



**INSTITUTO FEDERAL DE ALAGOAS**  
**CAMPUS PIRANHAS**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRONÔMICA**

**ESTER DA SILVA COSTA**

**FITOPATOMETRIA DA MURCHA BACTERIANA EM CULTIVARES  
DE TOMATEIRO INOCULADAS COM DOIS ISOLADOS DE**  
*Ralstonia pseudosolanacearum*

**PIRANHAS, AL**

**2023**

ESTER DA SILVA COSTA

FITOPATOMETRIA DA MURCHA BACTERIANA EM CULTIVARES  
DE TOMATEIRO INOCULADAS COM DOIS ISOLADOS DE  
*Ralstonia pseudosolanacearum*

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Superior em Engenharia Agrônômica do Instituto Federal de Alagoas, *Campus Piranhas*, como requisito parcial para obtenção de grau de Engenheira Agrônoma.

Orientador: Prof. Dr. Kleyton Danilo da Silva Costa

Coorientador: Prof. Dr. Almir Rogério Evangelista de Souza

PIRANHAS, AL

2023


ESTER DA SILVA COSTA

FITOPATOMETRIA DA MURCHA BACTERIANA EM CULTIVARES  
DE TOMATEIRO INOCULADAS COM DOIS ISOLADOS DE  
*Ralstonia pseudosolanacearum*

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao  
Curso Superior em Engenharia Agrônômica, do  
Instituto Federal de Alagoas, *Campus* Piranhas,  
como requisito parcial para obtenção de grau de  
Engenheiro Agrônomo.

Aprovado em: 20/12/2023

**BANCA EXAMINADORA**



Prof. Dr. Kleyton Danilo da Silva Costa (Orientador)

Instituto Federal de Alagoas – IFAL, *Campus* Piranhas



Prof. Dr. Almir Rogério Evangelista de Souza (Coorientador)

Instituto Federal de Alagoas – IFAL, *Campus* Piranhas



Prof. Me. Fábio José Marques

Instituto Federal de Alagoas – IFAL, *Campus* Piranhas

Aos meus pais Rosilene e Arnaldo.  
Ao meu amado esposo Danilo.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por me ajudar a finalizar esta trajetória, me dando saúde, força e sabedoria para lidar com as mais diversas situações.

Aos meus pais, Rosilene da Silva Lima e José Arnaldo Oliveira Lima, por sempre me amarem, educarem e incentivarem quanto aos estudos, sendo minhas maiores inspirações.

Ao meu esposo Kleyton Danilo da Silva Costa, por estar ao meu lado todos os dias nessa fase tão difícil e decisiva, sempre me apoiando e sendo o motivo diário da minha felicidade.

A minhas irmãs, Isabel da Silva Lisboa e Ana Claudia Lima Souza, por todo amor, carinho e incentivo quanto aos estudos.

A minha Tia, Ana Nunes da Silva por sempre me amar e apoiar em todas as decisões.

Aos meus sobrinhos, Pablo Rafael Nobre Lima e Isabela Nobre Lima por sempre me amarem, e serem meus confidentes sobre sonhos e perspectivas de vida, sempre acreditando no meu potencial.

A minha prima Mayara da Silva, por todo companheirismo durante estes cinco anos.

Ao Instituto Federal de Alagoas, *Campus* Piranhas, por ter sido casa durante os cinco anos da graduação e conceder o espaço para a realização do trabalho.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Kleyton Danilo da Silva Costa, por ter me apresentado a fitopatometria, e me concedido a honra de fazer ciência ao seu lado. Ao meu coorientador, Prof. Dr. Almir Rogério Evangelista de Souza, por todo apoio, ensinamento na área da fitopatologia e palavras de incentivo.

A mestranda em Proteção de Plantas, Ranniele Luíza Ventura da Silva, por todos os ensinamentos compartilhados na área da fitobacteriologia.

Ao amigo Luís Felipe Varjão, por toda risada e ajuda para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos estagiários do laboratório de Melhoramento Vegetal, Ana Mel, Kaike, Guilherme, Karol, Matheus, Leandro e Marcus, por toda a ajuda na condução do experimento.

A todos os professores, por terem contribuído na minha evolução pessoal e profissional.

Aos membros da banca, Prof. Dr. Almir Rogério Evangelista Souza e Prof. Me. Fábio José Marques, pela disponibilidade e contribuições neste trabalho.

Ao Centro de Tecnologias Estratégicas do Nordeste (CETENE), Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Instituto Nacional de Pesquisa do Amazonas (INPA) e Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA), pela doação dos materiais utilizados nesse trabalho.

## RESUMO

O tomateiro é a segunda hortaliça mais consumida no mundo e possui grande importância socioeconômica. Contudo, sua produtividade é diretamente afetada devido a suscetibilidade da cultura a ataques de diversos microrganismos fitopatogênicos. As bactérias do Complexo de Espécies *Ralstonia solanacearum*, são responsáveis pela bacteriose mais infecciosa e devastadora da cultura do tomateiro em países de clima tropical e subtropical, a murcha bacteriana, causada pela obstrução dos vasos xilemáticos em decorrência da produção de exopolissacarídeos. A única medida de controle eficiente para esta doença é a utilização de cultivares resistentes. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi utilizar variáveis fitopatométricas na murcha bacteriana em cultivares de tomateiro inoculadas com dois isolados de *Ralstonia pseudosolanacearum*. O experimento foi conduzido no período de outubro a novembro de 2023, em casa de vegetação no Instituto Federal de Alagoas – Campus Piranhas. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado em esquema fatorial (10 x 2), contendo 10 cultivares de tomateiro e dois isolados da espécie *Ralstonia pseudosolanacearum*, totalizando 20 tratamentos em três repetições, resultando em 60 parcelas experimentais, contendo quatro plantas cada. Através da escala diagramática de notas da murcha bacteriana, foi realizada a fitopatometria da doença utilizando as variáveis: Incidência (INC), Índice de Murcha Bacteriana (IMB), Índice da Doença (ID), Período de Latência (PL50), Área Abaixo da Curva do Progresso da Doença (AACPD) e Taxa de Infecção (TI). Estas variáveis foram obtidas para o intervalo do 5° - 10° e 15° - 20° dia de avaliação. Houve interação significativa entre Cultivares x Isolados, para as seguintes variáveis: IMB, AACPD, TI (5° - 10° dia de avaliação) e para IMB, ID e TI (15° - 20° dia de avaliação). As variáveis PL50, INC, TI e AACPD, caracterizaram o início da epidemia da murcha bacteriana desde o primeiro intervalo de avaliação, independentemente das cultivares e isolados. A cultivar Hawaii 7996 foi classificada como resistente ao isolado CRMRS108, e a cultivar Bartô foi classificada como moderadamente resistente a ambos os isolados. As variáveis fitopatométricas foram eficientes para mostrar a interação hospedeiro, patógeno e ambiente nos intervalos de avaliação.

**Palavras-chave:** *Solanum lycopersicum* L. Bacteriose. Quantificação de doenças. Epidemia.

## ABSTRACT

Tomato is the second most consumed vegetable in the world and has great socioeconomic importance. However, its productivity is directly affected due to the crop's susceptibility to attacks by various phytopathogenic microorganisms. Bacteria from the *Ralstonia solanacearum* Species Complex are responsible for the most infectious and devastating bacteriosis of crops in countries with tropical and subtropical climates, bacterial wilt, caused by the obstruction of xylem vessels as a result of the production of exopolysaccharides. The only efficient control measure for this disease is the use of resistant cultivars. Therefore, the objective of this work was to use phytopathometric variables in bacterial wilt in tomato cultivars inoculated with two isolates of *Ralstonia pseudosolanacearum*. The experiment was conducted from October to November 2023 in a greenhouse at the Instituto Federal de Alagoas – Campus Piranhas. The experimental design used was completely randomized in a factorial scheme (10 x 2), containing 10 tomato cultivars and two isolates of the species *Ralstonia pseudosolanacearum*, totaling 20 treatments in three replications, resulting in 60 experimental plots, containing four plants each. Using the diagrammatic scale of bacterial wilt scores, phytopathometry of the disease was carried out using the variables: Incidence (INC), Bacterial Wilting Index (BWI), Disease Index (DI), Latency Period (LP50), Area Under Disease Progress Curve (AUDPC) and Infection Rate (IR). These variables were obtained for the interval of the 5th - 10th and 15th - 20th day of evaluation. There was a significant interaction between Cultivars x Isolates, for the following variables: BWI, AUDPC, IR (5th - 10th day of evaluation) and for IMB, ID, and TI (15th - 20th day of evaluation). The variables LP50, INC, IR, and AUDPC characterized the beginning of the bacterial wilt epidemic from the first evaluation interval, regardless of the cultivars and isolates. The cultivar Hawaii 7996 was classified as resistant to isolate CRMRS108, and the cultivar Bartô was classified as moderately resistant to both isolates. The phytopathometric variables were efficient in showing the interaction of host, pathogen, and environment in the evaluation intervals.

**Keywords:** *Solanum lycopersicum* L. Bacteriosis. Disease quantification. Epidemic.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Semeadura das cultivares de tomateiro (A), desbaste (B), transplante das mudas de tomateiro para copos (C), aplicação de solução nutritivas nas mudas de tomateiro (D).	24
Figura 2 – Células bacterianas de <i>Ralstonia pseudosolanacearum</i> em caldo nutriente Kelman (A) células bacterianas de <i>Ralstonia pseudosolanacearum</i> cultivadas em meio Kelman (B), aparência de colônias formadas pelo isolado CRMRS108 (C), aparência de colônias formadas pelo isolado CRMRS212 (D).	25
Figura 3 – Solução salina pipetada na placa de Petri (A), Placa de Pétri raspada com alça de drigalski (B), suspensão bacteriana depositada no becker (C), suspensão calibrada (D).	25
Figura 4 – Corte semicircular no substrato (A), 15 ml de suspensão bacteriana de <i>Ralstonia pseudosolanacearum</i> depositados no corte (B)	26
Figura 5 – Escala diagramática para quantificação da severidade da murcha bacteriana do tomateiro.	26
Figura 6 – Representação da murcha bacteriana em cultivares de tomateiro através da nota 2.	27
Figura 7 – Representação da murcha bacteriana em cultivares de tomateiro através da nota 3.	27
Figura 8 – Representação da murcha bacteriana em cultivares de tomateiro através da nota 4.	27
Figura 9 - Gráfico de médias e teste de agrupamento de Scott Knott a 5 % de probabilidade para o Índice de murcha bacteriana em cultivares de tomateiro inoculadas com dois isolados de <i>Ralstonia pseudosolanacearum</i> para o intervalo do 5° - 10° dia de avaliação.	32
Figura 10 - Gráfico de médias e teste de agrupamento de Scott Knott a 5 % de probabilidade para a Área Abaixo da Curva do Progresso da Doença em cultivares de tomateiro inoculadas com dois isolados de <i>Ralstonia pseudosolanacearum</i> para o intervalo do 5° - 10° dia de avaliação.	33
Figura 11 - Gráfico de médias e teste de agrupamento de Scott Knott a 5 % de probabilidade para o Taxa de Infecção em cultivares de tomateiro inoculadas com dois isolados de <i>Ralstonia pseudosolanacearum</i> para o intervalo do 5° - 10° dia de avaliação.	34
Figura 12 – Gráfico de médias e teste de agrupamento de Scott Knott a 5 % de probabilidade para o Índice de murcha bacteriana em cultivares de tomateiro inoculadas com dois isolados de <i>Ralstonia pseudosolanacearum</i> para o intervalo do 15° - 20° dia de avaliação.	37
Figura 13 - Gráfico de médias e teste de agrupamento de Scott Knott a 5 % de probabilidade para o Índice da doença em cultivares de tomateiro inoculadas com dois isolados de <i>Ralstonia pseudosolanacearum</i> para o intervalo do 15° - 20° dia de avaliação.	38

