

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS  
CAMPUS DE ENGENHARIAS E CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
CURSO DE AGRONOMIA**

**MARIA EDUARDA LINO DA COSTA**

**ANTAGONISMO DE FITOPATÓGENOS POR ACTINOBACTÉRIAS ISOLADAS  
DA CAATINGA**

**Rio Largo/AL**

2025

MARIA EDUARDA LINO DA COSTA

**ANTAGONISMO DE FITOPATÓGENOS POR ACTINOBACTÉRIAS ISOLADAS  
DA CAATINGA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
ao Curso de Agronomia da Universidade  
Federal de Alagoas, como requisito parcial à  
obtenção do título de Bacharelado em  
Agronomia

Orientador: Prof. Dr.<sup>a</sup> Tânia Marta Carvalho  
dos Santos

**Rio Largo/AL**

2025

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

C837a Costa, Maria Eduarda Lino da.

Antagonismo de fitopatógenos por actinobactérias isoladas da caatinga. / Maria Eduarda Lino da Costa. – 2025.

42 f.: il.

Orientador(a): Tânia Marta Carvalho dos Santos.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) – Graduação em Agronomia, Campus de Engenharias e Ciências Agrárias, Universidade Federal de Alagoas. Rio Largo, 2025.

Inclui bibliografia

1. Controle biológico. 2. *Lasiodiplodia pseudotheobromae*. 3. *Paracidovorax citrulli*. 4. *Pectobacterium carotovorum* pv. 5. Sustentabilidade Agrícola. I. Título.


CDU: 582: 632.9

## Folha de Aprovação

MARIA EDUARDA LINO DA COSTA

### Antagonismo de Fitopatógenos por Actinobactérias isoladas da Caatinga


Trabalho de Conclusão de Curso submetido à banca examinadora do curso de Agronomia da Universidade Federal de Alagoas e aprovada em 07 de julho de 2025.

Documento assinado digitalmente  
 **TANIA MARTA CARVALHO DOS SANTOS**  
Data: 07/07/2025 21:38:44-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---


Orientador(a) - Prof. Dr<sup>a</sup>. Tania Marta Carvalho dos Santos  
Universidade Federal de Alagoas – UFAL

#### Banca examinadora:

Documento assinado digitalmente  
 **JOAO MANOEL DA SILVA**  
Data: 08/07/2025 05:13:53-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


---

Examinador(a) Externo(a) – Prof. Dr. João Manoel da Silva  
Instituto Federal de Alagoas – IFAL

Documento assinado digitalmente  
 **PAULA CIBELLY VILELA DA SILVA**  
Data: 10/07/2025 09:19:10-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Examinador(a) Externo(a) - Ms. Paula Cibelly Vilela da Silva  
RENORBIO

Documento assinado digitalmente  
 **YAMINA COENTRO MONTALDO**  
Data: 08/07/2025 17:21:34-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Examinador(a) Interno(a) – Prof. Dr.<sup>a</sup> Yamina Coentro Montaldo  
Universidade Federal de Alagoas – UFAL

Dedico este trabalho à menina de 14 anos que sonhou com nosso futuro. Conseguimos. E continuarei buscando ainda mais.

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha profunda gratidão à minha família, que me apoiou incondicionalmente durante esta jornada, especialmente à minha mãe, Robervania Lino da Silva. Sem ela e seu persistente incentivo à educação, certamente eu não estaria concluindo esta graduação hoje, nem teria trilhado o caminho que trilhei.

A minha orientadora de pesquisa, Prof. Dr<sup>a</sup> Tânia Marta Carvalho dos Santos, por todos os anos no Laboratório de Microbiologia Agrícola do *Campus* de Engenharias e Ciências Agrárias, com quem aprendi muito mais do que ciência, aprendi também sobre vida.

Ao meu orientador de monitoria, Prof. Dr. Jakes Halan de Queiroz Costa, por todas as palavras assertivas e de incentivo ao longo da graduação.

A todos os professores que fizeram e fazem intimamente parte da minha evolução acadêmica e pessoal, e a quem eu tenho a honra e prazer de chamar de amigos: Prof. Dr<sup>a</sup> Yamina Coentro Montaldo, Prof. Dr. João Manoel da Silva, Prof. Ms. Paula Cibelly Vilela da Silva, Prof. Dr. Cicero Cerqueira Cavalcanti Neto, Prof. Dr<sup>a</sup> Leila de Paula Rezende.

Aos meus queridos amigos do Laboratório de Microbiologia Agrícola que passaram todos esses anos dividindo momentos, risadas, conquistas e aprendizados. Os nomes são muitos e não quero ousar esquecer ninguém, mas com a certeza de que eles sabem quem são.

Aos meus amigos de sala de aula, que estiveram comigo nas trincheiras durante a graduação: Suzanne Sargia Mousinho Lucena Cavalcanti Silva, Mayara Oliveira Souza, Danilo Nascimento Santos e Clara Beatriz Ataíde. Expresso minha eterna gratidão por compartilharem comigo este processo, por vezes desafiador e cansativo, mas que vencemos juntos. Vocês foram essenciais para que eu seguisse em frente.

Por último mas não menos importante, quero agradecer a mim. Eu quero me agradecer por acreditar em mim. Eu quero me agradecer por fazer todo esse trabalho duro. Eu quero me agradecer por nunca desistir. Eu quero me agradecer por tentar fazer mais certo do que errado. Eu quero me agradecer por ser eu em todos os momentos.

“Se você está buscando a verdade, se está realmente buscando a verdade, então tudo no seu caminho é útil.”

(Comer, Rezar, Amar. 2010)

## RESUMO

As actinobactérias são conhecidas por sua capacidade de produzir substâncias antimicrobianas e vêm ganhando destaque como alternativas ao uso de defensivos químicos. A fim de explorar sua capacidade de produzir metabólitos com potencial antimicrobiano em antagonismo a fungos e bactérias fitopatogênicas que afetam culturas agrícolas de importância econômica, avaliou-se o potencial de controle biológico de quatro isolados de actinobactérias provenientes do solo rizosférico de espécies do Bioma Caatinga. Foram realizados testes de antagonismo direto por meio da técnica de cultura pareada, antagonismo indireto pela produção de compostos voláteis e análise do índice de antagonismo. Os fitopatógenos testados neste ensaio foram: *Lasiodiplodia pseudotheobromae*, *Fusarium* sp., *Pectobacterium carotovorum* pv. *carotovorum*, *Paracidovorax citrulli*, *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* e *Xanthomonas citri* pv. *viticola*. Os dados indicam que, embora com intensidades variáveis, todos os isolados demonstraram atividade antagonista e possuem potencial para aplicação em estratégias sustentáveis de manejo fitossanitário. O isolado J1 destacou-se dentre todos pela eficiente produção de metabólitos secundários antimicrobianos que inibiram significativamente o crescimento de *P. carotovorum* pv. *carotovorum* e *X. campestris* pv. *campestris* em antagonismo direto, com porcentagens de inibição de 80,55% e 59%, respectivamente. Além disso, produziu compostos orgânicos voláteis inibitórios sobre *X. citri* pv. *viticola* e *P. citrulli* com porcentagens de inibição de 96%. O isolado C5 apresentou o segundo melhor desempenho, demonstrando potencial inibitório contra o crescimento de *X. campestris* pv. *campestris*, com inibição de 45,5% no teste de antagonismo direto. Também produziu compostos voláteis com potencial de controle sobre *X. citri* pv. *viticola* e *P. citrulli* com porcentagens de inibição de 96% e 75%, respectivamente.

Palavras-chave: controle biológico; *Lasiodiplodia pseudotheobromae*, *Fusarium* sp., *Pectobacterium carotovorum* pv. *carotovorum*, *Paracidovorax citrulli*, *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* e *Xanthomonas citri* pv. *viticola*; sustentabilidade agrícola.

## ABSTRACT

Actinobacteria are known for their ability to produce antimicrobial substances and have gained prominence as alternatives to chemical pesticides. In order to explore their capacity to produce metabolites with antimicrobial potential against phytopathogenic fungi and bacteria that affect economically important crops, the biocontrol potential of four actinobacterial isolates obtained from the rhizospheric soil of species native to the Caatinga biome was evaluated. Direct antagonism tests were performed using the dual culture technique, indirect antagonism was assessed through the production of volatile compounds, and the antagonism index was analyzed. The phytopathogens tested in this study were: *Lasiodiplodia pseudotheobromae*, *Fusarium* sp., *Pectobacterium carotovorum* pv. *carotovorum*, *Paracidovorax citrulli*, *Xanthomonas campestris* pv. *campestris*, and *Xanthomonas citri* pv. *viticola*. The data indicate that, although with varying intensities, all isolates exhibited antagonistic activity and have potential for application in sustainable plant disease management strategies. Isolate J1 stood out among all others for its efficient production of antimicrobial secondary metabolites that significantly inhibited the growth of *P. carotovorum* pv. *carotovorum* and *X. campestris* pv. *campestris* through direct antagonism, with inhibition rates of 80.55% and 59%, respectively. In addition, it produced inhibitory volatile organic compounds against *X. citri* pv. *viticola* and *P. citrulli*, with inhibition rates of 96%. Isolate C5 showed the second-best performance, demonstrating inhibitory potential against the growth of *X. campestris* pv. *campestris*, with 45.5% inhibition in the direct antagonism test. It also produced volatile compounds with potential control over *X. citri* pv. *viticola* and *P. citrulli*, with inhibition percentages of 96% and 75%, respectively.

Keywords: biological control; *Lasiodiplodia pseudotheobromae*, *Fusarium* sp., *Pectobacterium carotovorum* pv. *carotovorum*, *Paracidovorax citrulli*, *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* e *Xanthomonas citri* pv. *viticola*; agricultural sustainability.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>13</b>
<b>2.1 Actinobactérias .....</b>	<b>13</b>
<b>2.2 Micro-organismos Fitopatogênicos .....</b>	<b>15</b>
2.2.1 <i>Lasiodiplodia</i> .....	15
2.2.2 <i>Fusarium</i> .....	16
2.2.3 <i>Xanthomonas</i> .....	18
2.2.4 <i>Pectobacterium</i> .....	19
2.2.5 <i>Paracidovorax citrulli</i> .....	20
<b>3 MATERIAL E METÓDOS .....</b>	<b>22</b>
<b>3.1 Local de investigação.....</b>	<b>22</b>
<b>3.2 Delineamento Experimental e Análises Estatísticas .....</b>	<b>23</b>
<b>3.3 Teste de Antagonismo Direto.....</b>	<b>23</b>
<b>3.4 Teste de Antagonismo Indireto .....</b>	<b>24</b>
<b>3.5 Índice de Antagonismo .....</b>	<b>25</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>27</b>
<b>4.1 Antagonismo Direto.....</b>	<b>27</b>
<b>4.2 Antagonismo Indireto (Produção de Voláteis).....</b>	<b>30</b>
<b>4.3 Índice de Antagonismo .....</b>	<b>34</b>
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>36</b>
<b>6 REFERÊNCIAS .....</b>	<b>38</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A rizosfera é a porção de solo que circunda as raízes das plantas e onde as interações microbiológicas são intensificadas, constituindo um microecossistema altamente dinâmico, que influencia diretamente a produção e a qualidade do ambiente edáfico. A Caatinga – único bioma exclusivamente brasileiro – abriga uma rica biodiversidade ainda subexplorada, especialmente no que se refere à diversidade microbiológica do seu solo, com destaque para rizobactérias produtoras de metabólitos bioativos.

Nos últimos anos tem se estudado o potencial de micro-organismos que habitam ambientes extremos, como a exemplo da caatinga, para avaliar a capacidade de produção de metabólitos secundários de interesse sob condições climáticas adversas (LINS, 2014). Os metabólitos bioativos produzidos por micro-organismos do solo são importantes por sua capacidade de interação com outros sistemas vivos, promovendo benefícios para as plantas e o próprio solo.

