

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS DA NATUREZA – CCN
CAMPUS LAGOA DO SINO
CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

Aldry Ramos Menezes

**Avaliação da ação biodefensiva de ramnolipídios produzidos por
Pseudomonas aeruginosa LBI 2A1 contra bactérias fitopatogênicas do
feijão e da soja**

Buri
2025

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS DA NATUREZA

Aldry Ramos Menezes

**Avaliação da ação biodefensiva de ramnolipídios produzidos por
Pseudomonas aeruginosa LBI 2A1 contra bactérias fitopatogênicas do
feijão e da soja**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)
apresentado ao Curso de Bacharelado em
Ciências Biológicas, como parte das exigências
para a obtenção do Grau de Bacharel em
Ciências Biológicas

Orientadora: Profa. Dr. Roberta Barros Lovaglio

Buri
2025

FICHA CATALOGRÁFICA

Menezes., Aldry Ramos

Avaliação da ação biodefensiva de ramnolipídios produzidos por *Pseudomonas aeruginosa* LBI 2A1 contra bactérias fitopatogênicas do feijão e da soja / Aldry Ramos Menezes. -- 2025.
57f.

TCC (Graduação) - Universidade Federal de São Carlos, campus Lagoa do Sino, Buri
Orientador (a): Roberta Barros Lovaglio
Banca Examinadora: Flávio Gabriel Bianchini, Waldir Cintra de Jesus Júnior
Bibliografia

1. Crestamento-bacteriano-comum. 2. Pústula bacteriana . 3. Ramnolipídios. I. Menezes., Aldry Ramos. II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática (SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Lissandra Pinhatelli de Britto - CRB/8 7539

MENEZES, Aldry Ramos. **Avaliação da ação biodefensiva de ramnolipídios produzidos por *Pseudomonas aeruginosa* LBI 2A1 contra bactérias fitopatogênicas do feijão e da soja.** 2025. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal de São Carlos, *campus* Lagoa do Sino, Buri, 2025.

FOLHA DE APROVAÇÃO



FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
COORDENAÇÃO DO CURSO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS (CCCBIO-LS)

Rod. Lauri Simões de Barros km 12 - SP-189, s/n - Bairro Aracaçu, Buri/SP, CEP 18290-000
Telefone: (15) 32569030 - <http://www.ufscar.br>

DP-TCC-FA nº 60/2025/CCCBio-LS/CCN/R

Graduação: Defesa Pública de Trabalho de Conclusão de Curso

Folha Aprovação (GDP-TCC-FA)

FOLHA DE APROVAÇÃO

ALDRY RAMOS MENEZES

AVALIAÇÃO DA AÇÃO BIODEFENSIVA DE RAMNOLIPÍDIOS PRODUZIDOS POR *PSEUDOMONAS AERUGINOSA* LBI 2A1 CONTRA BACTÉRIAS FITOPATOGÊNICAS DO FEIJÃO E DA SOJA

Trabalho de Conclusão de Curso

Universidade Federal de São Carlos – Campus Lagoa do Sino

Buri, 16 de dezembro de 2025

ASSINATURAS E CIÊNCIAS

Cargo/Função	Nome Completo
Orientadora	Roberta Barros Lovaglio
Membro da Banca 1	Flávio Gabriel Bianchini
Membro da Banca 2	Waldir Cintra de Jesus Júnior



Documento assinado eletronicamente por **Roberta Barros Lovaglio, Docente**, em 17/12/2025, às 13:31, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Flavio Gabriel Bianchini, Docente**, em 17/12/2025, às 13:38, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Waldir Cintra de Jesus Junior, Docente**, em 17/12/2025, às 14:39, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <https://sei.ufscar.br/autenticacao>, informando o código verificador **2117068** e o código CRC **1F1EEB75**.

Referência: Caso responda a este documento, indicar expressamente o Processo nº 23112.016576/2025-93

SEI nº 2117068

Modelo de Documento: Grad: Defesa TCC: Folha Aprovação, versão de 02/Agosto/2019

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais, Carlos Henrique Trevelin Menezes e Grasiela Nogueira Ramos, por todo o amor, paciência e incentivo incondicional ao longo da minha caminhada. Vocês sempre acreditaram em mim e me ensinaram o valor da dedicação e da persistência.

À toda a minha família e amigos que fiz durante a graduação, que tornaram essa trajetória muito mais leve e significativa. Em especial, agradeço ao Alfredo Velado Gati, Camila Jorge Barbosa e Roger Moura de Souza, pelo apoio técnico durante o desenvolvimento do projeto.

Meus agradecimentos à minha orientadora, Dra. Roberta Barros Lovaglio pela orientação cuidadosa, pela paciência e pela confiança depositada em mim.

Aos técnicos do Laboratório da Universidade, em especial à Thales Augusto de Miranda Medeiros pela disponibilidade e pela ajuda nas etapas experimentais.

Por fim, agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram para que esta etapa fosse concluída com êxito. Cada palavra de apoio e cada gesto de carinho fizeram toda a diferença ao longo dessa jornada.

Resumo

O Brasil é conhecido mundialmente como um dos maiores produtores de feijão (*Phaseolus vulgaris*) e soja (*Glycine max*). Isso é possível pelos fatores propícios relacionados ao clima presentes no país, tais quais: altas temperaturas e chuvas abundantes, seu clima quente e úmido faz do Brasil um dos países mais produtivos do mundo. Ambos os gêneros de leguminosas possuem importância relevante na alimentação humana por serem compostas por uma série de nutrientes, dentre eles proteínas e carboidratos, além de terem baixo teor calórico, se tornando valiosos para a nutrição humana e animal. Porém, a produtividade dos dois grãos vem sendo ao longo do tempo, ameaçada devido ao surgimento de doenças ocasionadas por bactérias. O uso de pesticidas nas mudas das duas culturas colaboram para o controle das pragas, entretanto, ao longo do tempo, o mesmo contribui para a resistência da população bacteriana. Metabólitos microbianos podem ser utilizados como alternativa no controle de doenças causadas por bactérias nas culturas de feijão e soja. Assim este projeto, propôs-se a avaliar a ação de biossurfactantes produzidos por *Pseudomonas aeruginosa* LBI 2A1, conhecido como ramnolipídios, no controle de doenças bacterianas como o crestamento-bacteriano-comum (CBC) (*Xanthomonas citri* pv. *fuscans*) e a pústula-bacteriana (*Xanthomonas axonopodis* pv. *glycines*). A metodologia aplicada baseou-se em experimentos com a adição de diferentes concentrações do biossurfactante em questão ao meio de cultura utilizado para crescimento da bactéria. Após a coleta de dados, os resultados foram analisados por métodos estatísticos adequados. O efeito antimicrobiano dos ramnolipídios se mostrou eficaz contra a bactéria *X. citri* pv. *fuscans* durante a pesquisa, sendo possível observar uma redução expressiva no crescimento das populações microbianas diante das diferentes concentrações do biossurfactante. Em relação a bactéria *X. axonopodis* pv. *glycines*, se mostrou resistente diante do biossurfactante, tendo um crescimento expressivo na população bacteriana com as diferentes concentrações de ramnolipídios, causando um efeito positivo no crescimento da população bacteriana.

Palavras-Chave: Biossurfactante, Crestamento-bacteriano-comum, Pústula-bacteriana, Ramnolipídios.

Abstract

Brazil is internationally recognized as one of the largest producers of common bean (*Phaseolus vulgaris*) and soybean (*Glycine max*). This high productivity is made possible by the country's favorable climatic conditions, such as high temperatures and abundant rainfall. The warm and humid climate makes Brazil one of the most productive agricultural regions in the world. Both legume species play a significant role in human nutrition due to their high nutritional value, being rich in proteins and carbohydrates and having a low caloric content, which makes them valuable for both human and animal diets. However, the productivity of these crops has been increasingly threatened by the emergence of bacterial diseases. The use of pesticides in seedlings contributes to the control of these pathogens, although, over time, it also promotes bacterial resistance. Microbial metabolites can serve as an alternative strategy for managing bacterial diseases in bean and soybean crops. Thus, this project aimed to evaluate the activity of biosurfactants produced by *Pseudomonas aeruginosa* LBI 2A1, known as rhamnolipids, in the control of bacterial diseases such as common bacterial blight (CBC) (*Xanthomonas citri* *pv.* *fuscans*) and bacterial pustule (*Xanthomonas axonopodis* *pv.* *glycines*). The methodology involved experiments in which different concentrations of the biosurfactant were added to the culture medium used for bacterial growth. After data collection, the results were analyzed using appropriate statistical methods. The antimicrobial effect of rhamnolipids proved to be effective against *X. citri* *pv.* *fuscans*, showing a significant reduction in microbial growth across the tested biosurfactant concentrations. In contrast, *X. axonopodis* *pv.* *glycines* demonstrated resistance to the biosurfactant, exhibiting an increase in bacterial population growth at the different rhamnolipid concentrations, indicating a positive effect on bacterial proliferation.

Keywords: Biosurfactant, Common bacterial blight, Bacterial pustule, Rhamnolipids.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Crestamento bacteriano comum nas folhas, vagens e sementes do feijão.....	19
Figura 2- Pústula bacteriana nas folhas da soja.....	21
Figura 3- Categorias de Biossurfactantes.....	25
Figura 4- Estrutura química do monoramnolípídeo, dirramnolípídeo e do ácido graxo 3-(3-hidroxi- <i>alcanoil</i> oxi)- <i>alcanoato</i> (HAA).....	27
Figura 5- Estriamento do inóculo feito no meio líquido MXG para certificar que a pureza da bactéria <i>Xanthomonas axonopodis pv. glycines</i>	30
Figura 6- Inóculo feito no meio líquido Caldo Nutriente foi passado para a placa de Petri para certificar que a bactéria <i>Xanthomonas citri pv. fuscans</i> está pura.....	31
Figura 7 - Comparação dos perfis de crescimento da bactéria <i>X. citri pv. fuscans</i> na presença de 0,5 g/L de ramnolípídios e grupo controle.	33
Figura 8- Comparação do perfil de crescimento da bactéria <i>X. citri pv. fuscans</i> na presença de 1,0 g/L de ramnolípídios e grupo controle.	34
Figura 9- Comparação do perfil de crescimento da bactéria <i>X. citri pv. fuscans</i> na presença de 1,5 g/L de ramnolípídios e grupo controle.	35
Figura 10- Comparação dos perfis de crescimento da bactéria <i>X. axonopodis pv. glycines</i> na presença de 0,5 g/L de ramnolípídios e grupo controle	38
Figura 11- Comparação dos perfis de crescimento da bactéria <i>X. axonopodis pv. glycines</i> na presença de 1,0 g/L de ramnolípídios e grupo controle.....	49
Figura 12- Comparação dos perfis de crescimento da bactéria <i>X. axonopodis pv. glycines</i> na presença de 1,5 g/L de ramnolípídios e grupo controle	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Análise estatística ANOVA realizada entre os grupos do teste com <i>Xanthomonas citri</i> pv. <i>fuscans</i>	37
Tabela 2- Teste de Tukey entre os grupos do teste com a <i>Xanthomonas citri</i> pv. <i>fuscans</i>	37
Tabela 3- Análise estatística ANOVA realizada entre os grupos do teste com <i>Xanthomonas axonopodis</i> pv. <i>glycines</i>	41
Tabela 4- Teste de Tukey entre os grupos do teste com a <i>Xanthomonas axonopodis</i> pv. <i>glycines</i>	41

SUMÁRIO

1.Introdução.....	8
2. Revisão de Literatura.....	12
2.1 Importância da cultura do feijão.....	12
2.2 Importância da cultura da soja.....	13
2.3 Bactérias Fitopatogênicas.....	15
2.4 O gênero Xanthomonas.....	16
2.5 Crestamento Bacteriano Comum.....	17
2.6 Pústula bacteriana.....	19
2.7 Controle Químico.....	21
2.8 Controle Biológico.....	22
2.9 Biosurfactante.....	23
2.10 Ramnolipídios.....	26
3. Objetivos.....	28
3.1 Gerais.....	28
3.2 Específicos.....	28
4. Material e Métodos.....	28
4.1 Microrganismos.....	28
4.2 Meios de cultura.....	29
4.2.1 Meio MXG.....	29
4.2.2 Caldo nutriente.....	29
4.3 Biosurfactante.....	29
4.4 Experimentos da Avaliação da ação biodefensiva de ramnolipídios contra a bactéria Xanthomonas axonopodis pv. glycines.....	29
4.4.1 Preparo do inóculo.....	29
4.4.2 Teste em Laboratório.....	30
4.5 Experimentos de Avaliação da ação biodefensiva de ramnolipídios contra a bactéria Xanthomonas citri pv. fuscans.....	31
4.5.1 Preparo do inóculo.....	31
4.5.2 Teste em Laboratório.....	32
4.6 Análise dos dados obtidos em laboratório.....	32
5. Resultados e Discussão.....	32
5.1 Comparação do perfil de crescimento da bactéria Xanthomonas citri pv. fuscans nas diferentes concentrações de ramnolipídios.....	32
5.2 Comparação do perfil de crescimento da bactéria Xanthomonas axonopodis pv. glycines nas diferentes concentrações de ramnolipídios.....	38
6. Conclusão.....	42
REFERÊNCIAS.....	44

1.Introdução

O feijão (*Phaseolus vulgaris*) é uma espécie de leguminosa rica em proteínas, carboidratos, entre outras características proteicas e energéticas, constituindo a base alimentar de muitas famílias. No Brasil, ele é classificado em dois grupos: feijão-comum, pertencente à espécie *Phaseolus vulgaris* e o feijão-caupi (feijão-de-corda ou feijão-macassar), que pertence à espécie *Vigna unguiculata* (L) Walp (Chaves e Bassinelo, 2015). Além de seu papel alimentar, o cultivo movimenta um setor expressivo da economia agrícola, envolvendo principalmente pequenos e médios produtores (FAOSTAT, 2025). A cultura é amplamente distribuída no território nacional, cultivada em diferentes épocas e sistemas produtivos, com produção ocorrendo durante todo o ano em três colheitas distintas em diferentes regiões, o que contribui para o abastecimento contínuo do mercado interno e diversificação da renda agrícola (Aguilar *et al.*, 2025).

No cenário internacional, o Brasil ocupa posição de destaque. Segundo Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAOSTAT, 2025), o país está entre os maiores produtores mundiais de feijão, ficando constantemente entre o segundo e o terceiro lugar no ranking global, atrás apenas da Índia, dependendo do ano e da série estatística analisada. Estudos recentes reforçam que o Brasil é um dos principais responsáveis pelo abastecimento mundial de feijão do tipo *Phaseolus*, apresentando elevada diversidade de ambientes e sistemas de produção (Aguilar *et al.*, 2025). A Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2025) estima produção superior a 3 milhões de toneladas de feijão no país, com produtividade média entre 1,8 e 1,9 t ha⁻¹. Os estados do Paraná, Minas Gerais, Goiás, Bahia e Mato Grosso formam o principal eixo produtivo do país, com destaque para o Paraná, que frequentemente lidera os levantamentos de produção anual (IBGE, 2025; CONAB, 2025). Esse agrupamento regional tem sido denominado “bean belt brasileiro”, caracterizado por maior aporte tecnológico, melhor manejo e produtividade superior à média nacional (Aguilar *et al.*, 2025).

Essa leguminosa está sujeita a várias doenças de origem fúngica, bacteriana, virótica, além daquelas causadas por nematóides, principalmente em condições de temperaturas e umidade elevadas. Tradicionalmente o cultivo de feijoeiro no Brasil é feito em três safras. A primeira safra, que ocorre no verão, conhecida popularmente como feijão das águas, dependendo da região, é semeada entre agosto e dezembro e colhida entre novembro e março. Essa época é caracterizada pela ocorrência de chuvas e temperaturas elevadas que favorecem o desenvolvimento das plantas. No entanto, a ocorrência das doenças é mais frequente nesta

safra, principalmente as doenças de origem fúngica e bacteriana. Nas safras seguintes (safra da seca, semeada entre janeiro e abril, e safra de outono-inverno, semeada a partir de maio e colhida entre agosto e outubro), o crestamento-bacteriano e a murcha-bacteriana podem ser problemas relevantes (Ferreira e Lobo Junior, 2021).

A forma de plantio do feijoeiro e as precauções com a planta durante seu desenvolvimento tem interferência direta na produtividade final. Atualmente nas lavouras de feijão, eventuais ataques de pragas e doenças é recorrente, sendo um dos fatores responsáveis pelo baixo rendimento e instabilidade na produção (Nunes *et al.*, 2017).

De maneira análoga, a soja também pode ser considerada um dos grãos mais importantes da atualidade, sendo uma das principais fonte de renda de muitas propriedades brasileiras, ocupando uma grande parte das lavouras destinadas à agricultura (Strieder e Bertagnolli, 2016).