Figura 14 - Gráfico de médias e teste de agrupamento de Scott Knott a 5 % de probabilidade para a Taxa de Infecção em cultivares de tomateiro inoculadas com dois isolados de *Ralstonia pseudosolanacearum* para o intervalo do 15° - 20° dia de avaliação. .... 39

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Esquema de classificação hierárquica de <i>Ralstonia solanacearum</i> proposto por Fegane Prior (2005).....	18
Tabela 2 – Reclassificação taxonômica proposta por Safni et al. (2014).....	19
Tabela 3 – Características das cultivares de tomateiro utilizadas no experimento.....	23
Tabela 4 – Características dos isolados de <i>Ralstonia pseudosolanacearum</i> utilizados no experimento. ....	23
Tabela 5 – Resumo da análise de variância (valores de quadrado médio) para as variáveis obtidas na fitopatometria da murcha bacteriana em cultivares de tomateiro inoculadas com dois isolados de <i>Ralstonia pseudosolanacearum</i> para o intervalo do 5°-10° dia de avaliação. ....	30
Tabela 6 – Médias e teste de agrupamento de Scott Knott a 5% de probabilidade para as variáveis em que não houve interação significativa na fitopatometria da murcha bacteriana em cultivares de tomateiro inoculadas com dois isolados de <i>Ralstonia pseudosolanacearum</i> para o intervalo do 5° - 10° dia de avaliação. ....	31
Tabela 7 – Resumo da análise de variância (valores de quadrado médio) para as variáveis obtidas na fitopatometria da murcha bacteriana em cultivares de tomateiro inoculadas com dois isolados de <i>Ralstonia pseudosolanacearum</i> para o intervalo do 15°-20° dia de avaliação. ....	35
Tabela 8 – Médias e teste de agrupamento de Scott Knott a 5 % de probabilidade para as variáveis em que não houve interação significativa na fitopatometria da murcha bacteriana em cultivares de tomateiro inoculadas com dois isolados de <i>Ralstonia pseudosolanacearum</i> para o intervalo do 15° - 20° dia de avaliação. ....	37

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AACPD	Área Abaixo da Curva do Progresso da Doença
IMB	Índice de Murcha Bacteriana
ID	Índice da Doença
PL50%	Período de Latência 50%
TI	Taxa de Infecção
INC	Incidência
CRMRs	Coleção Rosa Mariano de <i>Ralstonia solanacearum</i>
CERs	Complexo de Espécies <i>Ralstonia solanacearum</i>
TZC	Tetracloroeto de Trifenil Tetrazólio
UFC	Unidade Formadora de Colônias
NPD	Número de Plantas Doentes
NTP	Número Total de Plantas
OD	Densidade Ótica

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>11</b>
2.1	OBJETIVO GERAL.....	11
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	11
<b>3</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>12</b>
3.1	CONSIDERAÇÕES GERAIS DA CULTURA DO TOMATEIRO.....	12
3.2	IMPORTÂNCIA SOCIOECONÔMICA DA CULTURA DO TOMATEIRO .....	14
3.3	MURCHA BACTERIANA NO TOMATEIRO.....	16
3.4	COMPLEXO DE ESPÉCIES <i>Ralstonia solanacearum</i> .....	18
3.5	FITOPATOMETRIA .....	20
<b>4</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>22</b>
4.1	LOCAL E PERÍODO DE IMPLANTAÇÃO DO EXPERIMENTO.....	22
4.2	TRATAMENTOS E DELINEAMENTO ESTATÍSTICO .....	22
4.3	CARACTERÍSTICAS DAS CULTIVARES UTILIZADAS .....	22
4.4	CARACTERÍSTICAS DOS ISOLADOS UTILIZADOS .....	23
4.5	IMPLANTAÇÃO E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO .....	23
4.6	AVALIAÇÃO DA MURCHA BACTERIANA EM CULTIVARES DE TOMATEIRO.....	26
4.7	OBTENÇÃO DAS VARIÁVEIS FITOPATOMETRICAS .....	28
4.8	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	28
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>30</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>42</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>43</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O tomateiro é uma hortaliça-fruto de grande importância socioeconômica no mundo, principalmente na alimentação e saúde humana. O seu fruto, é considerado funcional e saudável, pois é fonte de vitaminas, nutrientes, fibras e carboidratos. Além disso, o tomate pode ser consumido tanto in natura quanto industrializado, o que possibilita a produção de uma grande variedade de produtos. A cultura é amplamente distribuída por todo o mundo, e se desenvolve bem em regiões de clima temperado, tropical de altitude e subtropical.

Apesar de todo potencial produtivo, a tomaticultura é considerada uma atividade de alto risco econômico, principalmente pela suscetibilidade a uma vasta gama de fitopatógenos que ocasionam doenças na cultura. Estima-se que os danos causados por doenças representem de 10-30% do total da colheita, reduzindo produtividade, qualidade visual e nutricional dos frutos. Dentre as principais doenças que mais causam prejuízos em cultivos de tomateiro em países de clima tropical e subtropical, destaca-se a murcha bacteriana causada por bactérias do Complexo de Espécies *Ralstonia solanacearum* (CERs).

A murcha bacteriana é a bacteriose de solo mais importante da família solanácea, pois é considerada a mais infecciosa e destrutiva de todo o mundo. Atualmente, as espécies deste complexo são as bactérias fitopatogênicas mais intensamente estudadas no mundo, devido à sua natureza letal em importantes culturas. Economicamente, o tomateiro é a planta hospedeira de espécies do CERs mais importante do mundo, e é frequentemente utilizado como organismo modelo para estudar esta bacteriose.

As células bacterianas colonizam os vasos do xilema, onde são translocadas juntamente com a água e nutrientes, atingindo todas as partes da planta. A obstrução dos vasos xilemáticos ocorre em decorrência da secreção de exopolissacarídeos. Essa substância possui alta viscosidade e é considerada como o principal fator de virulência da bactéria. Assim, o fluxo de seiva pode ser parcial ou totalmente bloqueado, o que impede que a água e os nutrientes cheguem em quantidades suficientes à parte aérea da planta, causando a murcha.

Por conta da elevada quantidade de hospedeiros do fitopatógeno, métodos como o de rotação de cultura ou vazio sanitário não são eficazes como controle da doença, e, ainda não existem registros de produtos químicos para a doença. Assim, a obtenção de cultivares de tomateiro resistentes à murcha bacteriana é considerada como a melhor abordagem para controlar esta doença devastadora. Contudo, a reação de resistência das cultivares de tomateiro sofrem interferências do ambiente e da ampla variabilidade genética entre e dentro das espécies de *Ralstonia solanacearum*. Desta forma os programas de melhoramentos devem ser estabelecidos levando em consideração diferentes ambientes e diferentes isolados.

A fitopatometria é de fundamental importância para a identificação de novas fontes de resistência a doenças. A partir dos sintomas que a planta expressa, esta ciência possibilita a quantificação da doença no espaço e no tempo através do uso das variáveis fitopatométricas como escalas descritivas de notas, Incidência, Índice da Doença, Área Abaixo da Curva do Progresso da Doença, Taxa de Infecção e Período de Latência.

É de extrema importância a aplicação desta ciência na avaliação de cultivares de tomateiro quanto a resistência a *Ralstonia pseudosolanacearum* em todas as regiões, principalmente na do Alto Sertão Alagoano, onde não existem trabalhos disponíveis na literatura que possam indicar cultivares resistentes aos produtores locais, e para serem utilizadas em programa de melhoramento como fonte de resistência.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Utilizar variáveis fitopatométricas na murcha bacteriana em cultivares de tomateiro inoculadas com dois isolados de *Ralstonia pseudosolanacearum*.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Avaliar a possível existência de interação significativa entre cultivares de tomateiro e dois isolados da espécie *Ralstonia pseudosolanacearum*, para dois intervalos de avaliação;
2. Estudar e caracterizar o possível acontecimento da epidemia de murcha bacteriana em cultivares de tomateiro através do Período de Latência, Incidência, Taxa de Infecção e Área Abaixo da Curva do Progresso da Doença para dois intervalos de avaliação;
3. Identificar através do Índice de Murcha Bacteriana cultivares resistentes a doença para dois intervalos de avaliação;
4. Obter informações preliminares da interação hospedeiro, patógeno e ambiente no Alto Sertão Alagoano.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS DA CULTURA DO TOMATEIRO

A cultura do tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.) pertencente à família solanácea, possui o seu centro de origem nas regiões andinas, que compreende o norte do Chile até o Sul do Equador (FONTES e NICK, 2019). Estudos apontam que os Incas foram a primeira civilização a cultivar esta hortaliça fruto, a cerca de 4000 a 9000 anos antes de Cristo (MAZOYER, 2010). O ancestral selvagem mais provável do tomateiro é o *Lycopersicum esculentum* var. cerasiforme, uma espécie nativa em toda a América tropical e subtropical (SIEMONSMA e PILUEK, 1993).

No continente europeu, mais especificamente na Itália, a introdução do tomateiro ocorreu por intermédio dos espanhóis em meados do século XVI, e o primeiro registro de utilização do tomate na alimentação humana é atribuído ao botânico Pietro Andrea Gregorio Matthioli, que em 1544 nomeou o fruto como “pomi d’oro”. Neste mesmo século, os primeiros botânicos classificaram o tomate cultivado como *Solanum pomiferum* (FILGUEIRA, 2012).

Todavia, no século XVII, em meados de 1664, Tournefort o denominou como *Lycopersicon*. No século XVIII, o tomateiro foi difundido em outros continentes, como América do Norte e Ásia, nos Estados Unidos e Japão, neste mesmo século, no ano de 1753, Linnaeus, foi o primeiro a designar a cultura do tomateiro como membro do gênero *Solanum*, classificando-o como *Solanum lycopersicum* L. (NEITZKE e BUTTOW, 2008). Porém, no ano seguinte, em 1754, Miller, classificou o tomate como partícipe do gênero *Lycopersicum*, o denominando *Lycopersicum esculentum* (Mill.).

A introdução da cultura do tomateiro no Brasil ocorreu no final do século XIX por intermédio de imigrantes italianos que se estabeleceram na região Sul do país (ALVARENGA, 2004). Quanto a sua classificação, atualmente, após evidências filogenéticas obtidas por meio de análises genômicas da família das solanáceas, o tomateiro foi reconduzido ao gênero *Solanum* (NICK e BORÉM, 2016)

O tomateiro pertence a divisão Magnoliophyta, classe Magnoliopsida, ordem Solanales, família Solanaceae, espécie *Solanum lycopersicum* (BRICKEL *et al.*, 2004). É uma hortaliça fruto dicotiledônea, herbácea, que quando jovem possui o caule flexível piloso e macio, contudo, torna-se fibroso e angular com o passar do tempo (FILGUEIRA, 2012). Suas folhas são alternadas e pecioladas, de formato oval a oblonga, com textura levemente ásperas e felpudas, compostas por número ímpar de folíolos e medem de 10 a 30 cm de comprimento (KUMAR *et al.*, 2020). É uma planta perene, mas que se cultiva como anual, de porte arbustivo,

rasteira, semiereta ou ereta a depender da cultivar, com dois hábitos de crescimento, indeterminado ou determinado (PNUELI *et al.* 1998).

O sistema radicular é composto por raiz principal, secundárias e adventícias, sendo que 70% das raízes se localizam superficialmente a menos de 20 cm da superfície do solo (PEIXOTO *et al.*, 2017). É considerado bastante agressivo, podendo chegar a profundidades de mais de 1,50 m quando semeados diretamente no solo, entretanto, quando propagado através do transplante de mudas o sistema radicular encontra-se nos primeiros 0,50 m de profundidade, (BRANDÃO FILHO *et al.*, 2018).