Os metabólitos secundários são compostos orgânicos não essenciais para o desenvolvimento primário dos micro-organismos, que geralmente derivam dos processos do metabolismo secundário e não possuem função específica, podendo ser considerados produtos de excreção. Apesar de não desempenharem função específica no desenvolvimento primário, esses metabólitos podem possuir mecanismos de interesse, como ação antibiótica e antifúngica, que podem garantir a sobrevivência do micro-organismo no ecossistema.

Práticas agrícolas intensivas que promovem a degradação do solo e aumentam sua temperatura, interferem diretamente nos processos biológicos do ambiente edáfico. Essa alteração impacta populações de bactérias, fungos e actinobactérias que fazem associação com as plantas e que são importantes nos ciclos biogeoquímicos, como bactérias solubilizadoras de fosfato e fixadoras de nitrogênio. Esse desequilíbrio favorece o crescimento de populações microbianas fitopatogênicas.

A utilização de micro-organismos no controle biológico de fitopatógenos apresenta-se como uma alternativa sustentável para a agricultura, por não apresentar danos ao meio ambiente e não oferecer riscos à saúde humana. Esses agentes biológicos podem promover o crescimento de plantas, melhorar a qualidade do solo e reduzir o uso de defensivos químicos, principalmente no que se refere ao controle de doenças de plantas, mitigando a resistência de patógenos aos princípios ativos sintéticos.

O emprego de bactérias do solo tem se consolidado como uma alternativa promissora aos métodos tradicionais de cultivo e manejo de doenças. Em especial, as Rizobactérias Promotoras de Crescimento de Plantas (RPCP) que têm contribuído para uma agricultura mais eficiente e sustentável, com foco na segurança alimentar, no aumento da produtividade, na proteção das plantas e no fortalecimento do setor agroeconômico.

As actinobactérias têm se mostrado excelentes produtoras de substâncias antimicrobianas contra micro-organismos fitopatogênicos (RUANPANUN et al., 2010). O gênero *Streptomyces* é responsável por cerca de 75% dos antibióticos clínicos, como eritromicina e tetraciclina. Outros gêneros, como *Frankia* e *Arthrobacter*, contribuem para o crescimento vegetal por meio da fixação de nitrogênio, produção de auxinas e solubilização de fosfato, enquanto *Micromonospora* produz enzimas como amilases e celulasas. *Rhodococcus*, *Amycolatopsis* e *Actinomyces* se destacam na produção de pigmentos naturais com potencial biotecnológico (SILVA et al. 2025).

Como forma de mitigar impactos ambientais e combater a resistência aos agentes convencionais, cresce a necessidade de novos compostos antimicrobianos para o controle biológico de pragas e fitopatógenos. Torna-se essencial a investigação de actinobactérias isoladas do solo semiárido nordestino, especialmente quanto ao seu potencial antimicrobiano com vistas a aplicações sustentáveis na agricultura.

Diante disso, objetivou-se por este estudo avaliar o potencial de controle de isolados de Actinobactérias, isoladas de solo rizosférico de espécies do Bioma Caatinga quanto à sua capacidade de inibir patógenos vegetais que afetam culturas agrícolas de importância econômica, contribuindo para o desenvolvimento de práticas agrícolas mais sustentáveis.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Actinobactérias

As Rizobactérias Promotoras de Crescimento de Plantas (RPCP) são microorganismos que vivem livremente na rizosfera, formam associações simbióticas com plantas e colonizam os tecidos internos dos vegetais (GLICK, 2012). Essas bactérias são conhecidas assim por sua capacidade de potencializar o crescimento das plantas, principalmente do sistema radicular, que proporciona maior acesso e aproveitamento de nutrientes e água (AHEMAD; KIBRET, 2014).

As RPCP apresentam características de interesse já identificadas, como: tolerância a estresse salino, degradação/tolerância a pesticidas, desintoxicação de metais pesados, controle biológico de patógenos, produção de metabólitos secundários como fitohormônios, sideróforos, antibióticos, produção de amônia, capacidade de fixar nitrogênio e solubilização de fosfato e potássio (PRASAD et al., 2019).

Dentre os grupos com maior potencial de aplicação agrícola, destacam-se as actinobactérias, que vêm sendo amplamente estudadas nos últimos anos devido ao seu potencial como RPCP.

As Actinobactérias são bactérias Gram-positivas filamentosas amplamente distribuídas na natureza, contêm alto teor de guanina-citosina (57–75%) em seu genoma, comumente encontradas no solo, especialmente na rizosfera de solos secos e alcalinos. Possuem características que as assemelham tanto a bactérias quanto fungos, mas são distintas o suficiente para serem classificadas como bactérias, pertencendo à ordem Actinomycetales. Esta ordem é caracterizada pelo crescimento de micélio vegetativo e aéreo, possuindo hifas aéreas verdadeiras, sendo elas responsáveis pelo característico cheiro “terroso” do solo fresco e saudável (BHATTI; HAQ; BHAT, 2017).

As hifas dessas bactérias, semelhantes às fúngicas, apresentam diâmetro entre 0,2 a 0,5  $\mu\text{m}$ , sendo tipicamente ramificadas e formando um micélio típico de coloração variável, que é unicelular durante a fase inicial de crescimento. O micélio vegetativo se desenvolve no interior do substrato, promovendo sustentação e absorção de nutrientes, enquanto o micélio aéreo projeta-se na superfície do substrato, tendo função reprodutiva e origina os corpos de frutificação (LIMA, 2017).

As actinobactérias também são capazes de formar esporos que contribuem para sua sobrevivência em ambientes extremos, com uma diversidade morfológica associada à formação desses esporos. O ciclo de crescimento de algumas espécies é voltado prioritariamente para as fases de esporulação, nas quais ocorre formação de micélio vegetativo e reprodutivo. Essa etapa é fundamental, pois é nela que ocorre a produção de pigmentos e substâncias antimicrobianas (LINS, 2014).

As actinobactérias, possuem ampla distribuição no solo e, frequentemente, superam populações fúngicas em abundância, constituindo entre 10% a 50% da população de micro-organismos do solo (LIMA, 2017). A quantidade de células de actinobactérias presentes no solo pode variar entre  $10^6$  e  $10^9$  por grama de solo (MELO, 2009).

O gênero *Streptomyces* é predominante entre as cepas de actinobactérias isoladas do solo, correspondendo a mais de 95% do total. Dentre os compostos bioativos produzidos pelas actinobactérias, os antibióticos destacam-se como os mais relevantes para fins biotecnológicos, pois elas são responsáveis pela produção da maior parte dos antibióticos naturais conhecidos, além de lhes proporcionarem vantagem competitiva e adaptativa no ambiente edáfico (BARKA et al., 2016).

Segundo Melo (2009), muitos compostos produzidos por actinobactérias contêm diferentes tipos de aminoácidos — tanto os comuns que formam proteínas (proteínogênicos) quanto os aminoácidos modificados (não proteínogênicos) —, além de funcionalidades derivadas de policetídeos, que são metabólitos secundários com ampla gama de bioatividades, tais como antibacteriana e antifúngica. A presença dessas características indica o envolvimento de enzimas multifuncionais como as sintetases de peptídeos não ribossômicos (NRPSs) e as sintases de policetídeos (PKSs). As NRPSs participam da produção de antibióticos importantes, como as penicilinas, vancomicinas e ciclosporinas. Já os PKSs modulares, intimamente relacionados às NRPSs, estão descritos na biossíntese de antibióticos produzidos por actinobactérias, como as eritromicinas.

Os metabólitos produzidos por actinobactérias apresentam utilidades biotecnológicas com possibilidade de aplicação em diversas áreas. Esses micro-organismos destacam-se pela capacidade de sintetizar antibióticos e pigmentos naturais com propriedades antioxidantes e anticancerígenas, atuam na promoção do crescimento vegetal por meio da produção de fitohormônios, fixação biológica de nitrogênio e solubilização de fósforo, e são utilizados como biofertilizantes, biopesticidas e agentes de biorremediação (SILVA et al. 2025).

O potencial de cepas de actinobactérias para controle de fitopatógenos, sobretudo pela produção de metabólitos secundários com ação antibiótica e antifúngica tem sido objeto de

estudo frequente. Cheng et al. (2010) identificaram *Streptomyces malaysiensis* exibindo alta atividade antifúngica contra *Fusarium oxysporum*, *Rhizoctonia solani*, *Cladosporium cladosporioides*, *Fusarium chlamydosporum*, *Colletotrichum gloeosporioides*, *Pestalotia spp.* e *Alternaria mali*. Padilla-Gálvez et al. (2021) relataram *Streptomyces sp.* demonstrando atividade antagonista significativa contra *Pectobacterium carotovorum* e *P. atrosepticum*, reduzindo a maceração de tecidos em batatas e colonizando a rizosfera.

Cordovez et al. (2015) descreveram compostos voláteis produzidos por cepas de *Streptomyces sp.* que retardaram o crescimento de *Rhizoctonia solani*, reduzindo de 41 a 57% do raio de crescimento micelial do patógeno. Wang et al. (2023) descreveram os efeitos de compostos voláteis produzidos por bactérias do solo sobre o crescimento de *Ralstonia solanacearum*, pontuando as alterações moleculares e de virulência no patógeno quando submetidas à estes compostos.

Todos esses estudos e as características presentes nesses micro-organismos edáficos indicam as actinobactérias como um inoculante promissor, com grande potencial de aplicação em práticas agrícolas sustentáveis, especialmente no controle biológico de fitopatógenos e na promoção do crescimento vegetal.

## 2.2 Micro-organismos Fitopatogênicos

### 2.2.1 *Lasiodiplodia*

Espécies fúngicas do gênero *Lasiodiplodia sp.* (Pat. Griffon & Maubl.) são cosmopolitas em regiões tropicais e subtropicais e possuem uma alta gama de hospedeiros, causando diferentes sintomas nas plantas contaminadas.

No Brasil apresentam grande incidência em espécies frutíferas, como maracujazeiro, aceroleira, espécies do gênero *citrus*, coqueiro, goiabeira, mamoeiro, além de outras bastante conhecidas, como a cirigueleira, a cajaraneira e o umbuzeiro, que já foram também relatadas como hospedeiras desse patógeno. Os sintomas incluem seca dos ponteiros, resinose, queima das folhas, podridão de frutos, cancro em ramos, caules e raízes, lesões em estacas, folhas, frutos e sementes, além de incitar a morte de mudas e enxertos (FREIRE et al., 2004; SOUZA, 2024).

Além de frutíferas, o fungo *Lasiodiplodia sp.* também afeta espécies florestais. Comumente transmitido por sementes, sendo as coníferas muito susceptíveis ao seu ataque, associado a sementes do gênero *Pinus spp.* causa redução no potencial germinativo e no

desenvolvimento de plântulas, assim como podridão de sementes (MACIEL, 2016). Segundo o mesmo autor, o controle efetivo desses patógenos torna-se difícil por causa de suas características, tratando-se de um fungo cosmopolita e polífago com uma grande quantidade de hospedeiros. Em viveiros é um dos problemas mais limitantes, provocando prejuízos no pré e pós-emergência, sendo patogênico às sementes de *P. elliotii* e *P. taeda*.

O patógeno *Lasiodiplodia pseudotheobromae* (A.J.L. Phillips, A. Alves & Crous, 2008) foi descrito pela primeira vez por Alves *et al.* (2008) como uma espécie críptica dentro do complexo *L. theobromae*, ou seja, que só pode ser diferenciada por meio de análises moleculares, como sequenciamento de DNA. O patógeno foi diferenciado de *L. theobromae* com base em análises filogenéticas de diversos isolados obtidos de uma variedade de hospedeiros.