A soja (*Glycine max*) é uma planta da família das leguminosas, assim como o feijão, originária da Ásia. A planta dessa leguminosa é uma dicotiledônea cuja estrutura é formada pelo conjunto de raízes e da parte aérea. O crescimento vegetativo pode ser dividido em dois períodos, desde a semeadura até o florescimento e o período reprodutivo ao período de colheita. Ela depende do fotoperíodo para que floresça e necessita passar por uma sequência de "dias curtos", para estimular a formação de flores (Mundstock, Thomas, 2005).

A soja é uma das culturas de plantações que melhor se encaixa ao sistema de plantio direto, sendo a principal cultura para compor os sistemas de rotação lavoura-pastagem, devido a aspectos econômicos, como também, por ser eficiente fixadora de nitrogênio atmosférico (Kluthcousk, Stone, 2003).

O Brasil é, atualmente, o maior produtor mundial de soja, com uma área cultivada de 47,5 milhões de hectares e produção estimada em 169,5 milhões de toneladas na safra de 2024/2025. Isso representa aproximadamente 40% da produção mundial da oleaginosa (CONAB, 2025; Embrapa, 2025). Entre os estados brasileiros, o Mato Grosso lidera a produção nacional de soja, sendo responsável por 27% do total nacional, seguido por Paraná e Rio Grande do Sul (IBGE, 2025; CONAB, 2025). O cultivo de soja no país teve uma expansão maior a partir dos anos 70, configurando-se entre os principais produtos em termos de exportação, se tornando fator decisivo no equilíbrio da balança comercial na economia do Brasil (Ferraz, 2001).

Assim como na cultura do feijão, há patogenias de diferentes origens que causam desafios na cultura da soja, sendo as doenças ocasionadas por bactérias as mais frequentes. As doenças bacterianas estão entre os principais problemas de preservação e defesa dos vegetais,

provocando perdas significativas nas plantações. Esses microrganismos são facilmente espalhados pelo ar, pela água, insetos e animais e influenciados pelo clima. Normalmente, penetram nas plantas através de ferimentos e de aberturas naturais. Muitas bactérias já foram descritas causando danos nas plantações nas diferentes regiões do Brasil. As bactérias fitopatogênicas são distribuídas em vários gêneros, espécies e subespécies sendo diferenciadas entre si por características culturais, bioquímicas, fisiológicas e serológicas (Almeida, 2006).

O crestamento-bacteriano-comum (CBC) é uma doença bacteriana muito frequente que acomete a cultura do feijão, ocasionada pelas bactérias *Xanthomonas phaseoli pv. phaseoli* e *Xanthomonas citri pv. fuscans*. Os sintomas manifestam-se em toda a parte aérea da planta, afetando folhas, caules, vagens e sementes. Nas folhas, inicia-se por pequenas manchas úmidas de contornos angulares e de coloração escura, as quais aumentam de tamanho conforme a doença vai se desenvolvendo, formando extensas áreas de aparência encharcada e translúcida (Wendland, 2025).

A disseminação do agente responsável pela doença é realizada por meio de sementes contaminadas e de planta a planta ou de cultura a cultura, por sementes, vento, chuva, animais e movimentação humana. Gerando graves perdas na produção, especialmente em regiões com temperaturas e umidade entre moderadas a altas (Ferreira, 2021).

Na cultura da soja, uma doença que afeta o cultivo é a pústula-bacteriana, causado por *Xanthomonas axonopodis pv. glycines*, com sintomas semelhantes aos do crestamento, mas pode ser diferenciado por não apresentar manchas angulares e nem de superfície oleosa. As manchas da pústula são circundadas por um halo amarelo e não apresentam brilho, tornam-se necróticas e com o passar do tempo aumentam de tamanho (Acco *et al.*, 2020).

O gênero *Xanthomonas* é um grupo de bactérias que apresentam forma de bastonete reto, Gram-negativas, sendo, algumas espécies, caracterizadas como fitopatogênicas, com amplo espectro de hospedeiros. É um patógeno de clima quente e entre elas estão *X. citri subsp. citri*, *X. campestris pv. viticola* e *X. axonopodis pv. mabacearum*, *X. axonopodis pv. phaseoli*, entre outras. Podem causar uma variedade de sintomas, como podridão, manchas, murcha,, necrose, cancos, hipertrofia e hiperplasia (Pinto, 2022).

As pragas e doenças, de maneira geral, implicam em diminuição do volume de produção e prejuízos à qualidade dos produtos. Na cultura do feijão, o crestamento-bacteriano-comum (CBC), por exemplo, ocasiona perdas que podem chegar a 100% da produção (Ferreira, 2021). Em relação à pústula-bacteriana causada no cultivo da soja, pode ocasionar perdas de 15 a 40% do rendimento dos grãos (Moura, 2021). Assim, a ausência de controle das pragas e as diferentes doenças que acometem os cultivos agrícolas

teria como impacto direto não só o comprometimento das safras e o setor econômico do país, como também a renda de pequenas propriedades produtoras dessas leguminosas.

O uso intensivo de inseticidas químicos para sanar as doenças que afetam as diferentes culturas favorecem a ampliação de pragas nas plantações, caminhando para uma utilização de inseticidas constante e desordenada, aumentando o custo de controle e tornando o monitoramento de pragas mais complexo, tendo em vista que a praga desenvolve resistência aos inseticidas, ficando muito difícil de ser contida, além de ocasionar, reduções de população de organismos não alvo, que são benéficos para a planta (Quintela, 2001).

Como contrapartida ao uso do controle químico, tratamentos alternativos surgem com o propósito de diminuir os impactos negativos destes ao meio ambiente. A aplicação dos biossurfactantes nas plantações vem aumentando devido a sua diversidade em termos de função e estrutura, além dos seus atributos ecológicos e da sua biodegradabilidade, pois são compostos de origem microbiana (Singh, Patil e Rale, 2018). Os biossurfactantes são compostos anfílicos (possuem uma região hidrofílica (solúvel em meio aquoso) e uma região hidrofóbica (insolúvel em água, porém solúvel em lipídios e solvente orgânicos), diminuem a tensão superficial, possuem alta capacidade emulsificante e compreendem subprodutos metabólicos de bactérias, fungos e leveduras. Uma das classes de biossurfactantes é a dos glicolipídeos, dentro da qual encontramos os ramnolipídios que são produzidos, principalmente, por bactérias do gênero *Pseudomonas*. Esses metabólitos apresentam atividade antimicrobiana e através da sua síntese, os microrganismos produtores desenvolvem maior chance de sobrevivência e competitividade na busca por nutrientes (Nitschke e Pastore, 2002). A porção hidrofílica dos ramnolipídios é composta por moléculas de ramnose, e a parte hidrofóbica é composta por 3-hidroxicanônicos (Lovaglio, 2011).

O interesse da comunidade científica vem crescendo pelo grupo de ramnolipídios por apresentarem propriedades tensoativas e físico-químicas que lhe confere um amplo espectro de aplicações, especialmente no controle de doenças em diferentes culturas (Souza *et al.*, 2014). Devido às suas propriedades físico-químicas, os ramnolipídios podem ser aplicados em diferentes áreas, como na medicina, agroindústria e meio ambiente, além de demonstrarem atividade antimicrobiana e possuírem baixa toxicidade (Silva, 2014).

Por fim, devido suas propriedades físico-químicas, os ramnolipídios também estão envolvidos na estimulação das respostas imunológicas das plantas contra os seus agentes patógenos, além de atuarem na biorremediação ambiental e como agente de controle biológico tendo impacto direto nas estruturas da superfície das células bacterianas e atuando na diminuição da adesão das bactérias nas estruturas das folhas (Vatsa *et al.*, 2013; El-Sheshtawy

e Dohein, 2014), como no caso dos fitopatógenos instalados amplamente nas culturas do feijão e da soja.

2. Revisão de Literatura

2.1 Importância da cultura do feijão

A cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) ocupa posição de grande relevância no cenário agrícola brasileiro, devido ao seu alto valor nutricional e ao fato de ser um alimento básico na alimentação da população. Segundo dados do Mapa (2014), o consumo médio anual por habitante é de aproximadamente 19 kg, e sete em cada dez brasileiros o ingerem diariamente. O feijão destaca-se como excelente fonte de proteínas de origem vegetal, vitaminas do complexo B, minerais como cálcio, ferro e fósforo, além de apresentar baixo índice glicêmico, contribuindo para uma dieta equilibrada (Mullins e Arjmandi, 2021).

Os polissacarídeos presentes no feijão são compostos bioativos com baixa toxicidade e amplamente disponíveis. Esses componentes possuem propriedades antioxidantes, imunomoduladoras, favorecem o funcionamento intestinal, auxilia no controle glicêmico e contribui para a manutenção do peso corporal, reduzindo a incidência de diabetes e doenças cardiovasculares (Vieira *et al.*, 2023).

No país, existem aproximadamente 40 tipos de feijão cultivados, sendo o feijão carioca (pertencente ao grupo do feijão comum) o de maior importância econômica (Mapa, 2014). Em 2012, foram produzidas cerca de 2,8 milhões de toneladas (IBGE, 2014), das quais 62,8% correspondem especificamente ao tipo carioca (CONAB, 2013).

O cultivo do feijão também favorece a conservação do solo e práticas agrícolas sustentáveis por meio de diferentes mecanismos: capacidade de fixar nitrogênio de forma biológica, contribuindo para a fertilidade do solo e reduzindo a necessidade de adubação química; menor impacto ambiental, por demandar menos insumos químicos quando comparado a culturas mais intensivas; e seu ciclo curto possibilita rotação de culturas, preservando umidade, mantendo a estrutura do solo e reduzindo a incidência de pragas e doenças, o que diminui o uso de defensivos agrícolas (Nadeem *et al.*, 2021).

A produção mundial de feijão está distribuída entre 120 países, sendo a Ásia responsável por aproximadamente metade desse volume. Entre 2020 e 2023, Índia, Brasil e Mianmar ocuparam as primeiras posições na produção de feijão seco (FAOSTAT, 2025). Desde 2020, o Brasil mantém-se como o segundo maior produtor global, ultrapassando

Mianmar e ficando atrás apenas da Índia. A produção nacional é direcionada majoritariamente para o abastecimento interno, e os principais destinos das exportações são Vietnã, Índia e Paquistão (Coelho, 2022). A cultura é produzida durante o ano todo no país, distribuída em três safras: primeira safra, de outubro a dezembro, marcada pelas chuvas; segunda safra, de janeiro a abril, conhecida como “safra da seca”; e terceira safra, de junho a setembro, dependente principalmente de irrigação (Landau e Moura, 2020).

Entre 1974 e 2021, a área plantada com feijão-comum no Brasil diminuiu de 4.288.555 para 2.613.086 hectares (redução de 39%). Contudo, a produção aumentou de 2.238.012 para 2.899.864 toneladas, um crescimento de 30%, influenciado principalmente pelo avanço da produtividade média, que passou de 522 kg/ha para 1.110 kg/ha (Embrapa, 2021). Atualmente, o feijão representa a terceira maior cultura agrícola do país, com área cultivada de 1.503.090 hectares, ficando atrás da soja e do milho (Embrapa, 2024). Os principais estados produtores são Paraná, Minas Gerais, Goiás, Bahia e Mato Grosso, com destaque para o Paraná, que figura como o maior produtor em diferentes levantamentos (IBGE, 2025; CONAB, 2025). Estudos recentes denominam as áreas de maior produção como “bean belt brasileiro”, caracterizadas por condições ambientais adequadas e elevado uso de tecnologia agrícola (Aguilar *et al.*, 2025).

2.2 Importância da cultura da soja

A cultura da soja tem registro de uso há mais de 4.000 anos. Originária do Extremo Oriente asiático, espalhou-se posteriormente para diversos continentes. Durante o século XIX, passou a ser cultivada nos Estados Unidos e, no final desse mesmo século, chegou à América do Sul, inicialmente na Argentina. No Brasil, o primeiro registro de cultivo ocorreu em 1882, no estado da Bahia. Contudo, a grande expansão agrícola da soja no país aconteceu apenas nas décadas de 1950 e 1960, quando políticas de incentivo do Governo Federal impulsionaram seu cultivo em larga escala (Farias, 1985).

A soja é uma espécie herbácea classificada no reino Plantae, divisão Magnoliophyta, classe Magnoliopsida, ordem Fabales, família Fabaceae (Leguminosae), subfamília Faboideae (Papilionoideae) e gênero *Glycine*. Seu grão é amplamente utilizado na alimentação humana e animal, além de servir como matéria-prima para a produção de biocombustível. Nutricionalmente, destaca-se por conter cerca de 40% de proteínas e aproximadamente 20% de óleo (Sedyama, 2009).

Por ser uma planta de dias curtos, apresenta ampla variação de ciclos produtivos. No mercado, existem cultivares com duração entre 100 e 160 dias, classificados em precoces, semiprecoces, médios, semitardios e tardios, conforme a região de cultivo. No Brasil, porém, a maior parte das cultivares comerciais possui ciclo entre 60 e 120 dias (Nunes, 2020).

A soja possui enorme relevância econômica no cenário global devido a sua versatilidade, que garante alta rentabilidade na exportação tanto do grão quanto de seus derivados, como o farelo e o óleo. Por esse motivo, consolidou-se como uma das principais commodities do país e como o produto agrícola brasileiro com maior volume de exportação (Trevisoli, 2018).

Nos últimos 47 anos, a produção de soja no Brasil cresceu aproximadamente 262 vezes, representando uma transformação profunda na agricultura nacional. A cultura foi responsável pela mecanização de grandes áreas agrícolas, modernização de sistemas de transporte, expansão de novas fronteiras agrícolas, especialização produtiva e fortalecimento do comércio internacional. A soja também contribuiu para mudanças na alimentação da população, na urbanização e na interiorização da economia brasileira. Além disso, sua introdução permitiu avanços tecnológicos em outras culturas, como o milho, e apoiou o crescimento das cadeias suínica e avícola no país (Embrapa, 2021).

Segundo a Embrapa Soja (2021), entre os principais produtores mundiais (Estados Unidos, Brasil e Argentina) o Brasil é o que possui maior potencial de aumento de área plantada. Dependendo das demandas ligadas ao uso de farelo (na produção de carnes) e óleo (setor alimentício, biodiesel e H-Bio), o país pode mais que dobrar sua produção e consolidar-se, em curto prazo, como maior produtor e exportador global de soja e derivados. Essa tendência já é observada atualmente: conforme estimativas da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2024), a safra 2024/2025 deve alcançar cerca de 169 milhões de toneladas, um crescimento superior a 14% em relação ao ciclo anterior. Com isso, o Brasil permanece como o maior produtor e exportador mundial, ultrapassando países tradicionalmente líderes, como os Estados Unidos e a Argentina (USDA, 2023).

A soja possui grande peso socioeconômico para o país, pois envolve uma vasta rede de agentes: empresas de pesquisa e desenvolvimento, fornecedores de insumos, fabricantes de máquinas e equipamentos, produtores rurais, cooperativas, agroindústrias, processadores de grão, indústrias de óleos e rações, fábricas de alimentos e usinas de biodiesel. Assim, o setor se destaca como importante gerador de empregos, renda e divisas, sendo um dos pilares do crescimento econômico e do desenvolvimento brasileiro (Hiracury e Lazzarotto, 2014; Carvalho *et al.*, 2023).

2.3 Bactérias Fitopatogênicas

As bactérias fitopatogênicas são microrganismos unicelulares que provocam enfermidades em plantas. Elas podem ser encontradas e disseminadas em diferentes ambientes, como solo, água, ar, irrigação, ferramentas de cultivo e até por insetos, que podem transportar e inocular os patógenos diretamente nos tecidos vegetais, facilitando o estabelecimento da infecção. Quando a água entra em contato com ferramentas contaminadas, facilita a penetração das bactérias por ferimentos recém-criados. O transporte de mudas ou sementes infectadas é um dos principais meios de disseminação a longas distâncias. Após entrar na planta através de feridas ou aberturas naturais como estômatos, a bactéria destrói as células hospedeiras para se multiplicar. Entre um hospedeiro e outro, pode sobreviver de forma latente na superfície de plantas, no solo, na água ou em vetores, até encontrar condições favoráveis para uma nova infecção (Williams *et al.*, 2017).

Esses microrganismos podem viver como sapróbios, alimentando-se de matéria orgânica em decomposição, ou como epífitos, colonizando a superfície dos vegetais (Agrônos, 2005). Tais bactérias são divididas principalmente em dois grupos: Gram-negativas e Gram-positivas, cuja distinção se baseia na composição e na estrutura da parede celular (Barroso, 2025).

A presença de bactérias fitopatogênicas em sistemas de irrigação abertos é considerada um fator de risco, pois favorece a rápida disseminação das doenças em grandes áreas. Para invadir e colonizar a planta, esses patógenos utilizam diferentes estratégias. Muitos produzem enzimas capazes de degradar a parede celular vegetal, facilitando a penetração da bactéria nos tecidos. Outras espécies liberam toxinas, que interferem no crescimento do vegetal ou levam à morte das células. A planta torna-se suscetível quando fatores ambientais alteram seus processos fisiológicos, prejudicando seu desenvolvimento e funcionamento normal (Barroso, 2025).