É uma espécie autógama, diplóide, com 24 cromossomos e com taxa de cruzamento natural em geral inferior a 5% (BECKER *et al.*, 2016). As flores são amarelas, dióicas, hermafroditas com cleistogamia, diâmetro variando de 1,5 a 2 cm e possuem cinco sépalas, cinco pétalas, cinco anteras e dois carpelos (MONFORTE *et al.*, 2014). Os frutos são bagas carnosas e suculentas, de coloração verde quando imaturos e vermelho ou amarelo quando maduros, devido à formação e o acúmulo do carotenoide licopeno, e, dependendo da cultivar o fruto pode ter diversos aspectos, tamanhos, pesos, e quantidades de lóculos, podendo ser bilocular, trilocular ou plurilocular (RANC *et al.*, 2012).

O fruto se desenvolve no período de sete a nove semanas após a fecundação do óvulo, e por ser climatérico pode completar a maturação após a colheita (CARMO e CALIMAN, 2010). O tomate possui baixo valor calórico, é rico em vitaminas A, B e C, sacarose, frutose, lipídios, proteínas e minerais como fósforo, cálcio, potássio, magnésio, e alto teor de licopeno (LUTEROTTI *et al.*, 2015). As sementes medem de 2 a 3 mm de diâmetro, possuem formato oval e coloração creme acinzentada, a temperatura ótima para sua germinação varia de 18° a 24°C, e sua fase vegetativa é curta, uma vez que a floração e a frutificação ocorrem com o crescimento vegetativo (KINET e PEET, 1997).

A temperatura ótima para o seu desenvolvimento está entre 21 e 28 °C durante o dia, e 15 e 20 °C durante a noite, temperaturas elevadas afetam a qualidade dos frutos, principalmente no que diz respeito à coloração, pois inibem a formação do licopeno (LOPES, 2021). O período de cultivo depende das condições climáticas, fertilidade do solo, intensidade de irrigação, ataque de pragas/doenças e época de plantio (PUIATTI *et al.*, 2010).

A cultura do tomateiro possui ampla adaptabilidade as mais diversas regiões geográficas (ALVARENGA, 2013). Atualmente, tem sido cultivada em todo o mundo, nos mais variados climas e condições, que vão desde os trópicos até regiões temperadas (PERALTA e SPOONER, 2006). Adapta-se melhor as regiões serranas ou de planalto, secas e com alta luminosidade, entretanto, em regiões de clima tropical úmido possui sua produtividade prejudicada pelo favorecimento de incidência de pragas e doenças (FILGUEIRA, 2012).

### 3.2 IMPORTÂNCIA SOCIOECONÔMICA DA CULTURA DO TOMATEIRO

A cultura do tomateiro está amplamente distribuída pelo mundo (RODRIGUES *et al.*, 2020). É a segunda hortaliça mais importante em termos de produção e ocupa a segunda posição mundial em área cultivada, e a primeira em volume industrializado (FAO, 2022). O seu fruto, o tomate é um alimento saudável e funcional, pois é rico em nutrientes, fibras, carboidratos e vitaminas (PETRUCCELLI *et al.*, 2022). Possui alta aceitação comercial e muita versatilidade de uso no consumo, uma vez que pode ser consumido in natura ou industrializado, gerando uma variedade de produtos (HEUVELINK, 2018).

No mundo, a estimativa da produção de tomate em 2019, foi de 186 milhões de toneladas, em aproximadamente cinco milhões de hectares (FAO, 2020). Comercialmente, 166 países cultivam o tomateiro e abastecem o mercado mundial, dentre estes países, a China é o maior produtor com uma área cultivada de mais de um milhão de hectares e uma produção anual de mais de 56 milhões de toneladas, o Brasil, entretanto, ocupa a nona posição com produção de 3.809.986 toneladas em uma área de 54.502 hectares, alcançando uma produtividade média de 69,905 toneladas por hectare (FAO, 2022).

No país, a produção do tomate é liderada pelo estado de Goiás que corresponde a 29% da produção brasileira do fruto, com uma área cultivada de 11.624 ha<sup>-1</sup>, produção de 993.452t e produtividade média de 85,5 t ha<sup>-1</sup>. Em segundo lugar está o estado de São Paulo, que equivale a 23% da produção brasileira, com uma área cultivada de 11.525 ha<sup>-1</sup>, produção de 917.349 t e produtividade média de 79,6 t ha<sup>-1</sup>. Em terceiro lugar, o estado de Minas Gerais, condiz com 13% da produção da cultura no país, com uma área de 7.720 ha<sup>-1</sup> cultivados, produção de 578.116 t e produtividade média de 74,9 t ha<sup>-1</sup> (IBGE, 2022).

Na região Nordeste, o cultivo do tomate é realizado essencialmente por pequenos produtores, com maior intensidade no Estado da Bahia com uma área plantada de 5.203 ha<sup>-1</sup>, produção de 265.692 t e produtividade média de 51 t ha<sup>-1</sup>. Ceará possui 2.335 ha<sup>-1</sup> de área plantada, produção média de 170.059 t e produtividade média de 72,830 t ha<sup>-1</sup>. Pernambuco a área plantada é de 1.460 ha, com produção média de 67.154 t, alcançando produtividade média de 45,999 t ha<sup>-1</sup>. Porém, o Estado de Alagoas é um dos estados com menor expressão na cadeia produtiva do tomate, possui área cultivada de 213 ha<sup>-1</sup>, produção média de 9.501 t e produtividade média de 44,606 t ha<sup>-1</sup> (IBGE, 2022).

A produção da cultura em todo o país, destaca a produtividade do fruto, obtendo a capacidade de produzir mais de 85 t ha<sup>-1</sup>, assim, os estados de Goiás e São Paulo que possuem as maiores produções, não só escoam o produto ao mercado nacional como também ao internacional (SOUZA *et al.*, 2022). Sendo a maior parte das exportações brasileiras

destinadas a Argentina e a outros países como o Paraguai, Uruguai e Alemanha (CONAB, 2022). Segundo a Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA), a cadeia produtiva de tomate, no ano de 2022, gerou o valor bruto de produção de R\$ 11,47 bilhões, o que demonstra a grande importância econômica da cultura no país (EMBRAPA, 2023).

Além do interesse agrônomo, gastronômico, nutricional e industrial, o fruto do tomateiro, despertou há algum tempo o interesse farmacêutico, após estudos comprovarem que o licopeno, encontrado em grande quantidade no tomate, é o carotenoide com maior ação antioxidante (FERREIRA *et al.*, 2022). Quimicamente, o licopeno caracteriza-se por estrutura simétrica e acíclica, constituído por átomos de carbono e hidrogênio, com 11 ligações duplas conjugadas e duas ligações não conjugadas, de fórmula molecular  $C_{40}H_{56}$ , sendo ainda um pigmento sem atividade provitamina A, apesar do seu efeito protetor contra a ação de radicais livres (WALISZEWSKI e BLASCO, 2020).

Vários estudos *in vitro* e *in vivo* mostram os papéis do licopeno como fator preventivo no combate à formação ou desenvolvimento de cânceres humanos, como câncer de próstata, câncer de pulmão e de mama (CHEN, 2019). O licopeno apresenta ação direta contra o câncer, atuando em vias de sinalização de fatores de crescimento reduzindo os níveis do fator de crescimento familiar IGF-1, essencial para o crescimento e sobrevivência, progressão do ciclo celular atuando nos *checkpoints* do ciclo celular, induzindo a regulação negativa da ciclina D1 e/ou regulação positiva de p27 em células do câncer de mama humano, próstata e hormônios dependentes (LEMOS *et al.*, 2021).

Considerado um fruto versátil quanto a sua utilidade, o tomate é a hortaliça-fruto de maior demanda per capita (SOUZA *et al.*, 2023). Assim, a cultura do tomateiro apresenta grande importância no âmbito social, tendo em vista que é um dos cultivos que mais geram empregos na produção rural do Brasil, que, ao longo de toda a cadeia produtiva gera por hectare/ano sete empregos diretos e o mesmo número de empregos indiretos, e isso propicia uma maior geração de renda e participação expressiva no agronegócio (VILELA *et al.*, 2022)

Apesar de todo o seu potencial, a tomaticultura é considerada uma atividade de alto risco econômico, principalmente pela suscetibilidade a uma vasta gama de fitopatógenos que ocasionam doenças na cultura, estima-se que os danos causados por doenças representam de 10 - 30% do total da colheita, reduzindo a produtividade, qualidade visual e nutricional dos frutos (QUEZADO-DUVAL e LOURENÇO JUNIOR, 2018). Dentre as principais doenças que mais causam prejuízos em cultivos de tomate em países de clima tropical e subtropical, destaca-se a murcha bacteriana causada por bactérias do Complexo de Espécies *Ralstonia solanacearum* (LOPES, 2022).

### 3.3 MURCHA BACTERIANA NO TOMATEIRO

A murcha bacteriana é causada por bactérias fitopatogênicas de solo do Complexo de Espécies *Ralstonia solanacearum* (CERs), que consiste em três espécies, *R. solanacearum*, *R. pseudosolanacearum* e *R. sygzi* (SHARMA *et al.*, 2022). As espécies de bactéria deste complexo são encontradas em todo o mundo, principalmente em regiões de clima tropical e subtropical (HAYWARD, 1991). São capazes de infectar mais de 250 espécies vegetais de 50 famílias botânicas, especialmente as Solanáceas (PAUDEL, 2020). A murcha causada por estas espécies de bactérias é a bacteriose de solo mais importante da cultura do tomateiro, pois é considerada a mais infecciosa e destrutiva de todo o mundo (MAMPHOGORO *et al.*, 2020).

No Brasil, as espécies do CERs responsáveis por causar a murcha bacteriana no tomateiro são a *R. solanacearum* e a *R. pseudosolanacearum*, estas, habitam o solo de todos os estados brasileiros, principalmente nas regiões Norte e Nordeste do país, devido a elevada temperatura e umidade que favorece o desenvolvimento das bactérias (SANTIAGO, 2020). Todavia, o cultivo protegido de tomateiro, fez com que a doença se tornasse um dos principais problemas do tomateiro na região Sul e Sudeste, pela dificuldade de rotação de culturas e as elevadas temperaturas dentro da estufa que favorecem a multiplicação bacteriana no solo (LOPES, 2021).

A infecção bacteriana na planta hospedeira ocorre via raízes lesionadas, aberturas naturais e locais de emergência de radículas (INGEL *et al.*, 2022). Estudos sobre a patogenicidade da bactéria caracterizaram que as duas espécies do Complexo *R. solanacearum* recorrentes no Brasil infectam o sistema radicular de forma semelhante (PLANAS-MARQUÈS *et al.*, 2020). Porém, as expressões dos sintomas da murcha bacteriana variam de acordo com o grau de suscetibilidade da planta hospedeira, fator de virulência do isolado e condições climáticas da região (ELPHINSTONE, 2005).

A bactéria é disseminada a longas distâncias por vias diversas, principalmente por meio de material vegetal contaminado para plantio, como mudas e caules diversos. Por outro lado, a curtas distâncias, ou seja, entre e dentro de propriedades agrícolas, dentre os meios de disseminação destacam-se a água de irrigação, uso de ferramentas e/ou equipamentos contaminados durante práticas agrícolas, insetos polinizadores e outros, além de ações antrópicas (MAFIA *et al.*, 2014).

O sintoma mais típico da murcha bacteriana do tomateiro é a murcha sem alteração da coloração verde das folhas, que ocorrem de cima para baixo, resultante da interrupção parcial ou total do fluxo de água desde as raízes até o topo da planta (AHMED *et al.*, 2022). As plantas de tomateiro infectadas podem apresentar sintomas no segundo ou terceiro dia após a infecção

e em qualquer estágio de desenvolvimento da planta, embora seja mais comum por ocasião da formação do primeiro cacho de frutos (MANDA *et al.*, 2020).