Conforme descrito pela *European Food Safety Authority* (EFSA) em 2023, *L. pseudotheobromae* apresenta um ciclo de vida semelhante ao de *L. theobromae*, sendo capaz de sobreviver em órgãos vegetativos mortos infectados, em restos culturais presentes na superfície do solo e no próprio solo, predominantemente sob a forma de micélio, picnídios e clamidósporos. Seus conídios (picnidiósporos) são dispersos principalmente a curtas distâncias pela ação da água da chuva, irrigação ou vento com chuva, e há evidências de que insetos também possam atuar como vetores, à semelhança do que ocorre com *L. theobromae*.

A infecção se dá, em grande parte, por meio de ferimentos provocados por práticas de manejo como podas, ação de insetos, eventos climáticos adversos, e também durante o processo de colheita, transporte, manuseio e armazenamento dos frutos. Após a infecção, o fungo coloniza o sistema vascular e se dissemina silenciosamente antes da manifestação de sintomas visíveis. Podendo se manter de forma latente e assintomática, até que as condições ambientais e fisiológicas da planta favoreçam sua reativação e o consequente desenvolvimento da doença (EFSA, 2023).

### 2.2.2 *Fusarium*

Os fungos do gênero *Fusarium* sp. (Snyd. & Hans.) estão amplamente distribuídos em todo o mundo, principalmente em regiões tropicais e subtropicais. Segundo Milanesi (2009), esses micro-organismos conseguem sobreviver por longos períodos no solo graças à formação de estruturas chamadas clamidósporos e as espécies do gênero possuem alta

variabilidade genética e podem colonizar ramos, folhas, inflorescências e frutos por meio de conídios dispersos pelo vento ou pela água.

O sintoma mais comum do patógeno é necrose das raízes de plantas em solos agrícolas colonizados por ele. Estão associados a doenças de diversas culturas de importância econômica, como milho, trigo, cana-de-açúcar, frutíferas e algumas espécies arbóreas, sendo também agentes patogênicos de viveiros, ocasionando sintomas de pré e pós-emergência, com as plântulas podendo apresentar sintomas de murcha, tombamento, apodrecimento de cotilédones e lesão seguida de ruptura do hipocótilo (WALKER et al., 2016).

Maciel (2016) relata vários estudos que apontam danos causados pelo fungo em diversas espécies de Pinus, desde podridão das sementes até o tombamento de mudas. Cita-se danos como *damping-off* e podridão radicular em *P. taeda* e *P. elliottii*, danos às plântulas de *P. nigra* causando *damping-off* em pré-emergência e redução no potencial de germinação, e relatos de *F. circinatum*, agente causal do cancro-resinoso, associado a Pinus no Brasil, sendo este patógeno considerado um fungo quarentenário.

O patógeno possui uma ampla gama de hospedeiros. A espécie *F. graminearum* está associada a produção de micotoxinas em cereais, tornando-os inseguros para consumo humano e animal e fins de maltagem, *F. solani* está mais associado à podridão de raízes e colo, enquanto *F. oxysporum*, como uma das espécies mais conhecida do gênero, apresenta inúmeras *formae specialis* (*f. sp.*), especializadas em atacar diversos hospedeiros, causando mais de 100 tipos de murchas vasculares em culturas agrícolas ao redor do mundo (BAHADUR, 2021). Ainda segundo o mesmo autor a coloração dos fitopatógenos pode variar de pálida, rosa, bordô a violeta-azulado, dependendo da espécie e das condições de crescimento.

As espécies *F. oxysporum* e *F. graminearum* foram classificadas entre os dez fitopatógenos fúngicos de maior importância científica e econômica mundial (DEAN et al., 2012).

*F. oxysporum* é causador de doenças como: o “Mal do Panamá” em banana por *F. oxysporum f.sp. cubense*, “murcha-do-Fusarium” em tomate, feijão, soja, batata-doce, melão, melancia e uva por *F. oxysporum f. sp. lycopersici*, *F. oxysporum f.sp. phaseoli*, *F. oxysporum f.sp. glycines* e *F. oxysporum f.sp. batatas*, *F. oxysporum f.sp. niveum*, *F. oxysporum f.sp. melonis* e *F. oxysporum f.sp. herbemontis* respectivamente, e “fusariose do algodoeiro” em algodão por *F. oxysporum f. sp. vasinfectum* (MICHEREFF et al., 2005).

*F. graminearum* é causador de doenças nas partes aéreas de plantas, como giberela ou podridão de cabeça (*head blight*) do trigo, cevada, aveia e arroz silvestre, podridão de

colmo e espiga do milho, e podridão de grãos de sorgo, sendo responsável por produzir micotoxinas, sendo as principais produzidas por essa espécie o deoxinivalenol (DON) e a zearalenona, que tornam os grãos altamente inapropriados para quaisquer tipos de consumo (LESLIE; SUMMERELL, 2006).

### 2.2.3 *Xanthomonas*

As espécies bacterianas do gênero *Xanthomonas* (Dowson, 1939) são agentes causais de doenças que afetam uma ampla gama de culturas agrícolas de importância econômica. Três espécies de *Xanthomonas* foram classificadas entre os dez fitopatógenos bacterianos de maior importância científica e econômica mundial (MANSFIELD et al., 2012).

Esses fitopatógenos são caracterizados como micro-organismos bastonetes flagelados, gram-negativos, formadores de colônias amarelas, embora algumas linhagens possam apresentar coloração branca. Possuem cerca de 31 espécies documentadas, sendo utilizada a subdivisão “patovar” para demonstrar diversidade infraespecífica, ou seja, a variação de cepas bacterianas dentro de uma mesma espécie de organismo patogênico que apresentam especificidade no ataque de um conjunto de hospedeiros. Alguns dos sintomas causados são necrose nas folhas, murchamento, apodrecimento, hipertrofia, hiperplasia, crestamento, seca de ponteiros e cancos (CATARA et al., 2021).

A espécie *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* afeta principalmente espécies da família Brassicaceae e é o agente causal da Podridão Negra das Crucíferas, com as plantas estando suscetíveis à doença durante todos os seus estágios de desenvolvimento, sendo mais severa em plântulas jovens. Caracterizada por lesões negras na superfície das plantas contaminadas, os sintomas iniciam com lesões amarelas em formato de V que progridem para o centro através do tecido vascular. Nesse tipo de infecção a bactéria alcança as nervuras que ficam escuras, resultando, em geral, na necrose foliar (ISSAZADEH et al., 2012).

A espécie *Xanthomonas citri* pv. *viticola* é o agente causal do Cancro Bacteriano da Videira e é considerada praga quarentenária pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Instrução Normativa nº 2, de 6 de fevereiro de 2014 (MAPA, 2014), sendo os estados da Bahia, Pernambuco e Roraima, os mais afetados por sua incidência.

Conforme descrito por Gama et al. (2018), o patógeno afeta todas as partes aéreas da planta da videira, os sintomas mais comuns da doença são cancos nos galhos, ramos, pecíolos e nervuras. Nas folhas começam como pequenas manchas encharcadas de água

delineadas por nervuras, tornando-se lesões escuras, com ou sem halo clorótico. Podendo as nervuras e os tecidos circundantes exibir manchas escuras. Nas bagas os sintomas aparecem como várias lesões deprimidas e escuras. Em alguns casos, pode-se observar exsudação sobre as lesões.

#### 2.2.4 *Pectobacterium*

As bactérias pectinolíticas do gênero *Pectobacterium* (Waldee, 1945) são necrotróficos oportunistas, com ampla distribuição e colonizam diversos nichos ecológicos. Possuem alto nível de virulência, comprometendo a integridade das células hospedeiras com a degradação da parede celular vegetal, causando gradualmente ao colapso fisiológico das plantas (LOC et al., 2022). A espécie *Pectobacterium carotovorum* já foi classificada entre os dez fitopatógenos de maior importância científica e econômica mundial (MANSFIELD et al., 2012).

*P. carotovorum* é agente etiológico da podridão mole e da canela preta em várias espécies vegetais, sendo amplamente distribuídas em todo o mundo (EMBRAPA, 2008). Esses fitopatógenos são caracterizados como micro-organismos gram-negativos em forma de bastonetes, que causam extensa maceração dos tecidos vegetais devido a uma variedade de enzimas secretadas, com a patogenicidade associada principalmente à ação de pectinases extracelulares, como pectina liase e poligalacturonase (ISSAZADEH et al., 2012).

A bactéria penetra na planta através de ferimentos mecânicos ou aberturas naturais e, simultaneamente com a penetração, ocorre a produção de enzimas pectolíticas que causam a degradação da lamela média das células, provocando grandes danos às plantas. Afetam principalmente culturas de ciclo curto e anual, com pouco tecido lignificado (EMBRAPA, 2008).

Causadora da podridão mole em culturas de grande importância no mundo *P. carotovorum* pv. *carotovorum* provoca perdas significativas especialmente em batata, causando decomposição e apodrecimento dos hospedeiros no campo e durante o armazenamento, sendo a podridão da batata um dos fatores mais limitantes de sua produção ao redor do mundo, resultando em perdas econômicas significativas. O patógeno é de difícil controle, sendo disseminado por água, insetos e ferramentas contaminadas (RYSKALIYEVA; BOGDANOV; RYSKALIYEV, 2024). Ainda, segundo os mesmos autores a inoculação dos patógenos nos hospedeiros causa podridão total dos frutos,

descoloração dos tecidos vegetais, danos a folhas e caules, murcha, tombamento e morte das plantas.

#### 2.2.5 *Paracidovorax citrulli*

*Paracidovorax citrulli* (Schaad et al. 1978) (Du et al., 2023), já foi anteriormente classificada como *Acidovorax citrulli* (Schaad et al., 2008). Em 2023, com base em análises genômicas, a espécie foi transferida para um novo gênero, ***Paracidovorax***, por Du et al. (2023).

A bactéria é o agente etiológico da mancha bacteriana das cucurbitáceas ou mancha bacteriana dos frutos (BFB, do inglês *Bacterial Fruit Blotch*), sendo uma bactéria gram-negativa, flagelada, aeróbica, mesofílica que afeta espécies da família Cucurbitaceae, capaz de gerar perdas de 80 a 100% em cultivos de melão e afetando gravemente outras culturas como melancia, abóbora e pepino. Sua disseminação ocorre através de material vegetativo contaminado, como sementes e mudas, o que fez muitos países dotarem medidas restritivas de importação, já que o patógeno é de difícil controle (ISLAM et al., 2019).

O fitopatógeno tem sua ocorrência limitada a cucurbitáceas e sua virulência é mais severa em plantas de melão e melancia. Os sintomas típicos da mancha bacteriana nas frutas incluem lesões verde-oliva encharcadas de água nas cascas, começando como pequenos, mas estendendo-se rapidamente à decomposição interna dos frutos (MELO et al., 2014).

Em frutos de melancia ocorrem pequenas lesões irregulares e encharcadas na casca que se expandem causando escurecimento e rachaduras nas lesões. Frutos de melão apresentam lesões pequenas, frequentemente afundadas, na casca com apodrecimento interno do fruto. Outros sintomas podem ocorrer em outras partes da planta, como folhas cotiledonares e hipocótilo. Nas plântulas pode ocorrer necrose no hipocótilo e lesões encharcadas nas folhas cotiledonares, próximo as nervuras, com um possível tombamento e morte das mesmas. Em folhas de plantas adultas os sintomas são mais difíceis de diagnosticar podendo ser discretos ou confundidos com outros estresses. (BURDMAN; WALCOTT, 2012).

