pepino (*Cucumis sativus*), em estágio fenológico imaturo, de aproximadamente 3 cm, de forma que o topo do disco esteja acima do nível da água. As caixas foram fechadas e mantidas em incubação por 5 dias a temperatura ambiente (Figura 1).

Após o crescimento micelial na superfície da isca, as hifas foram transferidas para placas de Petri contendo meio V8 ágar + 50 µL de penicilina, obtendo-se, isolados de *Phytophthora* ou *Pythium*. A diferenciação foi realizada visualmente, através do aparecimento de esporângios obpiriformes ao microscópio (com ampliação de 50x). Após a obtenção, os isolados foram identificados e preservados na coleção do Laboratório de Fitopatologia da Embrapa Mandioca e Fruticultura para serem usados posteriormente.

Tabela 2. Código local, cidade de origem e cultura agrícola das amostras de solo utilizadas para o isolamento de *P. palmivora*.

Cód. Local	Cidade	Cultura
1PB	Sousa - PB	Mamão
2PB	Nazarezinho - PB	Mamão
3PB	Nazarezinho - PB	Mamão
4PB	Sousa - PB	Coco
5PB	Sousa - PB	Mamão
6PB	Sousa - PB	Coco
P1	Cruz das Almas - BA	Mamão
P2	Cruz das Almas - BA	Mamão
P3	Cruz das Almas - BA	Mamão
Pexp	Cruz das Almas - BA	Mamão
EB1	Lençóis - BA	Mamão
EB2	Lençóis - BA	Mamão
EB3	Lençóis - BA	Mamão
EB4	Lençóis - BA	Mamão
S1	Cruz das Almas - BA	Mamão
S2	Cruz das Almas - BA	Mamão
S3	Cruz das Almas - BA	Mamão
S4	Cruz das Almas - BA	Mamão

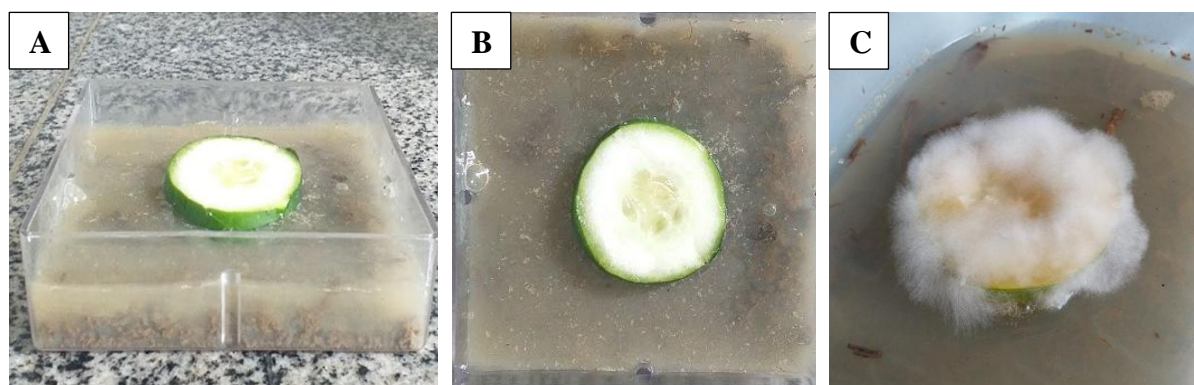


Figura 1. Método de isca de pepino (*Cucumis sativus*) utilizado para captura de *Phytophthora palmivora* em amostra de solo (Luz *et al.*, (2008). A) Preparo da isca em caixa Gerbox; B) Projeção superior do método de isca 24h após o preparo; C) Micélios de *Phytophthora* após 5 dias de incubação.

2.3. Ensaio de patogenicidade de *Phytophthora palmivora*

Realizou-se um ensaio prévio no Laboratório de Fitopatologia da Embrapa Mandioca e Fruticultura para verificar a patogenicidade dos 18 isolados de *P. palmivora* capturados no método de isca, onde foram utilizados frutos oriundos do BAG-Mamão. Os frutos foram colhidos aleatoriamente no estágio dois de maturação, caracterizado por 15% a 25% da casca com coloração amarela, correspondente ao estágio $\frac{1}{4}$ maduro, conforme classificação proposta por Ritzinger e Souza (2000), em seguida foram lavados com sabão e água corrente e desinfestados superficialmente com solução de hipoclorito de sódio (NaClO) a 0,5% e secos à temperatura ambiente.

A inoculação foi realizada por meio do contato de disco de 5 mm de meio de cultura contendo micélio dos isolados de *P. palmivora* e posicionado sobre ferimentos que foram realizados com um perfurador de alfinetes na superfície do fruto. Foram utilizados discos de isolados de *P. palmivora* contendo estruturas do oomiceto com idade de oito dias após a repicagem e um disco contendo apenas meio de cultura V8 ágar para servir como testemunha (Figura 2 - A). Os frutos foram acondicionados em câmara úmida em temperatura ambiente no laboratório, com temperatura em torno de $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Figura 2 - B), onde permaneceram por 10 dias, monitorados diariamente, até o surgimento dos sintomas da doença (Figura 2 - C).



Figura 2. Ensaio de patogenicidade de isolados de *Phytophthora palmivora* em frutos de mamoeiro (*Carica papaya* L.) mantidos sob condições controladas de laboratório. A) Inoculação de fruto de mamoeiro com discos de meio de cultura contendo estruturas do patógeno; B) Frutos sobre bancada em câmara úmida; C) Fruto após 5 dias em contato com o patógeno.

Após a realização do teste de patogenicidade, foram selecionados oito isolados que induziram a formação de lesões necróticas, acompanhadas de crescimento micelial visível na superfície dos frutos (Tabela 3). Amostras desses micélios foram coletadas assepticamente, reisoladas em meio V8-ágar e repicadas para purificação. As culturas foram incubadas em câmara de crescimento tipo BOD, à temperatura constante de 28 °C, por um período de oito dias. Em seguida, os isolados ativos foram utilizados para o preparo da suspensão do inóculo e posterior inoculação das mudas.

Tabela 3. Código local e origem dos isolados de *P. palmivora* selecionados no teste de patogenicidade.

Código local	Origem
1PB	Rizosfera de mamoeiro
3PB	Rizosfera de mamoeiro
4PB	Rizosfera de coqueiro
Pexp	Rizosfera de mamoeiro
EB3	Rizosfera de mamoeiro
EB4	Rizosfera de mamoeiro
S3	Rizosfera de mamoeiro
S4	Rizosfera de mamoeiro

2.4. Preparo e Inoculação

Para a produção do inóculo, utilizaram-se 30 placas de Petri contendo meio V8 ágar para cada um dos oito isolados previamente selecionados e identificados como patogênicos. As culturas foram incubadas por 8 dias. Após esse período, adicionou-se 10 mL de água destilada e autoclavada, previamente resfriada a temperatura ambiente, em cada placa, que foram então transferidas para câmara fria a 4 °C por 25 minutos (LUZ *et al.*, 2008). Em seguida, as placas foram mantidas à temperatura ambiente por mais 25 minutos. Esse tratamento térmico foi empregado com o objetivo de induzir a liberação dos zoósporos por meio de choque térmico.

Com o auxílio de uma escova estéril, os micélios do oomiceto foram cuidadosamente removidos das placas de Petri e transferidos para um béquer contendo a suspensão obtida, formando um *mix* com os oito isolados previamente selecionados e identificados como patogênicos, reunindo os zoósporos de todos eles

em uma única suspensão. Em seguida, retirou-se uma alíquota de aproximadamente 1 mL da suspensão, à qual foi adicionada uma gota de solução fixadora FAA (formaldeído, álcool etílico e ácido acético glacial) para imobilização dos zoósporos, permitindo sua quantificação. A suspensão foi então filtrada e ajustada para a concentração de $3,0 \times 10^5$ zoósporos mL^{-1} com o auxílio de uma câmara de Neubauer. A suspensão padronizada foi utilizada para a inoculação, sendo aplicada na região próxima ao sistema radicular das plantas.

A inoculação foi realizada quando as mudas apresentavam 60 dias após a germinação. O procedimento consistiu na infestação do substrato com a suspensão de zoósporos preparada em laboratório. Para favorecer o deslocamento dos propágulos no solo, o substrato foi previamente saturado com água, 30 minutos antes da aplicação. Após esse período, 10 mL da suspensão de inóculo foi depositada na região próxima às raízes de cada planta.

2.5. Delineamento experimental e análise estatística

O experimento foi instalado em delineamento inteiramente casualizado, com 17 genótipos com 20 repetições, que foram inoculadas com o mix de isolados de *P. palmivora*. O tratamento controle envolveu a aplicação de água estéril no solo, utilizando o mesmo volume e método empregados na suspensão do inóculo.

As mudas inoculadas foram monitoradas diariamente por um período de 30 dias após a inoculação para avaliar a severidade da doença. Quando as plantas apresentaram tombamento, amostras de cada tratamento foram coletadas e levadas ao laboratório para isolamento e identificação do patógeno, seguindo os postulados de Koch.

A avaliação da severidade foi realizada com base em uma escala de notas adaptada de Mosqueda-Vázquez *et al.* (1981), composta pelos seguintes critérios: nota 0 corresponde a plantas sem sintomas; nota 1 indica plantas vigorosas, mas com até 25% de murcha; nota 2 refere-se a plantas com vigor intermediário, apresentando entre 26% e 50% de murcha; nota 3 descreve plantas debilitadas, com 51% a 75% de murcha e clorose nas folhas remanescentes; e nota 4 é atribuída a plantas mortas.

A severidade da doença foi quantificada para calcular a área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD), determinada pela equação proposta por Sharnier e Finney (1977):

$$\text{AACPD} = \sum_{i=1}^{n-1} [(x_{i+1} + x_i) / 2] \times (t_{i+1} - t_i)$$

A fórmula aplicada considera:

n: número total de avaliações realizadas;

y_i: índice de severidade da doença na *i*-ésima avaliação;

t_i: tempo, em dias, correspondente à *i*-ésima observação.

Os dados foram submetidos ao teste F da análise de variância e as médias foram agrupadas pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância. As análises foram realizadas com o auxílio do software R® (R Core Team,2025) e a distribuição e variabilidade dos valores de AACPD foram representadas por gráficos do tipo *box-plot*.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os primeiros sintomas da infecção por *P. palmivora* em mudas de mamoeiro foram observados a partir do quarto dia após a inoculação, manifestando-se inicialmente como murcha e amarelecimento das folhas, seguido de anelamento na região do colo. Cerca de uma semana após a inoculação, várias mudas apresentavam tombamento e após quatro semanas, quase todas as plantas inoculadas haviam morrido.

Esse padrão de sintomatologia está em concordância com os relatos de Carnaúba *et al.* (2006), que descrevem a murcha como um dos primeiros sintomas, observado já no terceiro dia após a infecção, acompanhado de perda de turgor das folhas, que se tornam flácidas e amareladas, podendo evoluir para necrose e morte da muda na ausência de controle. Misman *et al.* (2022) acrescentam que a infecção por *P. palmivora* compromete significativamente a produtividade e favorece a colonização de tecidos por outros microrganismos, intensificando a podridão e promovendo a destruição do tecido internerval das folhas jovens.

A análise gráfica por meio do *box-plot* da AACPD permitiu identificar diferenças consistentes no comportamento dos genótipos frente à infecção por *P. palmivora* (Figura 3). Os materiais BGCA-036 e BGCA-249 destacaram-se por apresentarem as menores medianas, indicando maior nível de resistência ao patógeno, embora o genótipo BGCA-036 tenha exibido maior variabilidade entre indivíduos. Em contrapartida, os genótipos BGCA-253, BGCA-121, BGCA-254 e BGCA-011 apresentaram as maiores medianas e valores máximos, evidenciando suscetibilidade mais acentuada. Os genótipos intermediários, como BGCA-177, BRS L78, BGCA-035 e BGCA-154, situaram-se em posição intermediária, com variação intra-genotípica distinta, o que pode impactar a estabilidade da resistência em condições de campo.

Esses resultados reforçam a ampla variabilidade genética existente quanto à severidade da doença, um aspecto fundamental para subsidiar estratégias de seleção em programas de melhoramento visando a resistência à *Phytophthora*.

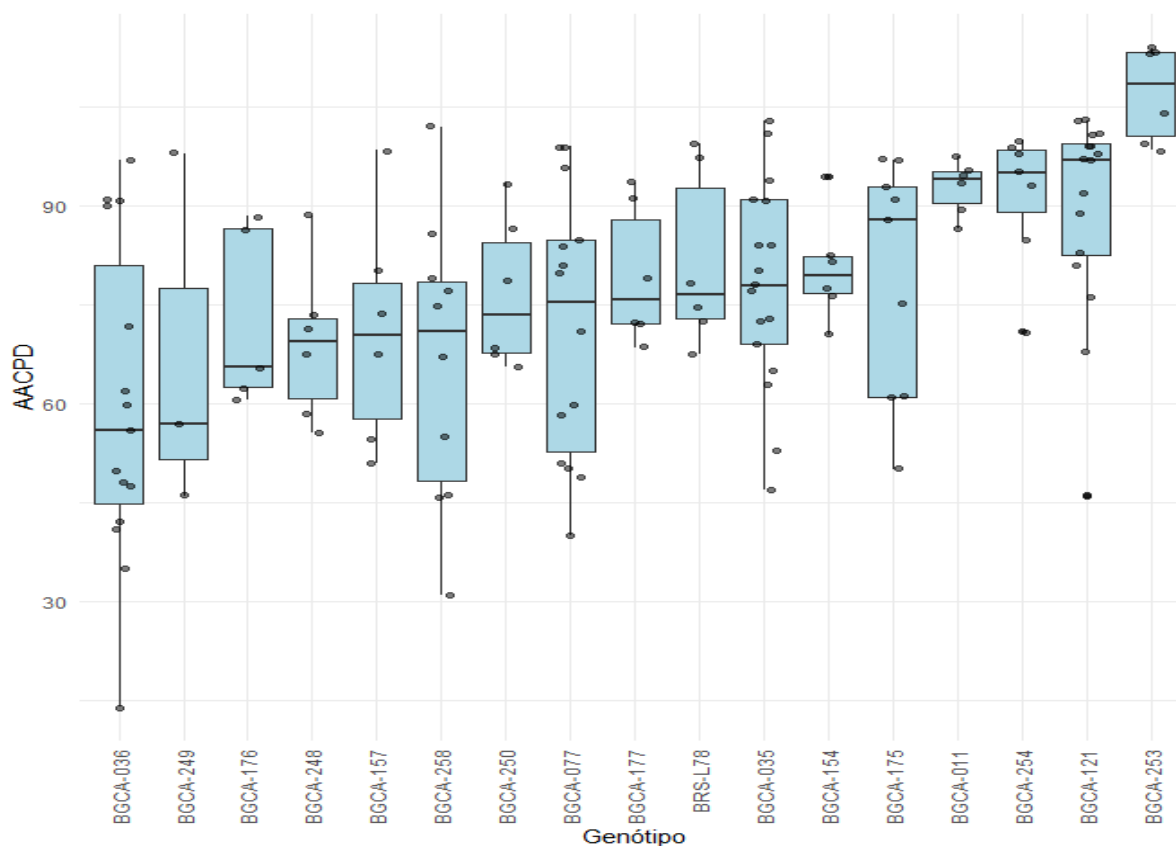


Figura 3. Distribuição da Área Abaixo da Curva de Progressão da Doença (AACPD) para os genótipos de mamoeiro BGCA-003, BGCA-249, BGCA-176, BGCA-248, BGCA-157, BGCA-258, BGCA-250, BGCA-077, BGCA-177, BRS-L78, BGCA-035, BGCA-154, BGCA-175, BGCA-011, BGCA-254, BGCA-121 e BGCA-253. inoculados com *Phytophthora palmivora*.

A análise de variância dos valores de AACPD revelou diferenças significativas entre os genótipos avaliados ($p < 0,001$), evidenciando variabilidade genética para a severidade da doença causada por *P. palmivora*. O coeficiente de variação foi de 21,61%, considerado aceitável para experimentos fitopatológicos, especialmente para variáveis derivadas de avaliações repetidas ao longo do tempo. Os pressupostos estatísticos da ANOVA foram atendidos, uma vez que os resíduos apresentaram distribuição normal ($p = 0,6923$, teste de Shapiro-Wilk) e variâncias homogêneas ($p = 0,0778$, teste de Bartlett), evidenciando a significância das diferenças entre genótipos e os parâmetros do modelo utilizados para análise.