Outro sintoma bem característico é o escurecimento do xilema, percebido pelo cortel longitudinal do caule, causado pela multiplicação bacteriana em decorrência de secreção de exopolissacarídeos, o principal fator de virulência da bactéria (TSUZUKI *et al.*, 2023). Em alguns casos, percebe-se a formação de raízes adventícias na parte inferior do caule, que é uma reação da planta à falta de água suficiente para mantê-la túrgida (LOPES, 2022)

Com o progresso da doença, muitos sintomas se expressam na planta, como desequilíbrio hormonal de auxina que causa raquitismo, amarelecimento, epinastia foliar e crescimento subdimensionado (BUDDENHAGEN e KELMAN, 1964). Contudo, os sintomas finais ocorrem quando os tecidos do caule e do ponteiro se tornam flácidos, e as folhas, caules e ramos se tornam secos, caracterizando uma murcha permanente e conseqüentemente a morte da planta (KASHYAP *et al.*, 2023). No campo, comumente, é possível observar a expressão dos sintomas da murcha bacteriana em reboleiras que se localizam nas partes baixas e úmidas das áreas de plantio (LOPES, 2009).

As espécies do complexo *R. solanacearum* além de possuírem uma ampla gama de plantas hospedeiras, como culturas de grande importância agrícola das mais variadas famílias, e, plantas daninhas, possuem hábito de vida saprofítico, ou seja, são capazes de utilizar vários compostos orgânicos presentes no solo para sua sobrevivência e permanência na área, dessa forma, as técnicas como a rotação de cultura ou vazios sanitários não possuem eficácia no controle da bactéria (HAYWARD, 1994b; ALLEN *et al.*, 2005; WICKER *et al.*, 2012).

O controle químico por sua vez, além de ser oneroso, é ofensivo ao meio ambiente e à saúde humana, causa resistência do patógeno e não possui eficácia porque não atua nas camadas profundas, uma vez que o patógeno pode atingir até um metro de profundidade (RANI *et al.*, 2022). Portanto, a obtenção de cultivares resistentes a murcha bacteriana é considerada como a melhor abordagem para controlar esta doença devastadora (LEE *et al.*, 2020).

Há registros na literatura de algumas cultivares de tomateiro resistentes a murcha bacteriana, como a Caraíba, CRA-66, Drica, Hawaii 7996 (padrão internacional de resistência a murcha bacteriana), Hawaii 7997, Hawaii 7998, Saturn, Vênus e Yoshimatsu (COSTA *et al.*, 2019). Algumas fontes de resistência já foram mapeadas, contudo, ainda não se encontram no mercado cultivares comerciais resistentes (NICK e SILVA, 2016). Isso ocorre porque alguns alelos promotores de resistência à murcha bacteriana se associam negativamente com as características agrônômicas desejáveis em um fruto, tornando inviável a sua aceitação tanto pelo produtor quanto pelo consumidor (YULIAR *et al.*, 2015).

### 3.4 COMPLEXO DE ESPÉCIES *Ralstonia solanacearum*

A bactéria causadora da murcha bacteriana foi inicialmente denominada de *Bacillus solanacearum* Smith (1896), depois de *Bacterium solanacearum* (Smith) Chester (1897), *Pseudomonas solanacearum* (Smith) Smith em 1914, *Phytomonas solanacearum* (Smith) Bergey *et al.* (1923) e *Burkholderia solanacearum* (Smith) Yabuuchi *et al.* (1992). Só em 1995 foi classificada no gênero *Ralstonia*, espécie *R. solanacearum* (Smith) Yabuuchi *et al.* com sua validação publicada em 1996 (Yabuuchi *et al.*, 1996). O gênero *Ralstonia* pertence ao reino Procariotae, domínio Bacteria, Filo Proteobacteria, classe  $\beta$ -Proteobacteria, ordem Burkholderiales e família Ralstoniaceae (KADO, 2010).

O Complexo de Espécies de *Ralstonia solanacearum* (CERs), é composto por espécies de bactérias causadoras da murcha bacteriana em mais de 250 espécies de plantas em mais de 54 famílias botânicas (KAI, 2023). É um conjunto heterogêneo de isolados que compartilham um alto grau de similaridade de sequências do gene 16S-23S rRNA (98-100%) (SANTIAGO *et al.*, 2020). Fegan e Prior (2005) baseados em sequências nucleotídicas conservadas nas regiões espaçadoras intergênicas (ITS) 16S–23S e dos genes *egl*, *hrpB* e *mutS* do DNA ribossômico, classificaram o CERs em quatro níveis taxonômicos capazes de suportar a diversidade existente na espécie, sendo eles: espécie, filotipo, sequevar e clone (Tabela 1).

Tabela 1 – Esquema de classificação hierárquica de *Ralstonia solanacearum* proposto por Fegan e Prior (2005).

<b>Nível Taxonômico</b>	<b>Equivalência Taxonômica</b>	<b>Nomenclatura</b>	<b>Modo de identificação</b>
Espécie	Espécie	Complexo <i>R. solanacearum</i>	PCR – oligonucleotídeos específicos
Filotipo	Subespécie	Filotipos I, II, III e IV.	PCR Multiplex baseada na região ITS
Sequevar	Grupo Infrasubespecíficos	Sequevares 1-52	Sequenciamento genes <i>egl</i> , <i>hrpB</i> e/ou <i>MutS</i>
Clone	Linhagens clonais		Fingerprinting do genoma (rep-PCR, RAPD, AFLP...)

ROSSATO (2016), adaptado pela autora.

Safni *et al.* (2014) posteriormente, a partir do sequenciamento de genoma, características bioquímicas, culturais, fisiológicas e de hibridização DNA-DNA, propuseram uma reclassificação taxonômica do complexo *R. solanacearum*, em três espécies independentes, sendo *R. Pseudosolanacearum*; *R. Solanacearum* e *R. Syzygii* (Tabela 2).

Tabela 2 – Reclassificação taxonômica proposta por Safni *et al.* (2014).

<b>Espécies</b>	<b>Filotipos</b>	<b>Biovars</b>	<b>Centro de origem</b>
<i>Ralstonia pseudosolanacearum</i>	I	3, 4 e 5	Ásia
<i>Ralstonia solanacearum</i>	II	1 e 2	América
<i>Ralstonia pseudosolanacearum</i>	III	1 e 2	África e ilhas vizinhas
<i>Ralstonia syzigii</i>	IV	1 e 2	Indonésia

PAUDEL (2020), adaptado pela autora.

As espécies de bactérias do complexo *R. solanacearum* são Gram-negativas habitantes do solo, aeróbicas, saprofíticas, com formato de bastonetes reto ou levemente curvo, medindo 0,5 x 1,5 µm de dimensão, não esporogênicas e apresentam um ou vários flagelos polares (SILVA, 2020). Apresentam variação na gama de hospedeiros, origem geográfica e patogenicidade (PAUDEL *et al.*, 2020). São consideradas bactérias fitopatogênicas quarentenárias, responsáveis por enormes perdas agrícolas em todo o mundo (MANSFIELD *et al.*, 2012). E, atualmente, é o complexo de bactérias mais intensamente estudadas no mundo devido à sua natureza letal em importantes culturas como o tomateiro (AHMED *et al.*, 2022).

Para que ocorra a infecção são necessários ferimentos nas raízes e nos tecidos de emergência de raízes secundárias da planta, podendo eles serem naturais ou mecânicos (ROSSI *et al.*, 2023). As bactérias movem-se para as raízes das plantas hospedeiras usando a motilidade natatória impulsionada pelos flagelos através da quimiotaxia (HIKICHI *et al.*, 2017). Ao encontrarem condições favoráveis ao seu desenvolvimento, colonizam os espaços intercelulares das raízes e tecidos da haste. Sua proliferação progride rapidamente em direção aos vasos do xilema, onde é translocada juntamente com a água e nutrientes, atingindo todas as partes da planta, em uma densidade populacional superior a 10<sup>9</sup> UFC g<sup>-1</sup> de haste (MORAIS, 2018).

A colonização bacteriana causa a obstrução dos vasos xilemáticos da planta hospedeira em decorrência da secreção dos EPS, essa substância possui alta viscosidade e é considerada como o principal fator de virulência da bactéria (TSUZUKI *et al.*, 2023). Assim, o fluxo de seiva pode ser parcial ou totalmente bloqueado, o que impede que a água e os nutrientes cheguem em quantidades suficientes à parte aérea da planta (ZULAGA *et al.*, 2022).

Como mecanismo de defesa, a planta reage formando tiloses (crescimento excessivo do protoplasto), dificultando ainda mais a passagem de água (KASHYAP *et al.*, 2023). Assim, a infecção por esta bactéria envolve prejuízos fisiológicos irreversíveis às plantas hospedeiras, uma vez que sua patogenicidade está relacionada a um elaborado sistema de secreção (Secreção do Tipo III -SSTIII), com injeção de um complexo associado de proteínas efetoras que apresentam funções enzimáticas deletérias às células da planta (JACOBS *et al.*, 2013).

### 3.5 FITOPATOMETRIA

A fitopatometria é uma das mais importantes áreas de estudos da fitopatologia (JAMES, 1977). A quantificação de doenças é tão importante para a fitopatologia quanto a diagnose, uma vez que de nada adiantaria conhecer o patógeno causador de uma doença se não fosse possível quantificar os sintomas expressados na planta (AMORIM, 1995). Sem quantificar a doença, nenhum estudo em epidemiologia ou em suas aplicações seria possível (KRANZ, 1988). É uma ciência considerada a base da epidemiologia, e o seu principal objetivo é obter dados quantitativos sobre a ocorrência e o desenvolvimento das doenças para avaliar a importância relativa de diferentes patologias (BROWN e KEANE, 1997).

A quantificação de doenças é de grande importância para o estudo dos seus efeitos sobre a produtividade das culturas agrícolas (GOMES *et al.*, 2017). Descrição de padrões de epidemia no tempo e no espaço (DE BEM *et al.*, 2016), identificação de fontes de resistência a doenças (GYAWALI *et al.*, 2018), bem como para o estabelecimento e avaliação de estratégias de controle visando a prevenção ou redução das perdas de produção (MARCUSO *et al.*, 2016).

Os métodos de quantificação de doenças podem ser agrupados em métodos diretos, onde a estimativa da quantidade de doença é feita diretamente através dos sintomas, e também dos métodos indiretos, onde a quantidade de doença é estimada pela população do patógeno ou variáveis associadas à doença. A escolha do método de quantificação a ser utilizado dependerá do patossistema e dos objetivos do estudo, bem como da disponibilidade de um método previamente utilizado (SILVA e MICHEREFF, 2016). Um bom método de quantificação de doença deve fornecer resultados acurados, precisos e reproduzíveis (NUTTER *et al.*, 1991).

Segundo Vale (2004), a acurácia diz respeito ao grau de proximidade entre a estimativa e a quantidade real da doença, enquanto precisão está relacionado à confiabilidade e, ou, repetibilidade dos valores associados à amostra com a menor variação possível entre si, por último, a reprodutibilidade, que trata da ausência de variação nas estimativas quando a mesma amostra é avaliada por diferentes avaliadores. A quantificação da doença pode ser feita através de escalas descritivas de notas, escalas diagramáticas, incidência, índice da doença, severidade, área abaixo da curva do progresso da doença, taxa de infecção e período de latência (COSTA *et al.*, 2023).