O fitopatógenos é capaz de persistir em diversos substratos vegetais, como restos de plantas, bandejas de cultivo e plantas daninhas, tem sua multiplicação favorecida em ambientes quentes e úmidos como estufas, e períodos prolongados de molhamento foliar,

como irrigação por aspersão ou chuvas frequentes, com a bactéria penetrando nos tecidos vegetais por estômatos abertos ou feridas (ZHAO et al., 2020)

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Local de investigação

Os ensaios foram conduzidos no Laboratório de Microbiologia Agrícola do *Campus* de Engenharias e Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas, na cidade de Rio Largo – AL, situada a 9°29'45" S, 35°49'54" W e 165 m de altitude.

Os isolados de Actinobactéria utilizadas neste estudo pertencem ao repositório do Laboratório de Microbiologia do *Campus* de Engenharias e Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas. Quatro isolados microbianos foram selecionados para os testes, conforme critérios de interesse experimental. Foram eles: C5, C8, C10 e J1.

Tabela 1. Coordenadas do local de coleta das amostras de solo

Isolados	Local	Coordenadas
C5, C8 e C10	Jurema – PE	8°43'51.6"S 36°08'52.8"W
J1	Olho D'água do Casado – AL	9°30'39.6"S 37°49'08.4"W

Fonte: autora, 2025

Os isolados de fungos e bactérias fitopatogênicas foram cedidos, respectivamente, pelo Laboratório de Fitopatologia Molecular do *Campus* de Engenharias e Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas e pela Coleção de Bactérias Fitopatogênicas do Laboratório de Fitobacteriologia da Universidade Federal Rural de Pernambuco.

Tabela 2. Identificação dos isolados fitopatogênicos

ISOLADOS FITOPATOGÊNICOS	
SIGLA	NOME CIÊNTIFICO
APD03	<i>Lasiodiplodia pseudotheobromae</i>
A3.26	<i>Fusarium sp.</i>
PCC109	<i>Pectobacterium carotovorum pv. carotovorum</i>
AC1.39	<i>Paracidovorax citrulli</i>
XCC005	<i>Xanthomonas campestris pv. campestris</i>
XCV117	<i>Xanthomonas citri pv. viticola</i>

Fonte: autora, 2025

Para este ensaio os isolados de Actinobactérias foram cultivadas em meio de cultura sólido Amido-Caseína e incubadas por sete dias. Os isolados de fungos e bactérias foram cultivadas em meio de cultura sólido Batata-Dextrose-Ágar (BDA) e Nutriente-Ágar (NA), respectivamente, e incubadas por igual período.

### 3.2 Delineamento Experimental e Análises Estatísticas

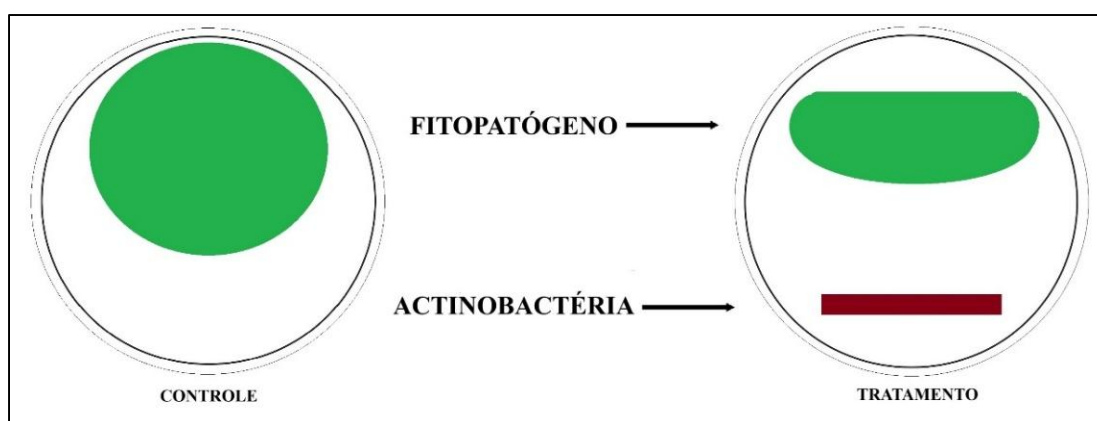
Todos os ensaios foram em delineamento inteiramente casualizado com três repetições. Os dados não homogêneos foram transformados  $\arcsen(\sqrt{\%})$  e submetidos à análise de variância aplicando-se o teste F ( $P \geq 0,05$ ) e as médias comparadas pelo teste Scott Knott ( $P \geq 0,05$ ) ou regressão polinomial.

### 3.3 Teste de Antagonismo Direto

Para o teste de antagonismo direto foi realizada a técnica de Cultura Pareada, com posterior visualização pelo confronto com placas controle, com a ocorrência ou não de antagonismo sendo quantificada pela aferição, com o auxílio de um paquímetro, do halo de inibição do crescimento do micélio para fungos e crescimento da colônia para bactérias.

As actinobactérias e os fitopatógenos foram inoculados em polos opostos da placa de Petri de 90mm $\varnothing$ , contendo meio de cultura BDA para os testes com fungos e meio de Cultura NA para os testes com bactérias.

Figura 1. Ilustração do teste de antagonismo direto entre actinobactérias e fitopatógenos, utilizados para avaliar a produção de metabólitos antifúngicos e antibióticos.



Fonte: autora, 2025

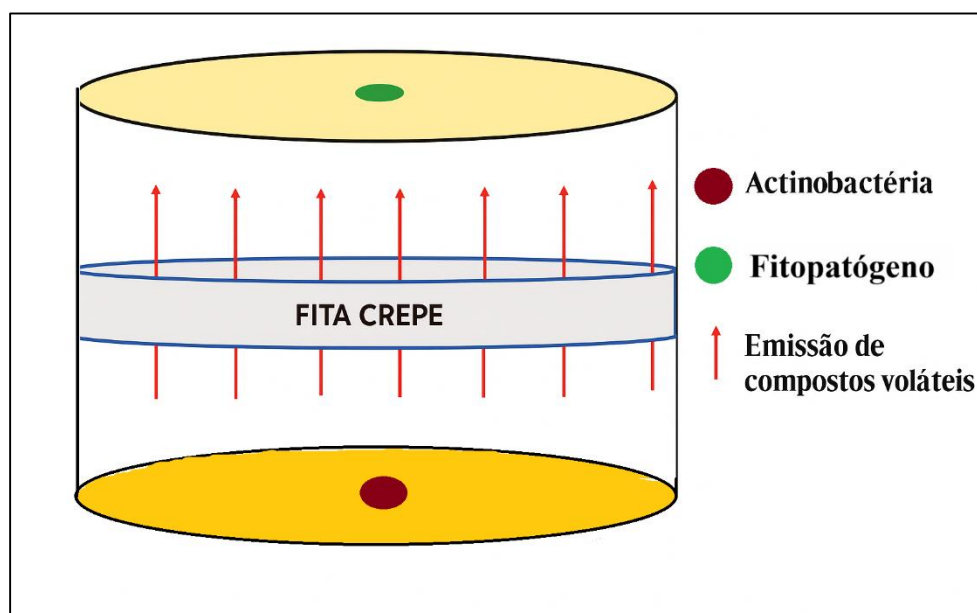
Os testes foram realizados em triplicata com tempo de incubação de quatro dias, tomando como referência de tempo a média da quantidade de dias que os patógenos levaram para ocupar todo o diâmetro da placa controle nos testes. Para o controle negativo, foi inoculado somente o fitopatógeno em um polo da placa. A porcentagem (%) de inibição é baixa entre 0 e 35, moderada entre 36 e 70 e alta quando maior ou igual a 70 (BELL; WELLS; MARKHAM, 1982).

### 3.4 Teste de Antagonismo Indireto

Para o antagonismo indireto (produção de voláteis) utilizaram-se placas de Petri septadas que impedem o contato entre os micro-organismos. A inibição do crescimento dos patógenos foi avaliada visualmente, com base na liberação de compostos voláteis pelas actinobactérias.

O ensaio foi adaptado do método descrito por Yang et al. (2018), de modo que os micro-organismos antagonistas foram inoculados no centro das placas de Petri de 90mm $\varnothing$ , com meio de cultura BDA para o teste com fungos e meio de cultura NA para o teste com bactéria. As bases das placas do mesmo diâmetro foram encaixadas e vedadas com fita crepe. Para o controle negativo, foi inoculado somente os fitopatógenos na placa.

Figura 2. Ilustração do teste de antagonismo indireto entre actinobactérias e fitopatógenos, utilizados para avaliar a produção de compostos voláteis antifúngicos e antibióticos.



Os testes foram realizados em triplicata com tempo de incubação de quatro dias, tomando como referência de tempo a média da quantidade de dias que os patógenos levaram para ocupar todo o diâmetro da placa controle nos testes. Foi utilizado meio de cultura BDA para os testes com fungos e meio de Cultura NA para os testes com bactérias. A porcentagem (%) de inibição é baixa entre 0 e 35, moderada entre 36 e 70 e alta quando maior ou igual a 70 (BELL; WELLS; MARKHAM, 1982).

### 3.5 Índice de Antagonismo

As culturas de actinobactérias foram replicadas em meio sólido Amido-Caseína e incubadas por cinco dias. Em seguida, foram transferidas para 5mL de água deionizada autoclavada, e as suspensões celulares foram ajustadas para turbidez equivalente ao padrão 0,5 da Escala de McFarland, correspondente a aproximadamente  $1,5 \times 10^8$  UFC/mL.

As bactérias fitopatogênicas foram replicadas em meio NA e os fungos foram cultivados em meio BDA, com tempo de incubação de cinco dias.

O disco do patógeno foi inoculado no centro da placa de Petri de 90mm $\varnothing$ . Em uma das extremidades da placa foi inoculado 10 $\mu$ L de solução bacteriana dos isolados de actinobactéria. As duas inoculações foram feitas no mesmo dia.

Os testes foram realizados em triplicata com tempo de incubação de cinco dias, tomando como referência de tempo a média da quantidade de dias que os patógenos levaram para ocupar todo o diâmetro da placa controle nos testes. Com o auxílio de um paquímetro mediu-se os raios de crescimento dos patógenos nas placas.

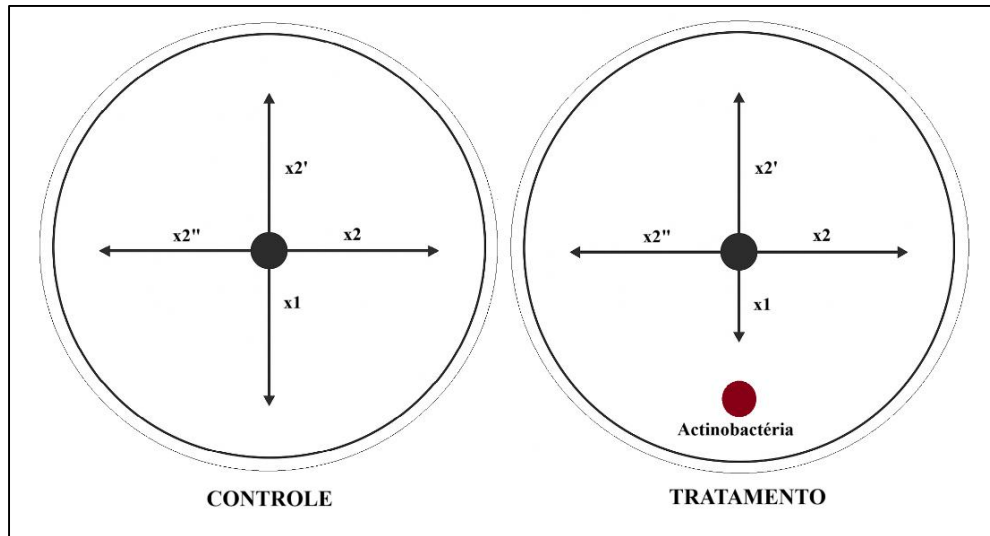
Foi utilizado meio de cultura BDA para os testes com fungos e meio de cultura NA para os testes com bactérias. Para o controle negativo, foi inoculado somente o fitopatógeno na placa.