O teste de Scott-Knott (5%) separou os genótipos em dois grupos distintos quanto à severidade da doença (Figura 4). O grupo “a” concentrou os maiores valores de AACPD, caracterizando maior suscetibilidade (BGCA-253, BGCA-011, BGCA-254 e BGCA-121), enquanto o grupo “b” apresentou médias menores, compatíveis com maior resistência ou tolerância à doença (BRS-L78, BGCA-154, BGCA-177, BGCA-

175, BGCA-035, BGCA-250, BGCA-176, BGCA-077, BGCA-157, BGCA-248, BGCA-249, BGCA-258 e BGCA-036).

Esses resultados corroboram o conceito de que menores valores de AACPD refletem progresso mais lento da doença, sendo indicativos de resistência quantitativa, e fornecem subsídios importantes para a seleção de genótipos promissores em programas de melhoramento. Essa estrutura de variação é consistente com o que se espera para caracteres quantitativos de severidade medidos por AACPD, amplamente recomendada para experimentos de patossistemas com progressão contínua da severidade (SIMKO e PIEPHO, 2012).

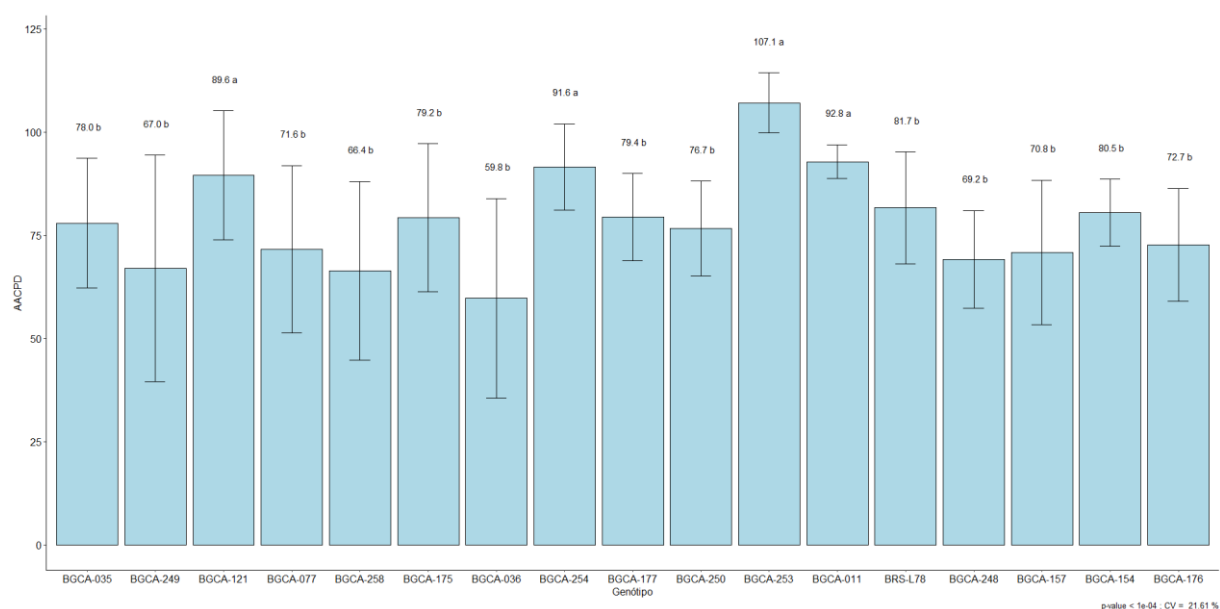


Figura 4. Valores médios da área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) para os genótipos de mamoeiro BGCA-003, BGCA-249, BGCA-176, BGCA-248, BGCA-157, BGCA-258, BGCA-250, BGCA-077, BGCA-177, BRS-L78, BGCA-035, BGCA-154, BGCA-175, BGCA-011, BGCA-254, BGCA-121 e BGCA-253. inoculados com *Phytophthora palmivora*.

Biologicamente, a magnitude de diferenças entre genótipos é plausível diante da alta diversidade genotípica e facilidade adaptativa de *P. palmivora* relatadas em estudos populacionais multilocais, que descrevem amplo espectro de virulência e pouca estruturação geográfica (GUO *et al.*, 2021; BRUGMAN *et al.*, 2022). No hospedeiro, achados recentes em culturas perenes suscetíveis a *P. palmivora* mostram que a resistência é tipicamente parcial e poligênica, envolvendo redes de

defesa conservadas e divergentes entre genótipos, o que se alinha ao padrão de “grupos” observado (BEBBER *et al.*, 2024).

De acordo com Silva *et al.* (2021), nas plantas a ativação da via fenilpropanóide, resulta na produção de fitoalexinas, como a carpaina, e outros compostos fenólicos com atividade antimicrobiana (SILVA *et al.*, 2021). Além da enzima fenilalanina-amônia-liase (PAL), chave nesta via, apresentar aumento de atividade em plantas resistentes, conforme demonstrado por Li *et al.* (2023). As enzimas como peroxidase (POX), polifenoloxidase (PPO), β -1,3-glucanase e quitinases atuam diretamente na degradação da parede celular do patógeno e na sinalização de defesa (ZANOTTI *et al.*, 2022). Em contrapartida, no patógeno acontecem mecanismos de virulência específicos, como a inibição de proteases de defesa (papaína), que ajudam a explicar por que diferenças moderadas de resistência genética ainda resultam em grandes contrastes de AACPD sob inoculação padronizada (GUMTOW *et al.*, 2018).

Segundo Wang *et al.* (2023), quando o patógeno infecta o mamoeiro, a planta ativa uma série de mecanismos de defesa. Inicialmente, ocorre o reconhecimento molecular do patógeno através de padrões moleculares associados a patógenos (PAMPs), desencadeando a imunidade basal (PTI). Porém, em genótipos resistentes, esse reconhecimento é mais eficiente, levando à ativação de vias de sinalização como a do ácido salicílico (SA) e do ácido jasmônico (JA), que regulam a expressão de genes de defesa (GOMES *et al.*, 2022). Além da produção de espécies reativas de oxigênio (ROS) e o reforço da parede celular através da deposição de calose e lignina são respostas imediatas que limitam a progressão do patógeno (CARVALHO *et al.*, 2021).

Assim, conforme destacado por Rodrigues *et al.* (2006), a ativação dos mecanismos de defesa da planta, seja pela biossíntese desses compostos ou por diferentes vias, culmina na produção de substâncias com efeito tóxico ao patógeno, dificultando o seu estabelecimento nos tecidos hospedeiros. Essa resposta, entretanto, pode variar de acordo com o estágio de desenvolvimento da planta, uma vez que a capacidade de ativação e intensidade dos mecanismos de defesa tendem a diferir entre indivíduos jovens e adultos.

De acordo com Santos *et al.* (2021), mudas jovens (≤ 60 dias) são altamente suscetíveis, apresentando sintomas mais precoces e severos, como murcha, necrose radicular e colapso do sistema vascular (SANTOS *et al.*, 2021). Essa suscetibilidade está relacionada à imaturidade do sistema de defesa, com menor produção de

compostos antifúngicos e menor lignificação dos tecidos (ALVES *et al.*, 2021). Além disso, a alta atividade metabólica em plantas jovens favorece a colonização do patógeno, que se beneficia dos nutrientes liberados pelas células danificadas (OLIVEIRA *et al.*, 2023).

Em contraste, plantas adultas (>90 dias) exibem maior resistência devido à maturação dos tecidos vasculares e à acumulação de metabólitos secundários (GOMES *et al.*, 2022). A lignificação mais intensa das raízes e do caule atua como barreira física, enquanto a produção constante de fitoalexinas e a ativação sustentada de enzimas de defesa limitam a progressão da doença (CARVALHO *et al.*, 2021).

A resistência do mamoeiro à *P. palmivora* é multifatorial, envolvendo respostas morfológicas, bioquímicas e genéticas que variam conforme o estágio de desenvolvimento. Estratégias complementares, como indução de resistência por silício (CARVALHO *et al.*, 2021) e biocontrole com microrganismos antagonistas (SILVA *et al.*, 2021), representam alternativas sustentáveis para o manejo da doença. Futuros estudos devem focar na interação patógeno-hospedeiro em condições de campo e no desenvolvimento de variedades com resistência múltipla, garantindo a sustentabilidade da mamonicultura.

4. CONCLUSÃO

Não foram identificados genótipos que apresentem resistência vertical à *P. palmivora*, porém é possível observar dois grupos distintos de resistência à doença. Os genótipos BRS-L78, BGCA-154, BGCA-177, BGCA-175, BGCA-035, BGCA-250, BGCA-176, BGCA-077, BGCA-157, BGCA-248, BGCA-249, BGCA-258 e BGCA-036 apresentaram maior resistência à podridão do pé. Por outro lado, os genótipos BGCA-253, BGCA-011, BGCA-254 e BGCA-121 apresentaram os maiores índices de severidade, indicando maior suscetibilidade à doença, indicando que existe variação genética útil para seleção de materiais menos suscetíveis.

5. REFERÊNCIAS

- ALVES, M. S.; SILVA, J. C.; OLIVEIRA, T. S.; SOUZA, A. P.; FERREIRA, C. F.; COSTA, M. G.C. Transcriptome analysis reveals key defense-related genes involved in early response to *Phytophthora palmivora* infection in papaya. **BMC Genomics**, v. 22, n. 1, p. 1-15, 2021.
- BEBBER, D. P.; WRIGHT, S. J.; O'CONNELL, R. J.; CORNEJO, O. E. A combination of conserved and diverged responses underlies *Theobroma cacao*'s defense response to *Phytophthora palmivora*. **BMC Biology**, v. 22, 2024.
- BRUGMAN, E.; WIBOWO, A.; WIDIASTUTI, A. *Phytophthora palmivora* from Sulawesi and Java islands, Indonesia, reveals high genotypic diversity and lack of population structure. **Fungal Biology**, v. 126, p. 267-276, 2022.
- CARNAÚBA, J.; SOBRAL, M.; FURTADO, D.; SILVA, I.; SILVA, K.; DA ROCHA AMORIM, E. *Phytophthora palmivora*, agente da podridão de raiz e frutos de mamoeiro no Estado de Alagoas. **Revista Brasileira De Fruticultura**, 28, 134-135, 2006.
- CARVALHO, F. D. **Resistência à *Phytophthora palmivora* em acessos de mamoeiro**. / Franklin Damasceno Carvalho. Dissertação de Mestrado, Cruz das Almas, Bahia, 2018.
- CARVALHO, R. D.; MARTINS, S. C.; TEIXEIRA, J. A.; FERNANDES, K. F.; PEREIRA, R. M.; GOMES, E. V. Induction of systemic resistance in papaya by silicon application against *Phytophthora palmivora*. **Plant Disease**, v. 105, n. 6, p. 1653-1661, 2021.
- DIANESE, A. C.; BLUM, L. E. B.; DUTRA, J. B.; LOPES, L. F.; SENA, M. C.; FREITAS, L. F.; YAMANISHI, O. K. Reação de genótipos de mamoeiro à varíola e à podridão-do-pé. **Fitopatologia Brasileira** v. 32, p. 419-423, 2007.
- DIANESE, A. C.; BLUM, L. E. B.; MELLO, S. C. M. **Uso de *Trichoderma* spp. para o manejo da podridão-do-pé-do-mamoeiro causada por *Phytophthora palmivora* Butler**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 25 p., 2012.
- DIANESE, A.C. **Variabilidade e controle de *Phytophthora palmivora* (Podridão-do-pé) e controle da varíola (*Asperisporium caricae*) do mamoeiro (*Carica papaya*)**. 109 f. Tese (Doutorado / Fitopatologia) - Universidade de Brasília, Brasília-DF, 2006.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). The agricultural production. 2020. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>>. Consultado em: fev. 2023.
- GOMES, E. V.; COSTA, M. N.; ALMEIDA, R. S.; LIMA, W. R.; SANTOS, P. H. D.; CARDOSO, P. G. Role of phenylpropanoid pathway in the defense response of papaya against *Phytophthora palmivora*. **Phytopathology**, v. 112, n. 3, p. 489-500, 2022.

GUMTOW, R.; WU, D.; UCHIDA, J.; TIAN, M. A *Phytophthora palmivora* extracellular cystatin-like protease inhibitor targets papain to contribute to virulence on papaya. **Molecular Plant-Microbe Interactions**, v. 31, n. 3, p. 363-373, 2018.

GUO, L.; WANG, W.; KOZANITIS, E.; KAMAU, E.; LI, Y.; et al. Population structure of a worldwide *Phytophthora palmivora* collection. **Plant Disease**, v. 105, n. 11, p. 3637-3648, 2021.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Normais climatológicas 1991–2020 para Cruz das Almas, BA**. Brasília, 2023. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/uploads/normais/NORMAISCLIMATOLOGICAS.pdf>. Acesso em: 4 março. 2024.

LI, H.; WANG, Y.; CHEN, X.; ZHANG, L.; LIU, J.; YANG, S. CRISPR/Cas9-mediated editing of papaya NPR1 enhances resistance to *Phytophthora palmivora*. **Horticulture Research**, v. 10, p. uhad012, 2023.

LÓPEZ-VÁSQUEZ, J. M.; MONROY, J. J.; SARRIA, G. A.; MORALES, A., Modelo de Classificação de Risco Baseado no Clima para Eventos de Infecção por *Phytophthora palmivora* em Dendê na Colômbia. **SSRN**, 2024.

LUZ, E. D. M. N. *et al.* **Glossário ilustrado de Phytophthora: técnicas especiais para o estudo de Oomicetos**. Itabuna: FAPESB/CEPLAC, 204p. 2008.

MADDEN, L.V.; HUGHES, G.; VAN DEN BOSCH, F. **The Study of Plant Disease Epidemics**. St. Paul: American Phytopathological Society Press, 421p. 2007.

MANICA, I. **Fruticultura tropical: 3. Mamão**. São Paulo: Agronômica Ceres, 276p 1982.

MISMAN, N.; SAMSULRIZAL, N. H.; NOH, A. L.; WAHAB, M. A.; AHMAD, K.i; AZMI, N. S. A. Host Range and Control Strategies of *Phytophthora palmivora* in Southeast Asia Perennial Crops. **Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science**, v. 45, n. 4, p. 991–1019, 2022.

MOSQUEDA-VAZQUEZ, R.; ARAGAKI, M.; NAKASONE, H. Y. Screening of Carica papaya L. seedlings for resistance to root rot caused by *Phytophthora palmivora* Butl. **Journal of the American Society for Horticultural Science**. Madison, v.106, n.4, p.484-487, 1981.

OLIVEIRA, T. S.; ALVES, M. S.; SILVA, J. C.; SOUZA, A. P.; COSTA, M. G.C.; FERREIRA, C. F. Metabolomic profiling of resistant and susceptible papaya genotypes reveals key biomarkers associated with defense against *Phytophthora palmivora*. **Scientific Reports**, v. 13, n. 1, p. 6789, 2023.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2021. Disponível em: < <http://www.R-project.org/> >. Acesso em: nov. 2024.

RITZINGER, C. H. S. P.; SOUZA, J.S. (Orgs.) **Mamão: fitossanidade**. Brasília, DF: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia. Série Frutas do Brasil, n. 11. 91 p. 2000.

SANTOS, P. H. D.; LUZ, E. D. M. N.; ALMEIDA, R. S.; GOMES, E. V.; COSTA, M. N.; LIMA, Wagner R. Age-related resistance in papaya against *Phytophthora palmivora*: physiological and molecular insights. **Tropical Plant Pathology**, v. 46, n. 4, p. 432-441, 2021.

SANTOS, R. F.; OLIVEIRA, L. M. Controle biológico da podridão-do-pé do mamoeiro: potencial e perspectivas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 43, p. e-954, 2021.

SHANER, G.; FINNEY, R. E. The effect of nitrogen fertilization on the expression of slow-mildew resistance in Knox wheat. **Phytopathology**, v. 67, n. 8, p. 1051–1056, 1977.

SILVA, J. C.; OLIVEIRA, T. S.; ALVES, M. S.; SOUZA, A. P.; COSTA, M. G.C.; FERREIRA, C. F. Biocontrol of *Phytophthora palmivora* in papaya using *Bacillus* spp. and its effect on plant defense enzymes. **Biological Control**, v. 158, p. 104602, 2021.

SIMKO, I.; PIEPHO, H.-P. The area under the disease progress stairs: Calculation, advantage, and application. **Phytopathology**, v. 102, n. 4, p. 381-389, 2012.

TRINDADE, A.V. **Mamão produção: aspectos técnicos**. Brasília: EMBRAPA. Comunicação para Transferência de Tecnologia, 77p. 2000.

WANG, Y.; LI, H.; CHEN, X.; ZHANG, L.; LIU, J.; YANG, S. Comparative transcriptomics reveals differential gene expression in papaya genotypes resistant and susceptible to *Phytophthora* blight. **Frontiers in Plant Science**, v. 14, p. 1123456, 2023.