A incidência é uma variável discreta, de natureza binária, ou seja, existe ou não existe a doença (MADDEN *et al.*, 2007). Por exemplo, a contagem do número de plantas de tomateiro que expressam o sintoma da murcha bacteriana (*R. solanacearum*) (SILVA e MICHEREFF, 2016). Assim, essa variável é definida como a porcentagem ou proporção (ou partes de plantas) doentes em uma amostra ou população (CAMPBELL e MADDEN, 1990). A

quantificação de uma doença através da incidência é mais simples, rápida e precisa em relação à severidade (ALVES *et al.*, 2015). Sua acurácia depende apenas da habilidade do avaliador em reconhecer a doença por meio dos sintomas expressos na planta (BOCK *et al.*, 2016).

A severidade é definida como a porcentagem ou proporção da área ou do volume de tecido coberto por sintomas da doença em uma unidade amostral (BROWN e KEANE, 1997). É uma medida mais adequada para quantificar as doenças da parte aérea (NUNES *et al.*, 2012), pois a porcentagem de área lesionada retrata melhor a intensidade da doença do que a incidência (SILVA e MICHEREFF, 2016). Embora a severidade seja uma variável mais difícil de ser obtida em relação à incidência, ela apresenta melhor ajuste em estudos de eficiência de controle, condições favoráveis a epidemias e em estudos de danos (NUTTER *et al.*, 2006). A severidade também pode ser expressa através do Índice da doença (COSTA *et al.*, 2023).

Além disso, a quantificação da severidade ao longo do tempo permite a construção de curvas de progresso da doença (AACPD), o que representa a integração do efeito do hospedeiro, patógeno e ambiente (BOCK *et al.*, 2016). Para aprimorar a avaliação da severidade de doenças e minimizar os erros das estimativas, várias estratégias têm sido sugeridas para auxiliar os avaliadores antes ou durante as avaliações, como a utilização de escalas descritivas, escalas diagramáticas e análise de imagens digitais (BERGAMIN FILHO e AMORIM, 1996). Destas três, as escalas diagramáticas são as mais utilizadas atualmente (ALVES *et al.*, 2015).

Escalas diagramáticas são ilustrações de partes de plantas ou de plantas inteiras com sintomas da doença em diferentes níveis de severidade. O uso de escalas reduz a subjetividade das estimativas de severidade entre os avaliadores, melhorando os níveis de acurácia e precisão das mesmas, estas devem ser de fácil uso, aplicáveis em diferentes condições e produzir resultados reproduzíveis, além de apresentarem níveis suficientes que representem todos os estádios de desenvolvimento da doença (BERGAMIM FILHO e AMORIM, 1996).

O período de latência da doença (PL50), revela a quantidade de dias em que 50% das plantas avaliadas foram acometidas pelo patógeno (COSTA *et al.*, 2023). É uma variável fitopatométrica de grande importância para o melhoramento de plantas visando a resistência de doenças, pois, pode ser a referência no processo seletivo, em que as plantas com maior período de latência apresentam reações de resistência por possuírem consequentemente menores incidências e menor área abaixo da curva do progresso da doença (MENDES *et al.*, 2018).

Segundo Rava e Sartorato (1994) a taxa de infecção (TI%) é uma variável que representa em porcentagem a velocidade na qual a doença aumenta por dia, ou seja, quanto maior esta taxa, maior a probabilidade de ser gerada uma epidemia, pois indica que o patógeno é virulento e que a doença progride rapidamente com o passar dos dias, consequentemente estas plantas possuirão um menor período de latência.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 LOCAL E PERÍODO DE IMPLANTAÇÃO DO EXPERIMENTO

O experimento foi conduzido em casa de vegetação situada na latitude de 09°37'25"S e longitude de 37°45'24"O, localizada no Instituto Federal de Alagoas, *Campus Piranhas* (IFAL-PIRANHAS), entre o período de outubro à novembro de 2023. O município de Piranhas – Alagoas está localizado na Depressão Sertaneja, segundo a classificação de Koppen o clima é do tipo BSh tropical semiárido, com altitude de 110 m e uma precipitação anual de 492,2 mm (SANTOS *et al.*, 2017). Durante a condução do experimento as temperaturas médias no interior da casa de vegetação foram de 36° C, com 0 mm de precipitação e umidade média do ar de 40%.

### 4.2 TRATAMENTOS E DELINEAMENTO ESTATÍSTICO

O delineamento estatístico utilizado foi inteiramente casualizado em esquema fatorial (10 x 2), com 20 tratamentos, constituídos pelas cultivares comerciais da região: Bartô, Cereja, Coração de Boi, San Marzano, Santa Adélia, Santa Clara 5.800, Santa Cruz Kada Gigante; e as testemunhas Yoshimatsu (resistente à murcha bacteriana), Hawaii 7996 (resistente à murcha bacteriana) e IPA-7 (suscetível à murcha bacteriana), inoculadas com dois isolados de *Ralstonia pseudosolanacearum* (CRMRS108 e CRMRS212). Foram utilizadas três repetições, totalizando 60 parcelas experimentais. Cada parcela experimental foi composta por quatro plantas.

### 4.3 CARACTERÍSTICAS DAS CULTIVARES UTILIZADAS

A escolha das cultivares foi de acordo com a disponibilidade dos materiais em casas agropecuárias das cidades de Delmiro Gouveia/Alagoas e Canindé de São Francisco/Sergipe, para que pudesse se assemelhar ao máximo com as cultivares utilizadas pelos agricultores para o plantio da cultura do tomateiro na região do Alto Sertão Alagoano. As demais cultivares foram obtidas por intermédio de parcerias com pesquisadores do Centro de Tecnologias Estratégicas do Nordeste (CETENE), Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Instituto Nacional de Pesquisa do Amazonas (INPA) e Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA) (Tabela 3).

Tabela 3 – Características das cultivares de tomateiro utilizadas no experimento.

<b>Cultivares</b>	<b>Grupo</b>	<b>Porte</b>	<b>Murcha bacteriana</b>
Coração de Boi	Salada	Indeterminado	Sem informação
Santa Adélia	Italiano	Determinado	Sem informação
Yoshimatsu	Saladete	Indeterminado	Resistente
IPA-7	Salada	Indeterminado	Suscetível
San Marzano	Italiano	Indeterminado	Sem informação
Santa Cruz Kada Gigante	Santa Cruz	Indeterminado	Suscetível
Santa Clara 5.800	Salada	Indeterminado	Suscetível
Bartô	Saladete	Determinado	Sem informação
Hawaii 7996	Saladete	Indeterminado	Resistente
Cereja	Cereja	Indeterminado	Sem informação

#### 4.4 CARACTERÍSTICAS DOS ISOLADOS UTILIZADOS

Os isolados utilizados foram o CRMRS108 e o CRMRS212 da espécie *Ralstonia pseudosolanacearum*, oriundos do banco de isolados do Laboratório de Fitobacteriologia Rosa Mariano da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE). Os isolados foram coletados no município de Camocim de São Félix no estado de Pernambuco, na cultura do tomateiro.

Tabela 4 – Características dos isolados de *Ralstonia pseudosolanacearum* utilizados no experimento.

<b>Isolado</b>	<b>Município</b>	<b>Mesorregião</b>	<b>Haplótipo</b>	<b>Hospedeiro</b>
CRMRS108	Camocim de S.Félix	Agreste	23	Tomateiro
CRMRS212	Camocim de S.Félix	Agreste	17	Tomateiro

#### 4.5 IMPLANTAÇÃO E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO

As mudas de tomateiro foram produzidas em bandejas de poliestireno expandido de 200 células de aproximadamente 40 ml cada (Figura 1A). O substrato comercial utilizado foi o Bioplant®, a base de turfa de sphagnum, fibra de coco, casca de arroz, casca de pinus, vermiculita, e nutrientes, sendo este isento de plantas daninhas e fungos fitopatogênicos. Foram semeadas três sementes por célula, e, 10 dias após a semeadura, foi realizado o desbaste para estabelecer uma planta por célula (Figura B).

Para a formação de mudas de qualidade, a irrigação foi realizada três vezes ao dia com solução nutritiva adaptada de Furlani *et al.* (1999), contendo 375 g/500 L de nitrato de cálcio, 225 g/500 L de nitrato de potássio, 200 g/500 L de sulfato de magnésio, 100 g/500 L de MAP, 12,5 g/500 L de Conmicros® e 12,5 g/500 L de Kelamylth®. Esta solução é amplamente utilizada para o cultivo de solanáceas. Aos 21 dias após a semeadura, as plantas foram transplantadas para vasos plásticos de 500 ml contendo substrato Bioplant® (Figura 1C). Até

os 30 dias após a sementeira as plantas foram irrigadas três vezes ao dia com solução nutritiva (Figura 1D).

Figura 1 – Semeadura das cultivares de tomateiro (A), desbaste (B), transplante das mudas de tomateiro para copos (C), aplicação de solução nutritivas nas mudas de tomateiro (D).

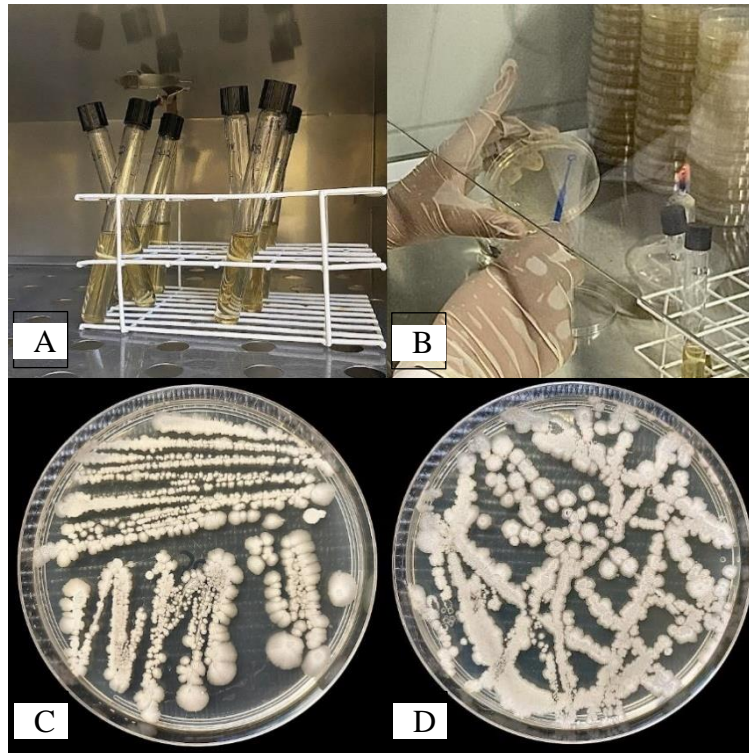


Fonte: Costa, 2023.

Para realizar a inoculação, inicialmente as células bacterianas dos isolados CRMRs108 e CRMRs212 da espécie *Ralstonia pseudosolanacearum*, foram resgatadas da preservação em água (CASTELLANI, 1967) e cultivadas em meio de enriquecimento, caldo nutriente Kelman (KELMAN, 1954) contendo em sua composição 0,1 g de peptona, 0,05 g de glucose e 0,01 g de caseína hidrolisada, em estufa bacteriológica, a 28° C por 48 horas (Figura 2A). Em seguida as células bacterianas enriquecidas foram cultivadas em meio Kelman sem TZC (tetracloroeto de trifetil tetrazólio) (KELMAN, 1954) e mantidas em estufa bacteriológica, a 28° C por 48 horas. Após o crescimento das células bacterianas (Figura 2CD), foi realizado o preparo da suspensão bacteriana.