O índice de antagonismo (IA) foi calculado conforme descrito anteriormente por Silva et al. (2016), utilizando a seguinte fórmula:

$$IA\% = 100 - \left( \frac{rm}{RM} \right) \times 100$$

Onde **rm** representa o raio da colônia em direção ao antagonista, e **RM** representa a média dos três raios da colônia nas outras direções.

Figura 3. Ilustração do teste para aferição do índice de antagonismo entre actinobactérias e fitopatógenos.



Fonte: autora, 2025

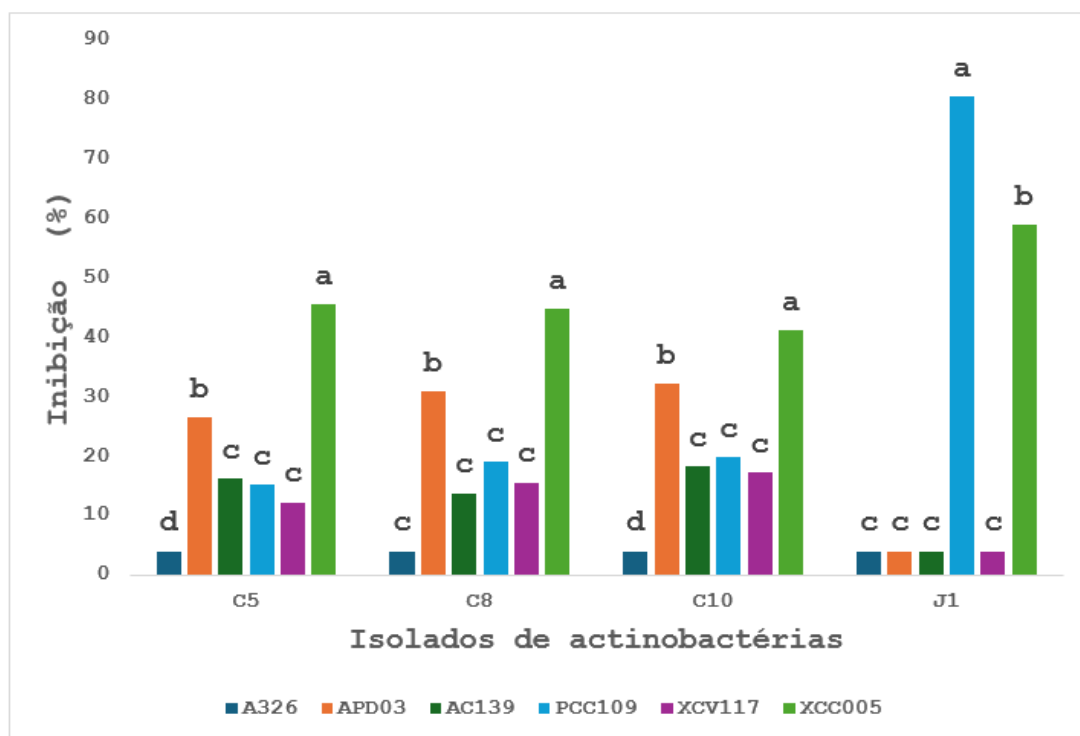
## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Antagonismo Direto

No teste de antagonismo direto, os isolados de actinobactérias apresentaram ação diferenciada sobre os fitopatógenos testados. Os dados indicam que, embora com intensidades variáveis, todos os isolados demonstraram atividade antagonista e possuem potencial para aplicação em estratégias sustentáveis de manejo fitossanitário

A análise estatística dos experimentos conduzidos utilizando a técnica de Cultura Pareada, indica que o isolado J1 demonstrou o maior percentual de inibição de crescimento para os patógenos PCC109 e XCC005 (Figura 05-B e 05-D), com porcentagens de inibição de 80,55% e 59%, respectivamente. Os patógenos A3.26, APD03, AC1.39 e XCV117, para o mesmo isolado, demonstraram baixos percentuais de inibição, sem diferenças estatísticas significativas entre si.

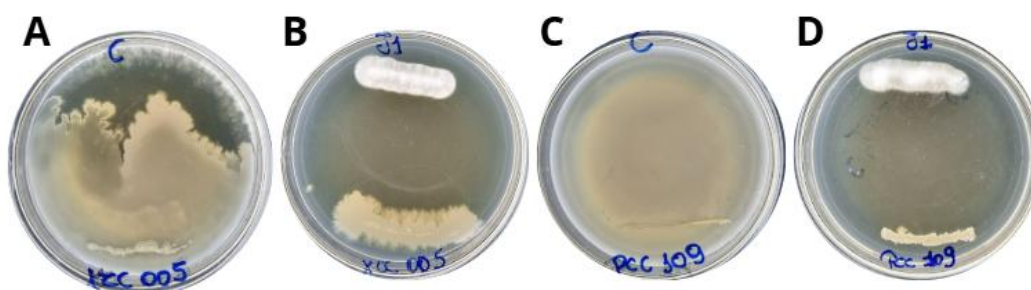
Figura 04. Inibição do crescimento de bactérias e fungos fitopatogênicos por isolados de actinobactérias pela técnica de cultura pareada (dados transformados em  $\text{arcsen} \sqrt{\%}$ ).



Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, Teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ). A porcentagem (%) de inibição é baixa entre 0 e 35, moderada entre 36 e 70 e alta quando maior ou igual a 70.

Estudos têm demonstrado potencial de actinobactérias como agente de biocontrole de fitopatógenos, o que reforça o potencial do isolado J1. Padilla-Gálvez et al. (2021) relataram *Streptomyces sp.* demonstrando atividade antagonista significativa contra *Pectobacterium carotovorum*, reduzindo a maceração de tecidos em batatas e colonizando a rizosfera. Ferraz et al. (2015) relatam *Streptomyces setonii* eficaz na redução dos sintomas da mancha bacteriana em folhas de tomateiro causada por espécies de *Xanthomonas*. Além dessas duas espécies, não se pode descartar que J1 ainda pode possuir potencial no controle de outros fitopatógenos que não foram explorados nesse ensaio.

Figura 05. Comparação entre as placas controle e as placas teste, avaliando o antagonismo entre o isolado de actinobactéria J1 e os fitopatógenos XCC005 e PCC109.

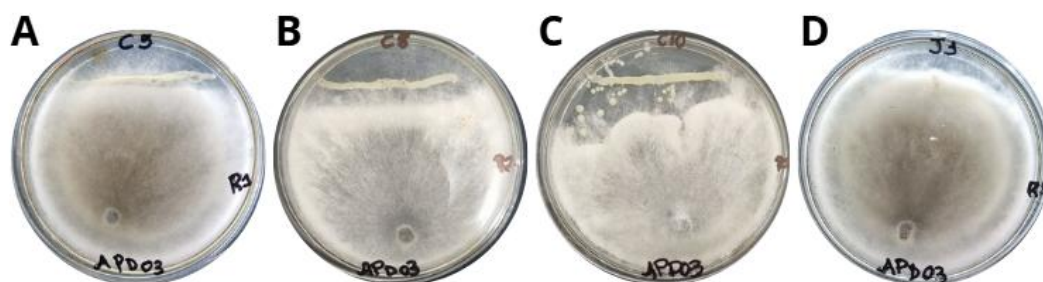


Fonte: autora, 2025

O fitopatógeno XCC005 destaca-se sendo o único a apresentar considerável percentual de inibição frente a ação antagonista dos isolados C5, C8 e C10, com porcentagens de inibição entre 41% e 45,5%. Os isolados continuam a demonstrar padrão semelhante, exibindo baixo percentual inibitório frente ao crescimento dos patógenos PCC109, A3.26, APD03, AC1.39 e XCV117, sem diferenças estatísticas significativas entre si.

O isolado APD03 apresentou halo de inibição de antagonismo frente à todas as actinobactérias testadas neste ensaio (Figura 6). Foi observado que, nos primeiros dias de cultivo, o antagonista conseguia criar um halo de inibição ao crescimento do patógeno, indicando supressão inicial do crescimento fúngico. No entanto, com o avanço do tempo, o fungo conseguia ultrapassar essa barreira, projetando seus micélios sobre a zona de inibição até conseguir tomar a placa inteira.

Figura 06. Ação antagonística dos isolados de actinobactéria frente ao crescimento de APD03.



Fonte: autora, 2025

Os patógenos A3.26 e APD03 obtiveram baixo ou nenhum percentual de inibição, ou alteração de crescimento quando submetidos ao antagonismo de J1, C5, C8 e C10, sem diferença estatística significativa entre si. O desempenho observado no controle fúngico pode estar relacionado com a baixa ação antifúngica pelos isolados de actinobactéria para controle das espécies de fungos fitopatogênicos testadas.

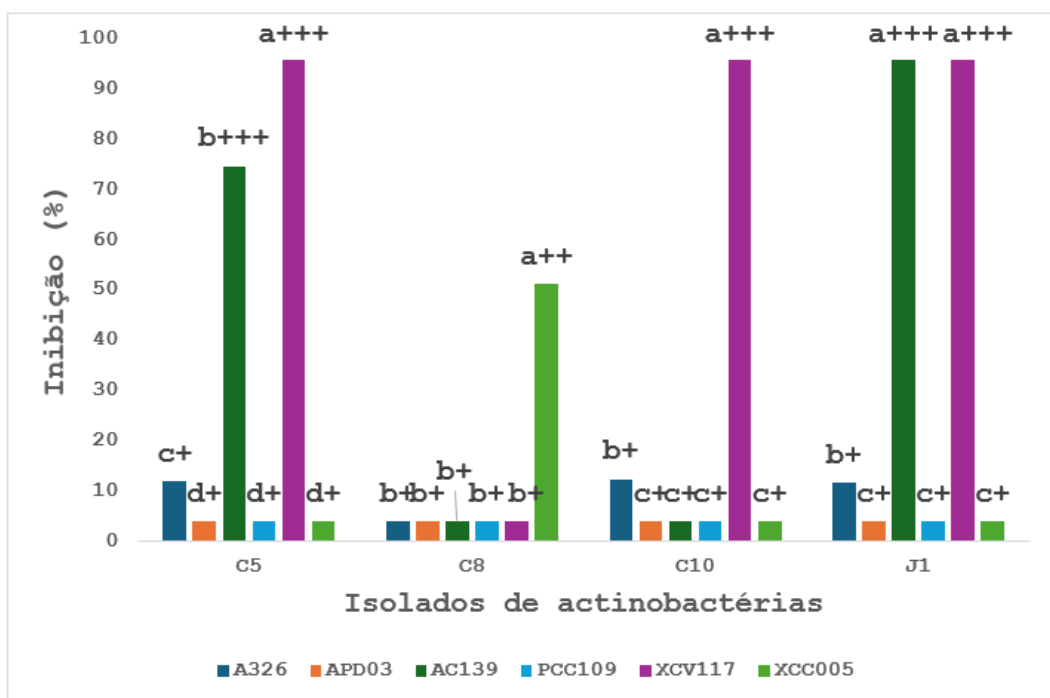
Outros estudos, como o de Ventura et al. (2018), relatam *Streptomyces sp.* exibindo atividade antagonística à *Pyricularia grisea*, *Sclerotinia sclerotiorum*, *Phoma caricae papaya*, *Alternaria alternata* e *Phytophthora sojae*. Cheng et al. (2010) também relatam *Streptomyces malaysiensis* exibindo alta atividade antifúngica para fitopatogênicos como *Rhizoctonia solani*, *Cladosporium cladosporioides*, *Colletotrichum gloeosporioides*, *Pestalotia spp.* e *Alternaria mali*. Esses resultados indicam que os isolados podem possuir potencial de controle frente a outros gêneros e espécies fúngicas que não foram testados nesse ensaio.