WORLD O STATS. *Papaya production by country in 2025*. Disponível em: <https://worldostats.com/papaya-production-by-country-2025>. Acesso em: 30 jan. 2025.

ZANOTTI, R. G.S.; MARTINS, S. C.; TEIXEIRA, J. A.; FERNANDES, K. F.; PEREIRA, R. M.; GOMES, E. V. Enzymatic activity and gene expression related to lignin biosynthesis in papaya genotypes resistant to *Phytophthora palmivora*. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 180, p. 27-35, 2022.

CAPÍTULO 2

POTENCIAL ANTAGONISTA DE MICRORGANISMOS PARA BIOCONTROLE DE *Phytophthora palmivora*

Resumo: Papaya (*Carica papaya* L.) cultivation is of significant socioeconomic importance in Brazil; however, it is severely constrained by diseases, notably foot rot, caused by the oomycete *Phytophthora palmivora*. Traditional control methods, based on chemical fungicides, present limitations, making the search for sustainable alternatives urgent. In this context, this study aimed to evaluate in vitro the antagonistic potential of *Trichoderma* spp. and *Bacillus* spp. isolates against *P. palmivora* to determine their viability as an alternative for disease control. The research was conducted under controlled conditions at the Plant Pathology Laboratory of Embrapa Cassava and Fruits. The experimental design was completely randomized in an 8 × 5 factorial scheme, totaling 40 treatments with four replications each. The response variable analyzed was the radial mycelial growth (cm) of *P. palmivora*, measured using a digital caliper after 24 hours and 7 days of incubation. All data were subjected to two-way analysis of variance (ANOVA). Where significant, means were compared using Tukey's test at a 5% probability level, employing the R statistical environment. The results demonstrated the differential efficacy of the biocontrol agents. At 7 days, treatments with *Trichoderma* spp. and the bacterium 10433 provided the most significant and consistent inhibitions of pathogen mycelial growth, being statistically superior to the others. At 7 days, the bacterium 10433 also proved highly effective, while inhibitors 12157 and BAC1 exhibited intermediate and variable performances, respectively. Early assessment at 1 day already identified *Trichoderma* spp. as the fastest-acting inhibitor. Crucially, factorial analysis revealed a significant interaction ($p \leq 0.05$) between the isolate and inhibitor factors, highlighting substantial variability in pathogenic response. Isolates such as Solo3Emb and Solo4Emb exhibited more pronounced tolerance profiles, while 3PB and 4PB were highly susceptible. It is concluded that both agents, *Trichoderma* spp. and the bacterial strain 10433 (*Bacillus* spp.), show high potential for integration into integrated foot rot management programs. The superiority of *Trichoderma* spp. was evident, but the consistent performance of bacterium 10433 makes it a promising candidate for biocontrol. The variability observed among pathogen isolates is of extreme practical relevance, indicating that the efficacy of a biocontrol strategy is dependent on the local *P. palmivora* population. Therefore, it is recommended to conduct in vitro tests prior to field recommendation and, preferably, to use microbial consortia to broaden the spectrum of action and minimize the risk of selecting resistant pathogen strains.

Palavras-chave: Controle biológico; *Carica papaya*; *Trichoderma* spp.; *Bacillus* spp.

Abstract: Papaya (*Carica papaya* L.) cultivation is of significant socioeconomic importance in Brazil; however, it is severely constrained by diseases, notably foot rot, caused by the oomycete *Phytophthora palmivora*. Traditional control methods, based on chemical fungicides, present limitations, making the search for sustainable alternatives urgent. In this context, this study aimed to evaluate in vitro the antagonistic potential of *Trichoderma* spp. and *Bacillus* spp. isolates against *P. palmivora* to determine their viability as an alternative for disease control. The research was conducted under controlled conditions at the Plant Pathology Laboratory of Embrapa Cassava and Fruits. The experimental design was completely randomized in an 8 × 5 factorial scheme, totaling 40 treatments with four replications each. The response variable analyzed was the radial mycelial growth (cm) of *P. palmivora*, measured using a digital caliper after 24 hours and 7 days of incubation. All data were subjected to two-way analysis of variance (ANOVA). Where significant, means were compared using Tukey's test at a 5% probability level, employing the R statistical environment. The results demonstrated the differential efficacy of the biocontrol agents. At 7 days, treatments with *Trichoderma* spp. and the bacterium 10433 provided the most significant and consistent inhibitions of pathogen mycelial growth, being statistically superior to the others. At 7 days, the bacterium 10433 also proved highly effective, while inhibitors 12157 and BAC1 exhibited intermediate and variable performances, respectively. Early assessment at 1 day already identified *Trichoderma* spp. as the fastest-acting inhibitor. Crucially, factorial analysis revealed a significant interaction ($p \leq 0.05$) between the isolate and inhibitor factors, highlighting substantial variability in pathogenic response. Isolates such as Solo3Emb and Solo4Emb exhibited more pronounced tolerance profiles, while 3PB and 4PB were highly susceptible. It is concluded that both agents, *Trichoderma* spp. and the bacterial strain 10433 (*Bacillus* spp.), show high potential for integration into integrated foot rot management programs. The superiority of *Trichoderma* spp. was evident, but the consistent performance of bacterium 10433 makes it a promising candidate for biocontrol. The variability observed among pathogen isolates is of extreme practical relevance, indicating that the efficacy of a biocontrol strategy is dependent on the local *P. palmivora* population. Therefore, it is recommended to conduct in vitro tests prior to field recommendation and, preferably, to use microbial consortia to broaden the spectrum of action and minimize the risk of selecting resistant pathogen strains.

Keywords: *Biological control, Carica papaya, Trichoderma* spp.; *Bacillus* spp.

1. INTRODUÇÃO

O mamoeiro (*Carica papaya* L.) representa uma das culturas frutíferas mais importantes para a agricultura tropical, com produção global estimada em 13,8 milhões de toneladas em 2022 (FAO, 2023). No entanto, sua produtividade é severamente comprometida pela podridão-do-pé, doença causada pelo oomiceto *Phytophthora palmivora* (Butler) Butler, responsável por perdas que podem ultrapassar 80% em condições de alta umidade e temperaturas entre 25-30°C (TRENTIN *et al.*, 2021; SINDHU *et al.*, 2022).

O controle químico tradicional tem se mostrado cada vez menos eficaz, com relatos de resistência a fungicidas como o fosetil-Al em populações de *P. palmivora* desde 2006 (COHEN *et al.*, 2006). Essa conjuntura tem levado a uma dependência excessiva de agrotóxicos, com implicações tanto para a sustentabilidade dos sistemas produtivos quanto para a segurança alimentar (GHINI, 2001). Além disso, as crescentes restrições internacionais quanto a resíduos químicos em alimentos têm impulsionado a busca por alternativas sustentáveis, com destaque para o biocontrole utilizando microrganismos antagonistas.

Diante desse cenário, estratégias de manejo sustentável tornam-se indispensáveis, com o biocontrole emergindo como alternativa viável para reduzir a pressão de seleção por resistência e minimizar resíduos químicos nos frutos (HE *et al.*, 2021). Nesse contexto, fungos do gênero *Trichoderma* destacam-se não apenas pela capacidade de antagonismo direto contra oomicetos, mas também pela indução de resistência sistêmica em plantas (MONTE *et al.*, 2019).

Dentre os agentes de biocontrole mais promissores, os fungos do gênero *Trichoderma* Persoon destacam-se por sua capacidade de atuar através de múltiplos mecanismos. Estudos demonstram que *T. harzianum* Rifai e *T. asperellum* Samuels podem inibir em mais de 70% o crescimento micelial de *P. palmivora in vitro*, por meio da produção de metabólitos antifúngicos como peptaibóis e enzimas líticas (MONTE *et al.*, 2019; SILVA *et al.*, 2023). Em condições de campo, aplicações de *Trichoderma* spp. reduziram a incidência da podridão-do-pé em 45-60% (SILVA *et al.*, 2023).

Paralelamente, bactérias do gênero *Bacillus* Cohn emergem como importantes aliados no manejo integrado. *B. subtilis* (Ehrenberg) Cohn e *B. amyloliquefaciens* Priest *et al.* produzem lipopeptídeos antifúngicos como surfactina e iturina, que demonstraram eficácia de 50-65% no controle de doenças fúngicas (ZHANG *et al.*,

2022). Além do controle direto, essas bactérias promovem o crescimento vegetativo do mamoeiro por meio da produção de auxinas e sideróforos (KUMAR *et al.*, 2021).

Pesquisas recentes têm demonstrado o potencial de agentes de biocontrole no manejo de *P. palmivora* em mamoeiro. Estudo realizado por Ramos *et al.* (2022) no Estado de São Paulo comprovou que isolados de *T. asperellum* inibiram em 72,5% o crescimento micelial do patógeno *in vitro*, através da produção de enzimas líticas e competição por nutrientes. Paralelamente, Oliveira *et al.* (2023) avaliando bactérias do gênero *Bacillus* no Nordeste brasileiro, observaram que *B. subtilis* e *B. amyloliquefaciens* reduziram em 60% a severidade da doença em condições de casa-de-vegetação, devido à produção de lipopeptídeos antifúngicos e indução de resistência sistêmica na planta. Esses resultados destacam a viabilidade desses microrganismos como alternativas sustentáveis para o controle da podridão-do-pé em condições tropicais.

Diante deste contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar *in vitro* o potencial antagônico de *Trichoderma asperellum* EMBRAPA TH04 e isolados de *Bacillus* spp. contra *P. palmivora*, a fim de se determinar sua viabilidade como alternativa no controle da podridão-do-pé na cultura do mamão.

2. METODOLOGIA

2.1 Origem dos agentes de controle biológico

Os isolados de *Bacillus* spp. e *T. asperellum* utilizados neste trabalho pertencem à coleção de microrganismos do Laboratório de Fitopatologia da Embrapa Mandioca e Fruticultura, localizada em Cruz das Almas, Bahia, onde também foram conduzidos os testes experimentais.

As cepas bacterianas foram isoladas de amostras de solo rizosférico coletadas em áreas de cultivo de mamoeiro nos municípios de Cruz das Almas (BA) e São Gonçalo dos Campos (BA), além de compostagem orgânica proveniente de Viçosa (MG). O isolado de *T. asperellum* foi obtido a partir de solo sob sistema agroflorestal na região do Recôncavo Baiano e está registrado na coleção da Embrapa para fins de controle biológico (Tabela 1).

Os isolados de *P. palmivora* foram obtidos pelo método de isca descrito por Luz *et al.*, (2008), utilizando amostras de solo de áreas com histórico da doença, coletados em áreas produtoras dos estados da Bahia e Paraíba.

Tabela 1. Tipo, microrganismos, código local/CEPA e origem dos isolados utilizados no ensaio de antagonismo.

Tipo	Microrganismo	Código/CEPA	Origem
Antagonista	<i>Bacillus siamensis</i>	10433	Rizosfera de mamoeiro (BA)
Antagonista	<i>Bacillus velezensis</i>	12157	Solo agrícola (SP)
Antagonista	<i>Bacillus siamensis</i>	BAC1	Compostagem orgânica (MG)
Antagonista	<i>Trichoderma asperellum</i>	EMBRAPA TH04	Coleção Embrapa
Patógeno-alvo	<i>Phytophthora palmivora</i>	1PB	Rizosfera de mamoeiro (PB)
Patógeno-alvo	<i>Phytophthora palmivora</i>	3PB	Rizosfera de mamoeiro (PB)
Patógeno-alvo	<i>Phytophthora palmivora</i>	4PB	Rizosfera de coqueiro (PB)
Patógeno-alvo	<i>Phytophthora palmivora</i>	Pexp	Rizosfera de mamoeiro (BA)
Patógeno-alvo	<i>Phytophthora palmivora</i>	EB3	Rizosfera de mamoeiro (BA)
Patógeno-alvo	<i>Phytophthora palmivora</i>	EB4	Rizosfera de mamoeiro (BA)
Patógeno-alvo	<i>Phytophthora palmivora</i>	S3	Rizosfera de mamoeiro (BA)
Patógeno-alvo	<i>Phytophthora palmivora</i>	S4	Rizosfera de mamoeiro (BA)

2.2 Preparo dos microrganismos utilizados nos ensaios *in vitro*

As bactérias foram reativadas em placas de meio nutriente ágar (NA) e, em seguida, transferidas para frascos erlenmeyer contendo meio nutriente líquido. O cultivo foi conduzido em Orbi-Shaker sob agitação orbital constante de 120 rpm e 28-30°C por 24 horas, com o objetivo de promover homogeneização e aporte de oxigênio.

A densidade bacteriana foi padronizada por meio de espectrofotometria, realizando leituras de absorvância a 540 nm em espectrofotômetro previamente calibrado. A cultura bacteriana foi diluída em solução salina conforme necessário, até alcançar uma densidade óptica (OD) de 0,5, valor que corresponde aproximadamente a 10^8 unidades formadoras de colônia (UFC) por mililitro. Essa concentração foi

definida com base em estudos anteriores que indicaram sua eficácia na promoção da colonização radicular sem induzir efeitos fitotóxicos.

Após esse período, as culturas foram estabilizadas em câmara BOD conforme necessário. Três discos de papel-filtro esterilizados, com aproximadamente 6 mm de diâmetro, foram impregnados com suspensão bacteriana e depositados sobre cada placa com meio batata-dextrose-ágar (BDA), seguindo o método de difusão em ágar (técnica disco/plugue), conforme metodologia proposta por Balouri *et al.* (2016).

Para a repicagem de *Trichoderma* em meio sólido (BDA), o isolado foi repicado a partir da cultura-mãe para placas de Petri contendo BDA e incubado em câmara BOD, sob temperatura de 26°C e pH de 5,0. Discos de micélio ativo (6 mm), cortados a partir da borda da cultura em crescimento, foram utilizados nos ensaios *in vitro* que se baseiam no método clássico de cultura dual (*dual culture*) para avaliar antagonismo, conforme descrito por Dennis & Webster (1971).

O isolado de *P. palmivora* foi cultivado em meio suco V8-ágar, preparado com 200 mL de suco V8 filtrado, 3 g de carbonato de cálcio (CaCO₃), 15 g de ágar e água destilada. Esse meio é amplamente recomendado para o crescimento e manutenção de espécies do gênero *Phytophthora*, fornecendo nutrientes essenciais adequado para o desenvolvimento do oomiceto (ERWIN; RIBEIRO, 1996; DRENTH; SENDALL, 2011). Após o preparo, o patógeno foi repicado para placas de Petri contendo o meio e incubado em câmara BOD, a 25 ± 2 °C, por sete dias, de modo a obter crescimento vigoroso e garantir viabilidade para os testes de antagonismo.

2.3 Teste de Antagonismo

Para avaliação da atividade antagonista dos isolados bacterianos contra *P. palmivora*, foram utilizados discos de papel-filtro impregnados com a suspensão bacteriana. Em cada placa de Petri contendo meio batata-dextrose-ágar (BDA), foram depositados três discos com a mesma bactéria, que foram incubados em câmara BOD a 25 ± 2 °C por dois dias antes da inoculação do patógeno. Após esse período, devido ao rápido crescimento micelial do oomiceto, foi adicionado um disco de *P. palmivora* no centro da placa, conforme metodologia proposta por Ribeiro *et al.* (2015), com modificações.

Nos ensaios com *Trichoderma*, foi utilizado apenas um disco de micélio ativo por placa, devido ao crescimento rápido do fungo em meio sólido, o que possibilitou o contato direto e eficiente com o patógeno desde o início da incubação. As placas foram incubadas sob as mesmas condições de temperatura e fotoperíodo, e a avaliação da inibição do crescimento micelial de *P. palmivora* foi realizada conforme Dennis & Webster (1971).

As placas foram incubadas em BOD a 25 ± 2 °C e o crescimento micelial de *P. palmivora* foi monitorado em dois momentos: uma avaliação inicial após 24 horas de incubação e uma avaliação final ao término do experimento, com 7 dias. Para cada placa, calculou-se a média das três medições (uma para cada disco bacteriano). A porcentagem de inibição (PI) foi determinada pela fórmula:

$$PI(\%) = 1 - \left(\frac{\text{Média do crescimento com antagonista}}{\text{Média do crescimento no controle}} \right) \times 100$$

2.4 Delineamento experimental e Análise Estatística

Os experimentos foram conduzidos em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 8×5 , com cinco repetições cada, sendo avaliados oito isolados de *P. palmivora* (1PB, 3EB, 3PB, 4EB, 4PB, Pexp, Solo3Emb e Solo4Emb) e cinco inibidores (10433, 12157, BAC1, *Trichoderma* e testemunha sem inibidor). A variável analisada foi o crescimento micelial aos 1 e 7 dias após a incubação. Em ambas as avaliações, o crescimento radial do patógeno foi mensurado com auxílio de paquímetro digital, considerando a distância entre a borda do disco central de *P. palmivora* e a frente de crescimento micelial mais avançada em direção a cada disco bacteriano ou de *Trichoderma*.