As doenças bacterianas podem manifestar uma variedade de sintomas. Geralmente, essas manifestações podem se confundir com infecções causadas por fungos ou vírus, pois muitas vezes necessitam de ferimentos, estômatos ou vetores para penetrar nos tecidos vegetais. Entre os sinais comuns estão: murcha, necroses (manchas), apodrecimento, pústulas, hipertrofia e hiperplasia, entre outros (Barroso, 2025).

A classificação das bactérias fitopatogênicas tem passado por constantes atualizações devido aos avanços da taxonomia bacteriana. A maior parte dos patógenos vegetais se concentra nos gêneros: *Erwinia*, *Pectobacterium*, *Pantoea*, *Agrobacterium*, *Pseudomonas*, *Ralstonia*, *Burkholderia*, *Acidovorax*, *Xanthomonas*, *Clavibacter*, *Streptomyces*, *Xylella*, *Spiroplasma* e *Phytoplasma*. As estratégias patogênicas são tão variadas quanto os sintomas causados. Algumas injetam proteínas ou produzem toxinas que levam à morte das células vegetais; outras sintetizam enzimas que degradam componentes estruturais, como a pectina da parede celular. Há ainda aquelas que se instalam nos vasos do xilema, bloqueando o transporte de água e levando à murcha e morte da planta (Barroso, 2025).

Esses patógenos constituem uma séria ameaça para a agricultura mundial. As infecções bacterianas podem comprometer tanto a qualidade quanto o rendimento das colheitas, ocasionando prejuízos econômicos. De modo geral, as doenças bacterianas em plantas são difíceis de manejar, exigindo a aplicação simultânea de diferentes estratégias de controle (Agrônos, 2005).

2.4 O gênero *Xanthomonas*

Pertencente à família Xanthomonadaceae, o gênero *Xanthomonas* faz parte da subdivisão gama das Proteobacteria e reúne um grupo amplamente distribuído de bactérias patogênicas a plantas. O nome tem origem no grego: xanthos (amarelo) e monas (unidade/organismo), possivelmente em referência à coloração amarelada que muitas cepas produzem durante o crescimento (antigamente denominado Phytomonas). As células são bacilos Gram-negativos, de formato alongado, medindo aproximadamente 0,4–0,7 µm de diâmetro por 0,8–2 µm de comprimento, podendo ocorrer isoladamente ou aos pares. A motilidade ocorre geralmente por meio de um flagelo polar único. Essas bactérias degradam proteínas com facilidade e algumas espécies conseguem hidrolisar celulose, pectina e amido (Silva *et al.*, 2017).

São quimiorganotróficas, utilizando diferentes carboidratos e sais de ácidos orgânicos como única fonte de carbono, e apresentam respiração estritamente aeróbica, tendo o oxigênio comoceptor final de elétrons. Os principais ácidos graxos presentes nas células incluem: ácido 9-metildecanoico (C11:0 iso), ácido 3-hidroxi-9-metildecanoico (C11:0 iso 3OH) e ácido 3-hidroxi-11-metildodecanoico (C13:0 iso 3OH); essa composição serve como critério para diferenciação do gênero (Silva *et al.*, 2017).

A faixa de temperatura que favorece o crescimento das espécies de *Xanthomonas* situa-se entre 20 e 30 °C, variando conforme a espécie. A temperatura mínima para crescimento está acima de 4 °C, e a máxima varia entre 27,5 e 39 °C (Saddler e Bradbury, 2015). Quanto ao pH, o crescimento ocorre melhor entre 6,5 e 7,5, sendo inibido em valores inferiores a 4,5 (Swing e Civerolo, 1993).

O gênero *Xanthomonas* foi observado primeiramente em 1881 por Wakker, após descobrir esses microrganismos em doenças comuns de jacintos. Logo após sua descoberta, inúmeros estudos de doenças que acometiam plantas começaram a ser realizados, aumentando o conhecimento sobre esse clado de microrganismos e culminando assim em sua classificação (Starr *et al.*, 1981).

Seu habitat natural é, especificamente, em lesões de plantas infectadas, e pode ser encontrada também em plantas próximas às doentes e que estejam assintomáticas. Outro local comum é em material residual de biomassa, sendo extremamente rara a ocorrência de grande quantidade desses microrganismos no solo (Jacques *et al.*, 2016).

Por outro lado, a espécie *Xanthomonas campestris* é utilizada em larga escala na indústria para a produção de goma xantana, que é um exopolissacarídeo produzido por essa bactéria que tem propriedades espessantes, dessa forma sendo utilizada majoritariamente na indústria alimentícia (Jacques *et al.*, 2016).

Atualmente não existe um meio eficaz no combate a esse microrganismo, sendo o controle geralmente realizado por meio da remoção física das partes acometidas da planta afetada, ou sua completa remoção junto com os indivíduos próximos a ela. Muitas vezes ocorre uma rápida e enorme disseminação desse patógeno, sendo necessária a remoção de grandes áreas cultivadas e sua subsequente incineração causando prejuízos enormes para agricultores e para os diversos setores envolvidos, tais como usinas de álcool e açúcar, manufaturas de suco de laranja bruto, e até mesmo cooperativas e de vendas de produtos alimentícios (Leyns *et al.*, 1984).

2.5 Crestamento Bacteriano Comum

Diversos fatores interferem na produtividade da cultura do feijão no Brasil, e entre os mais relevantes estão as doenças que afetam a planta, reduzindo tanto o rendimento quanto a qualidade dos grãos produzidos (Rava e Sartorato, 1994). Entre essas doenças, o Crestamento Bacteriano Comum (CBC) se destaca como a principal enfermidade de origem bacteriana que

acomete essa cultura, podendo causar perdas de até 100% quando ocorre em elevada intensidade (Wendland, 2025).

O crestamento bacteriano comum é provocado, principalmente, pelas bactérias *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli* e *Xanthomonas citri* pv. *fuscans*, constituindo uma grande ameaça para o cultivo do feijoeiro no país, especialmente em regiões com clima quente e alta umidade, condições que favorecem o desenvolvimento e a propagação do patógeno (Wendland, 2025).

A presença dessa doença reduz significativamente a produtividade e a qualidade dos grãos, o que é preocupante, considerando a importância econômica e alimentar do feijão no Brasil. A infecção compromete toda a parte aérea da planta. Inicialmente, surgem pequenas lesões úmidas nas folhas, que evoluem para áreas secas e com margens amareladas. Por isso, práticas de manejo e monitoramento devem ser implementadas para minimizar os prejuízos (Wendland, 2025).

No território brasileiro, o crestamento bacteriano comum ocorre principalmente em regiões quentes e úmidas, onde o ambiente é propício à multiplicação do patógeno. Estados como Paraná, Rio de Janeiro e algumas regiões do Brasil Central são frequentemente afetados (Syngenta, 2025).

Quando as condições climáticas favorecem o desenvolvimento da doença, os prejuízos podem ser severos, comprometendo a rentabilidade da lavoura. A queda na produção afeta diretamente o retorno financeiro dos agricultores e pode reduzir a oferta do feijão no mercado, elevando seu preço (Syngenta, 2025).

Os sintomas aparecem predominantemente nas partes aéreas da planta. Nas folhas, surgem pequenas manchas aquosas na face inferior, que crescem e se unem, formando regiões necróticas de coloração marrom, geralmente rodeadas por um estreito halo amarelado, característica típica da doença (Figura 1). Nos caules, as lesões são alongadas e avermelhadas. Em condições de elevada umidade, é possível observar um exsudato amarelo sobre as lesões. Nas vagens, aparecem áreas encharcadas que evoluem para manchas avermelhadas, podendo atingir o sistema vascular e contaminar as sementes (Figura 1). Sementes infectadas podem apresentar descoloração, deformações ou até mesmo não apresentar sintomas, servindo como fonte de inóculo (Figura 1) (Wendland, 2025).

A disseminação do patógeno ocorre por diferentes vias: Longa distância: principalmente por sementes contaminadas; Curta distância: entre plantas ou talhões, pelo vento, chuva que espalha o exsudato, animais, máquinas e movimentação de pessoas. As

condições ambientais que mais favorecem a doença são temperaturas elevadas (cerca de 28 °C), alta umidade e frequência de chuvas (Bianchini, 2005).

Assim, o crestamento bacteriano comum prospera em ambientes quentes e úmidos, sobretudo em períodos de chuva intensa. A dispersão se dá por respingos de água, vento, partículas de poeira e até insetos, que podem transportar o patógeno entre plantas. A irrigação por aspersão também contribui para espalhar a bactéria dentro da lavoura, intensificando o surto da doença (Wendland, 2025).

Figura 1- Crestamento bacteriano comum nas folhas, vagens e sementes do feijão.



Fonte: Wendland, 2025.

2.6 Pústula bacteriana

A pústula bacteriana, causada pela bactéria *Xanthomonas axonopodis* pv. *glycines*, é reconhecida como uma das enfermidades bacterianas mais importantes que afetam a soja (Chatnapatrat, 2016). Essa doença provoca redução na produtividade e no tamanho dos grãos, principalmente em situações de infecções severas, devido à degradação da clorofila e à queda prematura das folhas (Kim *et al.*, 2011).

Até o momento, não existem pesquisas detalhadas sobre o impacto econômico da doença no Brasil. Entretanto, já se sabe que, em condições de elevada umidade, a produtividade da soja pode ser reduzida entre 15 a 40% do rendimento dos grãos (Moura, 2021). Na Índia, há registros de perdas em torno de 38%, com diminuição significativa no número e no tamanho dos grãos, além da redução no rendimento total da lavoura (Lanna, 2015).

A bactéria *Xanthomonas axonopodis* pv. *glycines* (Xag) é capaz de persistir por longos períodos em restos de cultura depositados na superfície do solo, podendo permanecer viável por até 210 dias entre uma safra e outra. Quando presente nas sementes, sua sobrevivência ultrapassa dois anos, sendo esta a principal fonte de inóculo e de disseminação do patógeno. Além disso, em sistemas onde o trigo é plantado após a colheita de soja, já foi identificado que a rizosfera do trigo pode favorecer a permanência da bactéria (Melo *et al.*, 2024).

A disseminação ocorre facilmente com a ação de vento e chuva, favorecendo novas infecções ao longo da lavoura. A doença se desenvolve mais intensamente em ambientes de clima quente, com temperaturas ideais entre 30 °C e 33 °C, associadas a precipitações frequentes e umidade relativa superior a 70% (Melo *et al.*, 2024).

A bactéria invade a planta através de aberturas naturais ou ferimentos, colonizando os espaços entre as células. A partir dessa colonização, os sintomas passam a ser visíveis, principalmente nas folhas. Inicialmente, surgem pequenas manchas amarelo-esverdeadas com um centro elevado de coloração amarelo-palha (**Figura 2**). Essa elevação é denominada pústula e ocorre devido ao aumento das células do parênquima provocado pela bactéria. A Xag produz compostos que alteram o funcionamento celular, causando expansão e rompimento da epiderme, o que resulta na exposição do tecido parenquimatoso e na característica pústula da doença. Embora possa ser confundida com a pústula causada pela ferrugem da soja, esta última apresenta massa de esporos em sua abertura, o que não ocorre na pústula bacteriana (Melo *et al.*, 2024).

Nos estágios iniciais, a pústula bacteriana também pode ser confundida com o crestamento bacteriano (*Pseudomonas savastanoi* pv. *glycinea*). Porém, é possível diferenciá-las pela presença de uma elevação esbranquiçada no centro da lesão, característica específica da pústula bacteriana (Melo *et al.*, 2024).

Figura 2- Pústula bacteriana nas folhas da soja.



Fonte: Soares, 2021.

2.7 Controle Químico

O manejo de doenças bacterianas em plantas costuma ser menos eficiente quando comparado ao controle químico de enfermidades causadas por fungos. Os produtos tradicionalmente mais utilizados são os compostos à base de cobre e o acibenzolar-S-metil, um indutor de resistência, que geralmente apresentam os melhores resultados. Fertilizantes foliares com teores adequados de cobre também podem contribuir para a manutenção da sanidade da cultura. No entanto, mesmo esses produtos raramente garantem controle satisfatório quando o ambiente favorece o desenvolvimento e a disseminação do patógeno. Entre os compostos à base de cobre mais empregados estão a calda bordalesa, os cobres fixos e o hidróxido de cobre, utilizados principalmente para reduzir manchas foliares e queimaduras bacterianas. Ainda assim, é comum a ocorrência de cepas bacterianas resistentes a esses produtos. Fungicidas como zineb, maneb ou mancozebe, combinados com compostos

cúpricos, também são usados com essa finalidade, especialmente em estágios iniciais da cultura, quando as plantas podem ser sensíveis ao cobre (Agrônos, 2005).

Antibióticos também já foram empregados no controle de algumas doenças bacterianas, apresentando eficiência variável. Alguns deles possuem ação sistêmica, sendo absorvidos pela planta e distribuídos internamente, podendo ser aplicados via pulverização ou imersão de mudas. Os antibióticos antibacterianos mais usados na agricultura são formulações de estreptomicina ou combinações de estreptomicina com oxitetraciclina. Entretanto, o uso contínuo pode favorecer o surgimento de bactérias resistentes, além de não ser permitido em culturas destinadas ao consumo humano (Agrônos, 2005).

Nos últimos anos, tem sido constatada resistência de bactérias fitopatogênicas a vários produtos químicos, inclusive àqueles de ação multissítio e amplamente utilizados, como os compostos cúpricos (Areas *et al.*, 2017; Roach *et al.*, 2020). A resistência a antibióticos como kasugamicina, oxitetraciclina e estreptomicina já foi identificada em pelo menos 24 gêneros bacterianos, incluindo *Erwinia*, *Pseudomonas* e *Xanthomonas*, sendo frequentemente adquirida por transferência horizontal de genes (Sundin e Bender, 1995; Sundin e Wang, 2018).

Assim, o uso excessivo e inadequado desses produtos pode reduzir sua efetividade devido ao surgimento de populações resistentes, inclusive aos compostos que atuam em múltiplos sítios de ação, como ocorre com os produtos à base de cobre (Brent e Hollomon, 2007). A resistência é caracterizada pela capacidade hereditária de um isolado apresentar menor sensibilidade a fungicidas ou antibióticos anteriormente eficientes. Termos como “redução de sensibilidade” ou “tolerância” também são usados quando os defensivos passam a ter pouca ou nenhuma ação em condições de campo (FRAC, 2024). Além disso, o uso inadequado pode levar ao reaparecimento de pragas, contaminação de alimentos e do meio ambiente e riscos de intoxicação para seres humanos e animais (Burg e Mayer, 1998). Esses fatores podem comprometer seriamente a produção agrícola, uma vez que o controle químico é uma ferramenta importante no manejo integrado de doenças (Brent e Hollomon, 2007).

2.8 Controle Biológico

Na agricultura orgânica, o controle alternativo de pragas e doenças envolve práticas como o uso de agentes biológicos, a estimulação da resistência natural das plantas (Moraes, 1992) e o emprego de extratos de origem vegetal com ação antimicrobiana e/ou capazes de ativar mecanismos de defesa (Schwan-Estrada *et al.*, 2003).

O controle biológico é considerado uma estratégia promissora no manejo de patógenos, pois utiliza organismos vivos para diminuir a população do agente causador da doença sem causar danos ao ambiente ou comprometer a saúde da planta. Essa abordagem, que ainda está em processo de expansão no Brasil, envolve a aplicação de microrganismos benéficos, como determinadas bactérias, que competem com o patógeno ou inibem seu desenvolvimento, configurando uma alternativa sustentável e de baixo impacto para o produtor (Syngenta, 2025).

A adoção do controle biológico se destaca por ser uma opção ambientalmente adequada e compatível com o Manejo Integrado de Doenças (MID). Além de auxiliar no equilíbrio ecológico do sistema produtivo, seu uso contribui para a diminuição da dependência de defensivos químicos, funcionando como uma ferramenta complementar e eficiente (Syngenta, 2025).

Apesar de ainda existirem desafios para sua implementação em diferentes regiões e condições climáticas, avanços em pesquisa e desenvolvimento têm ampliado o número de produtos disponíveis e a eficiência dessa tecnologia no controle de doenças como o crestamento-bacteriano-comum (Syngenta, 2025).

Os agentes microbianos de controle biológico atuam por diversos mecanismos. Eles podem ativar respostas de defesa da planta ou tornar o tecido vegetal mais resistente à infecção, mesmo sem interação direta com o patógeno (Pieterse *et al.*, 2014). Outro mecanismo indireto é a competição por nutrientes e espaço, reduzindo o estabelecimento e a proliferação do microrganismo causador da doença (Spadaro e Droby, 2016).