Pesquisas como a de Bhatti et al. (2017) indicam que *Streptomyces* e outras actinobactérias apresentaram maior eficácia antifúngica quando submetidas a otimizações específicas de cultivo e formulação, o que também sugere que ajustes nas condições experimentais podem influenciar significativamente os resultados. Melo (2009) ainda enfatiza que a produção de metabólitos secundários requer a análise específica de cada espécie, uma vez que alterações nas condições de cultivo podem tanto suprimir sua síntese quanto induzir a formação de compostos distintos dos desejados.

## 4.2 Antagonismo Indireto (Produção de Voláteis)

No teste de antagonismo indireto pela produção de compostos orgânicos voláteis (*volatile organic compounds* – VOCs), os dados indicam que todos os isolados apresentaram atividade antagonista contra ao menos um dos fitopatógenos testados, demonstrando potencial para aplicação em estratégias sustentáveis de manejo fitossanitário.

Figura 07. Antagonismo de compostos orgânicos voláteis ao crescimento de bactérias e fungos fitopatogênicos em placas com barreira, na presença de isolados de actinobactérias (dados transformados em  $\text{arcse}^{\sqrt{0}}$ ).

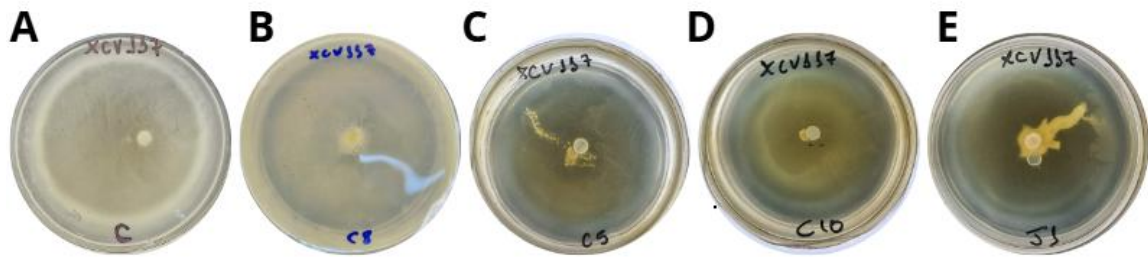


Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, Teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ).

% de inibição: baixa +; moderada ++; alta +++

A análise estatística dos experimentos, conduzidos utilizando a técnica de placas septadas, indica que os compostos orgânicos voláteis produzidos pelos isolados de actinobactérias C5, C10 e J1 testados neste ensaio, apresentaram alta inibição ao crescimento do patógeno XCV117 (Figura 08), com porcentagens de inibição de 96%, não sendo possível analisar visualmente crescimento bacteriano nas placas teste. As placas controle apresentaram crescimento esperado e o isolado C8 não apresentou ação inibitória ao crescimento do patógeno.

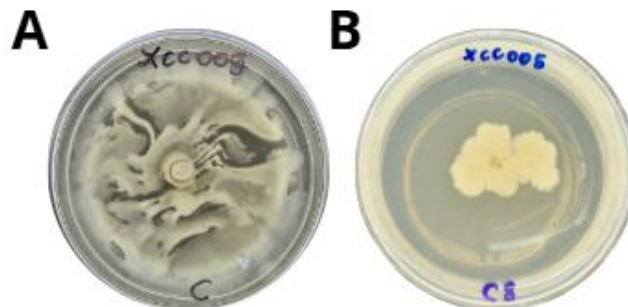
Figura 08. Crescimento do patógeno XCV117 frente à ação antagonística de compostos orgânicos voláteis produzidos pelos isolados de actinobactérias.



Fonte: autora, 2025

O isolado C8 apresentou potencial inibitório para o crescimento de XCC005 (Figura 09-B), com o crescimento do patógeno nos testes sendo consideravelmente menor que nas placas controle.

Figura 09. Crescimento do patógeno XCC005 frente à ação antagonística de compostos orgânicos voláteis produzidos pelo isolado de actinobactéria C8.



Fonte: autora, 2025

Le et al. (2022) demonstraram que a cepa *Streptomyces* sp. AN090126 é capaz de produzir VOCs, como dissulfeto de dimetila e trissulfeto de dimetila, que inibem significativamente o crescimento de fitopatógenos bacterianos, incluindo *Xanthomonas euvesicatoria*, agente causador da mancha bacteriana do pimentão.

Esse comportamento reforça a ideia de que diferentes cepas de actinobactérias podem apresentar espectros de ação específicos, e que a produção de VOCs pode afetar de formas distintas as espécies de *Xanthomonas*.

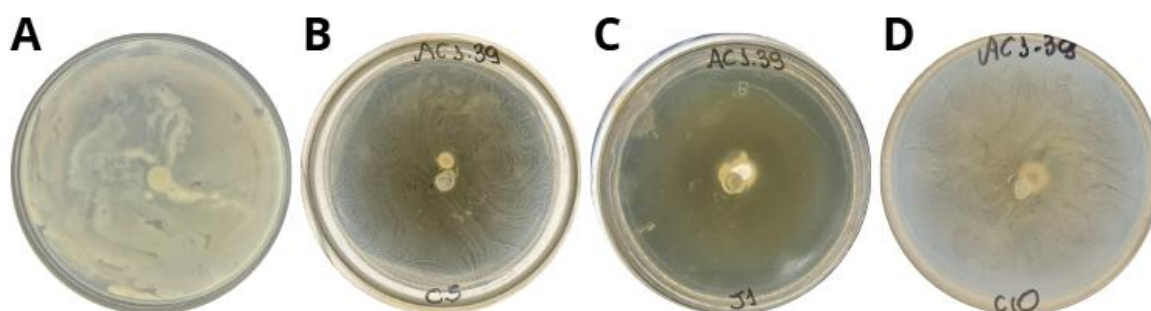
Para o patógeno AC1.39 os isolados J1 e C5 apresentaram alta inibição do crescimento do patógeno (Figura 10-B e 10-C), com porcentagem de inibição de 96% e 75%, respectivamente. Embora observou-se visualmente um crescimento bacteriano translúcido

mas comparativamente menor em relação as placas controle (Figura 10-A), indicando que os voláteis têm potencial inibitório sobre o crescimento do patógeno a ser explorado em estudos complementares. C10 (Figura 10-D) apresentou visualmente potencial inibitório do crescimento do patógeno comparado às placas controle, mas não possui resultado satisfatório como J1 e C5.

Rizaludin et al. (2023) publicaram um comentário científico intitulado “*Microbial volatiles mediate bacterial evolutionary dynamics*”, no qual discutem os efeitos dos compostos orgânicos voláteis sobre o desenvolvimento de bactérias. Os autores destacam que os VOCs microbianos podem causar alterações fisiológicas e moleculares em outros micro-organismos. Tais voláteis possuem a capacidade de penetrar as membranas celulares e induzir perturbações, como o aumento da permeabilidade celular, afetando diretamente processos como virulência, formação de biofilmes, produção de metabólitos secundários, resistência a antibióticos e o crescimento dos micro-organismos com os quais interagem.

Esse comentário reforça os resultados obtidos no presente estudo, sendo as observações relacionadas aos patógenos AC1.39, XCV117 e XCC005 consistentes com a literatura científica, a qual indica que compostos voláteis microbianos atuam interferindo na permeabilidade celular e em processos essenciais do patógeno, resultando na redução do crescimento bacteriano.

Figura 10. Crescimento do patógeno AC1.39 frente à ação antagonista de compostos orgânicos voláteis produzidos pelos isolados de actinobactérias J1, C5 e C10.



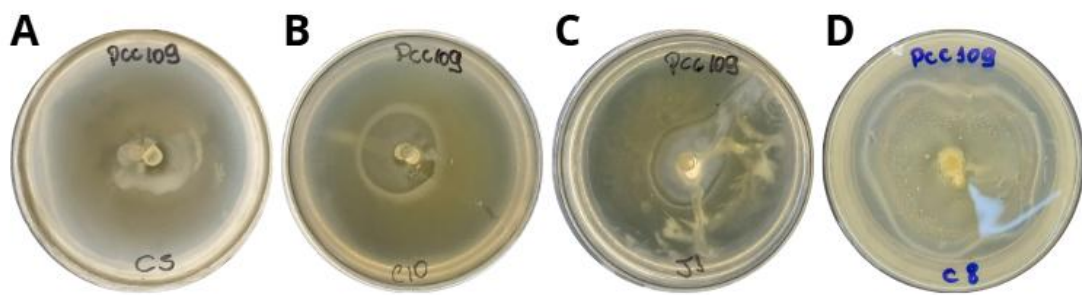
Fonte: autora, 2025

O patógeno PCC109 apresentou crescimento completo nas placas teste – o que, a princípio, segundo a análise estatística, indicaria que não houve ação antagonista entre os micro-organismos – porém, foi observado visualmente a formação de um halo translúcido ao redor do inóculo, coincidindo com a área de posicionamento dos isolados de actinobactéria (Figura 11). Essa evidência visual foi consistente em todos os tratamentos, sugerindo que,

mesmo sem inibição significativa do crescimento bacteriano, os isolados podem ter interferido fisiologicamente no desenvolvimento do patógeno, indicando um possível efeito de ação indireta.

O efeito indireto observado no patógeno PCC109 é relevante para o controle biológico, uma vez que, voltando às considerações de Rizaludin et al. (2023) sobre o tema, mesmo sem provocar diminuição expressiva da sua população, os compostos voláteis causaram perturbações no seu crescimento celular, o que justifica a realização de investigações futuras para melhor elucidação desses mecanismos.

Figura 11. Formação de halo translúcido ao redor do inoculo do patógeno PCC109 em ensaios de antagonismo indireto com isolados de actinobactérias.



Fonte: autora, 2025

Os patógenos A3.26 e APD03 obtiveram baixo ou nenhum percentual de inibição, ou alteração de crescimento ao serem expostos aos compostos orgânicos voláteis produzidos por J1, C5, C8 e C10, sem diferença estatística significativa entre si.

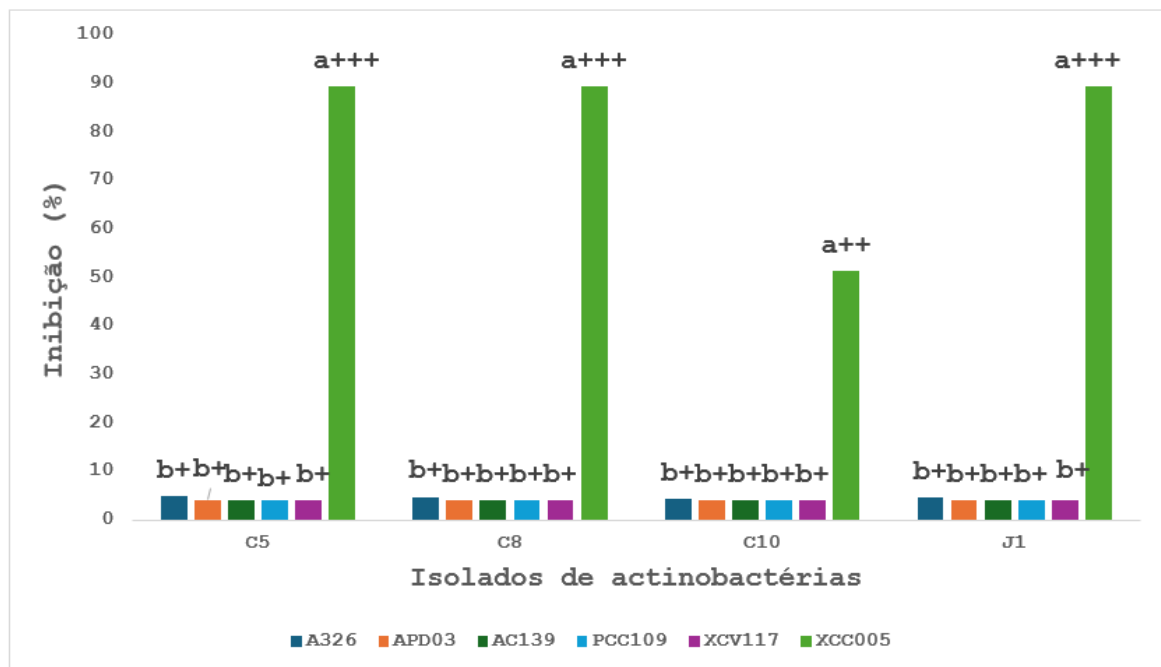
O desempenho observado no controle de fungos fitopatogênicos pode estar relacionado com a baixa produção de compostos voláteis com ação antifúngica pelos isolados de actinobactéria para controle das espécies fúngicas testadas nesse ensaio.