Os dados obtidos foram organizados em gráficos do tipo box-plot e submetidos à análise de variância (Teste F). As médias dos tratamentos foram agrupadas pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do programa R (R Core Team, 2025).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O gráfico apresentado reflete o crescimento micelial de 8 isolados diferentes de *P. palmivora* após 24 horas de exposição a quatro tratamentos (10433, 12157, BAC1, *Trichoderma*) e um controle, sem inibidor (Figura 1). A medida de crescimento é expressa pelo comprimento micelial em centímetros e os resultados revelam diferenças significativas entre os tratamentos.

Os inibidores *Trichoderma* e 10433 demonstraram uma forte redução no crescimento micelial da maioria dos isolados, o que indica uma ação inibitória eficaz. As caixas no gráfico, que representam a variação do crescimento, são mais compactas e com valores de crescimento mais baixos quando esses inibidores estão presentes. Em contrapartida, os inibidores 12157 e BAC1 mostraram uma redução mais moderada no crescimento, sendo menos impactantes em comparação com *Trichoderma* e 10433. O grupo controle, sem a aplicação de inibidores, apresentou um crescimento micelial mais alto, com uma maior variabilidade entre os isolados, indicando que, na ausência de qualquer tratamento, o crescimento do fungo é mais homogêneo.

Em relação ao comportamento dos isolados, as cepas Solo3Emb e Solo4Emb exibiram maior crescimento, mesmo na presença de inibidores, o que sugere uma possível resistência ou adaptação desses isolados aos isolados testados. Já as cepas 1PB e 3EB foram mais sensíveis aos inibidores *Trichoderma* e 10433, apresentando uma drástica redução no crescimento.

Esses resultados indicam que os inibidores *Trichoderma* e 10433 são os mais eficazes em reduzir o crescimento micelial de *P. palmivora* após 24 horas de exposição. No entanto, algumas cepas, como Solo3Emb e Solo4Emb, mostraram resistência, sugerindo que esses isolados podem possuir mecanismos de defesa, como a produção de enzimas degradantes, síntese de metabolitos antifúngicos, e adaptações metabólicas que lhes permitem tolerar ou até se adaptar à presença dos inibidores. Além disso, esses isolados podem induzir resistência sistêmica em si próprios ou nas plantas hospedeiras e, em alguns casos, podem sofrer mudanças genéticas que aumentam sua resistência a esses compostos.

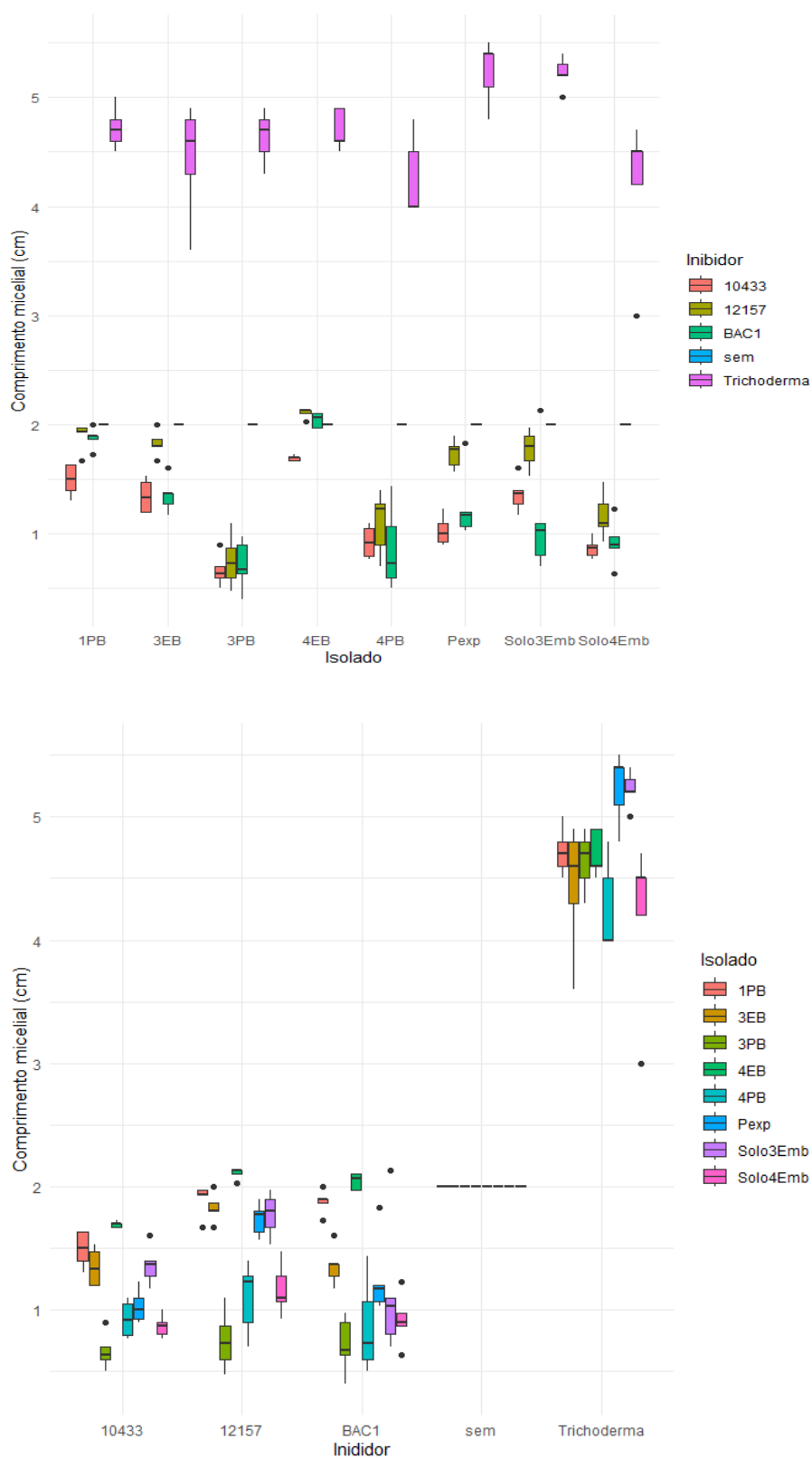


Figura 1. Box-plots do crescimento micelial de oito isolados de *Phytophthora palmivora* submetidas a quatro inibidores após 24 h de incubação.

Quanto aos valores médios de inibidor em função dos isolados após 24 horas (Figura 2), observa-se que o *Trichoderma* demonstrou o maior efeito inibitório em todos os isolados, com médias de crescimento significativamente mais baixas em comparação aos outros tratamentos, mostrando-se como o tratamento que mais reduziu o crescimento micelial, com médias em torno de 4,4 cm a 5,2 cm para os isolados. O controle, por outro lado, mostrou os maiores valores de crescimento, especialmente para isolados como 1PB e Solo3Emb, com médias variando entre 1,1 cm e 2,0 cm, refletindo que na ausência de inibidores, o crescimento do fungo foi muito mais pronunciado.

Quanto aos inibidores 10433 e 12157 tiveram efeitos moderados nos isolados, com médias de crescimento que variaram entre 0,75 cm e 2,1 cm para os isolados mais sensíveis, como Solo3Emb e 4PB. De acordo com Azevedo *et al.* (2014), a produção de metabólitos antifúngicos por esses isolados tem sido associada à sua eficácia no controle do patógeno, sugerindo a estabilidade e a persistência da atividade antagonista. Além disso, *Bacillus spp.* tem demonstrado ser eficaz quando aplicado de forma preventiva em viveiros e cultivos, promovendo o controle biológico de doenças fúngicas em plantas de mamoeiro, através da competição por nichos ecológicos e secreção de substâncias antifúngicas (OLIVEIRA *et al.*, 2017).

As letras minúsculas indicam que dentro de cada inibidor, os isolados foram agrupados em diferentes categorias de resposta, com Solo3Emb e Solo4Emb mostrando uma resistência maior aos tratamentos, já que as médias desses isolados foram significativamente mais altas em comparação com os outros. A resistência observada pode ser atribuída a fatores relacionados ao histórico de exposição a fungicidas na área de coleta ou à variabilidade genética dos isolados.

Estudos indicam que a aplicação recorrente de fungicidas em áreas com histórico de doenças pode selecionar populações de patógenos mais tolerantes ou resistentes. Por exemplo, isolados de *Phytophthora* provenientes de áreas com uso intensivo de fungicidas apresentaram maior resistência a esses compostos em comparação com isolados de áreas sem histórico de aplicação (DIANESE, 2006). Além disso, a variabilidade genética entre isolados pode influenciar a resposta ao tratamento, com alguns mostrando maior resistência devido a mutações ou adaptações específicas (SANTOS, 2009).

Além disso, a comparação entre isolados revelou uma variação considerável, com Solo3Emb e Solo4Emb apresentando os maiores crescimentos, tanto no controle

quanto em alguns tratamentos, indicando maior resistência aos inibidores. Enquanto isso, isolados como 3PB e 4PB foram mais suscetíveis, com crescimentos reduzidos em comparação aos demais. As letras minúsculas indicam que isolados como 3PB e 4PB foram agrupados de maneira distinta em termos de resposta ao inibidor, mostrando que sua capacidade de crescimento foi mais severamente afetada.

Esses resultados são indicativos de que a resposta ao tratamento com inibidores varia não só com o tipo de inibidor, mas também com as características genéticas e fenotípicas de cada isolado de *P. palmivora*.

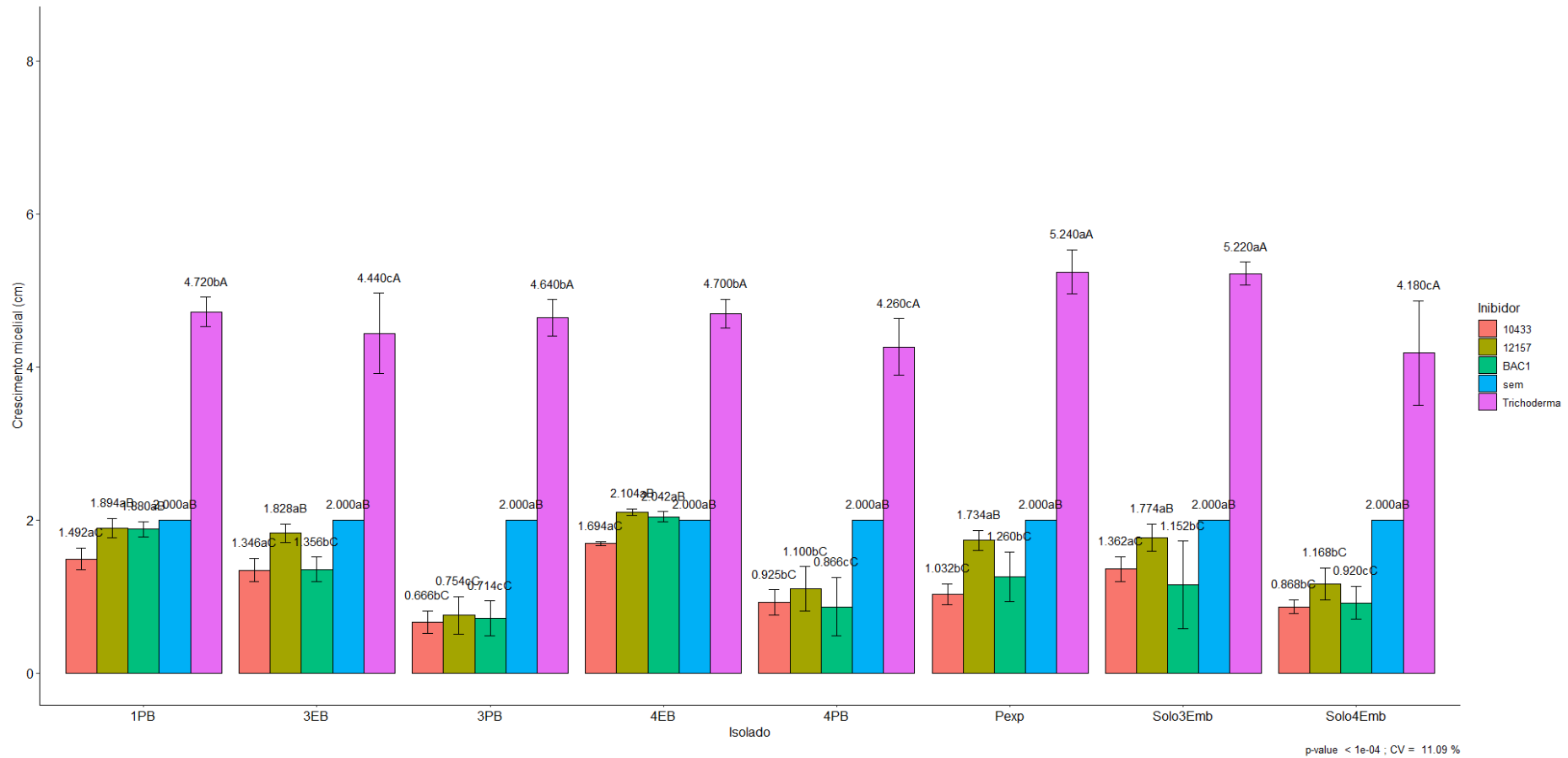


Figura 2. Valores médios de inibidor em função de isolados para crescimento micelial com 24 horas. Médias de inibidor seguidas pelas mesmas letras maiúsculas para cada isolado pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade e Médias de isolados seguidas pelas mesmas letras minúsculas para cada inibidor pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Os box-plots do crescimento micelial de oito isolados de *P. palmivora* submetidos a quatro inibidores após 7 dias de incubação (Figura 3) revelam diferenças consistentes no crescimento micelial dos isolados frente aos tratamentos. Observa-se que os isolados submetidos ao tratamento com a bactéria 10433 apresentaram os menores valores médios de crescimento micelial, com distribuição mais homogênea e variabilidade reduzida entre os isolados, evidenciando maior eficiência desse inibidor. O inibidor 12157 também exerceu efeito restritivo relevante, embora com maior variabilidade no comprimento micelial entre os isolados, indicando respostas diferenciadas quanto à sensibilidade. O tratamento com BAC1 apresentou desempenho intermediário, com crescimento micelial próximo ao limite superior (4 cm) em alguns isolados, sugerindo menor eficiência inibitória quando comparado aos demais agentes bacterianos.

Quanto ao tratamento com *Trichoderma*, observou-se a alta amplitude de variação entre isolados, revelando forte efeito inibitório em alguns casos (crescimento próximo de zero), mas também comportamento heterogêneo, o que pode estar associado a interações específicas entre o antagonista e o isolado fúngico. No tratamento controle (sem inibidor), o crescimento micelial foi próximo ao máximo em todos os isolados, confirmando a viabilidade e agressividade do patógeno em condições sem intervenção.