2.9 Biossurfactante

O uso de biossurfactantes como agentes biopesticidas no controle de doenças tem ganhado atenção principalmente devido ao seu caráter ecologicamente sustentável, elevada capacidade de degradação no ambiente e produção a partir de recursos renováveis. Esses compostos são produzidos por microrganismos e possuem funções semelhantes às dos surfactantes sintéticos. Entretanto, apresentam diversas vantagens, como fácil degradação no meio ambiente, resistência a variações de temperatura, baixa toxicidade, ampla faixa de atuação em diferentes valores de pH e obtenção a partir de matérias-primas renováveis, como óleo residual e glicerol (Nitschke e Pastore, 2002; Markande *et al.*, 2021).

Embora apresentem propriedades que possibilitam inúmeras aplicações, a característica mais explorada dos biossurfactantes é sua natureza anfifílica, que permite que se

dispersem tanto em soluções aquosas quanto em substâncias lipofílicas. Por isso, encontram uso em diversos setores, como formulações detergentes, cosméticos, produtos de higiene pessoal, processos de biorremediação, produção de nanopartículas e até como potenciais agentes antimicrobianos contra alguns microrganismos (Marchant e Banat, 2012).

Apesar do grande potencial, sua aplicação em larga escala ainda é limitada pelo alto custo de produção, especialmente quando comparados aos surfactantes sintéticos, que são significativamente mais baratos. Para tornar viável sua utilização comercial, pesquisas têm buscado alternativas para aumentar a produtividade das bactérias produtoras de biosurfactantes e reduzir os custos do processo. Entre as estratégias adotadas estão o uso de matérias-primas de baixo custo, preferencialmente resíduos industriais, além da otimização de técnicas fermentativas e do desenvolvimento de microrganismos geneticamente modificados. Contudo, essas abordagens ainda estão em fase de desenvolvimento e exigem mais estudos para aprimorar a eficiência produtiva (Mukherjee *et al.*, 2006).

A classificação dos biosurfactantes pode ser feita tanto pelo grupo bioquímico quanto pela massa molecular: moléculas de baixa massa incluem glicolipídeos, lipopeptídeos e flavolipídeos; já moléculas de maior massa abrangem polissacarídeos, proteínas, lipoproteínas e lipopolissacarídeos (Figura 3) (Kubicki *et al.*, 2019).

Figura 3- Categorias de Biossurfactantes.

Classe de biossurfactante	Tipo	Micro-organismo produtor
Glicolípidios	Ramnolípidios	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>
	Soforolípidios	<i>Candida bombicola</i>
	Trehalolípidios	<i>Rhodococcus erythropolis</i> ,
Lipopeptídios	Viscosina	<i>Pseudomonas fluorescens</i>
	Surfactina	<i>Bacillus subtilis</i>
	Polimixina	<i>Bacillus polymyxa</i>
Fosfolípidios, ácidos graxos e lípidios neutros	Ácidos graxos	<i>Corynebacterium lepus</i>
	Lipídios neutros	<i>Nocardia erythropolis</i>
	Fosfolípidios	<i>Thiobacillus thiooxidans</i>
Surfactantes poliméricos	Emulsan	<i>Acinetobacter calcoaceticus</i>
	Biodispersan	<i>Acinetobacter calcoaceticus</i>
	Liposan	<i>Candida lipolytica</i>
Surfactantes particulados	Vesículas	<i>Acinetobacter calcoaceticus</i>
	Células	Cianobacteria

Fonte: Felipe; Dias, 2017.

Essa diferença estrutural influencia a forma como interagem com outras substâncias: biossurfactantes de baixa massa são mais eficientes em processos de redução de tensão superficial, enquanto os de maior massa se destacam em processos de emulsificação (Smyth *et al.*, 2010).

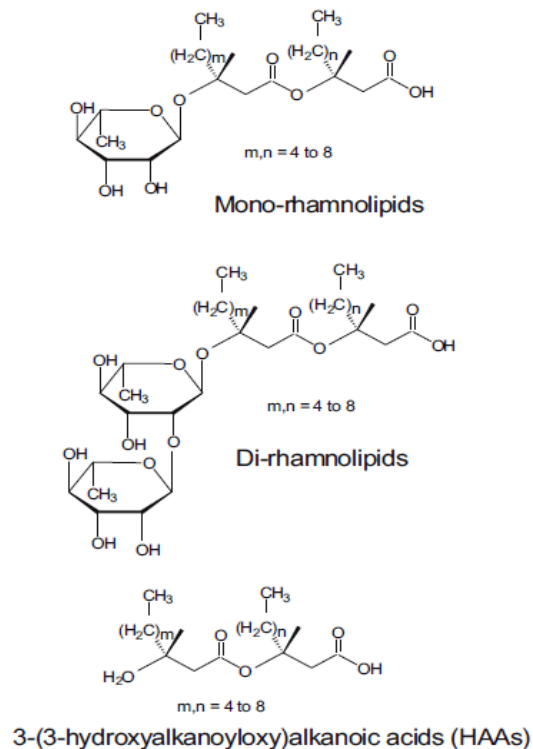
Os glicolípidios são o grupo mais frequente entre os biossurfactantes. Entre eles, destacam-se os ramnolípidios, trehalolípidios, soforolípidios e lípidios de manosileritritol (MELs), compostos por mono ou dissacarídeos ligados a ácidos graxos de cadeia longa ou ácidos hidroxialifáticos. Esses compostos apresentam grande potencial econômico e ampla aplicabilidade, sendo também os mais estudados e patenteados atualmente. Dentre os glicolípidios, os ramnolípidios são os mais promissores e já possuem aplicações industriais. Contudo, ainda é necessário aumentar o rendimento produtivo e reduzir os custos para viabilizar sua utilização em escala industrial (Muller *et al.*, 2012).

2.10 Ramnolipídios

Os ramnolipídios são moléculas produzidas por algumas espécies bacterianas, principalmente pertencentes ao gênero *Pseudomonas* spp. Embora suas funções naturais ainda não estejam totalmente esclarecidas, alguns estudos sugerem que sua produção, assim como a de outros biossurfactantes, possa favorecer a colonização de ambientes contaminados por hidrocarbonetos, como áreas impactadas por derramamento de petróleo ou locais com baixa disponibilidade de nutrientes. Outra possível função seria a atividade antimicrobiana, auxiliando a bactéria produtora na eliminação de competidores no mesmo habitat; porém, essa hipótese ainda é pouco investigada (Henkel *et al.*, 2012; Mohanty *et al.*, 2021).

Quimicamente, os ramnolipídios são moléculas anfifílicas formadas por ácidos graxos 3-hidroxilados ligados, por meio de uma ligação β -glicosídica, a um ou dois resíduos de ramnose (Figura 4) (Soberón-Chávez, Lépine e Déziel (2005). Esses biossurfactantes apresentam alta eficiência e podem ser utilizados em processos de relevância ambiental, como biorremediação de hidrocarbonetos, descontaminação de poluentes orgânicos e recuperação de áreas com presença de metais pesados (Nitschke, Costa e Contiero 2005; Nitschke, Costa e Haddad, 2005). Além disso, possuem potencial para aplicações industriais, podendo ser empregados na síntese de compostos químicos, modificação de superfícies e revestimentos, além de atuarem como aditivos em alimentos e cosméticos (Maier e Soberon-Chavez, 2000). Os ramnolipídios também demonstram capacidade de inibir patógenos vegetais zoospóricos, como os oomycetos, impedindo a germinação de seus esporos (Stanghellini e Miller, 1997; Perneel *et al.*, 2008).

Figura 4- Estrutura química do do monoramnolipídeo, dirramnolipídeo e do ácido graxo 3-(3-hidroxi-*l*-alcanoiloxi)-*l*-alcanoato (HAA).



Fonte: Soberón-Chávez, Lépine e Déziel, 2005.

Por serem moléculas anfifílicas, os glicolipídios conseguem interagir diretamente com membranas plasmáticas (Otzen, 2017). Assim, propõe-se que o mecanismo de ação dos ramnolipídios sobre patógenos produtores de zoósporos envolva a ruptura dessas células por meio da inserção do RL na membrana plasmática, que não possui proteção por parede celular (Stanghellini e Miller, 1997). Eles também podem afetar células miceliais, levando à sua desestruturação ou lise. A inserção dos RL nas membranas varia conforme sua composição lipídica (Aranda *et al.*, 2007). Estudos mostram que ramnolipídios mono e dirhamnolipídios podem se intercalar em bicamadas de fosfatidilcolina e fosfatidiletanolamina, alterando significativamente sua organização estrutural (Ortiz *et al.*, 2006).

Além disso, os RL desempenham diferentes funções fisiológicas em bactérias. Eles participam da captura e degradação de compostos pouco solúveis e são essenciais para movimentação em superfícies e formação de biofilmes. Do ponto de vista industrial, os ramnolipídios são considerados biossurfactantes de alto valor devido ao seu potencial uso em processos de biorremediação ambiental (Abdel-Mawgoud *et al.*, 2010).

Foi evidenciado que os ramnolipídios possuem ação antibacteriana contra microrganismos patogênicos tanto de plantas quanto de humanos, apresentando atividade

contra bactérias Gram-positivas e Gram-negativas. As propriedades antimicrobianas de glicolipídios e ramnolipídios são atribuídas à sua capacidade de alterar a permeabilidade da membrana plasmática bacteriana, modificando a carga e hidrofobicidade da superfície celular, de forma semelhante ao que ocorre com surfactantes sintéticos catiônicos. Além disso, eles podem aumentar a sensibilidade das bactérias à ação de outros agentes antimicrobianos, dificultando a formação de biofilmes (Arino *et al.*, 1998).

3. Objetivos

3.1 Gerais

Analisar o potencial do biosurfactante do tipo ramnolipídios produzidos pela bactéria *Pseudomonas aeruginosa* LBI 2A1 contra os fitopatógenos *Xanthomonas axonopodis pv. glycines*, responsável pela pústula-bacteriana na cultura da soja e *Xanthomonas citri pv. fuscans*, responsável pelo crestamento-bacteriano-comum (CBC) na cultura do feijão.

3.2 Específicos

- Avaliar o efeito de diferentes concentrações de ramnolipídios no crescimento de *Xanthomonas axonopodis pv. glycines*;
- Avaliar o efeito de diferentes concentrações de ramnolipídios no crescimento de *Xanthomonas citri pv. fuscans*;

4. Material e Métodos

Os experimentos para avaliar a ação biodefensiva de ramnolipídios foram realizados no Laboratório de Microbiologia do Centro de Ciências da Natureza (CCN) da UFSCar – Lagoa do Sino, Buri – SP.

4.1 Microrganismos

Os microrganismos utilizados neste estudo são os fitopatógenos *Xanthomonas axonopodis pv. glycines* e *Xanthomonas citri pv. fuscans* provenientes da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – (EMBRAPA). As bactérias ficaram acondicionadas em microtubos contendo glicerol 20% e armazenada em freezer à -20°C.

4.2 Meios de cultura

4.2.1 Meio MXG

Este meio foi utilizado para o cultivo em frascos Erlenmeyer de 125 ml e manutenção do microrganismo *Xanthomonas axonopodis* pv. *glycines*, sendo composto por (g/L): K₂HPO₄ - 0,8, KH₂HPO₄ - 0,6, extrato de levedura - 0,7, amido solúvel - 0,8, glicose - 1, ágar - 15 g, 1 mL de verde metila (1% em 20% de etanol), aferindo o pH entre 7,2-7,4 (Violatti e Tebaldi, 2016).

4.2.2 Caldo nutriente

Este meio foi utilizado para o cultivo em frascos Erlenmeyer de 125 ml e manutenção do microrganismo *Xanthomonas citri* pv. *fuscans* (Costa, 2015).

4.3 Biossurfactante

O biossurfactante do tipo ramnolipídio, produzido por *Pseudomonas aeruginosa* LBI 2A1 que foi utilizado neste estudo, foi fornecido por um grupo de pesquisa parceiro da orientadora deste projeto. As soluções desse biossurfactante foram avaliadas nas seguintes concentrações: 0,5, 1,0 e 1,5 g/L de ramnolípidos.

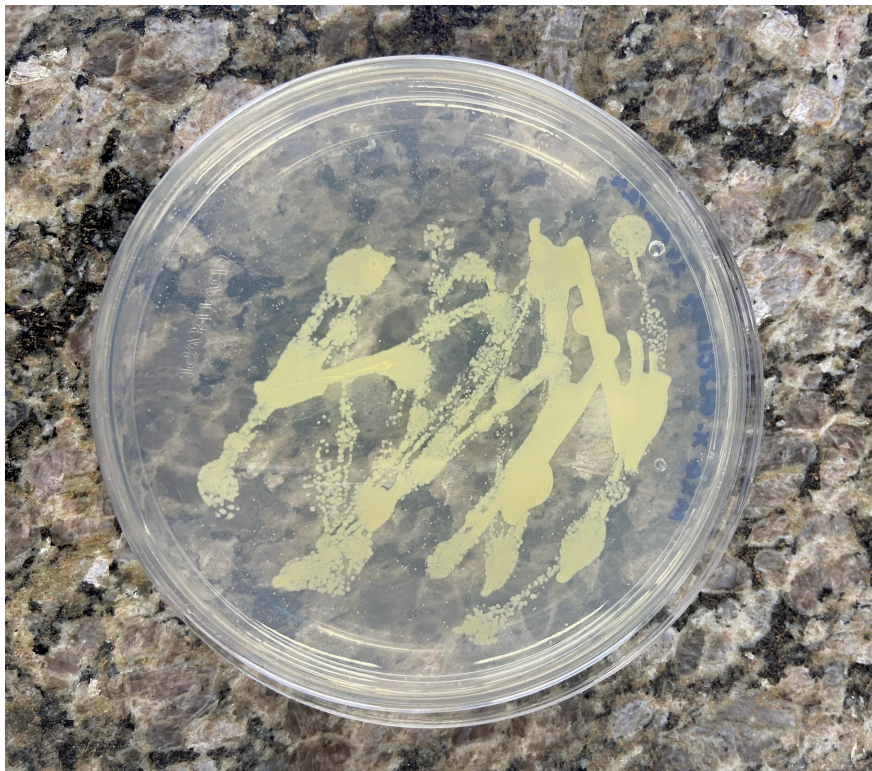
4.4 Experimentos da Avaliação da ação biodefensiva de ramnolipídios contra a bactéria *Xanthomonas axonopodis* pv. *glycines*

4.4.1 Preparo do inóculo

O inóculo foi preparado a partir dos tubos de cultura estoque congelado de *Xanthomonas axonopodis* pv. *glycines*, onde 1,5 ml foi adicionado em frascos Erlenmeyer de 125 mL, contendo 40 mL do meio de cultura MXG. Os frascos foram incubados durante 48 horas a 30 °C e 150 rpm.

Após o período de incubação, para dar início aos testes com o ramnolipídio, fez-se a leitura da densidade óptica do inóculo em 600 nm, com o intuito de padronizá-lo. A partir da leitura de D.O, determinou-se o volume de inóculo a ser adicionado em cada frasco, a fim de obter uma D.O 600 nm inicial de 0,05. Simultaneamente, o inóculo foi transferido para uma placa de Petri, com o auxílio de uma alça de inoculação, a fim de verificar a pureza da mesma bactéria estava pura (Figura 5).

Figura 5- Estriamento do inóculo feito no meio líquido MXG para certificar que a pureza da bactéria *Xanthomonas axonopodis* pv. *glycines*.



Fonte: Autoria Própria, 2025.

4.4.2 Teste em Laboratório

Os experimentos foram realizados em frascos Erlenmeyer de 125 mL, contendo 40 mL de meio de cultura MXG e solução de ramnolipídios previamente autoclavada. Preparou-se a frascos contendo o meios de cultura e ramnolipídios nas seguintes concentrações de 0,5; 1,0 e 1,5 g/L de ramnolipídios. Nos frascos referente ao grupo controle não foi adicionado a solução de ramnolipídios, apenas 40 ml do meio MXG. Os experimentos foram conduzidos em triplicata.

Após a inoculação dos frascos com a bactéria *Xanthomonas axonopodis* pv. *glycines*, os frascos foram incubados a 30°C em 150 rpm por um período de 144 horas. As amostras foram retiradas nos seguintes tempos: 24, 48, 72, 96, 120 e 144 horas de experimento. As avaliações foram realizadas por meio da leitura diária da densidade óptica em 600 nm das amostras retiradas, com o intuito de verificar o crescimento da bactéria submetidas às diferentes concentrações de ramnolipídios.