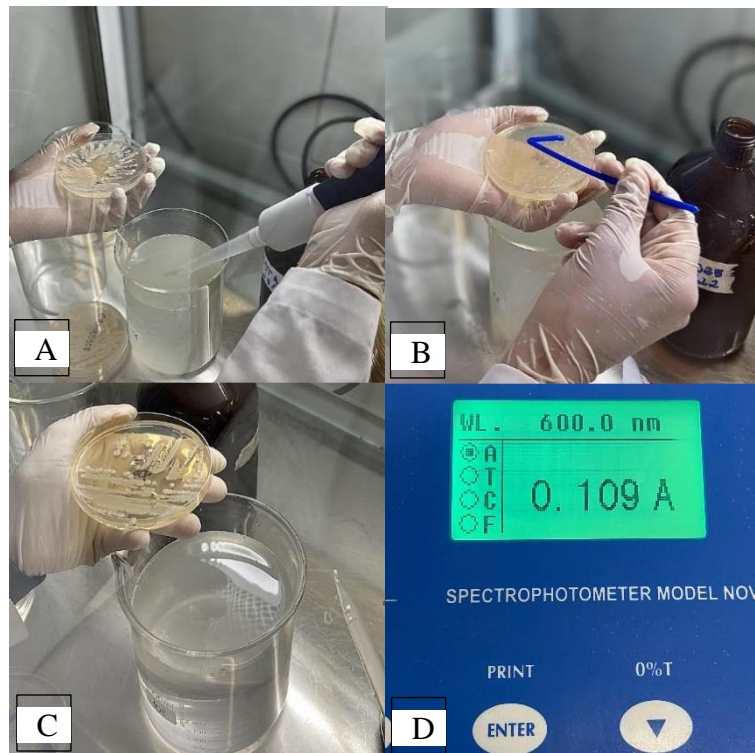
Para o preparo da suspensão, com auxílio de uma micropipeta digital foi pipetada solução salina (0,85%) estéril contida em um Becker de 1000 ml, na placa de Pétri contendo as colônias bacterianas (Figura 3A). Com uma alça de drigalski estéril foi realizada a raspagem das colônias (Figura 3B), e, a seguir, a mistura foi transferida para o mesmo Becker contendo solução salina (Figura 3C). A suspensão bacteriana foi calibrada para a concentração de  $OD_{600} = 0,1$  (densidade ótica igual a 0,1), o que corresponde a  $1 \times 10^8$  UFC/ml utilizando um espectrofotômetro (Figura 3D).

Figura 2 – Células bacterianas de *Ralstonia pseudosolanacearum* em caldo nutriente Kelman (A) células bacterianas de *Ralstonia pseudosolanacearum* cultivadas em meio Kelman (B), aparência de colônias formadas pelo isolado CRMRS108 (C), aparência de colônias formadas pelo isolado CRMRS212 (D).



Fonte: Costa, 2023.

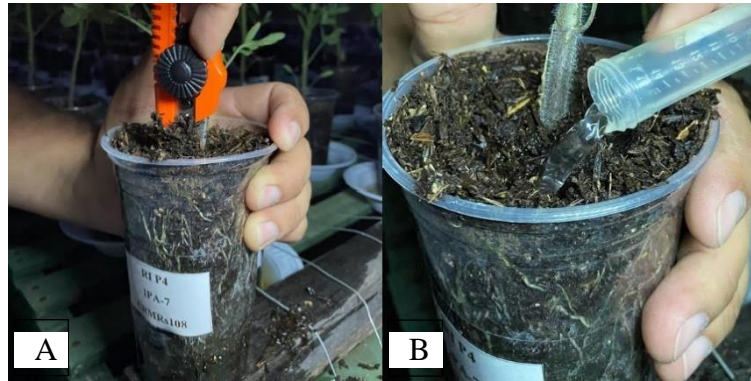
Figura 3 – Solução salina pipetada na placa de Petri (A), Placa de Pétri raspada com alça de drigalski (B), suspensão bacteriana depositada no becker (C), suspensão calibrada (D).



Fonte: Costa, 2023

Aos 30 dias após a sementeira, as plantas foram inoculadas pelo método do corte das raízes, fazendo-se com auxílio de um estilete um corte semicircular no substrato perto do caule da planta (Figura 4A) no qual foram depositados 15 ml da suspensão bacteriana (Figura 4B). Após a inoculação, as irrigações foram realizadas em recipientes plásticos localizados sob os vasos de 500 ml, a fim de não lixiviar o inóculo e de manter o substrato úmido.

Figura 4 – Corte semicircular no substrato (A), 15 ml de suspensão bacteriana de *Ralstonia pseudosolanacearum* depositados no corte (B).



Fonte: Costa, 2023.

#### 4.6 AVALIAÇÃO DA MURCHA BACTERIANA EM CULTIVARES DE TOMATEIRO

As avaliações foram realizadas no 5º, 10º, 15º e 20º dia após a inoculação. A presença de sintomas da murcha bacteriana em cada planta foi mensurada com o auxílio de uma escala diagramática de notas (Figura 5) variando de 0 a 4, de Gomes (1997), em que:

- 0 = ausência de sintomas;
- 1 = plantas com até 1/3 das folhas murchas;
- 2 = plantas com até 2/3 das folhas murchas;
- 3 = plantas totalmente murchas e
- 4 = plantas mortas.

Figura 5 – Escala diagramática para quantificação da severidade da murcha bacteriana do tomateiro.



Fonte: Gomes, 1997.

A nota 1 da murcha bacteriana é difícil de diagnosticar, uma vez que os sintomas apareceram de forma desigual entre e dentro as cultivares. A seguir pode ser observado a representação da murcha bacteriana em cultivares de tomateiro através da nota 2 (Figura 6) nota 3 (Figura 7) e nota 4 (Figura 8).

Figura 6 – Representação da murcha bacteriana em cultivares de tomateiro através da nota 2.



Fonte: Costa, 2023.

Figura 7 – Representação da murcha bacteriana em cultivares de tomateiro através da nota 3.



Fonte: Costa, 2023.

Figura 8 – Representação da murcha bacteriana em cultivares de tomateiro através da nota 4.



Fonte: Costa, 2023.

#### 4.7 OBTENÇÃO DAS VARIÁVEIS FITOPATOMETRICAS

A partir da avaliação através da escala diagramática de notas da murcha bacteriana, foram obtidas as seguintes variáveis de cada parcela experimental para o intervalo do 5° - 10° e do 15° - 20° dia de avaliação:

a) Incidência da doença (INC), é determinada pela porcentagem de plantas infectadas em relação ao total de plantas inoculadas, calculada pela fórmula:  $INC (\%) = (NPD/NTP) \times 100$  onde NPD = número de plantas (ou suas partes) doentes e NTP = número total de plantas (ou suas partes) avaliadas (KOCKS *et al.*, 1998)

b) Índice de murcha bacteriana (IMB), calculado pela fórmula:  $IMB = \sum [(C \times P) / N]$ , em que C = nota atribuída em cada classe de sintoma; P = número de plantas em cada classe de sintoma e N = número total de plantas inoculadas (EMPIG *et al.*, 1962). De acordo com esse índice, as cultivares foram classificadas quanto à reação a murcha bacteriana seguindo o critério de Morgado *et al.* (1992): resistente 0,0 - 1,0; moderadamente resistente >1,0 - 2,0; moderadamente suscetível >2, - 3,0 e suscetível > 3,0 - 4,0;

c) Período de latência (PL50), número de dias requeridos para o aparecimento de sintomas da murcha bacteriana em 50% das plantas inoculadas (SILVEIRA *et al.*, 1999);

d) Índice da doença (ID), calculado pela fórmula:  $ID = \sum (F \times V) / (N \times X) \times 100$ , em que: F: número de plantas com determinado grau de sintomas; V: grau de sintomas; N: número total de plantas inoculadas; X: grau máximo de sintomas. (McKINNEY, 1923);

e) Área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD), calculada pela expressão:  $AACPD = [\sum (y_i + y_{i+1}) / 2 \cdot dt_i]$ , onde  $y_i$  e  $y_{i+1}$  são os valores da severidade observados nas avaliações consecutivas e  $dt_i$  é o intervalo entre as avaliações (SHANER e FINNEY, 1977);

f) Taxa de infecção (TI), calculada pela fórmula:  $d \times ldt = rx$ , onde x = intensidade de doença durante o tempo t, e d = diferencial (RAVA e SARTORATO, 1994).

#### 4.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA

De posse dos dados das variáveis fitopatométricas obtidas do intervalo do 5° - 10° e do 15° - 20° dia de avaliação, foram realizadas análises de variância. Vale ressaltar, que para atender as suposições da análise de variância, as variáveis INC, ID e TI foram transformadas em raiz quadrada.

Com a significância do teste F para a fonte de variação da interação Cultivares x Isolados, foram realizados desdobramentos, e, logo após, foi utilizado o teste de agrupamento Scott Knott a 5% de probabilidade. Para a fonte de variação Cultivares, de forma isolada,

também foi utilizado o teste de agrupamento Scott Knott a 5% de probabilidade. E, para a fonte de variação Isolados, não houve a necessidade de aplicação de testes estatísticos.

Todas as análises foram realizadas seguindo as recomendações de Ferreira (2018). Para a realização das análises foi utilizado o software Sisvar (FERREIRA, 2013). Já para a obtenção dos gráficos foi utilizado o software GraphPad Prism 9, 2023.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 5 encontram-se os resumos das análises de variância para as variáveis obtidas na fitopatometria da murcha bacteriana em cultivares de tomateiro inoculadas com dois isolados de *Ralstonia pseudosolanacearum* para o intervalo do 5° - 10° dia de avaliação. Para a fonte de variação da interação entre Cultivares x Isolados, houve diferenças significativas a 5% de probabilidade pelo teste F para as variáveis IMB, AACPD e TI. Dessa forma, fica evidenciada a relação de dependência entre os fatores em estudo, indicando que as cultivares são afetadas pela doença de formas diferentes a depender do isolado inoculado. Considerando esta mesma fonte de variação, para as demais variáveis não houve diferenças significativas a 5% de probabilidade pelo teste F.

Tabela 5 – Resumo da análise de variância (valores de quadrado médio) para as variáveis obtidas na fitopatometria da murcha bacteriana em cultivares de tomateiro inoculadas com dois isolados de *Ralstonia pseudosolanacearum* para o intervalo do 5° - 10° dia de avaliação.

FV	QM						
	GL	INC	IMB	ID	AACPD	PL50	TI
<b>Cultivares (C)</b>	9	1059,31**	0,82**	479,76**	52465,29**	4,21 <sup>ns</sup>	0,001**
<b>Isolados (I)</b>	1	2,60 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	3,92 <sup>ns</sup>	4029,81 <sup>ns</sup>	1,26 <sup>ns</sup>	0,001 <sup>ns</sup>
<b>Interação C x I</b>	9	158,85 <sup>ns</sup>	0,21*	101,55 <sup>ns</sup>	8082,29*	1,96 <sup>ns</sup>	0,001*
<b>Resíduo</b>	40	101,56	0,07	43,49	2299,52	1,86	0,00
<b>Média</b>		90,20	1,56	37,75	247,53	4,36	0,03
<b>CV (%)</b>		6,15	9,48	9,47	10,31	14,51	45,65

Nota: <sup>ns</sup>: não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; \*: significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; \*\*: significativo a 1% de probabilidade pelo teste F; FV: Fonte de variação; GL: Graus de liberdade; INC: Incidência; IMB: Índice de murcha bacteriana; ID: Índice da doença; AACPD: Área abaixo da curva do progresso da doença; PL50: Período de latência e TI: Taxa de infecção.

De forma isolada, para a fonte de variação Cultivares, houve diferenças significativas a 1% de probabilidade pelo teste F para as variáveis INC, IMB, ID, AACPD e TI. Para a variável PL50 não houve diferenças significativas a 5% de probabilidade pelo teste F, indicando que o período de latência nas cultivares foram em média de quatro dias, com amplitude de três a seis dias independentemente do isolado inoculado, o que significa que os isolados foram agressivos. Segundo Michereff (2001), a agressividade está associada à velocidade no aparecimento dos sintomas da doença, ou seja, quanto mais agressivo for determinado isolado, mais rápido será o aparecimento dos sintomas.