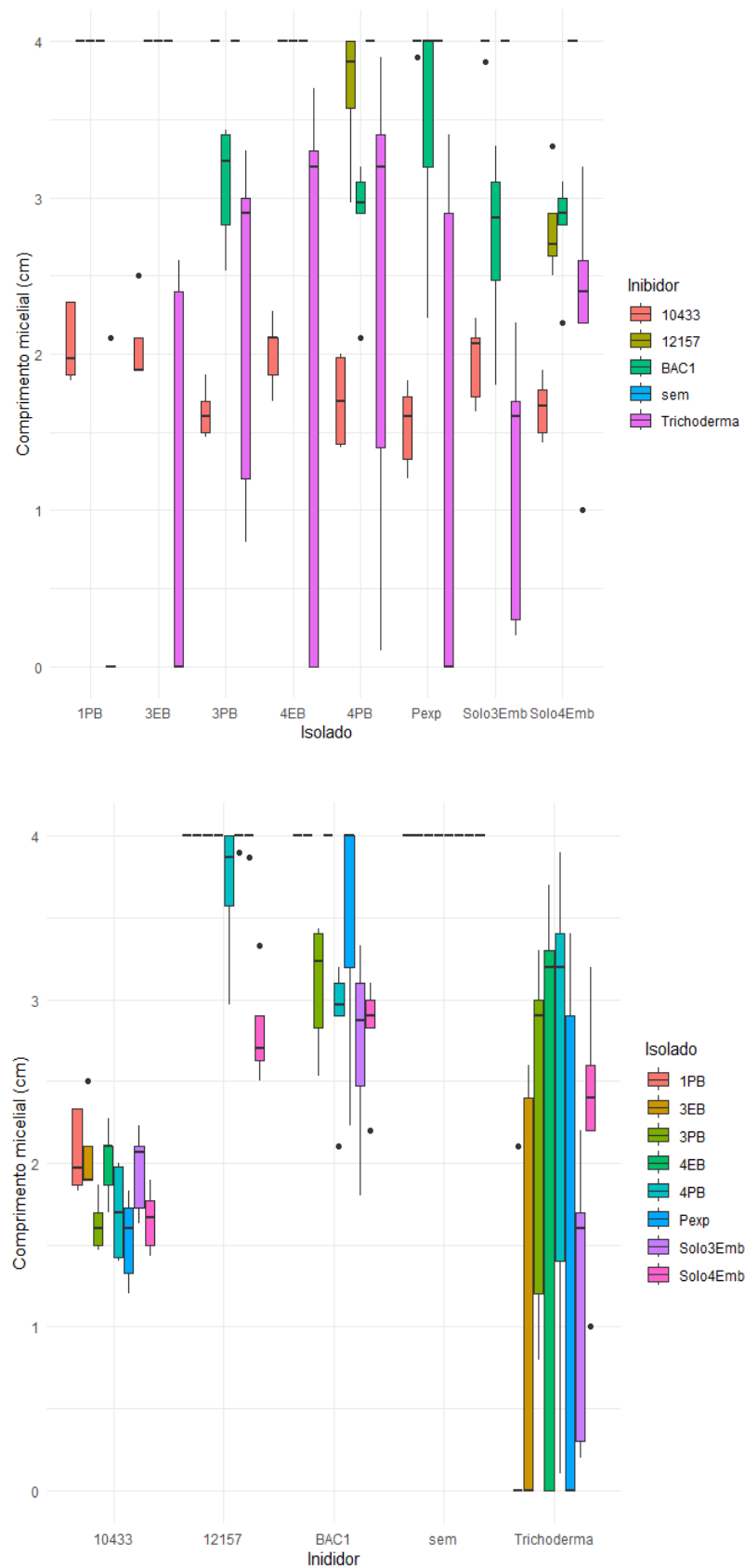


Figura 3. Box-plots do crescimento micelial de oito isolados de *Phytophthora palmivora* submetidas a quatro inibidores após 7 dias de incubação.

Os valores de médias do crescimento micelial de *P. palmivora* após sete dias de incubação (Figura 4) evidencia diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos com inibidores e os diferentes isolados avaliados. Observa-se que o tratamento controle (sem inibidor) apresentou os maiores valores médios de crescimento micelial (em torno de 4 cm) em todos os isolados, confirmando a agressividade do patógeno em condições não restritivas.

Entre os agentes de biocontrole, a bactéria 10433 e o *Trichoderma* se destacaram por promoverem reduções expressivas e consistentes no crescimento micelial da maioria dos isolados, sendo frequentemente alocados em grupos estatísticos distintos e inferiores aos demais tratamentos. Por exemplo, no isolado 1PB, o tratamento com 10433 reduziu o crescimento para aproximadamente 2,07 cm, enquanto *Trichoderma* apresentou efeito ainda mais drástico, restringindo o crescimento a cerca de 0,42 cm, ambos pertencendo a grupos estatísticos diferentes do controle e de outros inibidores. Tendência semelhante foi observada para os isolados 3PB, 4PB, Pexp e Solo4Emb, nos quais *Trichoderma* figurou consistentemente entre os grupos de menor crescimento micelial.

Diversos estudos recentes corroboram a eficácia de *Trichoderma* e *Bacillus* no controle de *P. palmivora*, agente etiológico da podridão do pé do mamoeiro. Estudos de Geroche *et al.* (2024) observaram que o isolado de *Trichoderma harzianum* reduziu o crescimento radial de *P. palmivora* para 6,77 mm, com uma inibição de crescimento de 70,54%, enquanto *Bacillus subtilis* apresentou inibição de 55,01%. Além disso, Simamora *et al.* (2024) relataram que isolados de *Trichoderma* demonstraram eficácia superior a 80% na inibição de *P. palmivora*, com *T. asperellum* apresentando os melhores resultados. Esses achados reforçam a observação de que os tratamentos com *Trichoderma* e *Bacillus* proporcionaram reduções expressivas e consistentes no crescimento micelial da maioria dos isolados de *P. palmivora*, com médias significativamente mais baixas em comparação com outros tratamentos.

Quanto ao inibidor 12157, observa-se efeito intermediário, com valores próximos a 3,5–4 cm em vários isolados, indicando ação menos consistente quando comparado a 10433 e *Trichoderma*, frequentemente agrupando-se estatisticamente com o tratamento BAC1 ou mesmo com o controle em determinados isolados. Já o BAC1 apresentou comportamento variável: em alguns isolados, como 3PB e 4EB, houve redução moderada no crescimento (em torno de 2,01–2,68 cm), diferindo

estatisticamente do controle; contudo, em outros isolados como Solo3Emb, o desempenho foi menos expressivo.

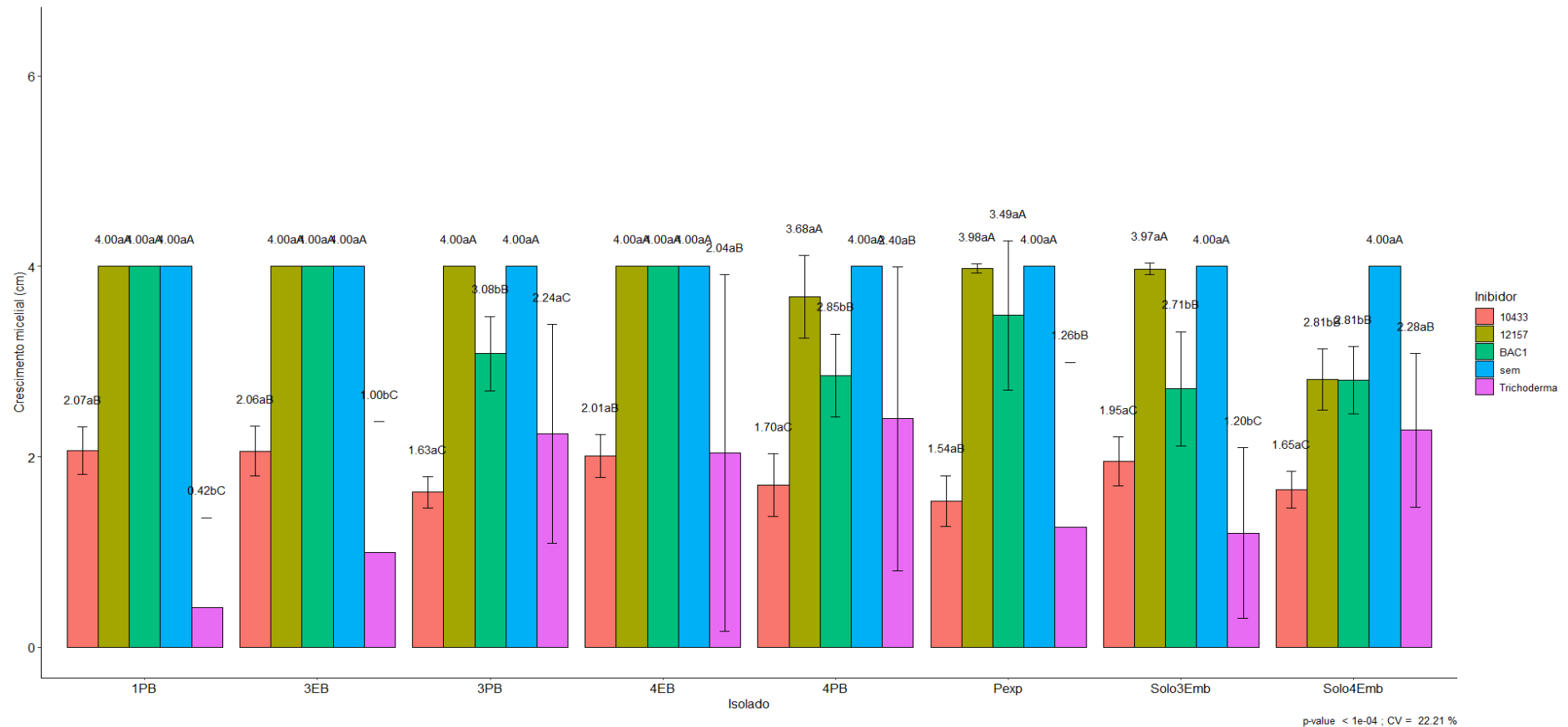


Figura 4. Valores médios de inibidor em função de isolados para crescimento micelial com 7 dias. Médias de inibidor seguidas pelas mesmas letras maiúsculas para cada isolado pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade e Médias de isolados seguidas pelas mesmas letras minúsculas para cada inibidor pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

De modo geral, os resultados demonstram de forma robusta a eficácia diferencial de agentes de biocontrole no crescimento *in vitro* de diferentes isolados de *P. palmivora*. A superioridade do tratamento com *Trichoderma* spp., que consistentemente promoveu as maiores inibições do crescimento micelial tanto nas avaliações de 24 horas quanto após sete dias, está em plena concordância com a literatura científica recente. O mecanismo de ação de *Trichoderma* é multifacetado, envolvendo antibiose através da produção de uma gama de metabólitos antifúngicos, como os peptaibols, gliotoxina e viridina, competição por espaço e nutrientes, e micoparasitismo, onde há enzimaticamente a degradação da parede celular do fitopatógeno (GEROCHE *et al.*, 2024; SIMAMORA *et al.*, 2024). Os valores drasticamente reduzidos de crescimento radial observados, chegando a 0,42 cm para o isolado 1PB, corroboram os achados de Simamora *et al.* (2024), que relataram eficácia superior a 80% para isolados de *Trichoderma*.

Já para a bactéria 10433 (*Bacillus* spp.) também se mostrou um agente promissor, com desempenho significativamente superior ao controle e, em muitos casos, estatisticamente equivalente ou próximo ao de *Trichoderma* após sete dias. Este efeito pode ser atribuído, conforme citado e apoiado por Oliveira *et al.* (2017), à capacidade de linhagens de *Bacillus* de colonizar rizosfera de forma agressiva, competir por nichos ecológicos e secretar um arsenal de compostos antifúngicos lipopeptídicos como a surfactina, iturina e fengicina, com ação comprovada contra oomicetos. Para Azevedo *et al.* (2014), a estabilidade e persistência da atividade antagonista são características cruciais para a aplicação prática no campo, tornando-a uma candidata viável para formulações de bio defensivos.

Por outro lado, a resposta variável e por vezes menos expressiva do tratamento BAC1 e do inibidor 12157 destaca um ponto crítico no desenvolvimento de biocontrole: a especificidade da interação patógeno-antagonista. O desempenho de um agente de biocontrole pode ser altamente dependente da linhagem bacteriana ou fúngica utilizada, assim como da linhagem do patógeno-alvo. Desta forma, esta variabilidade ressalta a importância de se testar um painel diversificado de isolados de ambos, antagonista e patógeno, durante os próximos estudos.

Um aspecto que merece destaque nos resultados obtidos foi a considerável variabilidade na resposta dos diferentes isolados de *P. palmivora* aos mesmos

tratamentos. Isolados como Solo3Emb e Solo4Emb exibiram consistentemente maior resistência ou tolerância aos inibidores, com médias de crescimento significativamente superior. Esta resistência pode ser um reflexo direto da pressão de seleção exercida pelo histórico de aplicação de fungicidas químicos nas áreas de origem desses isolados. Dianese (2006) já documentou esse fenômeno, onde isolados de *Phytophthora* de áreas com manejo químico intensivo mostraram maior tolerância. A resistência induzida pode estar relacionada a mecanismos de efluxo de toxinas ou alterações enzimáticas que também conferem tolerância cruzada a certos metabólitos antifúngicos produzidos por biocontroladores. Alternativamente, a variabilidade genética intrínseca à população de *P. palmivora*, como descrito por Santos (2009), pode resultar em fenótipos naturalmente menos sensíveis a determinados modos de ação antagônica.

Em contrapartida, a alta suscetibilidade de isolados como 3PB e 4PB reforça a noção de que populações do patógeno de diferentes origens geográficas ou históricos de manejo podem responder de maneira distinta, necessitando-se, portanto, de uma abordagem de manejo integrado regionalizada.

Dessa forma, os resultados validam o potencial de *Trichoderma* spp. e da bactéria 10433 como ferramentas eficazes para a supressão *in vitro* de *P. palmivora*. No entanto, a resistência observada em alguns isolados serve como um alerta crucial, pois o sucesso de uma estratégia de biocontrole em campo dependerá não apenas da eficácia do antagonista, mas também do conhecimento da população patogênica local. A utilização de consórcios microbianos, que combinem agentes com modos de ação distintos, como o uso de *Trichoderma* + *Bacillus*, pode ser uma estratégia superior para mitigar o risco de seleção de populações resistentes e proporcionar um controle mais robusto e duradouro da podridão do pé do mamoeiro.

4. CONCLUSÃO

Após 24 horas de incubação, o tratamento com *Trichoderma* spp. destacou-se com o maior efeito inibitório inicial contra todos os isolados, seguido pelos inibidores 10433 e 12157, que tiveram ação moderada. O isolado Solo3Emb foi o que apresentou maior resistência aos tratamentos nesta avaliação inicial. Após 7 dias de incubação, os tratamentos com *Trichoderma* spp. e a bactéria 10433 confirmaram-se como os mais eficazes e consistentes na supressão do crescimento micelial de *P. palmivora*, promovendo as maiores reduções radiais. O inibidor 12157 apresentou um efeito biocontrolador intermediário, enquanto o BAC1 demonstrou eficácia variável e dependente do isolado.

Para ambos os períodos, confirmou-se a superioridade de *Trichoderma* e da linhagem 10433 no controle de *P. palmivora*, além de evidenciarem uma significativa variação na resposta entre os diferentes isolados do patógeno, sublinhando a importância dessa interação específica para o sucesso do controle.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AZEVEDO, I. O.; CASTRO, H. G.; LOPES, R. B.; PEREIRA, R. B.; SILVA, S. D. V. M. Produção de metabólitos antifúngicos por *Bacillus* spp. e o controle de *Phytophthora* spp. **Summa Phytopathologica**, v. 40, n. 3, p. 210-215, 2014.

AZEVEDO, J. M.; RIBEIRO, S. O.; PAULA, L. M.; ROSA, J. S.; OLIVEIRA, E. G.; DIAS, M. L. Antagonismo de *Bacillus subtilis* no controle de *Phytophthora palmivora*. **Revista Brasileira de Fitopatologia**, v. 37, n. 3, p. 218-224, 2014.

BALOUIRI, M.; SADIKI, M.; IBNSOUDA, S. K. Methods for *in vitro* evaluating antimicrobial activity: a review. **Journal of Pharmaceutical Analysis**, v. 6, n. 2, p. 71-79, 2016.

BONATERRA, A.; BADOSA, E.; CAMPS, J. Synergistic interaction between *Bacillus* spp. and *Trichoderma* spp. for biological control of plant pathogens. **Frontiers in Microbiology**, v. 13, p. 1-15, 2022.

COHEN, Y.; RUBIN, A. E.; GALPERIN, M. Mechanisms of resistance to metalaxyl in *Phytophthora infestans*. **Phytopathology**, v. 96, n. 9, p. 1008-1015, 2006.

DENNIS, C.; WEBSTER, J. Antagonistic properties of species-groups of *Trichoderma*. **Transactions of the British Mycological Society**, v. 57, p. 25-39; 41-48; 363-369, 1971.

DIANESE, A. de C. **Variabilidade e controle de *Phytophthora palmivora* (podridão-do-pé) e controle da varíola (*Asperisporium caricae*) do mamoeiro (*Carica papaya*)**. Tese de Doutorado, Universidade de Brasília, 2006.

DIANESE, E. B.; COSTA, J. C. B.; DIANESE, A. C.; LOPES, C. A. Resistência de isolados de *Phytophthora* spp. a fungicidas em áreas de cultivo de mamão. **Fitopatologia Brasileira**, v. 31, n. 5, p. 511-515, 2006.

DRENTH, A.; SENDALL, B. **Practical guide to detection and identification of *Phytophthora***, 2011.

ERWIN, D. C.; RIBEIRO, O. K. **Phytophthora Diseases Worldwide**. St. Paul: APS Press, 1996.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Faostat**, 2023. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat>. Acesso em: 15 jun. 2024.

GEROCHE, J. N.; MACAYA, R. D.; SEPRADO, J. L. Utilization of Biological Control Agents against *Phytophthora palmivora* Causing Pod Rot Disease in Cacao. **TWIST Journal**, v. 19, n. 1, p. 431-438, 2024.