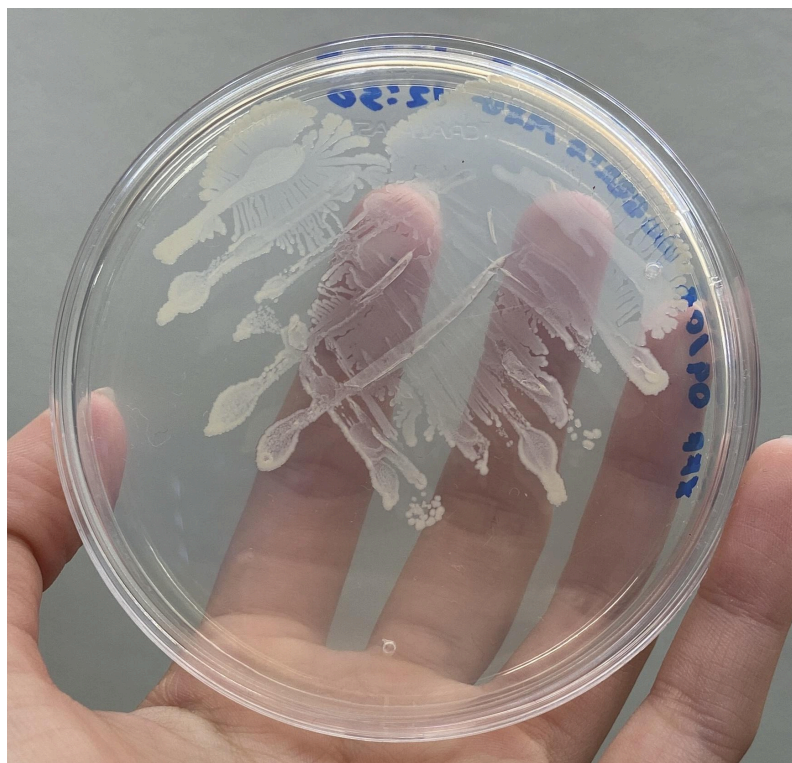
4.5 Experimentos de Avaliação da ação biodefensiva de ramnolipídios contra a bactéria *Xanthomonas citri* pv. *fuscans*

4.5.1 Preparo do inóculo

O inóculo foi preparado a partir dos tubos de cultura estoque congelado da bactéria *Xanthomonas citri* pv. *fuscans*, onde 1,5 ml foi adicionado em frascos Erlenmeyer de 125 mL, contendo 40 mL do meio de cultura Caldo Nutriente. Os frascos foram incubados durante 24 horas a 30 °C e 150 rpm.

Após o período de incubação, para dar início aos testes com o ramnolipídio, fez-se a leitura da densidade óptica do inóculo, em 600 nm, com o intuito de padronizá-lo. A partir da leitura de D.O, determinou-se o volume de inóculo a ser adicionado em cada frasco, a fim de obter uma D.O 600 nm inicial de 0,05. Simultaneamente, o inóculo foi transferido para uma placa de Petri, com o auxílio de uma alça de inoculação, a fim de verificar a pureza do mesmo (Figura 6).

Figura 6- Inóculo feito no meio líquido Caldo Nutriente foi passado para a placa de Petri para certificar que a bactéria *Xanthomonas citri* pv. *fuscans* está pura.



Fonte: Aatoria Própria, 2025.

4.5.2 Teste em Laboratório

Os experimentos foram realizados em frascos Erlenmeyer de 125 mL, contendo 40 mL de meio de cultura MXG e solução de ramnolipídios previamente autoclavada. Preparou-se uma frascos contendo o meios de cultura e solução de ramnolipídios nas seguintes concentrações 0,5; 1,0 e 1,5 g/L de ramnolipídios. Nos frascos referente ao grupo controle não foi adicionado a solução de ramnolipídios, apenas 40 ml do meio MXG. Os experimentos foram conduzidos em triplicata.

Após a inoculação dos frascos com a bactéria *Xanthomonas citri* pv. *fuscans*, os frascos foram incubados a 30°C em 150 rpm por um período de 144 horas. As amostras foram retiradas nos seguintes tempos: 24, 48, 72, 96, 120 e 144 horas de experimento. As avaliações foram realizadas por meio da leitura diária da densidade óptica em 600 nm das amostras retiradas, com o intuito de verificar o crescimento da bactéria submetidas às diferentes concentrações de ramnolipídios.

4.6 Análise dos dados obtidos em laboratório

Os resultados obtidos durante a execução dos experimentos em laboratório foram processados e analisados por métodos estatísticos no software Excel, no qual calculou-se as médias dos resultados em triplicata, o desvio médio padrão e gerou-se os gráficos para a análise do crescimento bacteriano. As médias dos resultados em triplicata também foram inseridas no software Excel para a Análise de Variância (ANOVA) e no RStudio para o Teste de Tukey.

5. Resultados e Discussão

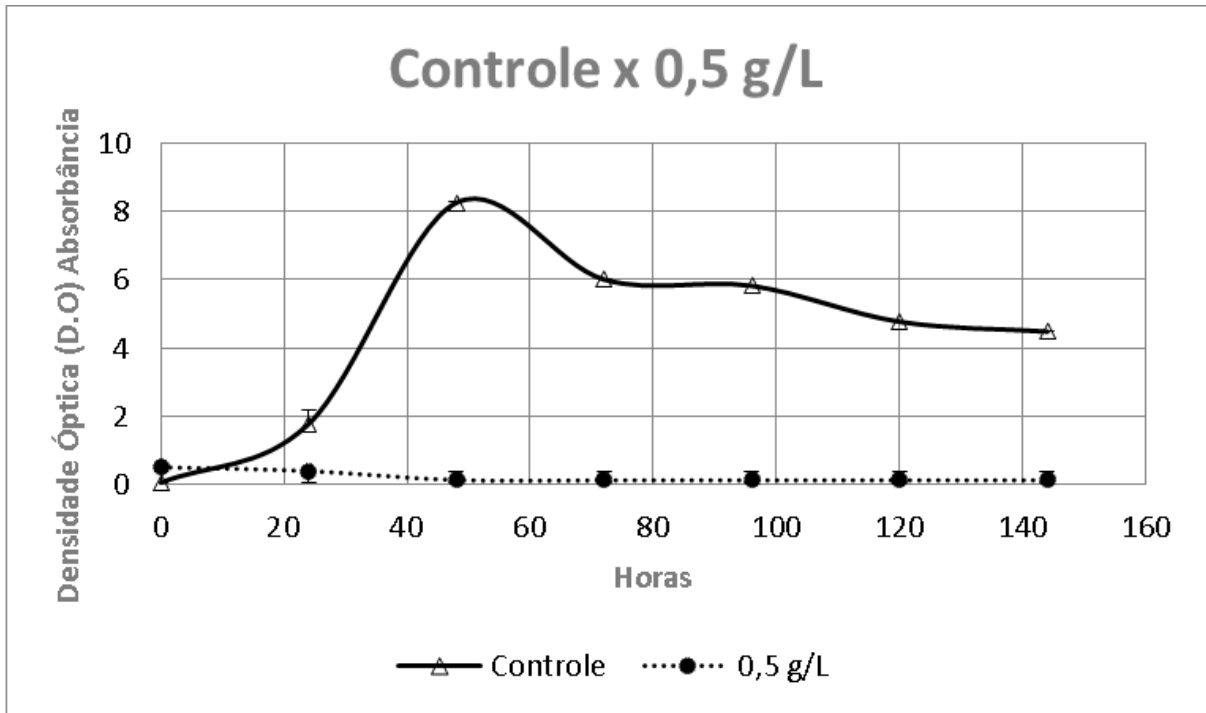
5.1 Comparação do perfil de crescimento da bactéria *Xanthomonas citri* pv. *fuscans* nas diferentes concentrações de ramnolipídios

Após o cálculo das médias e dos desvios médio padrão os resultados podem ser visualizados com a representação gráfica do crescimento de acordo com as seguintes concentrações: 0,5 g/L (Figura 7), 1,0 g/L (Figura 8), 1,5 g/L (Figura 9).

A partir da Figura 7 é possível observar que o grupo controle apresentou um crescimento bacteriano significativo comparado ao grupo 0,5 g/L, enquanto a condição com

0,5 g/L parece ter impedido o crescimento, indicando um possível efeito inibitório dessa concentração.

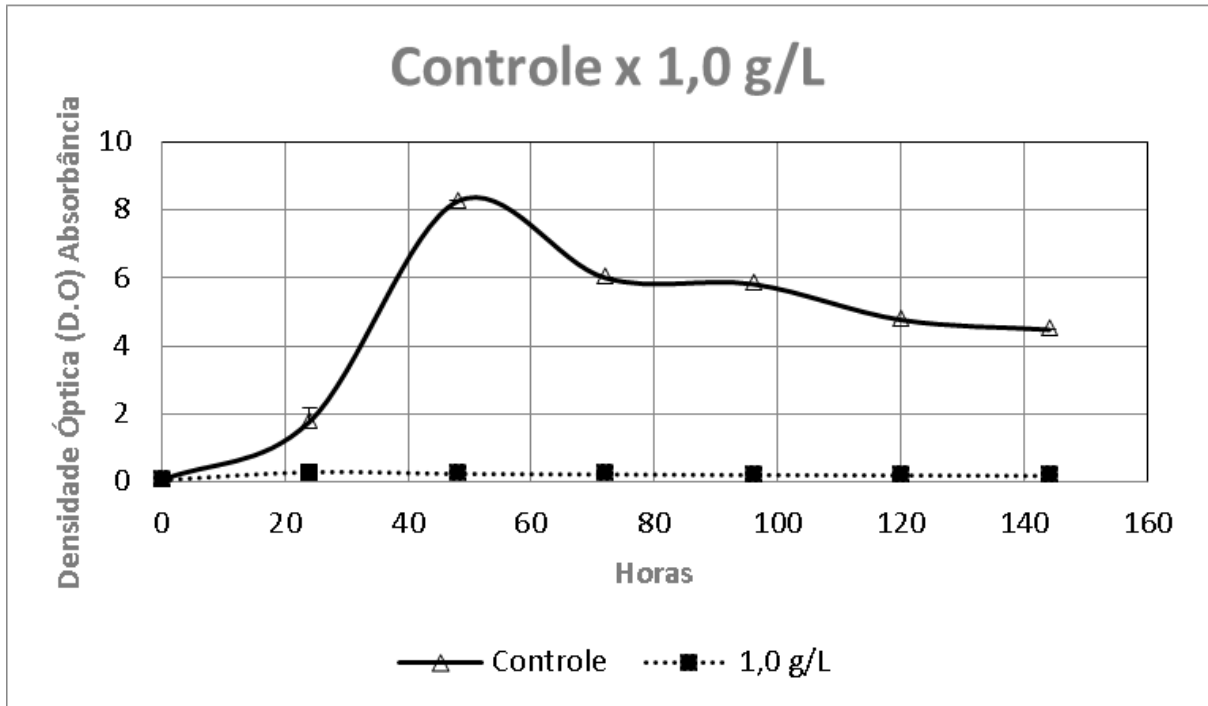
Figura 7 - Comparação dos perfis de crescimento da bactéria *X. citri pv. fuscans* na presença de 0,5 g/L de ramnolipídios e grupo controle.



Fonte: Autoria Própria, 2025.

No grupo controle, a absorbância aumenta rapidamente nas primeiras 40 horas, tendo seu pico de crescimento por volta de 48 horas. Após o pico, a densidade óptica diminui gradualmente até 150 horas. No grupo 0,5 g/L, pode ser observado um pequeno crescimento nas primeiras 24 horas, porém o valor de absorbância permanece praticamente nulo durante todo o experimento, indicando a ausência de crescimento bacteriano relevante.

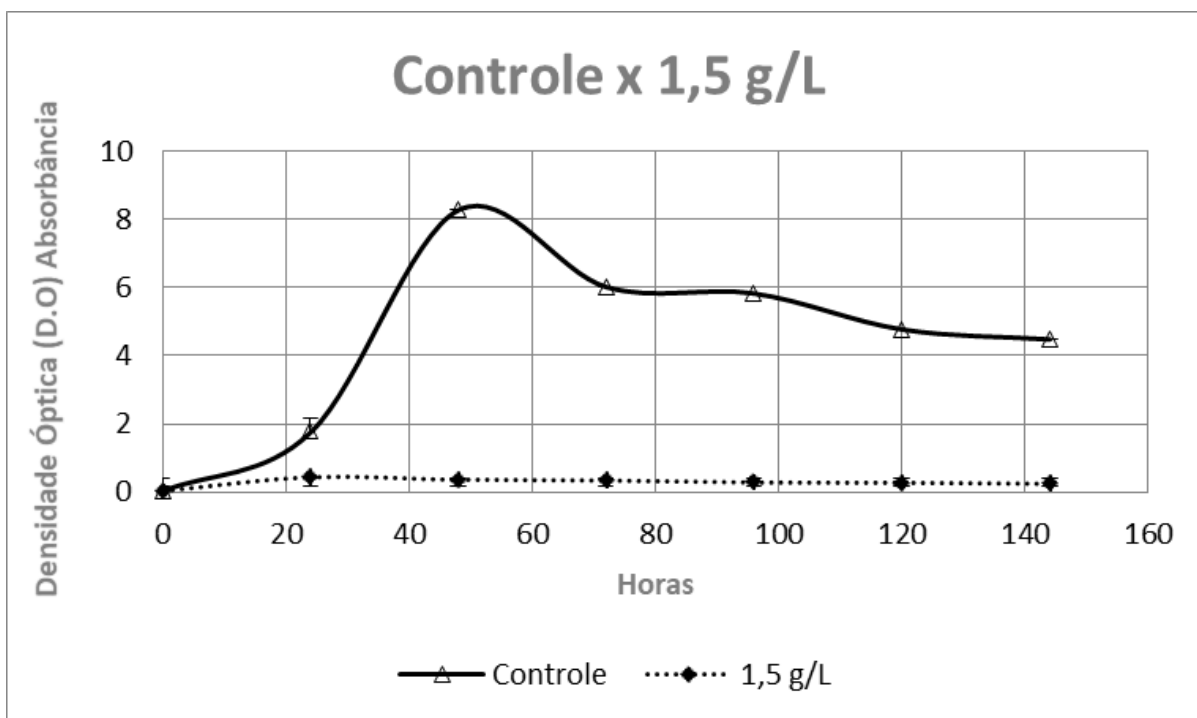
Figura 8- Comparação do perfil de crescimento da bactéria *X. citri* pv. *fuscans* na presença de 1,0 g/L de ramnolipídios e grupo controle.



Fonte: Autorial Própria, 2025.

A partir do Figura 8 é possível observar que não houve um crescimento significativo dos microorganismos no grupo tratado com a concentração de 1,0 g/L da substância antimicrobiana. Nas primeiras 24 horas mostra um crescimento pouco significativo mas que se estabiliza rapidamente, se mantendo próximo de zero em todo o período até 144 horas. Isso sugere que o biotensioativo inibiu totalmente o crescimento microbiano impedindo qualquer aumento na D.O ao longo do tempo. Enquanto o grupo controle mostra um padrão típico de crescimento bacteriano, tendo fase logarítmica, fase estacionária e fase de declínio em um nível superior ao grupo tratado com 1,0 g/L de ramnolipídios em todo o período de experimento. O grupo tratado com 1,0 g/L do biossurfactante não apresenta nenhum crescimento mensurável, sugerindo que o ramnolipídio parece ter um efeito inibitório completo sobre o crescimento das bactérias que permanece constante e baixa (D.O perto de zero) ao longo de todo o experimento.

Figura 9- Comparação do perfil de crescimento da bactéria *X. citri* pv. *fuscans* na presença de 1,5 g/L de ramnolipídios e grupo controle.



Fonte: Autorial Própria, 2025.

Semelhante ao gráfico anterior, o desenvolvimento do grupo tratado com 1,5 g/L de ramnolipídios (Figura 9) permanece quase plano e próximo de zero durante todo o período, sugerindo que o crescimento foi completamente inibido. A D.O permanece praticamente constante durante as 144 horas, com um crescimento insignificante nas primeiras 24 horas mas que se estabiliza rapidamente, o que indica que o ramnolipídio em concentração de 1,5 g/L tem um efeito inibitório semelhante ao visto com 1,0 g/L do biossurfactante. Enquanto o grupo controle mostra um crescimento típico, mantendo-se em um nível superior em todo o período de experimento.

O gênero *Pseudomonas* está entre os grupos bacterianos mais estudados em relação à produção de metabólitos secundários e propriedades antimicrobianas com aplicações no controle biológico (Mello, 2005), têm sido testados no controle de fitopatógenos como agentes bactericidas, fungicidas, nematicidas, acaricidas e inseticidas (Neidig *et al.*, 2010). De acordo com Sotirova *et al.*, (2008), as moléculas de ramnolipídios, produzidos pelo metabolismo secundário das *P. aeruginosas*, possuem a capacidade de se intercalarem dentro das membranas celulares e destruí-las pelo seu poder de permeabilidade. Além disso, por aumentarem a hidrofobicidade da célula, os ramnolipídios tem capacidade de retirar os

lipopolissacarídeos presentes na membrana externa das bactérias Gram-negativas, como a *X. citri* pv. *fuscans*. As modificações nas funções celulares estão atribuídas a ação antimicrobiana do biotensoativo e por apresentar caráter anfifílico, diversos estudos apontam a possível interação do ramnolipídio com elementos da parede e membranas citoplasmáticas das bactérias. Os mecanismos de ação da substância antimicrobiana podem surgir por meio da inibição da síntese de parede celular; danos à membrana plasmática; inibição da síntese de proteínas; inibição da síntese de ácidos nucleicos e a inibição da síntese de metabólitos essenciais (Ferreira, 2017).