Cordovez et al. (2015) descreveram compostos voláteis produzidos por cepas de *Streptomyces sp.* que retardaram o crescimento de *Rhizoctonia solani*, reduzindo de 41 a 57% do raio de crescimento micelial do patógeno. Logo, há hipótese concreta de que, mesmo não demonstrando potencial antagonico sobre os patógenos testados nesse estudo, os isolados de actinobactéria podem apresentar potencial frente a outros micro-organismos, indicando a necessidade de estudos futuros sobre seus mecanismos de atuação.

### 4.3 Índice de Antagonismo

Os dados apresentados no gráfico demonstram que o patógeno *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* (XCC005) foi o único a apresentar sensibilidade significativa a concentração mínima de solução bacteriana no ensaio de microdiluição. Com destaque para os isolados C5, C8 e J1, que exibiram percentuais de inibição de 90%, e C10, com inibição próxima a 50%. Esses resultados são reforçados pelos testes de cultura pareada, que também evidenciaram a susceptibilidade específica de XCC005.

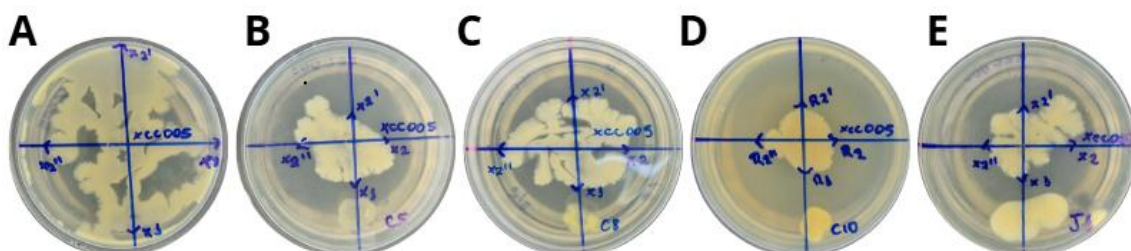
Figura 12. Índice de inibição do crescimento de bactérias e fungos fitopatogênicos por isolados de actinobactérias (dados transformados em  $\text{arcsen}(\%)$ ).



Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, Teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ).

% de inibição: baixa +; moderada ++; alta +++

Figura 13. Crescimento do patógeno XCC005 frente à ação antagonista dos isolados de actinobactérias C5, C8, C10 e J1.



Fonte: autora, 2025

Esse comportamento reforça a importância de ensaios antagônicos *in vitro*, mesmo considerando que os resultados podem variar em condições *in vivo*. Ensaio laboratorial como esse oferece uma alternativa de triagem eficiente e de baixo custo para seleção preliminar de micro-organismos promissores. Actinobactérias selecionadas com alta atividade de IA% podem posteriormente ser submetidas a validações em casa de vegetação ou campo.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo demonstrou o potencial biotecnológico de isolados de actinobactérias isoladas de solo rizosférico da Caatinga, evidenciando sua capacidade de inibir o crescimento de patógenos vegetais de importância agrícola.

Entre os isolados avaliados, destaca-se J1, que se mostrou eficaz tanto na produção de metabólitos secundários antimicrobianos quanto de compostos voláteis orgânicos com ação inibitória. Ele se destacou por inibir significativamente *P. carotovorum pv. carotovorum* e *X. campestris pv. campestris* no teste de antagonismo direto, e apresentou voláteis de potencial inibitório sobre o crescimento de *X. citri pv. viticola* e *P. citrulli*. Este resultado aponta para sua aplicabilidade como agente de controle biológico, com potencial uso em formulações biotecnológicas destinadas ao manejo sustentável de doenças agrícolas.

Os isolados C5, C8 e C10 também demonstraram potencial de inibição frente ao crescimento de *X. campestris pv. campestris* no teste de antagonismo direto, mas com baixa atividade inibitória frente a outros patógenos.

Na produção de compostos voláteis C5, junto a J1, aponta no controle de *X. citri pv. viticola* e *P. citrulli*. O isolado C10 apresentou alta atividade antagônica ao crescimento de *X. citri pv. viticola*. O isolado C8 se destaca como o único a demonstrar controle significativo frente ao crescimento de *X. campestris pv. campestris*.

Os dados reforçam a necessidade de estudos complementares para a melhor compreensão dos mecanismos de atuação dos isolados testados, aprofundando a caracterização química dos metabólitos produzidos por eles, bem como sua eficácia em condições de campo, ampliando suas possíveis aplicações em sistemas agrícolas.

Deve-se considerar a avaliação da atividade antimicrobiana das actinobactérias frente a outros fitopatógenos. Ressalta-se que a ausência de efeito inibitório ou de taxa de controle significativa sobre determinados patógenos não deve ser interpretada como um resultado negativo, mas sim como uma indicação de especificidade ou limitação do espectro de ação dos metabólitos produzidos.

Pontua-se também a importância da prospecção de micro-organismos em ambientes únicos como a Caatinga, bioma ainda pouco explorado do ponto de vista microbiológico, mas que se revela um reservatório promissor de micro-organismos de potencial biotecnológico. A biodiversidade microbiana da Caatinga, moldada por condições ambientais extremas, representa uma fonte estratégica para a descoberta de novas moléculas

bioativas e agentes de controle biológico adaptados a ambientes semiáridos, com potencial aplicação em sistemas agrícolas sustentáveis.

## 6 REFERÊNCIAS

- AHEMAD, M.; KIBRET, M.. Mechanisms and applications of plant growth promoting rhizobacteria: current perspective. **Journal of King saud University-science**, v. 26, n. 1, p. 1-20, 2014.
- ALVES, A., CROUS, P.W., CORREIA, A., PHILLIPS, A.J.L. Morphological and molecular data reveal cryptic speciation in *Lasiodiplodia theobromae*. **Fungal Diversity** 28: 1-13. 2008.
- BAHADUR, A. Current Status of *Fusarium* and Their Management Strategies. In: MIRMAJLESSI, S. M. (ed.). **Fusarium – An Overview of the Genus**. London: IntechOpen, 2021. reviewed 23 Sept. 2021, published 29 Oct. 2021. DOI: 10.5772/intechopen.100608.
- BARKA, E. A.; VATSA, P.; SANCHEZ, L.; GAVEAU-VAILLANT, N.; JACQUARD, C.; MEIER-KOLTHOFF, J. P.; KLENK, H.-P.; CLÉMENT, C.; OUHDOUCH, Y.; VAN WEZEL, G. P. Taxonomy, physiology, and natural products of Actinobacteria. **Microbiology and Molecular Biology Reviews** 80, 1–43, 2016. doi: 10.1128/MMBR.00019-15.
- BELL, D.K., WELLS, H.D. & MARKHAM, C.R. In vitro antagonism of *Trichoderma* species against six fungal plant pathogens. **Phytopathology**, 72: 379-382, 1982.
- BHATTI, A. A.; HAQ, S.; BHAT, R. A. Actinomycetes benefaction role in soil and plant health. **Microbial Pathogenesis**, v. 111, p. 458–467, 2017. DOI: 10.1016/j.micpath.2017.09.036.
- BURDMAN, S.; WALCOTT, R. *Acidovorax citrulli*: generating basic and applied knowledge to tackle a global threat to the cucurbit industry. **Molecular Plant Pathology**, v. 13, n. 8, p. 805–815, 2012. DOI: 10.1111/j.1364-3703.2012.00810.x.
- CARVALHO FILHO, R. C.; MELLO, S. C. M. “*Pectobacterium carotovorum*: taxonomia, identificação, sintomatologia, epidemiologia e controle”. **EMBRAPA RECURSOS**

**GENÉTICOS E BIOTECNOLOGIA**, 2008. Documentos, 261. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/191251>

CATARA, V.; CUBERO, J.; POTHIER, J.F.; BOSIS, E.; BRAGARD, C.; ĐERMIĆ, E.; HOLEVA, M.C.; JACQUES, M.-A.; PETTER, F.; PRUVOST, O.; ROBÈNE, I.; STUDHOLME, D. J.; TAVARES, F.; VICENTE, J. G.; KOEBNIK, R., COSTA, J. Trends in Molecular Diagnosis and Diversity Studies for Phytosanitary Regulated *Xanthomonas*. **Microorganisms**, 2021, 9, 862. DOI: 10.3390/microorganisms9040862

CHENG, J.; YANG, S. H.; PALANIYANDI, S. A.; HAN, J. S.; YOON, T.M.; KIM, T.J.; SUH, J.W. Azalomycin F complex is an antifungal substance produced by *Streptomyces malaysiensis* MJM1968 isolated from agricultural soil. **Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry**, v. 53, n. 5, p. 545–552, 2010. DOI: DOI:10.3839/jksabc.2010.084

CORDOVEZ, V.; CARRION, V. J.; ETALO, D. W.; MUMM, R.; ZHU, H.; VAN WEZEL, G. P.; RAAIJMAKERS, J. M. Diversity and functions of volatile organic compounds produced by *Streptomyces* from a disease-suppressive soil. **Frontiers in Microbiology**, Lausanne, v. 6, p. 1081, 2015. DOI: 10.3389/fmicb.2015.01081

DEAN, R.; VAN KAN, J. A. L.; PRETORIUS, Z. A.; HAMMOND-KOSACK, K. E.; DI PIETRO, A.; SPANU, P. D.; RUDD, J. J.; DICKMAN, M.; KAHMANN, R.; ELLIS, J.; FOSTER, G. D. The top 10 fungal pathogens in molecular plant pathology. **Molecular Plant Pathology**, v. 13, n. 4, p. 414–430, 2012. DOI: 10.1111/j.1364-3703.2011.00783.x

DU, J.; LIU, Y.; ZHU, H. Genome-based analyses of the genus *Acidovorax*: proposal of the two novel genera *Paracidovorax* gen. nov., *Paenacidovorax* gen. nov. and the reclassification of *Acidovorax antarcticus* as *Comamonas antarctica* comb. nov. and emended description of the genus *Acidovorax*. **Archives of Microbiology**, v. 205, p. 42, 2023. DOI: 10.1007/s00203-022-03379-7

EFSA – EUROPEAN FOOD SAFETY AUTHORITY. EFSA PLH PANEL (EFSA PANEL ON PLANT HEALTH); BRAGARD, C.; BAPTISTA, P.; CHATZIVASSILIOU, E.; DI SERIO, F.; GONTHIER, P.; JACQUES MIRET, J. A.; JUSTESEN, A. F.; MACLEOD, A.;

MAGNUSSON, C. S.; MILONAS, P.; NAVAS-CORTES, J. A.; PARNELL, S.; POTTING, R.; STEFANI, E.; THULKE, H.-H.; VAN DER WERF, W.; CIVERA, A. V.; YUEN, J.; ZAPPALÀ, L.; MIGHELI, Q.; VLOUTOGLOU, I.; MAIORANO, A.; STREISSL, F.; REIGNAULT, P. L. Scientific opinion on the Pest categorisation of *Lasiodiplodia pseudotheobromae*. **EFSA Journal**, [S.l.], v. 21, n. 1, p. 1–60, 2023. DOI: <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2023.7737>.