GEROCHE, T. V.; SANTOS, G. R.; SILVA, J. C.; NASCIMENTO, A. R.; CARVALHO, D. D. C. Eficiência de *Trichoderma harzianum* e *Bacillus subtilis* no controle *in vitro*

de *Phytophthora palmivora*. **Research, Society and Development**, v. 13, n. 1, p. 1-10, 2024.

GHINI, R. Impacto das mudanças climáticas sobre doenças de plantas no Brasil. **Summa Phytopathologica**, v. 27, n. 2, p. 151-162, 2001.

HE, D. C.; ZHAN, J. S.; XIE, L. H. Biological control of plant diseases: An evolutionary and eco-economic consideration. **Pathogens**, v. 10, n. 10, 1311, 2021.

KUMAR, A.; SINGH, V.; PRASAD, R. *Bacillus* spp. as plant growth promoter and biocontrol agent against soilborne pathogens. **Microbiological Research**, v. 248, p. 126734, 2021.

MONTE, E.; HERMOSA, R.; NICHOLAS, C. *Trichoderma*: The genomics of opportunistic success. **Nature Reviews Microbiology**, v. 17, n. 12, p. 750-763, 2019.

OLIVEIRA, J. R.; ALMEIDA, M. P. C.; CASTRO, L. F. R.; LIMA, A. C. S.; MARTINS, R. P. Potencial de *Bacillus* spp. no controle da podridão-do-pé do mamoeiro causada por *Phytophthora palmivora*. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 53, e75891, 2023.

OLIVEIRA, J. R.; MARIANO, R. L. R.; ASSIS, S. M. P.; LIMA, N. B.; GONÇALVES, R. C. Controle biológico de doenças fúngicas em mamoeiro por *Bacillus* spp. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 40, n. 2, p. 345-354, 2017.

OLIVEIRA, R. F.; LIMA, M. I. P.; LIMA, M. A.; LIMA, J. P.; ALMEIDA, A. L.; MACEDO, M. J. Controle biológico de *Phytophthora palmivora* com *Bacillus* spp. em mamoeiro. **Ciência Rural**, v. 47, n. 4, p. 1084-1091, 2017.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2021.

RAMOS, A. M.; SANTOS, C. E. L.; PEREIRA, F. J.; SILVA, R. L. F. Controle biológico de *Phytophthora palmivora* em mamoeiro por *Trichoderma asperellum*: mecanismos de ação e eficácia em condições controladas. **Summa Phytopathologica**, v. 48, n. 4, p. 321-330, 2022.

RIBEIRO, L. F.; SILVA, A. M.; CARVALHO, R. T.; OLIVEIRA, M. C. Antagonism of *Bacillus* spp. Against *Phytophthora palmivora*: evaluation of viability in cocoa leaf discs. **Plant Pathology**, Londres, v. 64, n. 5, p. 1167-1175, 2015.

SANTOS, A. F.; LUZ, E. D. M. N.; MATOS, A. P.; SANTOS, P. S.; SOUZA, J. T. Variabilidade genética em populações de *Phytophthora palmivora* e implicações para o manejo. **Tropical Plant Pathology**, v. 34, n. 4, p. 225-230, 2009.

SANTOS, E. S. Identificação de resistência genética do cacaueteiro à podridão-parda (*Phytophthora palmivora*). 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/SK4b5hT77yJnmMZHNJLbb5b/>

SHIMIZU, F. B.; Marubayashi, R. Y. P.; Gonçalves, L. S. A. **AgroR: Experimental data analysis for agricultural research**. R package version 1.3.4, 2023

SILVA, J. R.; SANTOS, M. L.; OLIVEIRA, C. A. *Trichoderma harzianum* as a biocontrol agent Against *Phytophthora palmivora* in papaya. **Plant Disease**, v. 107, n. 2, p. 450-458, 2023.

SIMAMORA, A. V.; YANDO, J. P.; SANTOS, I. S.; LANA, M. M.; SOUZA, A. F. Potencial antagonista de *Trichoderma* spp. contra *Phytophthora palmivora* isolada de mamoeiro. **Journal of Agricultural Studies**, v. 12, n. 3, p. 45-58, 2024.

SINDHU, S. S.; GEORGE, P.; SINGH, R. *Phytophthora* diseases of tropical perennial crops: Challenges and opportunities. **Phytopathology**, v. 112, n. 5, p. 952-969, 2022.

TRENTIN, N. S.; ALVES, L. S.; AMARAL, A. M. Environmental factors influencing *Phytophthora palmivora* epidemics in tropical fruit crops. **Tropical Plant Pathology**, v. 46, n. 2, p. 123-135, 2021.

ZHANG, L. W.; LIU, Y.; YAO, J. Evaluation of *Bacillus* strains for biological control of *Phytophthora* blight in papaya. **Biological Control**, v. 174, p. 105003, 2022.

CAPÍTULO 3

RESPOSTA DE GENÓTIPOS DE MAMOEIRO A *Asperisporium caricae*: RESISTÊNCIA E CONTROLE BIOLÓGICO

Resumo: O mamoeiro (*Carica papaya* L.) constitui uma fruteira tropical de elevada relevância econômica para o Brasil, embora seja susceptível a diversas doenças, dentre as quais se destaca a pinta-preta, ocasionada pelo fungo *Asperisporium caricae*. Este patógeno promove severos danos à área foliar, reduzindo a capacidade fotossintética da planta e, conseqüentemente, a produtividade e a qualidade dos frutos. Diante desse contexto, este capítulo teve como objetivos caracterizar a resposta de 10 genótipos de mamoeiro do Programa de Melhoramento Genético da Embrapa Mandioca e Fruticultura à infecção por *A. caricae*, bem como avaliar a eficácia do biocontrole com BAC1 em comparação ao fungicida Score®, a fim de identificar correlações entre características morfofisiológicas e resistência à mancha-preta, visando subsidiar programas de melhoramento genético e Manejo Integrado de Pragas (MIP). O estudo foi conduzido sob condições de campo, em área integrante do Banco Ativo de Germoplasma de Mamão (BAG-Mamão) da Embrapa Mandioca e Fruticultura, localizado no município de Cruz das Almas, Bahia. Foram avaliados 10 genótipos, em delineamento experimental de blocos casualizados, com cinco repetições. O transplântio das mudas ocorreu 40 dias após a germinação, seguindo-se as práticas culturais recomendadas para a cultura, incluindo irrigação por microaspersão e adubação de acordo com as exigências do mamoeiro. Ao longo do período experimental, realizaram-se quatro avaliações da severidade – mediante escala diagramática – e incidência da doença, cujos dados foram submetidos à análise de variância e comparados pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Na fase subsequente, efetuaram-se aplicações dos tratamentos com fungicida químico (Score®) e agente biológico (*Bacillus* sp. - isolado BAC1), mantendo-se um bloco como testemunha sem aplicação. A eficácia dos tratamentos foi mensurada por meio do cálculo da Área Abaixo da Curva de Progresso da Doença (AACPD). Os resultados obtidos demonstraram que, embora não tenham sido detectadas diferenças estatisticamente significativas, observou-se expressiva variabilidade fenotípica entre os genótipos. Os genótipos BRSL-78 e BGCA-177 destacaram-se pelos maiores valores de AACPD para número de folhas (NF) e número de folhas atacadas (NFA), enquanto o genótipo BGCA-254 exibiu os menores valores para intensidade de ataque (IA), indicativo de maior tolerância. Ademais, o controle químico exibiu tendência superior de eficiência na contenção do NFA em relação ao tratamento biológico. Conclui-se, portanto, que a estratégia mais promissora para o manejo sustentável da pinta-preta reside na integração entre a seleção de genótipos tolerantes, a exemplo do BGCA-254, e a implementação combinada de métodos de controle químico e biológico, fornecendo subsídios valiosos para programas de melhoramento genético e MIP do mamoeiro.

Palavras-chave: *Carica papaya*, doença de plantas, pinta-preta

Abstract: The papaya tree (*Carica papaya* L.) is a tropical fruit crop of significant economic importance in Brazil, although it is susceptible to several diseases, notably black spot, caused by the fungus *Asperisporium caricae*. This pathogen causes severe damage to the leaf area, reducing the photosynthetic capacity of the plant and, consequently, the productivity and quality of the fruits. In this context, this chapter aimed to characterize the response of 10 papaya genotypes from the Embrapa Cassava and Fruits Breeding Program to infection by *A. caricae*, as well as to evaluate the efficacy of biocontrol with BAC1 compared to the fungicide Score®, in order to identify correlations between morphophysiological traits and resistance to black spot, aiming to support breeding programs and Integrated Pest Management (IPM). The study was conducted under field conditions, in an area belonging to the Active Germplasm Bank of Papaya (BAG-Papaya) of Embrapa Cassava and Fruits, located in the municipality of Cruz das Almas, Bahia. Ten genotypes were evaluated in a randomized complete block design with five replications. Seedlings were transplanted 40 days after germination, following recommended cultural practices for the crop, including micro-sprinkler irrigation and fertilization according to the requirements of papaya. During the experimental period, four assessments of disease severity – using a diagrammatic scale – and incidence were carried out, and the data were subjected to analysis of variance and compared by the Scott-Knott test at 5% probability. In the subsequent phase, applications of chemical fungicide (Score®) and biological agent (*Bacillus* sp. - isolate BAC1) were performed, with one block maintained as an untreated control. The efficacy of the treatments was measured by calculating the Area Under the Disease Progress Curve (AUDPC). The results showed that, although no statistically significant differences were detected, significant phenotypic variability was observed among the genotypes. Genotypes BRSL-78 and BGCA-177 stood out for the highest AUDPC values for number of leaves (NL) and number of attacked leaves (NAL), while genotype BGCA-254 exhibited the lowest values for attack intensity (AI), indicating greater tolerance. Furthermore, chemical control showed a superior trend in efficiency in containing NAL compared to biological treatment. It is concluded, therefore, that the most promising strategy for the sustainable management of black spot lies in the integration of selecting tolerant genotypes, such as BGCA-254, and the combined implementation of chemical and biological control methods, providing valuable support for papaya breeding programs and IPM.

Keywords: *Carica papaya*, plant disease, early blight

1. INTRODUÇÃO

O mamoeiro (*Carica papaya* L.) configura-se como uma das frutíferas tropicais mais relevantes globalmente, sendo o Brasil o segundo maior produtor mundial com 1.25 milhão de toneladas anuais (IBGE, 2022). Sua importância deriva não apenas do consumo *in natura*, mas também da ampla utilização industrial na produção de enzimas (papaina), doces, sucos e nutracêuticos (GABREKIRISTOS; DAGNEW, 2020). A cultura se destaca pela precocidade produtiva e alta rentabilidade por área, sendo fundamental para a economia de estados como Espírito Santo e Bahia, que juntos respondem por 66% da produção nacional (SANTOS *et al.*, 2022).

Apesar de seu valor econômico, o mamoeiro enfrenta sérios desafios fitossanitários, especialmente doenças fúngicas, cuja severidade e incidência se devem às condições climáticas, principalmente temperatura, umidade e pluviosidade (Moreira *et al.*, 2020). Dentre estas, a pinta-preta (*Asperisporium caricae*) emerge como principal patologia foliar, podendo reduzir a produção em até 80% em anos epidêmicos (COSTA *et al.*, 2021). O patógeno afeta tanto folhas, causando desfolha precoce, quanto frutos, depreciando comercialmente pela formação de lesões necróticas com manchas escuras (SHANTAMMA *et al.*, 2018).

O ciclo da doença inicia-se com a germinação de conídios em condições de umidade relativa >85%, formando lesões aquosas que evoluem para necroses circulares (2-6 mm) com margens cloróticas (MORAES *et al.*, 2021). Em ataques severos, observa-se coalescência de lesões, levando à queda prematura de folhas e exposição dos frutos à insolação direta, fator que agrava perdas pós-colheita (VENTURA; REZENDE, 2016). Estudos epidemiológicos demonstram que a severidade é 37% maior em variedades comerciais suscetíveis como 'Formosa' e 'Sunrise' (OLIVEIRA-JÚNIOR *et al.*, 2023).

O manejo tradicional baseado em fungicidas triazóis (ex.: difenoconazol - Score®) enfrenta três problemas como a fitotoxicidade em cultivares sensíveis, manifestada por clorose marginal das folhas (MARIN *et al.*, 2018); surgimento de resistência em populações do patógeno (FERREIRA *et al.*, 2023); e restrições de mercado por resíduos químicos, especialmente na União Europeia onde o Limite Máximo de Resíduos (LMR) para papaya é de 0.01 mg/kg (PEREIRA *et al.*, 2018).

Esses fatores elevam em ~30% os custos de produção quando adotado controle químico intensivo (SANTOS *et al.*, 2022).

Neste cenário, estratégias como o biocontrole com bactérias do gênero *Bacillus*, capazes de produzir lipopeptídeos (iturina A e fengicina D) com eficácia comprovada na inibição de *A. caricae* (ALMEIDA *et al.*, 2023); e a prospecção de resistência genética em bancos de germoplasma, onde acessos silvestres de *Vasconcellea cauliflora* apresentam genes de resistência duradoura (PASTANA *et al.*, 2020) surgem como uma alternativa eficaz para inibir *A. caricae*. Ambas as abordagens se alinham aos princípios de agricultura de baixo carbono, reduzindo em até 45% a pegada ecológica comparada ao manejo convencional (KUMA *et al.*, 2022).

Apesar dos avanços, lacunas como a escassez de estudos comparando simultaneamente resistência genética e biocontrole para *A. caricae* e carência de dados sobre a interação genótipo-ambiente-manejo em condições de campo dificultam a adoção de programas de manejo integrado (MIP) eficazes, conforme alertado pela FAO (2023) em seu relatório sobre sustentabilidade na fruticultura tropical.

Diante disso, este capítulo teve como objetivos caracterizar a resposta de 10 genótipos de mamoeiro do Programa de Melhoramento Genético da Embrapa Mandioca e fruticultura à infecção por *A. caricae*, bem como avaliar a eficácia do biocontrole com BAC1 em comparação ao fungicida Score® afim de identificar correlações entre características morfofisiológicas e resistência à mancha-preta, visando subsidiar programas de melhoramento genético e MIP.

2. METODOLOGIA

2.1. Área de estudo e condução do experimento

O trabalho foi conduzido sob condições de campo, em área destinada ao Banco Ativo de Germoplasma de Mamão (BAG-Mamão) da Embrapa Mandioca e Fruticultura, localizada em Cruz das Almas - BA. A cidade está situada a 12°40'39" de latitude S e 39°06'22" de longitude O de Greenwich, a 226 m de altitude. O clima da região é do tipo subúmido, com temperatura média de 24,1°C, umidade relativa de 86% e pluviosidade média anual de 1.400 mm, com períodos de chuvas entre os meses de março e agosto (INMET, 2023). O solo é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo, de textura argilosa e declividade de 0% a 3% (Santos, 2018).

Foram avaliados 10 genótipos provenientes do Banco Ativo de Germoplasma de Mamão, integrados ao programa de melhoramento genético da Embrapa Mandioca e Fruticultura (Tabela 1). O experimento foi conduzido durante os meses de novembro de 2024 e junho de 2025, período em que a região de Cruz das Almas apresenta alta umidade relativa do ar, com médias que podem atingir até 82% (SILVA *et al.*, 2026). O delineamento adotado foi em blocos casualizados (DBC), com cinco blocos e 10 tratamentos, totalizando 100 unidades experimentais, sendo cada tratamento constituído por duas plantas.

As mudas foram produzidas em sacos de polietileno de 10 cm x 20 cm, contendo substrato preparado manualmente composto por fibra de coco (25%), substrato comercial Vivatto® (25%) e solo (50%). Em cada saco, foram acondicionadas três sementes e nos casos em que as três sementes germinaram, foi realizado o desbaste, mantendo apenas uma planta por saco.

Após 40 dias da germinação, as plantas foram transplantadas para o campo, adotando-se o sistema de três plantas por cova e espaçamento de 2 m x 1 m. A irrigação por microaspersão e as adubações foram realizadas de acordo com as necessidades da cultura. Os tratos culturais, como capinas, seguiram as recomendações técnicas para o cultivo do mamoeiro (EMBRAPA, 2021).

Tabela 1. Código local, instituição doadora e/ou local de coleta, país de origem e grupo heterótico dos genótipos de mamoeiro avaliados do BAG-Mamão da Embrapa Mandioca e Fruticultura.