Além disso, outros estudos também comprovam que esses biossurfactantes podem aumentar a permeabilidade da membrana e causar sua desestabilização, interferindo na organização natural da bicamada lipídica (Abdel-Mawgoud; Lépine; Deziel, 2010). Essa característica está relacionada ao seu efeito antimicrobiano, uma vez que a alteração na permeabilidade facilita o extravasamento de substâncias internas da célula, levando à perda de conteúdo celular da célula-alvo (Petrocelli et al., 2012).

Muitos estudos comprovam o efeito inibidor do biossurfactante proveniente dos ramnolipídios. Segundo Spago (2012), os ramnolipídios provenientes do isolado *P. aeruginosa* estudadas no laboratório de Ecologia Microbiana, da Universidade Estadual de Londrina, demonstrou eficácia no controle de três espécies do gênero *Xanthomonas in vitro* e em condições de casa de vegetação, sendo elas as *X. axonopodis* pv. *phaseoli*, *X. citri* pv. *citri* e *X. axonopodis* pv. *malvacearum*, e assim como demonstrado nos testes em laboratório com as diferentes concentrações do biossurfactante, nas quais inibiram o crescimento da bactéria *Xanthomonas citri* pv. *fuscans* estudadas na atual pesquisa, sendo que tal efeito pode ser ocasionado devido às excelentes propriedades físicoquímicas que os ramnolipídios possuem, o que contribui para a sua eficiência no controle biológico e amplo espectro de aplicações nos diferentes objetivos de pesquisas.

Foi realizado o teste estatístico ANOVA (Tabela 1). O resultado da análise de variância mostrou que a diferença entre as médias dos tratamentos aplicados é significativa ($p = 7,03E-07$), sendo possível observar que o crescimento da bactéria de pelo menos uma das concentrações difere das demais.

Tabela 1- Análise estatística ANOVA realizada entre os grupos do teste com *Xanthomonas citri* pv. *fuscans*.

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	0,53064	3	0,17688	112,4129	7,03E-07	4,06618
Dentro dos grupos	0,01258	8	0,00157			
Total	0,5432342	11				

Fonte: Autoria Própria, 2025.

Após a análise estatística por ANOVA, verificou-se diferença significativa entre o grupo controle e todos os tratamentos contendo biossurfactante. Em seguida, aplicou-se o teste de Tukey, o qual permite identificar especificamente entre quais grupos a diferença estatística ocorre (Tabela 2).

No presente experimento, os três tratamentos testados (0,5 g/L, 1,0 g/L e 1,5 g/L de ramnolipídios) apresentaram valores maiores que o DMS (diferença mínima significativa), demonstrando que todos diferiram estatisticamente do controle. Assim, as concentrações de ramnolipídios influenciaram significativamente o crescimento de *Xanthomonas citri* pv. *fuscans*.

Tabela 2- Teste de Tukey entre os grupos do teste com a *Xanthomonas citri* pv. *fuscans*.

DMS	0,092524
Controle-0,5 g/L de ramnolipídios	0,533559
Controle-1,0 g/L de ramnolipídios	0,389142
Controle-1,5 g/L de ramnolipídios	0,488519

Fonte: Autoria própria, 2025.

O teste indicou diferença significativa em todos os pares, mostrando que todas as concentrações de ramnolipídios alteraram de forma estatisticamente comprovada o comportamento da bactéria em relação ao controle. Assim, o efeito observado não ocorreu ao

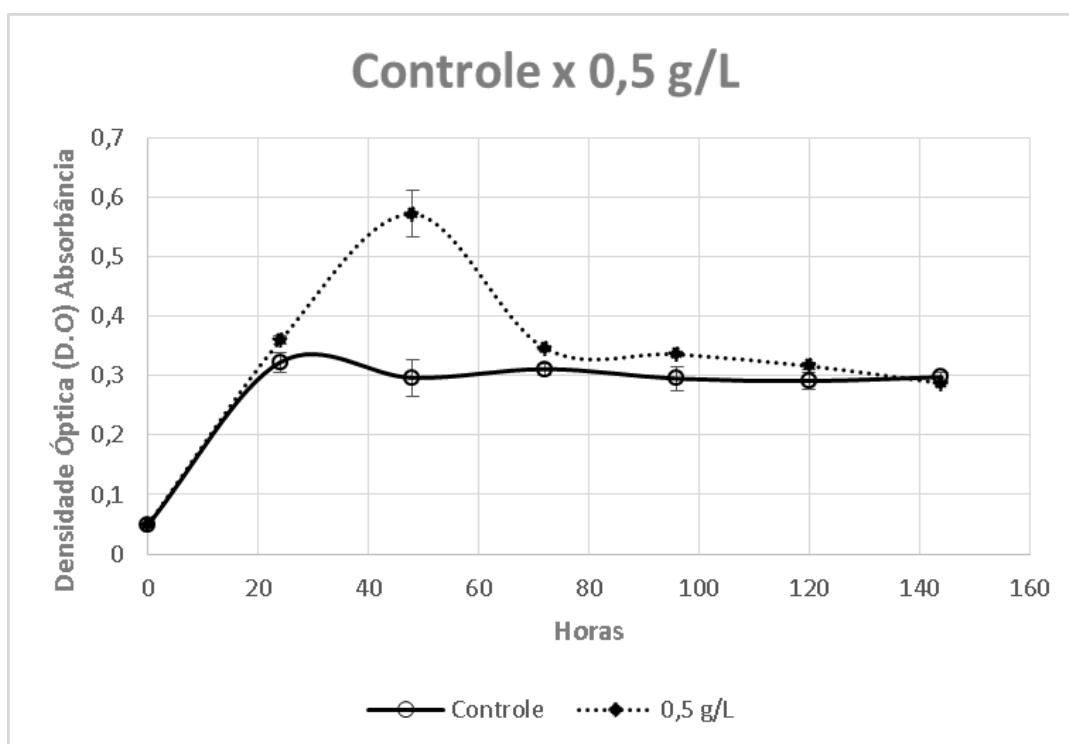
acaso, e sim devido ao tratamento aplicado, destacando que a ação do biossurfactante depende da concentração aplicada e da resistência estrutural da bactéria.

5.2 Comparação do perfil de crescimento da bactéria *Xanthomonas axonopodis* pv. *glycines* nas diferentes concentrações de ramnolipídios.

Após o cálculo das médias e dos desvios médio padrão os resultados podem ser visualizados com a representação gráfica do crescimento de acordo com as seguintes concentrações: 0,5 g/L (Figura 10), 1,0 g/L (Figura 11), 1,5 g/L (Figura 12).

De acordo com o Figura 10 é possível observar que o grupo tratado com 0,5 g/L do biossurfactante apresenta um crescimento inicial mais acentuado que o grupo controle entre 20 e 60 horas. Após esse pico, ocorre uma queda significativa na D.O., com a absorvância caindo gradualmente a partir de 80 horas, onde o grupo do biotensoativo se estabiliza semelhante ao grupo controle. Ambos os tratamentos se estabilizam, podendo sugerir que as condições para o crescimento se tornam semelhantes para os dois grupos ao longo do tempo, independentemente do tratamento, porém pode ser observado um impacto positivo da substância no crescimento bacteriano do grupo 0,5 g/L de ramnolipídios.

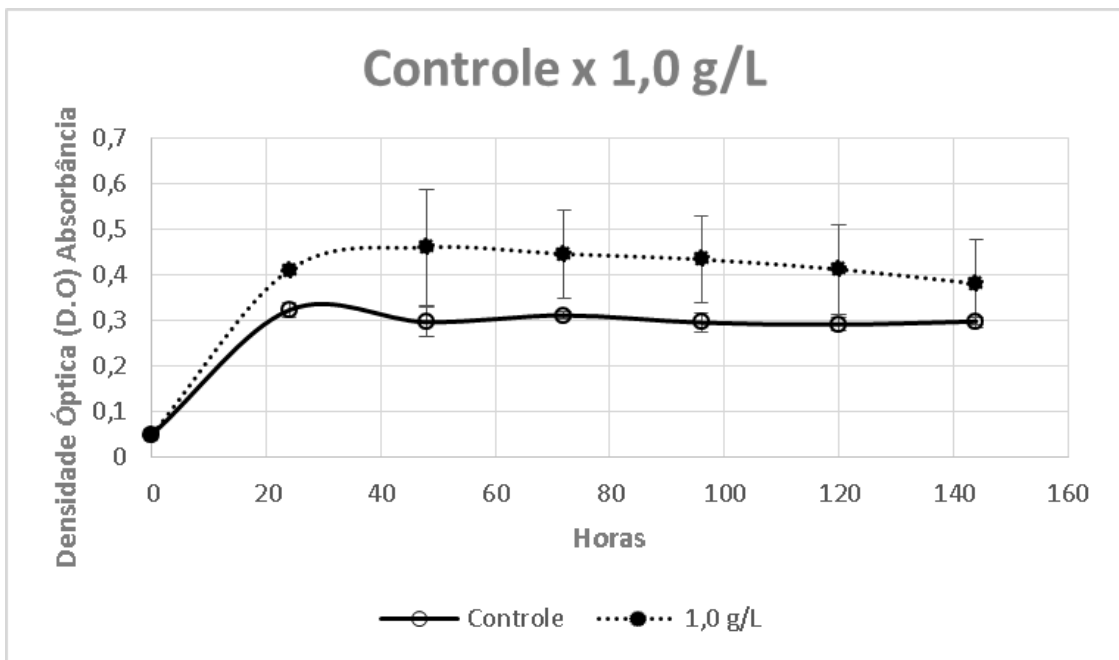
Figura 10- Comparação dos perfis de crescimento da bactéria *X. axonopodis* pv. *glycines* na presença de 0,5 g/L de ramnolipídios e grupo controle.



Fonte: Autoria Própria, 2025.

No tratamento, onde se utilizou 1,0 g/L de ramnolipídios (Figura 11), é possível observar um crescimento bacteriano ligeiramente superior em comparação com o grupo controle. Após 24 horas, o crescimento das bactérias, nas duas condições, se estabiliza, entretanto o grupo tratado com 1,0 g/L do biotensoativo, mantém uma D.O. maior, o que sugere que essa condição promoveu melhores condições para o crescimento bacteriano.

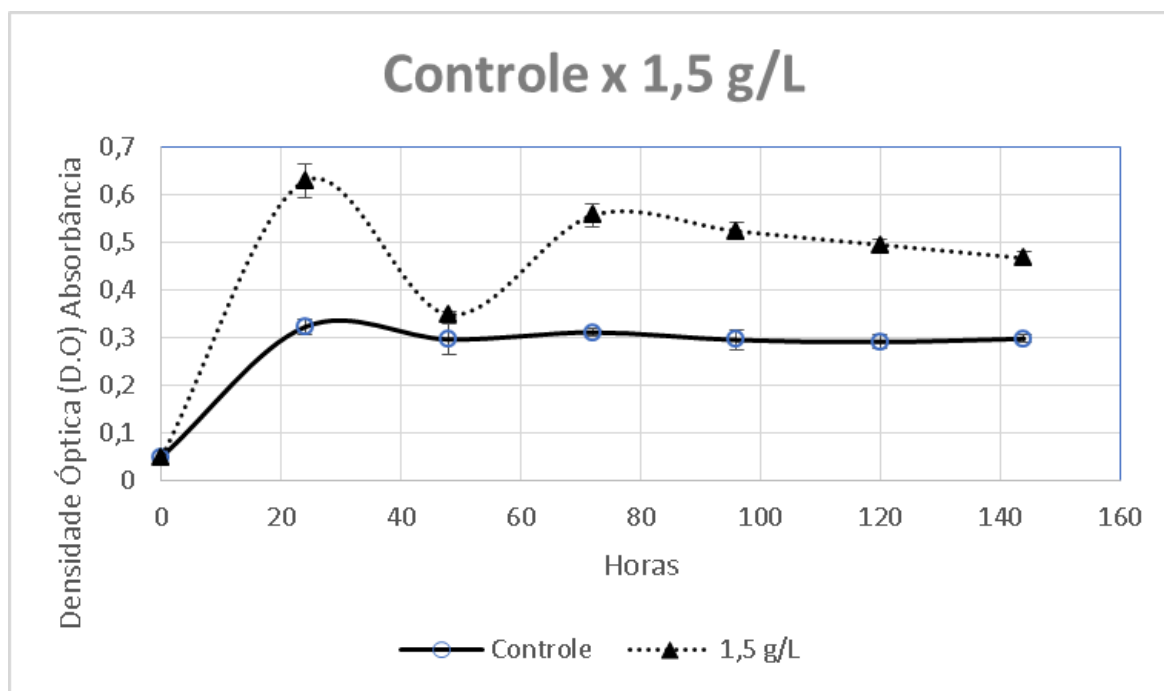
Figura 11- Comparação dos perfis de crescimento da bactéria *X. axonopodis pv. glycines* na presença de 1,0 g/L de ramnolipídios e grupo controle.



Fonte: Autoria Própria, 2025.

A partir do Figura 12, é possível observar que ambos os grupos mostram um crescimento rápido até 24 horas. Entretanto, o grupo experimental onde se utilizou 1,5 g/L de ramnolipídios, tem um crescimento bacteriano inicial mais acentuado. Após o pico de crescimento em 24 horas, o grupo 1,5 g/L do biossurfactante tem uma queda significativa mas ainda se mantém em um nível superior em seguida, ambos os grupos entram em uma fase estacionária.

Figura 12- Comparação dos perfis de crescimento da bactéria *X. axonopodis pv. glycines* na presença de 1,5 g/L de ramnolipídios e grupo controle.



Fonte: Autorial Própria, 2025.

Esses resultados indicam que as diferentes concentrações de ramnolipídios têm um impacto positivo no crescimento bacteriano. O fato da população microbiana crescer mais na presença do biossurfactante sugere que este cria condições mais favoráveis para o crescimento, seja diretamente como uma fonte de nutrientes, fornecendo algum fator de crescimento que favorece a proliferação microbiana ou indiretamente, aumentando a sua resistência ou melhorando sua eficiência metabólica, tornando o ambiente mais favorável.

Segundo Petrocelli *et al.* (2012), o metabolismo secundário conhecido como ramnolipídios, produzidos pelas *P. aeruginosa*, tem ação antimicrobiana, principalmente devido à sua capacidade de romper a membrana bacteriana. No entanto, a eficácia deste composto pode variar dependendo da composição de lipopolissacarídeo (LPS) da membrana bacteriana alvo. O LPS é importante para a integridade das células bacterianas e afeta diretamente a resistência aos agentes antimicrobianos. Em *Xanthomonas axonopodis*, o LPS parece desempenhar um papel mais forte na defesa contra agentes externos, especialmente ramnolipídios, o que pode explicar a maior resistência das *X. axonopodis pv. glycines* em relação ao biossurfactante. Portanto, a resistência da *X. axonopodis pv. glycines* pode ser

atribuída à sua capacidade de manter a integridade estrutural do LPS, que impede a penetração e ação eficiente dos ramnolipídios.

Foi realizado o teste estatístico ANOVA (Tabela 3). O resultado da análise de variância mostrou que a diferença entre as médias dos tratamentos aplicados é significativa ($p= 0,001402$), sendo possível observar que o crescimento da bactéria de pelo menos uma das concentrações difere das demais.

Tabela 3- Análise estatística ANOVA realizada entre os grupos do teste com *Xanthomonas axonopodis* pv. *glycines*.

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre os grupos	0,045703	3	0,015234	16,80372	0,001402	4,346831
Dentro dos grupos	0,006346	7	0,000907			
Total	0,05205	10				

Fonte: Autoria Própria, 2025.

Após a análise estatística por ANOVA, verificou-se diferença significativa entre o grupo controle e todos os tratamentos contendo biossurfactante. Em seguida, aplicou-se o teste de Tukey, o qual permite identificar especificamente entre quais grupos a diferença estatística ocorre (Tabela 4).

Tabela 4- Teste de Tukey entre os grupos do teste com a *Xanthomonas axonopodis* pv. *glycines*.

DMS	0,0702
Controle-0,5 g/L de ramnolipídios	0,0575
Controle-1,0 g/L de ramnolipídios	0,1042
Controle-1,5 g/L de ramnolipídios	0,1691

Fonte: Autoria própria, 2025.

Os resultados indicam que as concentrações 1,0 g/L e 1,5 g/L de ramnolipídios foram capazes de alterar significativamente o crescimento de *Xanthomonas anoxopodis* pv. *glycines*, quando comparadas ao grupo controle. Entretanto, a concentração mais baixa (0,5 g/L) não

produziu efeito significativo, sugerindo que existe um limiar mínimo de concentração para que os ramnolipídios exerçam ação mensurável sobre a bactéria.