Para a fonte de variação Isolados, não houve diferenças significativas para nenhuma variável pelo teste F a 5% de probabilidade. Quanto a precisão experimental, por meio do critério de Ferreira (2018), houve ótima precisão experimental para as variáveis INC, IMB e

ID; e boa precisão experimental para AACPD e PL50. A variável que apresentou um coeficiente de variação mais elevado foi a TI, que pode ser explicado pela amplitude e variância natural dos valores de taxa de infecção encontrados para cada cultivar, algo que é inerente do material genético de cada uma.

Na tabela 6, serão discutidas as médias e teste de agrupamento de Scott Knott a 5% de probabilidade para as variáveis que não apresentaram interação significativa e apresentaram diferenças significativas de forma isolada para a fonte de variação Cultivares, na fitopatometria da murcha bacteriana em cultivares de tomateiro inoculadas com dois isolados de *Ralstonia pseudosolanacearum* para o intervalo do 5° - 10° dia de avaliação.

Tabela 6 – Médias e teste de agrupamento de Scott Knott a 5% de probabilidade para as variáveis em que não houve interação significativa na fitopatometria da murcha bacteriana em cultivares de tomateiro inoculadas com dois isolados de *Ralstonia pseudosolanacearum* para o intervalo do 5° - 10° dia de avaliação.

<b>Cultivares</b>	<b>INC (%)</b>	<b>ID (%)</b>
<b>Coração de Boi</b>	60,41 a	21,87 a
<b>San Marzano</b>	79,16 b	25,01 a
<b>Bartô</b>	79,16 b	37,45 b
<b>Yoshimatsu</b>	97,91 c	33,85 b
<b>Hawaii 7996</b>	91,66 c	37,50 b
<b>Santa Adélia</b>	100,00 c	40,10 b
<b>Cereja</b>	93,75 c	41,67 b
<b>IPA-7</b>	100 c	44,27 c
<b>Santa Clara 5.800</b>	100 c	44,79 c
<b>Santa Cruz Kada Gigante</b>	100 c	51,04 c

Nota: Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de agrupamento de Scott Knott a 5% de probabilidade. INC: Incidência e ID: Índice da doença.

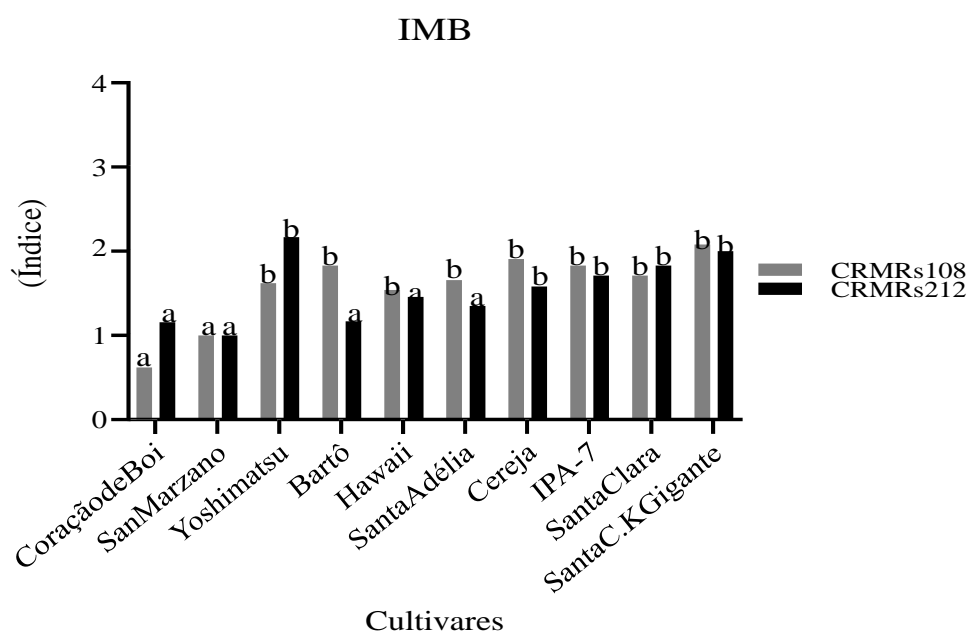
Para a variável INC houve a formação de três grupos. A cultivar Coração de Boi foi a que apresentou melhor desempenho, com diferenças significativas das demais e 60,41% de incidência de murcha bacteriana. No segundo grupo estão as cultivares San Marzano e Bartô, com média de 79,16% de incidência. As demais cultivares ficaram no terceiro grupo, com incidência acima de 90%. É importante salientar que apesar da formação de três grupos, todas as cultivares apresentaram incidências de murcha bacteriana acima de 60%, que é considerada elevada para o período de 10 dias após inoculação, o que indica a ocorrência de epidemia de murcha bacteriana. Segundo Gyawali *et al.* (2018), epidemia se refere ao aumento da doença numa população de plantas em intensidade e/ou extensão, ou seja, um aumento na incidência.

Considerando a variável ID, houve também a formação de três grupos, no de melhor desempenho estão as cultivares Coração de Boi e San Marzano. No segundo grupo com desempenho intermediário estão as cultivares Bartô, Yoshimatsu, Hawaii 7996, Santa Adélia e Cereja. Segundo Costa (2017), as cultivares Yoshimatsu e Hawaii 7996 apresentam resistência a murcha bacteriana. Porém, nas condições ambientais deste experimento, houve quebra da

resistência destas cultivares, considerando mais de 90% de incidência para ambas as cultivares e ID de 33,85% para Yoshimatsu e 37,50% para Hawaii 7996. As cultivares IPA-7, Santa Clara 5.800 e Santa Cruz Kada Gigante ficaram no grupo de pior desempenho, com índices da doença acima de 40%.

Na figura 9, para a variável IMB, considerando o isolado CRMRS108, houve a formação de dois grupos. As cultivares Coração de Boi e San Marzano pertencem ao primeiro grupo de acordo com o teste de agrupamento, e, segundo o critério de Morgado *et al.* (1992) são classificadas como resistentes. As demais cultivares ficaram no segundo grupo, porém, seguindo o mesmo critério, a cultivar Santa Cruz Kada Gigante foi considerada moderadamente suscetível, enquanto as demais moderadamente resistentes.

Figura 9 - Gráfico de médias e teste de agrupamento de Scott Knott a 5 % de probabilidade para o Índice de murcha bacteriana em cultivares de tomateiro inoculadas com dois isolados de *Ralstonia pseudosolanacearum* para o intervalo do 5° - 10° dia de avaliação.



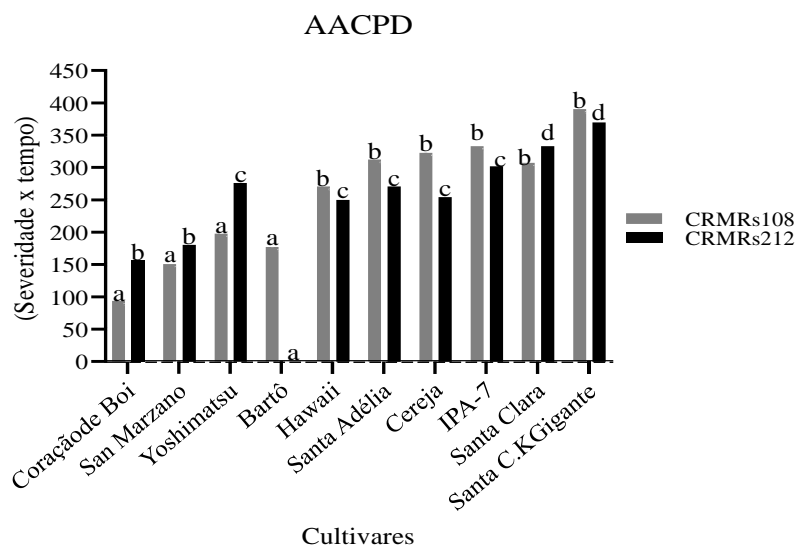
Fonte: Costa, 2023.

Quanto ao isolado CRMRS212, para a mesma variável, também houve a formação de dois grupos, onde no primeiro grupo estão as cultivares Coração de Boi, San Marzano, Bartô, Hawaii 7996 e Santa Adélia, porém, seguindo o critério de Morgado *et al.* (1992) apenas San Marzano foi considerada resistente e as demais moderadamente resistentes. No segundo grupo estão as cultivares Yoshimatsu, Cereja, IPA-7, Santa Clara 5.800 e Santa Cruz Kada Gigante, porém, seguindo o mesmo critério, apenas Yoshimatsu é considerada moderadamente suscetível, e as demais são consideradas moderadamente resistentes.

Mendes *et al.* (2018), ao utilizar a variável IMB seguindo o critério de Morgado *et al.* (1992) para classificar cultivares e gerações de tomateiro quanto a reação de resistência a murcha bacteriana utilizando o isolado CRMRS74, em Recife/PE, em condições de casa de vegetação, a 26° C, classificaram IPA-7 como suscetível, pois obteve IMB de 3,86, Yoshimatsu e Hawaii 7996 como resistentes, obtendo IMB de 0,17, e 0,03 respectivamente, e as cultivares Santa Clara 5.800 e Cereja classificadas como suscetíveis, com respectivos valores de IMB: 3,36 e 3,01. Costa *et al.* (2023), sob as mesmas condições, classificaram IPA-7 como suscetível, pois obteve IMB de 4,0, e Yoshimatsu como resistente, uma vez que não apresentou nenhum sintoma da doença.

Quanto a variável AACPD (Figura 10), considerando o isolado CRMRS108, houve a formação de dois grupos. Os menores progressos da doença foram encontrados no grupo um com as seguintes cultivares: Coração de Boi, San Marzano, Yoshimatsu e Bartô. No grupo dois, encontram-se as demais cultivares com os maiores progressos da murcha bacteriana.

Figura 10 - Gráfico de médias e teste de agrupamento de Scott Knott a 5 % de probabilidade para a Área Abaixo da Curva do Progresso da Doença em cultivares de tomateiro inoculadas com dois isolados *de Ralstonia pseudosolanacearum* para o intervalo do 5° - 10° dia de avaliação.



Fonte: Costa, 2023.

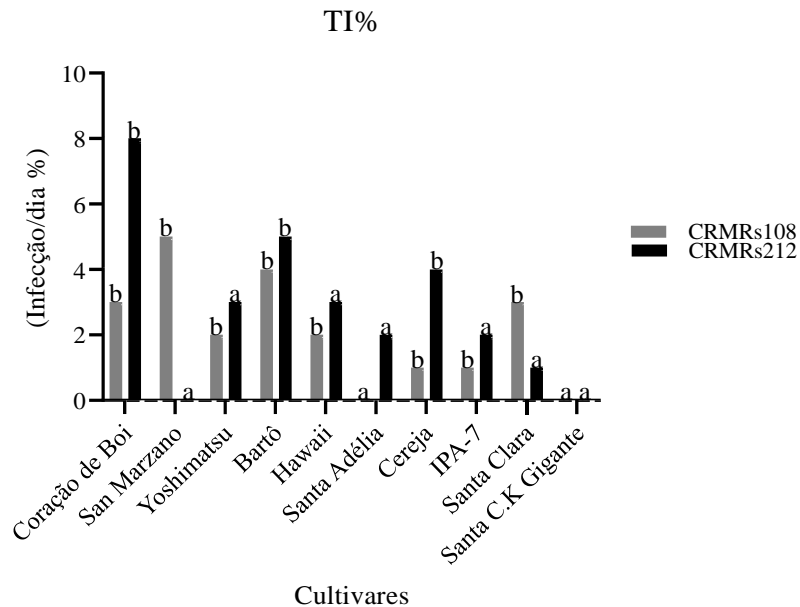
Já para o isolado CRMRS212, observa-se a formação de quatro grupos. No grupo um encontra-se apenas uma cultivar, Bartô, na qual não houve progresso da doença. Os maiores progressos da murcha bacteriana foram expressos pelas cultivares Santa Cruz Kada Gigante e Santa Clara 5.800. As demais cultivares se encontram nos grupos dois e três com níveis intermediários de progresso da murcha bacteriana. A maioria das cultivares de tomateiro obtiveram um maior progresso da murcha bacteriana quando inoculadas com o isolado CRMRS108. A cultivar que obteve a maior diferença do progresso da doença de um isolado

para o outro foi a Bartô, em que o CRMRs108 apresentou progresso de 177,08 e o CRMRs212 de 0,05, evidenciando mais uma vez a interação significativa entre cultivares e os isolados inoculados.