FERRAZ, H. G. M.; RESENDE, R. S.; MOREIRA, P. C.; SILVEIRA, P. R.; MILAGRES, E. A.; OLIVEIRA, J. R.; RODRIGUES, F. A. Antagonistic rhizobacteria and jasmonic acid induce resistance against tomato bacterial spot. **Bragantia**, Campinas, v. 74, n. 4, p. 417–427, 2015. DOI: 10.1590/1678-4499.0074.

FREIRE, F. C. O.; VIANA, F. M. P.; CARDOSO, J. E.; SANTOS, A. A. “Novos hospedeiros do fungo *Lasiodiplodia theobromae* no estado do Ceará”. Fortaleza: **EMBRAPA Agroindústria Tropical**, 2004. 6 P. (EMBRAPA Agroindústria Tropical. Comunicado Técnico, 91).

GAMA, M. A. S.; MARIANO, R. L. R.; SILVA-JUNIOR, W. J.; FARIAS, A. R. G.; BARBOSA, M. A. G.; FERREIRA, M. A. S. V.; COSTA-JUNIOR, C. R. L.; SANTOS, L. A.; SOUZA, E. B. “Taxonomic Repositioning of *Xanthomonas campestris* pv. *viticola* (Nayudu 1972) Dye 1978 as *Xanthomonas citri* pv. *viticola* (Nayudu 1972) Dye 1978 comb. nov. and Emendation of the Description of *Xanthomonas citri* pv. *anacardii* to Include Pigmented Isolates Pathogenic to Cashew Plant”. **International Journal of The American Phytopathological Society (APS)**, Volume 108, Number 10, October 2018. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-02-18-0037-R>

GLICK, B. R. Plant growth-promoting bacteria: mechanisms and applications. **Scientifica**, v. 2012, 2012. DOI: 10.6064/2012/963401

ISLAM, M-D. R.; HOSSAIN, M. R.; KIM, H-T.; JESSE, D. M. I.; ABUYUSUF, M-D.; JUNG, H-J.; PARK, J-I.; NOU, I-S. Development of molecular markers for detection of *Acidovorax citrulli* strains causing bacterial fruit blotch disease in melon. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 20, n. 11, p. 2715, 2 jun. 2019. DOI: 10.3390/ijms20112715

ISSAZADEH, K.; RAD, S. K.; ZARRABI, S.; RAHIMIBASHAR, M. R. “Antagonism of bacillus species against *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* and *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum*”. **African Journal of Microbiology Research** vol. 6(7), PP. 1615-1620, 23 FEBRUARY, 2012. Available online at <http://www.academicjournals.org/AJMR> DOI: 10.5897/AJMR12.075. ISSN 1996-0808 ©2012 Academic Journals.

LE, K. D.; YU, N. H.; PARK, A. R.; PARK, D.-J.; KIM, C.-J.; KIM, J.-C. Streptomyces sp. AN090126 as a biocontrol agent against bacterial and fungal plant diseases. **Microorganisms, Basel**, v. 10, n. 4, p. 791, 2022. DOI: 10.3390/microorganisms10040791.

LESLIE, J. F.; SUMMERELL, B. A. **The Fusarium laboratory manual**. 1. ed. USA: Blackwell Publishing, 2006. 388 p.

LIMA, J. V. L. Populações microbianas e antagonismo de actinobactérias sobre rizóbios em solos do semiárido. 2017. 81 f. Tese (Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais) - **Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará**, Fortaleza, 2017.

LINS, M. R. C. R. DISSERTAÇÃO “seleção de actinobactérias da rizosfera da caatinga com potencial para promoção de crescimento vegetal”. **Repositório Digital da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)**, 2014. Disponível em <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/12154>

LOC, M.; MILOŠEVIĆ, D.; IVANOVIĆ, Ž.; IGNJATOV, M.; BUDAKOV, D.; GRAHOVAC, J.; GRAHOVAC, M. Genetic Diversity of *Pectobacterium* spp. on Potato in Serbia. **Microorganisms**, 2022. DOI: 10.3390/microorganisms10091840

LPSN – List of Prokaryotic names with Standing in Nomenclature. Disponível em: <https://lpsn.dsmz.de>. Acesso em: 23 abr. 2025

MACIEL, C. G. Patógenos em sementes de *Pinus* spp. – Ênfase em *Lasiodiplodia* sp. e *Fusarium* spp. 2016. 178 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – **Universidade Federal de Santa Maria**. Santa Maria, 2016.

MANSFIELD, J.; GENIN, S.; MAGORI, S.; CITOVSKY, V.; SRIARIYANUM, M.; RONALD, P.; DOW, M.; VERDIER, V.; BEER, S. V.; MACHADO, M. A.; TOTH, I.; SALMOND, G.; FOSTER, G. D. Top 10 plant pathogenic bacteria in Molecular Plant Pathology. **Molecular Plant Pathology**, Oxford, v. 13, n. 6, p. 614–629, ago. 2012. DOI: 10.1111/j.1364-3703.2012.00804.x.

MELO, F. M. P., 2009. Bioprospecção de actinobactérias rizosféricas de milho (*Zea mays* L.) com atividade antifúngica. 2009. **Tese (Doutorado em Biotecnologia) – Universidade de São Paulo**. São Paulo, 2009.

MELO, L. A.; TEBALDI, N. D.; MEHTA, A.; MARQUES, A. S. A. Comparing *Acidovorax Citrulli* Strains From Melon And Watermelon: Phenotypic Characteristics, Pathogenicity And Genetic Diversity. **EMBRAPA Genetic Resources & Biotechnology**, 2014. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1006444/comparing-acidovorax-citrulli-strains-from-melon-and-watermelon-phenotypic-characteristics-pathogenicity-and-genetic-diversity>

MICHEREFF, S. J.; ANDRADE, D. E.G.T.; PERUCH, L. A. M.; MENEZES, M. Ecologia e manejo de patógenos radiculares em solos tropicais. Recife: UFRPE, **Imprensa Universitária**, 2005. p.1 – 18.

MILANESI, P.M. Caracterização, toxicidade e patogenicidade de *Fusarium* spp. em genótipos de soja em sistema plantio direto. 2009. 91 p. **Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria**. Santa Maria, 2009.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA), INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 2, DE 6 DE FEVEREIRO DE 2014. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sanidade-animal-e-vegetal/sanidade-vegetal/CANCRO%20DA%20VIDEIRA>

PADILLA-GÁLVEZ, N.; LUENGO-URIBE, P.; MANCILLA, S.; MAURIN, A.; TORRES, C.; RUIZ, P.; FRANCE, A.; ACUÑA, I.; URRUTIA, H. Antagonistic activity of endophytic actinobacteria from native potatoes (*Solanum tuberosum* subsp. *tuberosum* L.) against

*Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum* and *Pectobacterium atrosepticum*. **BMC Microbiology**, v. 21, p. 335, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12866-021-02393-x>.

PRASAD, M.; SRINIVASAN, R.; CHAUDHARY, M.; CHOUDHARY, M.; JAT, L. K. Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) for sustainable agriculture: perspectives and challenges. **PGPR amelioration in sustainable agriculture**, p. 129-157, 2019.

RIZALUDIN, M. S.; GARBEVA, P.; ZWART, M.; HU, J. Microbial volatiles mediate bacterial evolutionary dynamics. **The ISME Journal**, v. 17, p. 2144–2146, 2023. DOI: [10.1038/s41396-023-01530-w](https://doi.org/10.1038/s41396-023-01530-w).

RUANPANUN, P.; TANGCHITSOMKID, N.; HYDE, K. D.; LUMYONG, S. Actinomycetes and Fungi Isolated from Plant-parasitic Nematode Infested Soils: Screening of the Effective Biocontrol Potential, Indole-3-acetic Acid and Siderophore Production. **World Journal of Microbiology and Bio-technology**, v.26, n.9,p. 1569–1578, 2010.

RYSKALIYEVA, B. Zh.; BOGDANOV, I. I.; RYSKALIYEV, M. Zh. Methods of identification of phytopathogenic bacteria *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum*. **E3S Web of Conferences**, v. 202, p. 04005, 2024. DOI: [10.1051/e3sconf/202449404005](https://doi.org/10.1051/e3sconf/202449404005).

SILVA, M. C. S.; POLONIO, J. C.; QUECINE, M. C.; ALMEIDA, T. T.; BOGAS, A. C.; PAMPHILE, J. A.; PEREIRA, J. O.; ASTOLFI-FILHO, S.; AZEVEDO, J. L. Endophytic cultivable bacterial community obtained from the *Paullinia cupana* seed in Amazonas and Bahia regions and its antagonistic effects against *Colletotrichum gloeosporioides*. **Microbial Pathogenesis**, v. 98, p. 16–22, 2016. DOI: [10.1016/j.micpath.2016.06.023](https://doi.org/10.1016/j.micpath.2016.06.023)

SILVA, P. C. V.; LIMA, G. S. A.; SILVA, J. M.; MONTALDO, Y. C.; COSTA, M. E. L.; SILVA, V. D. Biotechnological potential of actinobacteria as a solution to global challenges – a mini review. **International Journal of Agriculture and Biology**, v. 34, p. 340210, 2025. DOI: [10.17957/IJAB/15.2358](https://doi.org/10.17957/IJAB/15.2358).

SOUZA, J. F. F. Novos agentes etiológicos causadores da podridão de frutos e morte descendente em cupuaçuzeiro e jaqueira. 2024. **Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Piauí**, Teresina, 2024.

VENTURA, J. P.; CASTELIANI, A. G. B.; HOYOS, H. A. V.; SANTOS, S. N.; MELO, I. S. Actinobactérias como agentes de controle biológico de fitopatógenos de trigo. In: 12.º **Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2018**, 01–03 ago. 2018, Campinas. 2018. ISBN 978-85-7029-145-5. Nº 18 406.

WALKER, C.; MACIEL, C. G.; MILANESI, P. M.; MUNIZ, M. F. B.; MEZZOMO, R.; POLLET, C. S. Caracterização morfológica, molecular e patogenicidade de *Fusarium acuminatum* e *Fusarium verticillioides* A *Cordia americana*. **Ciência Florestal**, [S. l.], v. 26, n. 2, p. 463–473, 2016. DOI: 10.5902/1980509822747. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/22747>. Acesso em: 20 ago. 2024.

WANG, J.; RAZA, W.; JIANG, G.; YI, Z.; FIELDS, B.; GREENROD, S.; VILLE-PETRI, F.; ALEXANDRE, J.; QIRONG, S.; ZHONG, W. Bacterial volatile organic compounds attenuate pathogen virulence via evolutionary trade-offs. **The ISME Journal**, vol. 17, n. 3, p. 443–452, janeiro 2023. DOI: 10.1038/s41396-023-01356-6

YANG, M.; HUANG, C.; XUE, Y.; LI, S.; LU, L.; WANG, C. Biofumigation with volatile organic compounds from *Streptomyces alboflavus* TD-1 and pure chemicals to control *Aspergillus ochraceus*. **Association of Applied Biologists**, p. 313-322, 2018.

ZHAO, M.; DUTTA, B.; LUO, X.; BURDMAN, S.; WALCOTT, R. Genetically distinct *Acidovorax citrulli* strains display cucurbit fruit preference under field conditions. **Phytopathology, St. Paul**, v. 110, n. 5, p. 973–980, 2020. DOI: 10.1094/PHYTO-10-19-0389-R.