A literatura sustenta que biossurfactantes, como os ramnolipídios, podem aumentar a biodisponibilidade de nutrientes presentes no meio, o que favorece a proliferação de microrganismos. Pacwa-Płociniczak *et al.*, (2011) descreveram que biossurfactantes reduzem a tensão superficial e aumentam a solubilidade de compostos orgânicos, tornando o meio mais acessível para absorção microbiana, refletindo em maior biomassa. Além disso, biossurfactantes podem atuar como fonte de carbono suplementar, dependendo da capacidade metabólica da bactéria. Estudos sobre produção e degradação de ramnolipídios demonstram que microrganismos podem utilizá-los como substrato energético, o que explicaria o crescimento superior observado. Em revisão recente, Matátková *et al.*, (2022) discutem que ramnolipídios podem ser metabolizados ou favorecer interações tróficas microbianas.

Os resultados em geral, mostram que diferentes concentrações geraram respostas estatisticamente diferentes, apresentando comportamento dose-dependente. Mulligan (2005) destaca que baixas concentrações podem estimular o crescimento microbiano, enquanto concentrações muito elevadas podem agir de forma inibitória. No entanto, os resultados mostraram um comportamento contrastante entre as duas espécies bacterianas testadas. Esse comportamento pode ser explicado por diferenças estruturais e fisiológicas entre as espécies.

No caso de *X. citri* *pv. fuscans*, é possível que o LPS presente em sua membrana externa apresente maior sensibilidade ao contato com ramnolipídios, o que explica a redução do crescimento observada após a aplicação do biossurfactante. Entretanto, em *X. axonopodis* *pv. glycines*, o comportamento foi inverso: houve aumento do crescimento em todas as concentrações de ramnolipídios avaliadas. Esse resultado é coerente com estudos que mostram que biossurfactantes também podem atuar como fonte de carbono suplementar ou aumentar a biodisponibilidade de nutrientes presentes no meio, favorecendo o crescimento microbiano

6. Conclusão

O ramnolipídio, produzido por *Pseudomonas aeruginosa* LBI 2A1 possui potencial para o controle biológico de fitopatógenos na agricultura. A ação da solução de ramnolipídio sobre o crescimento da bactéria *Xanthomonas citri* *pv. fuscans* se mostrou muito eficaz, não havendo uma variação significativa da densidade óptica das bactéria de acordo com as concentrações de ramnolipídios adicionados, ocorrendo uma redução expressiva no crescimento das populações microbianas. O biossurfactante utilizado tem um efeito inibitório

total em todas as concentrações de ramnolipídios testadas para esta bactéria (0,5 g/L, 1,0 g/L e 1,5 g/L). Isso sugere que mesmo em 0,5 g/L, o biotensoativo já exerce uma forte ação antimicrobiana, e aumentar a concentração para 1,0 g/L ou 1,5 g/L não proporciona um efeito adicional sobre a inibição do crescimento.

A ação da solução de ramnolipídio sobre o crescimento da bactéria *Xanthomonas axonopodis* pv. *glycines*, nas diferentes concentrações, não pareceu ser tão eficaz pois houve um maior crescimento da população bacteriana com a adição do biossurfactante, tendo um impacto positivo sobre elas. A bactéria se mostrou resistente em relação aos ramnolipídios, utilizando-o como fonte nutritiva. A diferença na eficácia do biossurfactante contra a *Xanthomonas citri* pv. *fuscans* e *Xanthomonas axonopodis* pv. *glycines* pode estar relacionada com variações nas características estruturais e metabólicas de cada bactéria.

REFERÊNCIAS

- ABDEL-MAWGOUD, A. M.; LÉPINE, F.; DÉZIEL, E. Rhamnolipids: diversity of structures, microbial origins and roles. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 86, n. 5, p. 1323–1336, 2010. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00253-010-2761-9>. Acesso em: 08 nov. 2025.
- ACCO, L. F.; GOMES, D. G.; MATOS, J. N.; RIBEIRO, N. R.; BALBI-PEÑA, M. I. Elaboração e validação de escala diagramática para avaliação da pústula bacteriana em soja. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v. 46, n. 2, p. 145-149, 2020. DOI: 10.1590/0100-5405/211476.
- AGRÔNOS, George N. **Plant Pathology**. 5. ed. San Diego: Elsevier Academic Press, 2005. ISBN 978-0-12-044565-3.
- AGUILAR, C. L.; de CARVALHO JÚNIOR, O. A.; de CARVALHO, O. L. F. et al. Decoding Brazil's bean belt: Spatiotemporal patterns, production systems and the pulse of bean production (2011–2022). **Geo: Geography and Environment**, [S.l.], v. 12, n. 2, 2025. DOI: 10.1002/geo2.70015.
- ALMEIDA, I. M. G. **Importância de bactérias fitopatogênicas em plantas ornamentais e seu controle**. Disponível em: <http://www.biologico.agricultura.sp.gov.br/uploads/files/rifib/XIVRifib/almeida.PDF>. Acesso em: 05 jun. 2025.
- ARANDA, F. J., ESPUNY, M. J., MARQUES, A., TERUEL, J. A., e MANRESA, Á, e ORTIZ, A. (2007). Termodinâmica da interação de um biossurfactante dirhamnolipídico secretado por *Pseudomonas aeruginosa* com membranas fosfolipídicas. **Langmuir** 23, 2700–2705. doi: 10.1021/la061464z
- ARAUJO, L. V.; FREIRE, D. M. G.; NITSCHKE, M. Biossurfactantes: propriedades anticorrosivas, antibiofilmes e antimicrobianas. **Química Nova**, v. 36, n. 6. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422013000600019>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/Bw5vwK4cdqRfYXMwWCw8PbL/?lang=pt>. Acesso em: 05 jun. 2025.
- AREAS, M. S., GONÇALVES, R. M., SOMAN, J. M., SOUZA, R. C., GIORIA, R., DA SILVA, T. A. F., et al. (2018). Resistance of *Xanthomonas euvesicatoria* strains from Brazilian pepper to copper and zinc sulfates. **An. Acad. Bras. Ciênc.** 90, 2375–2380. doi: 10.1590/0001-3765201720160413
- BIANCHINI, A.; MARINGONI, A. C.; CARNEIRO, S. M. T. P. G. Doenças do feijoeiro *Phaseolus vulgaris* L.). In: KIMATI, H.; AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L. E. A. Manual de fitopatologia: doenças de plantas cultivadas. 4 ed. **São Paulo: Agronômica Ceres**, 2005. p. 185-196. v. 2.
- BRENT, K. J.; HOLLOMON, D. W. Fungicide resistance in crop pathogens: how can it be managed? 2. ed. **Brussels: CropLife International**, 2007. (FRAC Monograph, 1). 55 p.

BURG, I. C.; MAYER, P. H. Introdução. In: **Manual de alternativas ecológicas para prevenção e controle de pragas e doenças**. 1ed. Francisco Beltrão: Grafiti, 1998, p. 13.

CARVALHO, N. S. *et al.* Revisão: a importância da soja para o agronegócio brasileiro. **Editores Atena: Fitotecnia, sistemas agrícolas ambientais e solo**, cap. 6, 2023. DOI: 10.22533/at.ed.6252331036

CHATNAPARAT, T.; PRATHUANGWONG, S.; LINDOW, S. E. Global pattern of gene expression of *Xanthomonas axonopodis* pv. *glycines* within soybean leaves. **Molecular Plant Microbe Interactions**, v. 29, n. 6, p. 508-522, 2016. DOI: 10.1094/MPMI-01-16-0007-R.

CHAVES, M. O.; BASSINELLO, P. Z. **O Feijão na Alimentação Humana**. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/123450/1/p15.pdf>. Acesso em: 05 jun. 2025.

COÊLHO, J. D. **FEIJÃO: PRODUÇÃO E MERCADOS**. Disponível em: https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/bitstream/123456789/1031/1/2021_CDS_197.pdf. Acesso em: 10 jun. 2025.

CONAB. **Companhia Nacional de Abastecimento. Indicadores da Agropecuária**. Disponível

em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/14_04_30_11_38_00_revista_abril_versao_final.pdf>> Acesso em 01 de nov de 2025.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira: grãos 2024/2025 – 9º levantamento**. Brasília: Conab, jun. 2025. Disponível em: <https://www.conab.gov.br>. Acesso em: 10 out. 2025.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento de Safra Brasileira de Grãos. Brasília, v.4, Safra 2016/2017, n.6, Sexto levantamento**. Acesso em: 10 jul. 2025.

COSTA, M. L. M. **Análise funcional dos genes exsF e exsG de Xanthomonas citri subsp. citri**. Tese — UNESP, Jaboticabal, 2015. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/d90d3ba5-58d0-4a3d-b66d-42ac6604843c/content>. Acesso em: 27 nov. 2025.

DAMIANI, J. **Biocombustíveis e a soja**. Disponível em: <https://www.ufsm.br/pet/agronomia/2021/08/18/biocombustiveis-e-a-soja>. Acesso em: 20 jun. 2025.

DRAKINONTES C.E., AMIN S. Biossurfactantes: Formulações, propriedades e aplicações. Curr. Opinião. **Interface Colóide Sci.** 2020;48:77–90. doi: 10.1016/j.cocis.2020.03.013.

ELEVAGRO. **Conheça o crestamento bacteriano comum em feijoeiro**. 15 fev. 2022. Disponível em: <https://elevagro.com/conheca-o-crestamento-bacteriano-comum-em-feijoeiro/>. Acesso em: 08 nov. 2025.

EL-SHESHTAWY, H. S.; DOHEIM, M. M. Selection of *Pseudomonas aeruginosa* for biosurfactant production and studies of its antimicrobial activity. **Egyptian Journal of Petroleum**, v. 23, n. 1, p. 01-06, mar. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2014.02.001>. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110062114000038>>. Acesso em: 28 jun. 2025.

ELEVAGRO. **Bactérias atacando a soja**. Disponível em: <<https://elevagro.com/blog/bacterias-ata-um--so>>. Acesso em: 30 ago. 2025.

ELEVAGRO. **Bactérias fitopatogênicas: o que são, suas características e como lidar**. Blog Elevagro, 27 jan. 2025. Disponível em: <https://elevagro.com/bacterias-fitopatogenicas-o-que-sao/>. Acesso em: 06 nov. 2025.

EMBRAPA. **Doenças bacterianas do feijão**. Disponível em: < <https://www.em.b/agente-de-info-tecnocultivos/fe/p/corca/doencas-bacteria>>. Acesso em: 30 ago. 2025.

EMBRAPA. **Soja em números – Safra 2024/2025**. Londrina: Embrapa Soja, 2025. Disponível em: <https://www.embrapa.br/soja>. Acesso em: 10 out. 2025.

FARIAS, A. D.; DO SUL, E. **Soja: 1985 - Documento 1: Histórico, evolução, situação**. 1985. Disponível em: http://dspace.emater.tche.br/xmlui/bitstream/handle/20.500.12287/24335/emater_rs_24335-000.pdf?sequence=. Acesso em: 08 nov. 2025.

FELIPE, L. O.; DIAS, S. C.. Surfactantes sintéticos e biosurfactantes: vantagens e desvantagens. *Química Nova Interativa*. Originalmente publicado em **Química Nova na Escola**, v. 39, n. 3, 2017. Edição: Leila Cardoso Teruya. Disponível em: <https://qnint.sbq.org.br/novo/index.php?hash=tema.102>. Acesso em: 08 nov. 2025.

FERREIRA, A. W.. **Doenças bacterianas**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/feijao/producao/doencas/doencas-bacterianas>. Acesso em: 06 jun. 2025.

FERREIRA, A. W.; LOBO JUNIOR, M. **Doenças**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/feijao/producao/doenca>. Acesso em: 07 jun. 2024.

FERREIRA, J. F. **Estudo da atividade antimicrobiana de ramnolipídeos contra bactérias patogênicas de importância alimentar**. 2017. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade de São Paulo. Instituto de Química de São Carlos. São Carlos, 2017. Acesso em: 1 out. 2025.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. (2025) **FAOSTAT online database**. Available from: <http://faostat.fao.org/>

FRAC– Fungicide Resistance Action Committee. **How does fungicide resistance evolve?** Disponível em: <https://www.frac.info/fungicide-resistance-management/background>. Acesso em junho de 2025.

GHINI, Raquel; KIMATI, Hiroshi. **Resistência de fungos a fungicidas**. Jaguariúna, SP: Embrapa Meio Ambiente, 2000. 78 p.

HENKEL, M.; MÜLLER, M. M.; KÜGLER, J. H.; LOVAGLIO, R. B.; CONTIERO, J.; HAUSMANN, R. Rhamnolipids as biosurfactants from renewable resources: Concepts for next-generation rhamnolipid production. **Process Biochemistry**, v. 47, p.1207-1219, 2012.

HIRAKURI, M. H.; LAZZAROTTO, J. J. **O agronegócio da soja nos contextos mundial e brasileiro**. Embrapa Soja - Documentos (INFOTECA-E), 2014. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/104753/1/O-agronegocio-da-soja-nos-contextos-mundial-e-brasileiro.pdf>. Acesso em: 01 jan. 2025.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola (LSPA): produção de feijão por estado – safra 2024/2025**. Brasília, 2025. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>. Acesso em: nov. 2025.

IBGE. **Indicadores de Produção Agropecuária 2013**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/lspa_201301comentarios.pdf. Acesso em: nov de 2025.

JACQUES, M. A., ARLAT, M., BOULANGER, A., BOUREAU, T., CARRÈRE, S., CESBRON, S & VERNIÈRE, C. Using ecology, physiology, and genomics to understand host specificity in *Xanthomonas*. **Annual review of phytopathology**, 54, 163-187, 2016

KADO, C. I.; HESKETT, M. G.. **Selective Media for Isolation of Agrobacterium, Corynebacterium, Erwinia, Pseudomonas, and Xanthomonas**. Disponível em: https://www.apsnet.org/publications/phytopathology/backissues/Documents/1970Articles/Phyto60n06_969.PDF. Acesso em: 28 jun. 2025.

KIM, D.H., KIM, K.H., VAN, K., KANG, Y. J., YOON, M. Y., MOON, J. K. RNA-Seq Analysis of a Soybean Near-Isogenic Line Carrying Bacterial Leaf Pustule-Resistant and Susceptible Alleles. **DNA Research**, [s.1.7, v. 18, p.483-497, 2011. DOI: 10.1093/dnares/dsr033

KIMATI, H Controle Químico. In: BERGAMIN FILHO, A. et al. **Manual de Fitopatologia - Princípios e conceitos**. Vol.1. São Paulo: Ceres, 1995.

KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F. Manejo Sustentável dos Solos dos Cerrados. In: KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F.; AIDAR, H. (Ed.). **Integração Lavoura-Pecuária**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. p. 59-104. Acesso em: 20 jun. 2025.

KUBICKI, S., BOLLINGER, A., KATZKE, N., JAEGER, K. E., LOESCHCKE, A., & THIES, S. Marine biosurfactants: biosynthesis, structural diversity and biotechnological applications. **Marine drugs**, 17(7), 408, 2019

LANNA R. Fitobactérias na cultura da soja. In: Lemes, E.; Castro, L.; Assis, R. **Doenças da soja: melhoramento genético e técnicas de manejo**. Campinas: Millennium, 2015. p. 81-92.

LANDAU, E. C.; MOURA, L. Evolução da produção de feijão (*Phaseolus vulgaris*, Fabaceae). In: LANDAU, E. C.; SILVA, G. A. da; MOURA, L.; HIRSCH, A.; GUIMARÃES, D. P. (Eds.). **Dinâmica da produção agropecuária e da paisagem natural no Brasil nas últimas décadas: produtos de origem vegetal**. Brasília, DF: Embrapa, 2020. v. 2, cap. 23, p. 739–798. ISBN 978-65-87380-03-2.

LEYNS, F., DE CLEENE, M., SWINGS, J. G., & DE LEY, J. (1984). The host range of the genus *Xanthomonas*. **The Botanical Review**, 50(3), 308-356.

LIU, H., XU, J., XU, X., YUAN, Z., SONG, H., YANG, L. et al. (2023) Structure/function relationships of bean polysaccharides: A review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, 63(3), 330–344. Available from: <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1946480>

LOVAGLIO, R. B.. **Produção de rhamnolipídios por mutantes de *Pseudomonas aeruginosa* LBI** — tese (Doutorado em Ciências Biológicas: Microbiologia Aplicada) — Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Rio Claro, 2011. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/fl9d6e41-a48e-4131-96b3-57fb4efe173b/content>. Acesso em: 27 out. 2025.

MAIER R.M. & SOBERON-CHAVEZ G. (2000) *Pseudomonas aeruginosa* rhamnolipids: biossíntese e aplicações potenciais. **Microbiologia Aplicada e Biotecnologia** 54, 625–633.