Cód. Local	Localização/Instituição	País de Origem	Grupo Heterótico
BGCA – 011	Brasília (DF)/Cenargen	Costa Rica	Formosa
BGCA – 121	-	-	Formosa
BGCA – 157	Barra do Garças (MT)	Brasil	Outros
BGCA – 175	Rio Verde (GO)	Brasil	Formosa
BGCA – 176	Rio Verde (GO)	Brasil	Outros
BGCA – 177	-	Brasil	Solo
BGCA – 254	Cruz das Almas (BA)	Brasil	Solo
BGCA – 258	Itapicuru (BA)	Brasil	Outros
BGCA - 261	Santo Antônio de Jesus (BA)	Brasil	Outros
BRS L78	Cruz das Almas (BA)/Embrapa – CNPMF	Brasil	Solo

2.2. Avaliação da incidência e da severidade foliar da doença

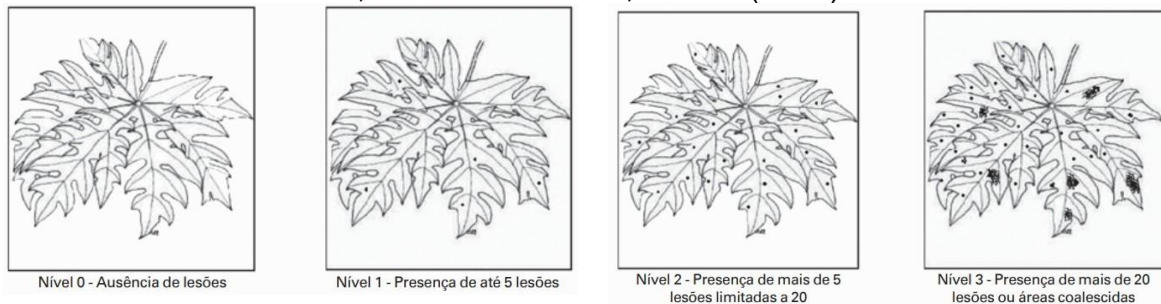
Foram realizadas quatro avaliações de incidência (INC) e severidade (SEV), com intervalos de sete dias entre elas, durante os meses de abril e maio de 2025.

A incidência da doença (INC) foi determinada pela proporção entre o número de folhas com sintomas da doença (FA) e o número total de folhas (NF) por planta e expressa em forma de porcentagem. As avaliações foram realizadas por inspeção visual, considerando-se como folhas sintomáticas aquelas que apresentaram pontuações de coloração marrom, característica da doença em estudo.

A severidade da doença foi determinada através da intensidade de ataque (IA), seguindo a escala diagramática proposta por Oliveira e Dantas (2022), expressa em porcentagem de área foliar lesionada, conforme ilustrado na Figura 1. O número de lesões foi contabilizado de forma manual, procurando, nas folhas, lesões novas que estivessem com poucas pontuações de coloração marrom e considerando a primeira

folha verde de baixo para cima, logo no aparecimento das primeiras lesões. Os resultados foram anotados em ficha de campo, atribuindo-lhes notas de acordo com o número de lesões, considerando-se (0) para folha sem lesão, (1) para folha com até 5 lesões, (2) para folha com mais de 5 lesões, limitadas a 20 e (3) para folhas com mais de 20 lesões ou áreas coalescidas.

Figura 1. Escala de notas para avaliação da incidência da pinta preta em folhas de mamoeiro. Fonte: Oliveira, A. A. R. & Dantas, J. L. L. (2002).



Para a quantificação da severidade da doença, foi empregado o índice de doença de McKinney (1923) como parâmetro inicial. Com base nesses valores, procedeu-se ao cálculo da Área Abaixo da Curva de Progresso da Doença (AACPD) foi quantificada para calcular a área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD), determinada pela equação proposta por Sharner e Finney (1977):

$$\text{AACPD} = \sum_{i=1}^{n-1} [(x_{i+1} + x_i) / 2] \times (t_{i+1} - t_i)$$

A fórmula aplicada considera:

n: número total de avaliações realizadas;

y_i: índice de severidade da doença na i-ésima avaliação;

t_i: tempo, em dias, correspondente à i-ésima observação.

2.3. Controle Biológico

Após a avaliação inicial da severidade da doença, o mesmo experimento foi utilizado para fazer testes de controle da doença, para tal, a área foi dividida em três blocos, sendo cada bloco composto por 10 genótipos e 4 repetições, totalizando 40 plantas cada, que receberam aplicações dos tratamentos com o auxílio de um pulverizador costal manual.

O primeiro bloco recebeu o tratamento com o fungicida Score® conforme as recomendações do fabricante, utilizando 0,5 mL/L. O segundo bloco recebeu tratamento com produto biológico, aplicando suspensão com a bactéria *Bacillus velezensis* (isolado Bac1), preparada em suspensão adequada para pulverização, com 0,6 abs. As aplicações ocorreram no final da tarde, a fim de reduzir a evaporação e favorecer maior absorção e eficiência dos produtos. O terceiro bloco foi mantido sem qualquer aplicação, configurando a testemunha experimental.

Posteriormente, avaliou-se novamente a severidade e a incidência da doença, sendo calculada a Área Abaixo da Curva de Progresso da Doença (AACPD) para quantificação do desenvolvimento da enfermidade ao longo do tempo. Esses dados permitiram comparar a eficiência dos tratamentos em relação ao controle, utilizando-se a mesma metodologia estatística previamente aplicada na seleção de genótipos.

2.4. Análise estatística dos dados

Os dados foram analisados por meio do teste F da análise de variância, e as médias foram comparadas utilizando o teste de Scott-Knott, com um nível de significância de 5%. As análises estatísticas foram conduzidas com o apoio do software R® (R Core Team, 2025), e a distribuição e variabilidade dos valores de AACPD foram visualizadas por meio de gráficos do tipo *box-plot*.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise gráfica por meio dos *box-plots* (Figura 2) evidencia a distribuição dos valores de INC e SEV da doença em diferentes genótipos de mamoeiro sob infecção por *A. caricae*. Observa-se ampla variabilidade entre os genótipos, com amplitudes distintas e valores discrepantes, indicando comportamento heterogêneo frente à doença.

Os gráficos de *box-plot* apresentados (Figura 2), que comparam a incidência (INC) e a severidade (SEV) da doença entre diferentes tratamentos, revelam que, apesar das variações observadas, os tratamentos não diferenciaram significativamente entre si em termos de controle da doença. No *box-plot* de INC, observa-se que todos os tratamentos, incluindo BGCA - 011, BRS L78, BGCA - 177, BGCA - 175, entre outros, apresentam distribuições de incidência semelhantes, com medianas próximas e grande sobreposição nas caixas. Isso sugere que, para os tratamentos testados, não há um efeito marcante na redução da incidência da doença, o que indica uma eficácia limitada de todos os tratamentos avaliados para controlar a propagação da doença.

De forma semelhante, no *box-plot* de SEV, observa-se que não apresentou diferença entre os tratamentos. Embora alguns materiais como BGCA - 175 e BGCA - 258 mostrem caixas mais estreitas, indicando menor variabilidade na severidade, ainda assim, a distribuição da severidade não difere significativamente entre os tratamentos. Os valores de severidade para tratamentos como BGCA - 011, BGCA - 177 e BRS L78 são semelhantes, indicando que não há um controle significativo da severidade por parte de nenhum dos tratamentos.

Este padrão de falta de diferenciação significativa entre os tratamentos pode ser atribuído a diversos fatores. Um possível motivo é que os tratamentos avaliados podem não ser suficientemente distintos em termos de sua capacidade de controlar a doença, ou que as condições experimentais não proporcionaram variação suficiente para detectar diferenças. Além disso, a variabilidade natural da resposta dos tratamentos pode ter mascarado quaisquer efeitos significativos, refletindo uma baixa eficácia geral dos tratamentos na redução tanto da incidência quanto da severidade da doença.

Apesar das variações nos valores de incidência e severidade, os resultados sugerem que os tratamentos não foram suficientemente eficazes para promover diferenciações significativas entre si. Ainda assim, os padrões observados permitem inferir diferenças potenciais de comportamento que podem ser relevantes em estudos de maior escala ou em avaliações complementares.

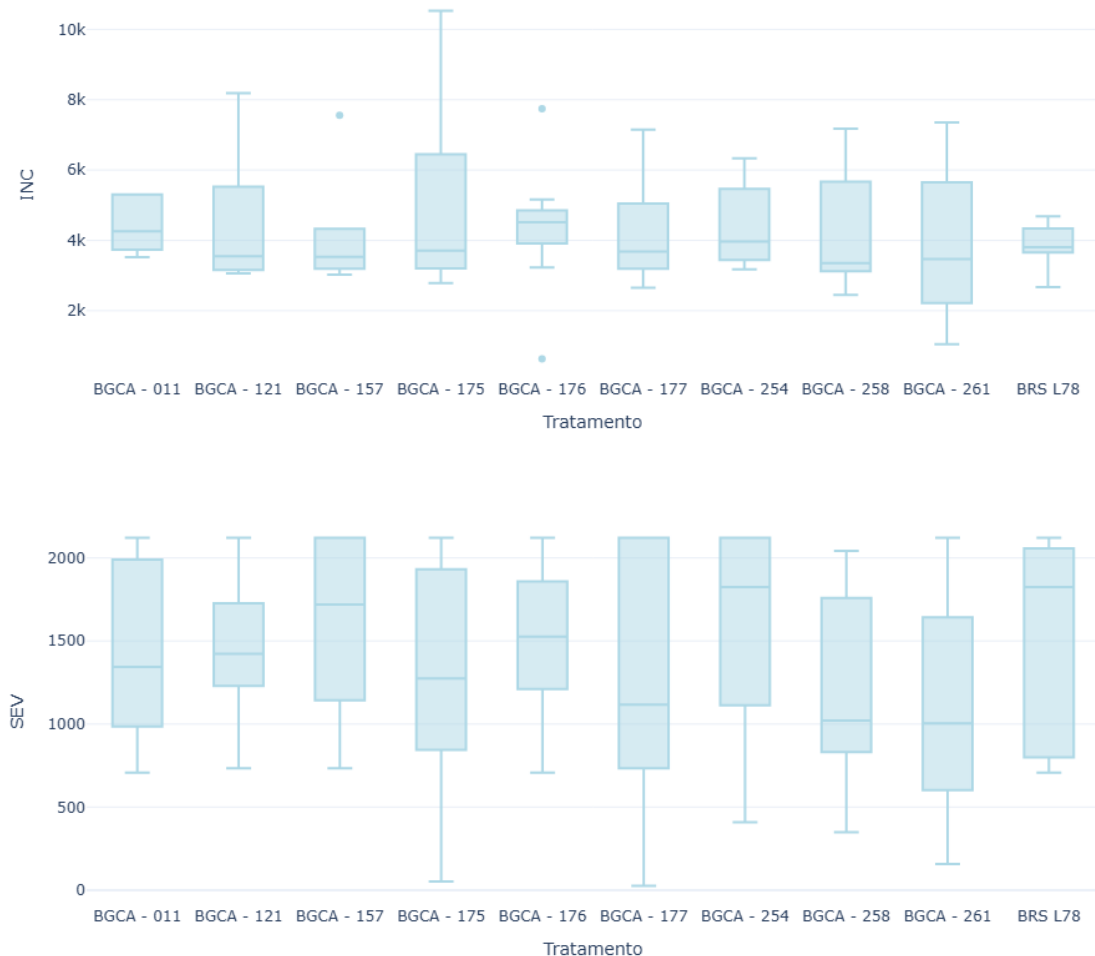


Figura 2. *Blox-plots* de Incidência (INC) e Severidade (SEV) de ataque da doença em função de diferentes genótipos de mamoeiro (BGCA – 011, BGCA – 121, BGCA – 157, BGCA – 175, BGCA – 176, BGCA – 177, BGCA – 254, BGCA – 258, BGCA – 261 e BRS L78) afetados por *Asperisporium caricae*.

Esses resultados sugerem que, embora haja variação fenotípica entre os genótipos, tal variação não foi suficiente para se traduzir em diferenças significativas sob as condições experimentais avaliadas. Dessa forma, a interpretação dos dados deve considerar tanto os aspectos estatísticos quanto as tendências visuais evidenciadas nos *box-plots*, de modo a identificar genótipos que possam apresentar

comportamento promissor em diferentes ambientes ou em estudos de maior repetição experimental.

Em síntese, embora não tenham sido detectadas diferenças estatísticas significativas entre os genótipos nesta avaliação, a análise reforça a importância de direcionar estratégias de manejo especialmente aos materiais mais suscetíveis. A integração entre resistência genética e táticas de controle, como evidenciado neste estudo pela comparação entre tratamentos biológicos e químicos, possibilita tanto a redução da intensidade da doença quanto a sustentabilidade do sistema de produção, conforme já relatado por Vivas *et al.* (2017) e Santos *et al.* (2017).

Nesse sentido, ao se testar simultaneamente o controle químico e o biológico, observou-se que, ainda que os efeitos não tenham se traduzido em diferenças estatísticas expressivas, essas práticas apresentam potencial de complementariedade, fortalecendo o manejo integrado da pinta-preta do mamoeiro.

A análise dos *box-plots* plots da INC e SEV de ataque de *A. caricae* em função da aplicação de controle químico e biológico (Figura 3) demonstra variação na resposta dos genótipos de mamoeiro aos tratamentos de controle químico, biológico e à testemunha. Observa-se tendência de maior amplitude dos dados no tratamento químico, com presença de valores extremos superiores, indicando maior variabilidade entre os genótipos quanto à incidência da doença. O tratamento biológico apresentou mediana levemente inferior e menor dispersão, sugerindo comportamento mais uniforme entre as plantas tratadas. A testemunha exibiu distribuição intermediária, com presença de alguns outliers, representando a progressão natural da doença em ausência de manejo.

No entanto, apesar dessas diferenças visuais, os tratamentos não diferiram estatisticamente entre si ($p > 0,05$), tanto para os parâmetros de incidência quanto de severidade. Esse resultado indica que, nas condições do presente estudo, nenhum dos métodos de controle avaliados apresentou desempenho significativamente superior em relação aos demais, embora o controle químico tenha mostrado tendência de maior redução da intensidade de ataque.

Esse comportamento sugere que o uso de fungicidas pode ter exercido um efeito inicial de contenção na severidade da pinta-preta. Contudo, a ausência de diferenças expressivas em relação ao biológico ou à testemunha reforça a hipótese de que a eficácia dos defensivos químicos se encontra em declínio, possivelmente em função da adaptação do patógeno ao uso contínuo dessas moléculas. Resultados

semelhantes foram relatados por Shreedevasena *et al.* (2022), que, ao avaliarem diferentes fungicidas contra *A. caricae*, constataram que misturas como trifloxistrobina + tebuconazol e moléculas isoladas como propiconazol apresentaram elevada eficiência *in vitro*, mas que a eficácia de produtos tradicionais, como o oxicloreto de cobre, mostrou-se reduzida, sugerindo perda de eficiência do controle químico ao longo do tempo.

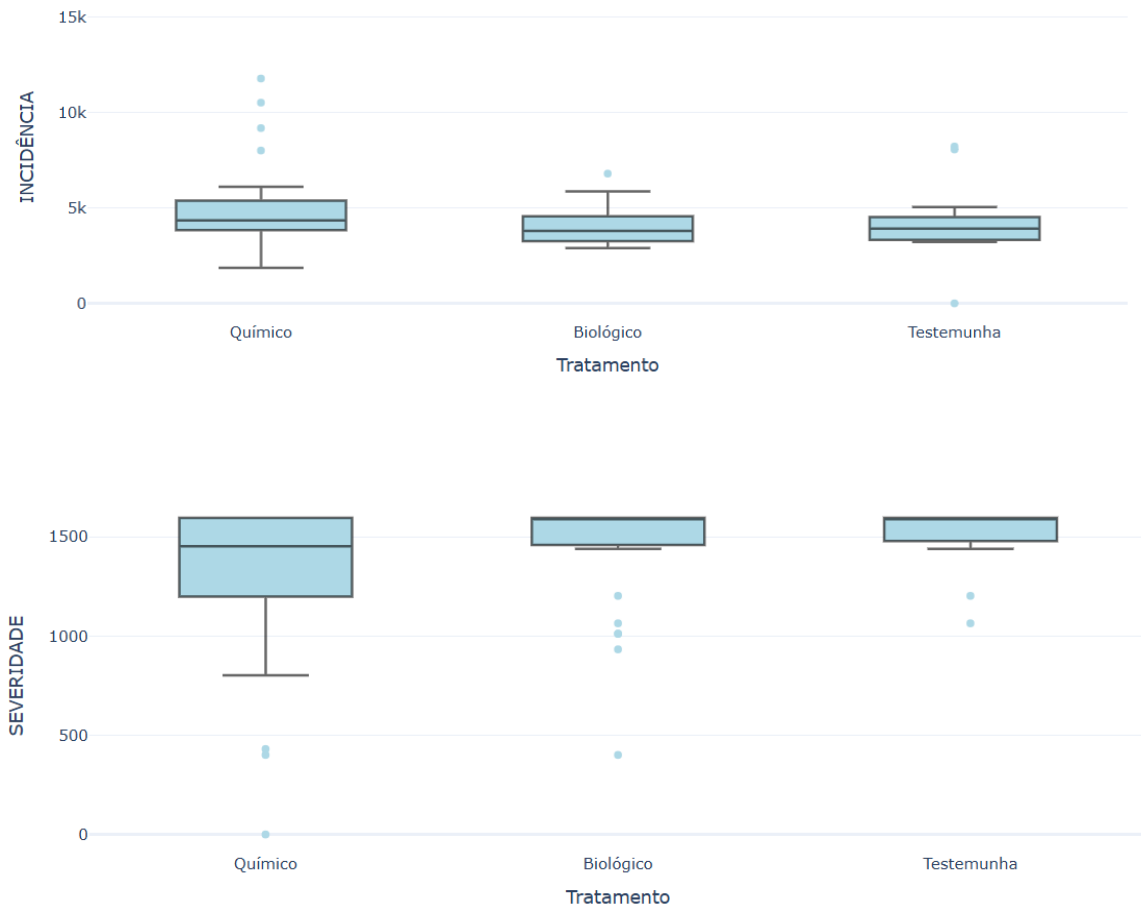


Figura 3. *Blox-plots* da Incidência (INC) e Severidade (SEV) de ataque de *Asperisporium caricae* em função da aplicação de controle químico e biológico em genótipos de mamoeiro.