MAPA. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/feijao/saiba-mais>> Acesso em 01 de nov de 2025.

MARCHANT, R.; BANAT I. M. Biosurfactants: A sustainable replacement for chemical surfactants? **Biotechnology letters**, v. 34, p. 1597-1605, 2012.

MARKANDE, A. R., PATEL, D., & VARJANI, S. A review on biosurfactants: properties, applications and current developments. **Bioresource Technology**, 330, 124963, 2021.

MAŤÁTKOVÁ, O., MICHAILIDU J., JEZDIK R., KOLOUCHOVA I., REZANKA T., JURKU V., MASAK J. Rhamnolipids: properties, production and application. **Microorganisms**, Basel, v. 10, n. 8, p. 1620, 2022. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9321515/>. Acesso em: 10 nov. 2025.

MELO, F. M. P. **Atividade antifúngica de metabólitos secundários produzidos pelo endofito de mandioca *Bacillus pumilus***, Tese (Dissertação de Mostrado em Microbiologia Agrícola), Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ). Piracicaba, P.120. 2005.

MELO, L. L. **Nichos de sobrevivência de *Pseudomonas savastanoi* pv. *glycinea*, agente causal do crestamento bacteriano da soja (*Glycine max* L.)**. 2022. Dissertação (Mestrado em Proteção de Plantas) — Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Botucatu, 2022. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/217771>. Acesso em: 20 jun. 2025.

MELO, L. L.; ABREU, M. G. P.; SILVA J., FERNANDES T. A.. Pústula bacteriana em soja (causada por *Xanthomonas axonopodis*). **Revista Cultivar**, São Paulo, 17 mar. 2024. Disponível em: <https://revistacultivar.com.br/artigos/pustula-bacteriana-em-soja-causada-por-xanthomonas-axonopodis>. Acesso em: 10 out de 2025.

MOHANTY, S. S., KOUL, Y., VARJANI, S., PANDEY, A., NGO, H. H., CHANG, J.S., & BUI, X. T. (2021). A critical review on various feedstocks as sustainable substrates for biosurfactants production: a way towards cleaner production. **Microbial cell factories**, 20(1), 1-13, 2021.

MORAES, W. B. C. Controle alternativo de fitopatógenos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.27, 1992, p. 175-190.

MOURA, D. R. **Reação de genótipos de soja quanto a resistência a *Xanthomonas axonopodis* pv. *glycines* e *Pseudomonas savastoni* pv. *glycinea***. 2021. 80 f. Tese (Doutorado em Agronomia) — Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Uberlândia, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/31914>. Acesso em: 20 jun. 2025.

MUKHERJEE, S.; DAS, P.; SEN, R. Towards commercial production of microbial surfactants. **Trends Biotechnol.**, v. 24, p. 509-515, 2006.

MULLER, M.M.; KUGLER, J.H.; HENKEL, M.; GERLITZKI, M.; HÖRMANN, B.; PÖHNLEIN, M.; SYLDATK, C.; HAUSMANN, R. Rhamnolipids – next generation surfactants? **Journal of Biotechnology**, v. 162, p. 366–380, 2012.

MULLIGAN, C. N. Environmental applications for biosurfactants. **Environmental Pollution**, Amsterdam, v. 133, n. 2, p. 183-198, 2005. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15519450/>. Acesso em: 10 nov. 2025.

MULLINS, A.P. E ARJMANDI, B.H. (2021) Benefícios para a saúde da nutrição à base de plantas: Foco em feijões em doenças cardiometabólicas. **Nutrientes**, 13(2), 519. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/nu13020519>

MUNDSTOCK, C. M.; THOMAS, A. L. **Soja Fatores que afetam o crescimento e o rendimento de grãos**. Disponível em: https://www.ufrgs.br/agronomia/plantas/destaques/livro_soja.php. Acesso em: 12 jun. 2025.

NADEEN, M.A., YEKEN, M.Z., SHAHID, M.Q., HABYARIMANA, E., YILMAZ, H., ALSALEH, A. *et al.*. (2021) Feijão comum como uma cultura potencial para a segurança alimentar futura: Uma visão geral das contribuições passadas, atuais e futuras em genômica, transcriptômica, transgênica e proteômica. **Biociência e Equipamentos Biotecnológicos**, 35(1), 758–786. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/13102818.2021.1920462>

NEIDIG N. JOUSSET A, NUNES F. BONKOWSKI M, PAUL R J, SCHEU S Interference between bacterial feeding nematodes and amoebae relies on innate and Inducible mutual toxicity. **Functional Ecology** 24 1133-1138. 2010.

NITSCHKE M., COSTA S.G. & CONTIERO J. (2005a) Surfactantes Rhamnolipid: uma atualização sobre os aspectos gerais dessas notáveis biomoléculas. **Progresso da Biotecnologia** 21, 1593–1600.

NITSCHKE M., COSTA S.G., HADDAD R., GONÇALVES L.A. e EBERLIN M.N. & CONTIERO J. (2005b) Resíduos de óleo como substratos não convencionais para a produção de biossurfactantes ramnolipídicos pela *Pseudomonas aeruginosa* LBI. **Progresso da Biotecnologia** 21, 1562–1566.

NITSCHKE, M.; PASTORE, G. M. **Biossurfactantes: propriedades e aplicações**. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/sBY9nNYxC5zN5wK3gxLsK9p/#>. Acesso em: 12 jun. 2025.

NUNES, J. L. da S. **Características da soja**. Agrolink, 2020. Disponível em: <https://www.agrolink.com.br/culturas/soja/informacoes/caracteristicas_361509.html>. Acesso em: 01 jan. 2025.

NUNES, C. S.; KURZ, V.; FIGUEIREDO, A. M. B.; TRAVI, M. R. L. Métodos de controle e pragas nas lavouras de feijão. **Revista UCEFF**, [s. l.], 2005? Disponível em: <https://uceff.edu.br/revista/index.php/revista/article/download/238/212>. Acesso em: 05 jun. 2025.

ORTIZ, A., TERUEL, J. A., ESPUNY, M. J., MAEQUES, A., MANRESA, Á e ARANDA, F. J. (2006). Efeitos do dirhamnolipídio nas propriedades estruturais das membranas de fosfatidilcolina. *Estagiário. J. Farmacêutico*. 325, 99–107. doi: 10.1016/j.ijpharm.2006.06.028

OTZEN, D. E. (2017). Biosurfactantes e surfactantes interagindo com membranas e proteínas: iguais, mas diferentes? *Bioquímica. Biofísica. Acta Biomemb*. 1859, 639–649. doi: 10.1016/j.bbamem.2016.09.024

PACWA-PŁOCINICZAK, A., PLAZA G. A., PIOTROWSKA-SEGET Z., CAMEOTRA S.S. Environmental applications of biosurfactants. **International Journal of Molecular Sciences**, Basel, v. 12, n. 1, p. 633-654, 2011. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1422-0067/12/1/633>. Acesso em: 10 nov. 2025.

PAIVA, B. A. R. **Crestamento bacteriano do feijoeiro no Brasil: distribuição, diversidade e detecção de seus agentes causais *Xanthomonas* spp.** 2018. 160 f. Tese (Doutorado em Fitopatologia) — Universidade de Brasília (UnB), Brasília, 2018. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/40240>. Acesso em: 13 jun. 2025.

PERNEEL, M.; D’HONDT, L.; DE MAEYER, K.; ADIOBO, A.; RABAEY, K.; HOFTE, M. Phenazines and biosurfactants interact in the biological control of soil-borne diseases caused by *Pythium* spp. **Environmental Microbiology**, v. 10, n. 4, p. 778-788, 2008.

PETROCELLI S., TONDO M.L., DAURELIO L.D., ORELLANO E.G.. (2012) Modifications of *Xanthomonas axonopodis* pv. citri Lipopolysaccharide Affect the Basal Response and the Virulence Process during Citrus Canker. **PLoS ONE** 7(7): e40051. doi:10.1371/journal.pone.0040051.

PINTO, L. S. **PANGENOMA DE XANTHOMONAS CAMPESTRIS: ESTUDO DOS PATOVARES**. Disponível em: <https://institucional.ufpel.edu.br/projetos/id/p10237#:~:text=O%20g%C3%AAnero%20Xanthomonas%20%C3%A9%20um,grupo%20de%20bact%C3%A9rias%20Gram%20Negativas..> Acesso em: 06 jun. 2025.

PIETERSE, C. M. J., ZAMIOUDIS, C., BERENDSEN, R. L., WELLER, D. M., VAN WEES, S. C. M., e BAKKER, P. A. H. M. (2014). Resistência sistêmica induzida por micróbios benéficos. *Ano. Rev. Phytopathol*. 52, 347–375. doi: 10.1146/annurev-phyto-082712-102340.

RAMOS A., MANSERA M., PINAZO A., GARCIA M.T., PÉREZ L. Rhamnolipidos funcionalizados com aminoácidos básicos: Síntese, comportamento de agregação, atividade antibacteriana e estudos de biodegradação. Surf de colóides. **B Biointerfaces**. 2019;181:234–243. doi: 10.1016/j.colsurfb.2019.05.037.

RAVA, C.A.; SARTORATO, Aloísio. **Principais doenças do feijoeiro comum e seu controle**. Brasília: EMBRAPA-SPI, p. 217-242, 1994.

ROACHR, MANNR, GAMBLEY C, SHIVAS R, CHAPMAN T, RODONI B (2020) Pathogenicity and copper tolerance in Australian Xanthomonas species associated with bacterial leaf spot. **Crop Protection** 127:104923.

SADDLER, G. S.; BRADBURY, J. F. Xanthomonadaceae fam. nov. In: **BERGEY'S MANUAL OF SYSTEMATICS OF ARCHAEA AND BACTERIA**. 2. ed. v. 3, p. 1-10, 2015. DOI: 10.1002/9781118960608.fbm00237.

SCHWAN-ESTRADA, K.R.F.; STANGARLIN, J.R.; CRUZ, M.E.S. Uso de plantas medicinais no controle de doenças de plantas. **Fitopatologia Brasileira**, v.28 (suplemento), p.S54-S56, 2003.

SILVA L. C. , TARGINO B. N., FURTADO M. M., PINTO M. A. O., RODARTE M. P., HÚNGARO H. M., Chapter 13 - Xanthan: Biotechnological Production and Applications, In **Handbook of Food Bioengineering, Microbial Production of Food Ingredients and Additives**, Academic Press, 2017, Pages 385-422, ISBN 9780128115206, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811520-6.00013-1>.

SPADARO, D., e DROBY, S. (2016). Desenvolvimento de produtos de biocontrole para doenças pós-colheita de frutas: a importância de elucidar os mecanismos de ação dos antagonistas da levedura. Tendências Food Sci. **Tecnologia**. 47, 39–49. doi: 10.1016/j.tifs.2015.11.003.

SPAGO F. R. **Eficiência de metabólitos secundários de Pseudomonas aeruginosa no controle de três espécies do gênero Xanthomonas**. 2012. 98 f. Tese (Doutorado em Microbiologia) - Universidade Federal de Londrina, Londrina, 2012.

SEDIYAMA, T. **Tecnologias de produção e usos da soja**. Londrina, PR: Mecenias, v. 1. 2009. 314p. Acesso em: 10 out. 2025.

STANGHELLINI M.E. E MILLER R.M.(1997) Biossurfactantes: sua identidade e potencial eficácia no controle biológico de patógenos de plantas zoospóricas. **Doença Vegetal** 81, 4–12.

STARR, M. P. The genus Xanthomonas. In **The prokaryotes** (pp. 742-763). Springer, Berlin, Heidelberg, 1981.

STRIEDER, M. L.; BERTAGNOLLI, P. F. **A soja no sistema de cultivo**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/8901995/artigo---a-soja-no-sistema-de-cultivo>. Acesso em: 05 jun. 2025.

SWINGS, J. G.; CIVEROLO, E. L. (Ed.). **Xanthomonas**. Londres: Chapman & Hall, 1993. 399 p.

QUINTELA, E. D. **Manejo Integrado de Pragas do Feijoeiro**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/documents/1344498/2767895/manejo-integrado-de-pragas-do-feijoeiro.pdf/c8bb5013-3bf8-4579-a9ea-64570cb70e90>. Acesso em: 12 jun. 2025.

SILVA, V. L. **Desenvolvimento de estratégias de alimentação para produção de rhamnolipídios por Pseudomonas aeruginosa LB1 2A1 em biorreator**. 2014. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) - Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Rio Claro, 2014. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/110409/000789425.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 20 jun. 2025.

SINGH, P.; PATIL, Y.; RALE, V. Biosurfactant production: emerging trends and promising strategies. **Journal of Applied Microbiology**, v. 126, n. 1, p. 2–13, 2019. DOI: 10.1111/jam.14057. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30066414/>. Acesso em: 20 jun. 2025.

SMYTH, T.J.P.; PERFUMO, A.; MARCHANT, R.; BANAT, I. M. Isolation and analysis of low molecular weight microbial glycolipids. In **Handbook of Hydrocarbon and Lipid Microbiology** (Timmis, K.N., ed.), p. 3705–3723, Springer–Verlag, 2010.

SOBERON-CHAVEZ G., LÉPINEF. e DÉZIELE. (2005) Produção de rhamnolipídios por Pseudomonas aeruginosa. **Microbiologia Aplicada e Biotecnologia** 68, 718–725.

SOTIROVA, A. V.; SPASOVA, D. I.; GALABOVA, D. N.; KARPENKO, E.; SHULGA, A. Rhamnolipid-biosurfactant permeabilizing effects on gram-positive and gram-negative bacterial strains. **Current Microbiology**, v. 56, p. 639-644, 2008.

SOUZA, J. R.; CORREIA, J. A. C.; MELO, V. M. M.; GONÇALVES, L. R. B.; CRUZ, A. J. G. Cinética e caracterização de rhamnolipídeos produzidos por Pseudomonas aeruginosa MSIC02 utilizando glicerol como fonte de carbono. **Química Nova**, v. 37, n. 3, jun. 2014. DOI: <https://doi.org/10.5935/0100-4042.20140064>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/xWjmYsS5nPx3kDq9nGwTczP/?lang=pt>. Acesso em: 20 jun. 2025.

SUNDIN GW, BENDER CL (1995) Expression of the strA-strB streptomycin resistance genes in Pseudomonas syringae and Xanthomonas campestris and characterization of IS6100 in X. campestris. **Applied and Environmental Microbiology** 61:2891-7

SUNDIN GW, WANG N (2018) Antibiotic resistance in plant-pathogenic bacteria. **Annual Review Phytopathology** 56:161–180

SYNGENTA. **Crestamento-bacteriano-comum no feijão: sintomas e controle**. Mais Agro, [S. l.], 06 fev. 2025. Disponível em: <https://maisagro.syngenta.com.br/tudo-sobre-agro/crestamento-bacteriano-comum-no-feijao-sintomas-e-controle/>. Acesso em: 10 out de 2025.

TREVISOLI, T. R. **Aplicação de espectroscopia de infravermelho próximo para classificação de amostras de farelo de soja**. 2018. 59 f. Dissertação (Mestrado em Inovações Tecnológicas) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2008

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). **World Agricultural Supply and Demand Estimates (WASDE)**. 2023. Disponível em: <https://www.usda.gov/oce/commodity/wasde/wasde0825.pdf>. Acesso em: 10 out. 2025.

VATSA, P.; SANCHEZ, L.; CLEMENT, C.; BAILLIEUL, F.; DOREY, S. Rhamnolipid biosurfactants as new players in animal and plant defense against microbes. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 11, n. 12, p. 5095-5108, dec. 2010. DOI: 10.3390/ijms11125095. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3100842/>. Acesso em: 20 jun. 2025.

VIEIRA, N.M., PEGHINELLI, V.V., MONTE, M.G., COSTA, N.A., PEREIRA, A.G., SEKI, M.M. *et al.* (2023) O consumo de feijão pode contribuir para a prevenção de doenças cardiovasculares. **Nutrição Clínica ESPEN**, 54, 73–80. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.clnesp.2023.01.007>

VIOLATTI, M. R.; TEBALDI, N. D. Detecção de *Xanthomonas axonopodis* pv. *glycines* em sementes de soja. **Summa Phytopathologica**, v. 42, n. 3, p. 268–270, 2016. DOI: 10.1590/0100-5405/2127.

WENDLAND, A. EMBRAPA. **Doenças bacterianas - Feijão. Portal Embrapa Agência de Informação Tecnológica**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/feijao/producao/doencas/doencas-bacterianas>. Acesso em: 06 nov. 2025.

WILLIAMS, S. D.; BOEHM, M. J.; PEDUTO HAND, F. Bacterial Diseases of Plants. Fact sheet PLPATH-GEN-6. **Columbus: The Ohio State University Extension**, 9 fev. 2017. Disponível em: <https://ohioline.osu.edu/factsheet/plpath-gen-6>. Acesso em: 10 out de 2025.