Os valores médios de AACPD (Figura 4) evidenciam que o controle químico ainda desempenha papel relevante na redução da severidade da pinta-preta, sobretudo quando se utilizam fungicidas de reconhecida eficácia, como misturas de triazóis e estrobilurinas, que apresentam ação preventiva e curativa sobre o patógeno (SHREEDEVASENA *et al.*, 2022). Entretanto, embora esses produtos tenham se mostrado superiores em termos de eficiência, a literatura aponta que o uso repetitivo de moléculas do mesmo grupo químico pode resultar em redução gradual da sensibilidade de *A. caricae*, comprometendo a sustentabilidade do manejo a médio e longo prazo (BARRETO *et al.*, 2011).

Estudos anteriores reforçam a relevância do controle químico no manejo da pinta preta do mamoeiro (VIVAS *et al.*, 2017; Santos *et al.*, 2017), mas também apontam a necessidade de reduzir a dependência de fungicidas devido a riscos de

resistência e impactos ambientais. Nesse sentido, estratégias de controle biológico têm sido estudadas como alternativas promissoras, com isolados de *Trichoderma* spp. e *Bacillus* spp. mostrando potencial de inibição de *A. caricae* em condições controladas (FREITAS *et al.*, 2019; OLIVEIRA *et al.*, 2021).

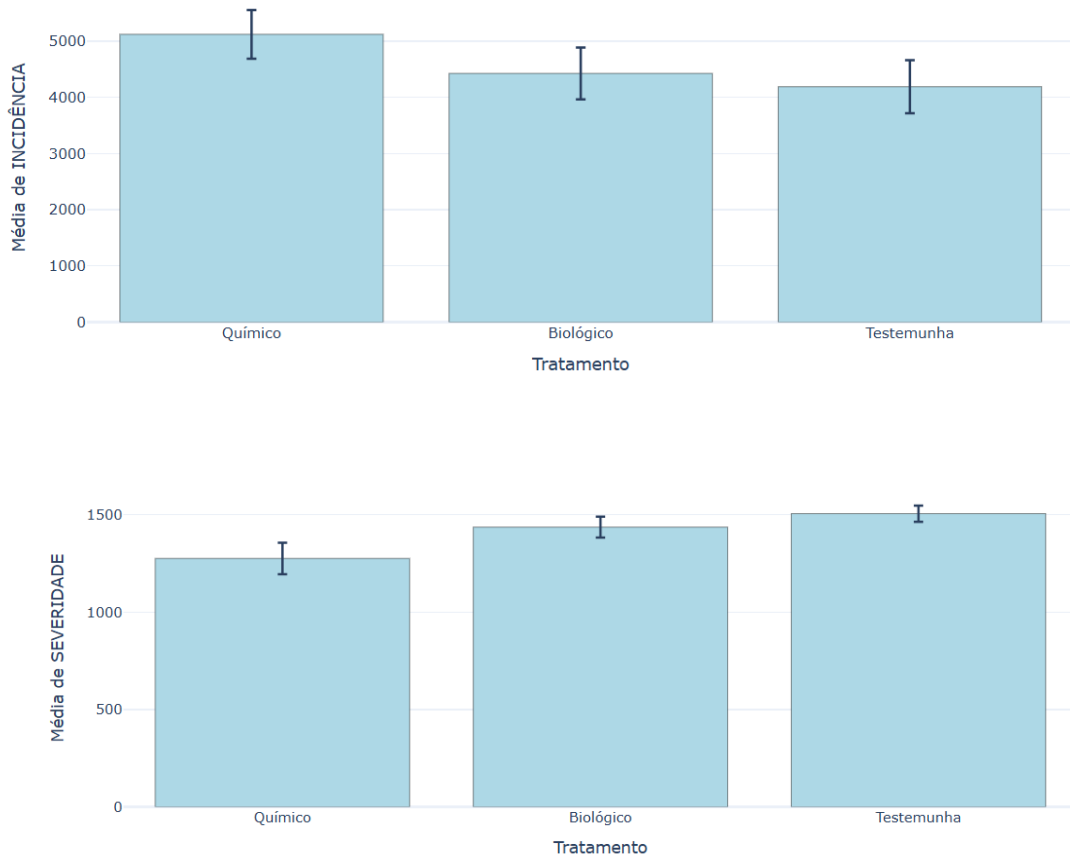


Figura 4. Valores médios da área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) da Incidência (INC) e Severidade (SEV) de ataque de *Asperisporium caricae* em função da aplicação de controle químico e biológico em genótipos de mamoeiro.

Nesse contexto, o desempenho intermediário observado para o controle biológico, embora inferior ao químico em curto prazo, destaca seu potencial estratégico dentro de programas de manejo integrado de doenças. Além de reduzir a pressão seletiva sobre fungicidas, agentes biocontroladores podem atuar de forma complementar, contribuindo para a diminuição do inóculo inicial e para maior estabilidade do sistema produtivo em bases sustentáveis. Assim, a integração entre métodos químicos e biológicos, associada a práticas culturais, tende a ser a estratégia

mais promissora para garantir a eficácia do controle da pinta-preta do mamoeiro ao longo do tempo e proporcionando maior sustentabilidade ao sistema produtivo.

4. CONCLUSÃO

Os resultados indicam que, embora não tenham ocorrido diferenças estatísticas significativas, o tratamento químico apresentou tendência de melhor desempenho na redução da severidade (SEV) da pinta-preta, enquanto o controle biológico mostrou comportamento mais uniforme e menor dispersão dos dados, sugerindo maior estabilidade entre os genótipos. Entre os genótipos avaliados, BGCA-175 e BGCA-258 destacaram-se por apresentarem menor variabilidade na severidade, ao passo que BGCA-011 e BGCA-177 exibiram maiores valores de incidência (INC), indicando maior suscetibilidade à doença.

Dessa forma, conclui-se que a estratégia mais eficaz para o manejo da doença envolve a combinação da seleção de genótipos mais tolerantes, como o BGCA-254, com o uso integrado de práticas de controle químico e biológico, visando otimizar o controle da doença de forma sustentável.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARRETO, L. F.; SAVAN, P. A. L.; LIMA, L. L. de.; LODO, B. N. Avaliação de fungicidas no controle de *Asperisporium caricae* na cultura do mamoeiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal - SP, Volume Especial, p. 399-403, 2011.

COSTA, A. F.; SANTOS, C. A. F.; VENTURA, J. A. Economic impact of *Asperisporium caricae* on papaya production in northeastern Brazil. **Tropical Plant Pathology**, v. 46, n. 3, p. 321-330, 2021.

FERREIRA, M. D.; SANTOS, J. R.; LIMA, A. B.; COSTA, R. N.; ALMEIDA, F. A. Sensitivity reduction of *Asperisporium caricae* to difenoconazole in Brazilian papaya orchards. **Plant Disease**, v. 107, n. 2, p. 450-456, 2023.

GABREKIRISTOS, E.; DAGNEW, A. A Newly Emerging Disease of Papaya in Ethiopia: Black Spot (*Asperisporium caricae*) Disease and Management Options. **J Plant Pathol Microbiol** 11: 488, 2020.

IBGE. **Produção Agrícola Municipal**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1613>. Acesso em: 15 mar. 2024.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Normais climatológicas 1991–2020 para Cruz das Almas, BA**. Brasília, 2023. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/uploads/normais/NORMAISCLIMATOLOGICAS.pdf>. Acesso em: 4 março. 2024.

KUMA, Y.; ADAMAS, K.; BERTHOLD, P.; CHEN, L.; DAVIS, S. Antifungal mechanisms of *Bacillus* species against filamentous fungi. **Microbiological Research**, v. 256, art. 126957, 2022.

MADDEN, L.V.; HUGHES, G.; VAN DEN BOSCH, F. **The Study of Plant Disease Epidemics**. St. Paul: American Phytopathological Society Press, 421p, 2007.

MARIN, D. H.; SOTO, L. A.; PEREIRA, M. E. C. Phytotoxicity of fungicides in papaya: Physiological and yield effects. **Crop Protection**, v. 112, p. 1-7, 2018.

MARIN, S. L. D.; GOMES, J. A.; SALGADO, J. S. A Cultura do mamoeiro: Tecnologias de produção. In: SIMPÓSIO DO PAPAYA BRASILEIRO, 7., 2018, Vitória, ES. Produção e Sustentabilidade hídrica: Anais. Vitória, ES: Incaper, 2018.

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

MORAES, S. R. G.; VENTURA, J. A.; LIMA, J. S. S. Epidemiology and symptomatology of *Asperisporium caricae* in papaya. **Plant Disease**, v. 105, n. 2, p. 345-351, 2021.

MOREIRA, T. R.; SILVA, S. F.; GANDINE, S. M. S.; SOUZA, K. B.; SENHORELO, A. P.; HEITOR, F. D.; PARAJARA, M. C.; RIBEIRO, W. R.; GONÇALVES, M. S.;

PINHEIRO, A. A.; BILLO, D.; ARAÚJO, E. F.; NASCIMENTO, G. S. P.; BERUDE, L. C.; BARROS, Q. S.; SILVA, R. F.; SANTOS, G. M. A. D. A.; SANTOS, A. R. Thermal favorability for the *Oidium caricae* and *Asperisporium caricae* in areas of edaphoclimatic aptitude for the Carica papaya. **Journal of Thermal Biology**, v. 92, 2020.

OECD; FAO. **OECD-FAO Agricultural Outlook 2025–2034**. Paris: OECD Publishing; Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2025. Disponível em: https://www.oecd-ilibrary.org/agriculture-and-food/oecd-fao-agricultural-outlook-2025-2034_3eb15914-en. Acesso em: 21 abr. 2025

OLIVEIRA, A.A.R.; DANTAS, J.L.L. Reação de genótipos de mamão à varíola (*Asperisporium caricae*), sob condições de campo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 17, Belém. **Anais**. Sociedade Brasileira de Fruticultura: Belém, PA, 2002. 4p

OLIVEIRA-JÚNIOR, E. N.; PASTANA, R. F.; VIVAS, M. Wild *Vasconcellea* species as sources of resistance genes to *Asperisporium caricae* in papaya breeding. **Euphytica**, v. 219, n. 1, p. 12, 2023.

PASTANA, S. P.; SILVEIRA, T. F.; VIVAS, S.; SANTA-CATARINA, M.; AZEVEDO, R., SANTOS, N.; A. O., D.; PEREIRA, M. G. Topcross hybrids in papaya: Genes derived from backcrossing provide resistance to multiple diseases. **Crop Protection**, 105240, 2020.

PEREIRA, E. S.; VENTURA, J. A.; FERREIRA, C. U.; LIMA, J. S. S.; COSTA, H. R. Resíduos de fungicidas em mamão: impactos na comercialização e saúde pública. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 40, n. 2, e-422, 2018.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2021.

SANTOS, C. A. F.; VIVAS, M.; SILVA, S. O.; OLIVEIRA, E. J.; PEREIRA, M. G. Challenges in breeding papaya for durable resistance to foliar diseases in Brazil. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 22, n. 2, e38542221, 2022.

SANTOS, H. G. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5 Brasília: EMBRAPA, 356 p. 2018.

SANTOS, P. H. D.; SILVEIRA, S. F.; VIVAS, M.; CARVALHO, B. M; PEREIRA, M. G. Alternative control to black spot disease in papaya genotypes. **Summa Phytopathologica**, v. 43, n. 1, p. 60-62, 2017.

SHANTAMMA, S. G.; MANTUR, S.C.; CHANDRASHEKAR, K.; RANGASWAMY, BHEEMANAGOUDA. Status of black spot of papaya (*Asperisporium caricae*): A new emerging disease. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**. 7:11, 2018.

STEVENS J. Papaw diseases. **Proceedings Florida Horticultural Society**. 1939;52: 57-63.

SHREEDEVASENA, S.; MANORANJITHAM, S. K.; RAJENDRAN, L.; PARIMALADEVI, R. In-vitro evaluation of different fungicides against black leaf spot causing fungus *Asperisporium caricae* in papaya. **International Journal of Plant & Soil Science**, v. 34, n. 23, p. 803-808, 2022.

TUNSAGOOL, P.; PLOYPETCH, S.; JARESTITTHIKUNCHAI, J.; ROYTRAKUL, S.; CHOOWONGKOMON, K.; RATTANASRISOMPORN, J. Efficacy of cyclic lipopeptides obtained from *Bacillus subtilis* to inhibit the growth of *Microsporium canis* isolated from cats. **Heliyon**, v. 7, n. 9, e07980, 2021.

VENTURA, J. A.; REZENDE, J. A. M. Doenças do mamoeiro. In: L. AMORIM, J.A.M. REZENDE, A. BERGAMIM FILHO and L.F.A. CAMARGO, eds. **Manual de fitopatologia: doenças das plantas cultivadas**. 5. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, pp. 497-510, 2016.

VIVAS, J. M. S.; SILVEIRA, S. F.; SANTOS, P. H. D.; PINHO, D. B.; PEREIRA, O. L. Selection of fungi with biocontrol potential against the black spot disease of papaya. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 47, n. 4, p. 369-376, 2017.

VIVAS, M.; SILVEIRA, S. F.; CARDOSO, D. L.; PEREIRA, M. G.; SANTOS, P. Henrique D.; FERREGUETTI, G. A. Capacidade combinatória e heterose para resistência a pinta-preta em mamoeiro por meio de análise dialélica. **Tropical Plant Pathology**, v. 37, n. 5, p. 326-332, 2012.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo foi elaborado a fim de identificar e selecionar genótipos de mamoeiro resistentes às doenças podridão-do-pé e pinta-preta, bem como avaliar a eficácia do controle biológico no manejo dessas doenças, visando alternativas sustentáveis para a gestão fitossanitária.

Embora não tenham sido encontrados genótipos com imunidade total à *Phytophthora palmivora*, foi possível identificar uma variação genética significativa, com alguns genótipos, como BRS-L78, BGCA-154, BGCA-177 e outros, apresentando maior resistência ou tolerância à podridão-do-pé. Por outro lado, genótipos como BGCA-253, BGCA-011 e BGCA-254 mostraram-se mais suscetíveis, sugerindo a existência de materiais genéticos que podem ser selecionados para o melhoramento da resistência à doença. Vale ressaltar que a diversidade genética do patógeno e a natureza quantitativa da resistência precisam ser levadas em consideração para a aplicação desses resultados no campo.

Em relação ao controle biológico, os tratamentos com *Trichoderma* spp. e *Bacillus* spp. mostraram o maior efeito inibitório contra *P. palmivora*, destacando-se a linhagem 10433 pela sua eficiência consistente. Embora o tratamento biológico tenha demonstrado resultados promissores, o controle químico apresentou uma tendência de maior eficácia, especialmente na redução da severidade da pinta-preta.

Os resultados obtidos neste estudo fornecem informações valiosas sobre a resistência dos genótipos de mamoeiro à podridão-do-pé e à pinta-preta, destacando a importância da seleção de cultivares mais tolerantes a essas doenças. A identificação de genótipos como o BGCA-254, que demonstraram maior resistência, é um passo fundamental nas estratégias de melhoramento genético da cultura. No entanto, ainda é necessário aprofundar os estudos sobre as características de resistência desses genótipos, bem como suas interações com o patógeno, para entender melhor os mecanismos envolvidos e, assim, a abordagem integrada, que leve em conta as particularidades genéticas dos genótipos e a eficiência das diferentes formas de controle, podendo proporcionar uma gestão fitossanitária mais eficiente e sustentável para a cultura do mamoeiro.