Segundo Costa *et al.* (2023) a AACPD para a fitopatometria é uma das variáveis mais importante no estudo da reação de resistência, pois por meio desta se acompanha o progresso da doença, que é a integração numérica da proporção de doença versus o tempo. No trabalho conduzido por estes autores em condições de casa de vegetação a 26° C, aos 10 dias após a inoculação, a cultivar Yoshimatsu não apresentou progresso da doença, enquanto a cultivar IPA-7 apresentou AACPD de 440, valor superior ao encontrado no presente estudo.

Quanto a variável TI (Figura 11) ambos os isolados formaram dois grupos. Considerando o isolado CRMRs108 as cultivares Santa Adélia e Santa Cruz Kada Gigante compõem o grupo um, e não apresentaram crescimento diário da murcha bacteriana. As demais cultivares apresentaram crescimento diário da doença e compõem o grupo dois.

Figura 11 - Gráfico de médias e teste de agrupamento de Scott Knott a 5 % de probabilidade para o Taxa de Infecção em cultivares de tomateiro inoculadas com dois isolados de *Ralstonia pseudosolanacearum* para o intervalo do 5° - 10° dia de avaliação.



Fonte: Costa, 2023.

Considerando o isolado CRMRs212, não houve crescimento diário da doença nas cultivares San Marzano e Santa Cruz Kada Gigante, contudo, as cultivares Santa Adélia, IPA-7, Santa Clara 5.800, Yoshimatsu e Hawaii 7996 obtiveram crescimento de murcha bacteriana e estatisticamente compõem o mesmo grupo. As demais cultivares compõem o grupo dois. Segundo Rava e Sartorato (1994) a taxa de infecção é uma variável que representa a velocidade

na qual a doença evolui, ou seja, quanto maior esta taxa for, maior será a probabilidade de gerar uma epidemia.

Na Tabela 7 estão expostos os resumos das análises de variância para as variáveis obtidas na fitopatometria da murcha bacteriana em cultivares de tomateiro inoculadas com dois isolados de *Ralstonia pseudosolanacearum* para o intervalo do 15° - 20° dia de avaliação. Para a fonte de variação da interação entre Cultivares x Isolados houve diferenças significativas a 1% de probabilidade pelo teste F para as variáveis IMB e ID; e diferenças significativas a 5% de probabilidade pelo teste F para TI. Mais uma vez, fica evidenciada a relação de dependência entre os fatores em estudo, indicando que as cultivares são afetadas pela doença de formas diferentes a depender do isolado inoculado.

Tabela 7 – Resumo da análise de variância (valores de quadrado médio) para as variáveis obtidas na fitopatometria da murcha bacteriana em cultivares de tomateiro inoculadas com dois isolados de *Ralstonia pseudosolanacearum* para o intervalo do 15° - 20° dia de avaliação.

FV	QM					
	GL	INC	IMB	ID	AACPD	TI
<b>Cultivares (C)</b>	9	0,00E <sup>ns</sup>	1,68**	694,96**	37012,65**	0,00**
<b>Isolados (I)</b>	1	0,00E <sup>ns</sup>	0,67**	27,52 <sup>ns</sup>	2538,25 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>
<b>Interação C x I</b>	9	0,00E <sup>ns</sup>	0,63**	91,53**	3146,90 <sup>ns</sup>	0,00*
<b>Resíduo</b>	40	0,00E <sup>ns</sup>	0,07	30,27	1782,22	0,00
<b>Média</b>		100,00	2,30	62,03	468,48	0,00
<b>CV (%)</b>		0,00	11,93	4,38	4,49	34,55

Nota: <sup>ns</sup>: não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; \*: significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; \*\*: significativo a 1% de probabilidade pelo teste F; FV: Fonte de variação; GL: Graus de liberdade; INC: Incidência; IMB: Índice de murcha bacteriana; ID: Índice da doença; AACPD: Área Abaixo da Curva do Progresso da Doença e TI: Taxa de Infecção.

Considerando esta mesma fonte de variação, para as variáveis INC e AACPD não houve diferenças significativas a 5% de probabilidade pelo teste F, com as seguintes médias respectivamente 100 % e 468,48. Vale ressaltar que a média de 100% da Incidência da murcha bacteriana neste experimento, demonstra a altíssima agressividade de ambos isolados inoculados. De forma isolada, para a fonte de variação Cultivares, houve diferenças significativas a 1% de probabilidade pelo teste F para todas as variáveis, exceto para a INC, uma vez que a variância foi nula, pois todas as plantas apresentaram 100% de incidência da murcha bacteriana.

Albuquerque *et al.* (2021), em Chã Grande/PE em condições de casa de vegetação, a 34° C, observaram que as cultivares Hawaii 7996 e Yoshimatsu obtiveram incidências de 53,12% e 87,50% respectivamente. Diferente das porcentagens encontradas por Mendes *et al.*

(2018) em Recife/PE, em condições de casa de vegetação a 26° C, em que ambas as cultivares obtiveram 2,77% de incidência da murcha bacteriana. Incidências menores foram encontradas por Costa (2019), nas mesmas condições de Mendes *et al.* (2018), em que as duas cultivares obtiveram 0,08% e 0,03% de incidência da doença respectivamente.

Segundo Bettiol *et al.* (2017), epidemias são em geral favorecidas por temperaturas mais altas ou mais baixas que a faixa ótima de temperatura para a planta, pois, a temperatura poderá interferir tanto na suscetibilidade do hospedeiro, como na virulência do patógeno. Entre os impactos causados à planta hospedeira, a temperatura poderá afetar a expressão de genes de resistência, causando alterações na resposta de hipersensibilidade e no acúmulo de compostos envolvidos na defesa das plantas aos patógenos (WANG *et al.*, 2009).

Para a fonte de variação Isolados, não houve diferenças significativas para as variáveis analisadas pelo teste F a 5% de probabilidade, exceto a variável IMB com diferença significativa a 1% de probabilidade. Por meio do critério de Ferreira (2018) pode-se ter uma indicação da precisão experimental, assim, houve ótima precisão experimental para as variáveis INC, ID e AACPD; boa precisão experimental para IMB. De forma semelhante a análise anterior, a única variável que apresentou um coeficiente de variação mais elevado foi a TI, pois como já relatado anteriormente, apresenta valores dessa natureza.

Na tabela 8, serão discutidas as médias e teste de agrupamento de Scott Knott a 5% de probabilidade para a variável AACPD, que não apresentou interação significativa e apresentou diferenças significativas de forma isolada para a fonte de variação Cultivares, na fitopatometria da murcha bacteriana em cultivares de tomateiro inoculadas com dois isolados de *Ralstonia pseudosolanacearum* para o intervalo do 15° - 20° dia de avaliação.

Dessa forma, pode-se constatar três grupos, com as cultivares Santa Adélia, Coração de Boi, San Marzano, Yoshimatsu e Bartô compondo o grupo um, com menor progresso da doença. As cultivares Hawaii 7996 e Cereja tem o desempenho intermediário (grupo dois) e as demais fazem parte do grupo três, com maior área abaixo da curva do progresso da doença.

Mendes *et al.* (2018), em Recife/PE, com a diferença de 10° C a menos que a deste estudo, encontraram valores de AACPD muito inferiores, em que as cultivares Yoshimatsu e Hawaii 7996 obtiveram progressos da murcha bacteriana de 0,08, 0,04 respectivamente. Segundo Lopes (2021), o incremento na temperatura poderá aumentar o progresso da doença e assim aumentar os riscos de epidemias.

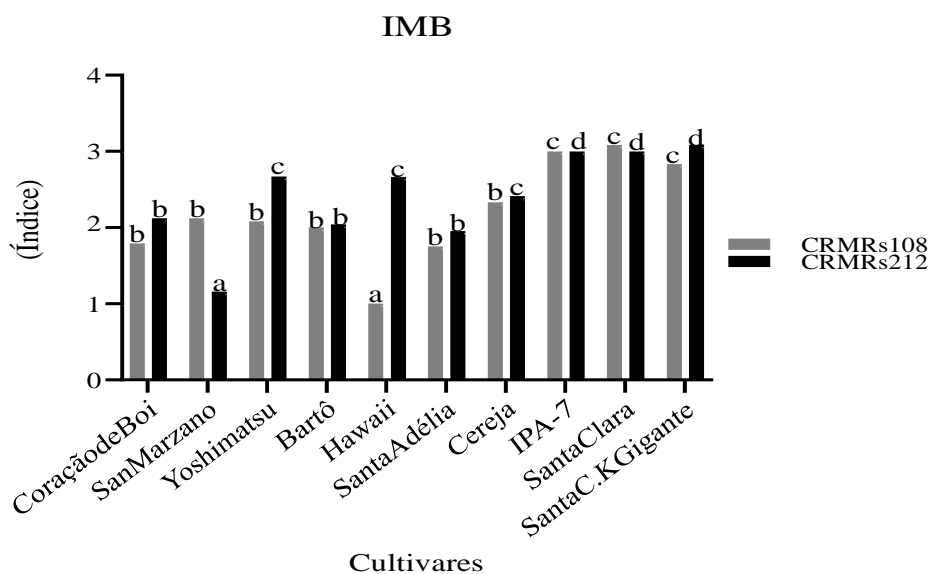
Tabela 8 – Médias e teste de agrupamento de Scott Knott a 5 % de probabilidade para as variáveis em que não houve interação significativa na fitopatometria da murcha bacteriana em cultivares de tomateiro inoculadas com dois isolados de *Ralstonia pseudosolanacearum* para o intervalo do 15° - 20° dia de avaliação.

Cultivares	AACPD
Santa Adélia	372.39 a
Coração de Boi	414.06 a
San Marzano	398.43 a
Yoshimatsu	434.89 a
Bartô	377.60 a
Hawaii 7996	518.22 b
Cereja	484.31 b
IPA-7	562.50 c
Santa Clara 5.800	572.91 c
Santa Cruz Kada Gigante	549.47 c

Nota: Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de agrupamento de Scott Knott a 5 % de probabilidade. AACPD: Área abaixo da curva do progresso da doença.

Na figura 12, para a variável IMB considerando o isolado CRMRS108 houve a formação de três grupos, sendo a cultivar Hawaii 7996 a única componente do grupo um de acordo com o teste de agrupamento e com o critério de Morgado *et al.*, (1992) que a classifica como resistente. No segundo grupo encontram-se as cultivares Coração de Boi e Santa Adélia (moderadamente resistentes), e, San Marzano, Yoshimatsu, Bartô e Cereja (moderadamente suscetíveis). As demais cultivares compõem o grupo três e são consideradas moderadamente suscetíveis.

Figura 12 – Gráfico de médias e teste de agrupamento de Scott Knott a 5 % de probabilidade para o Índice de murcha bacteriana em cultivares de tomateiro inoculadas com dois isolados de *Ralstonia pseudosolanacearum* para o intervalo do 15° - 20° dia de avaliação.



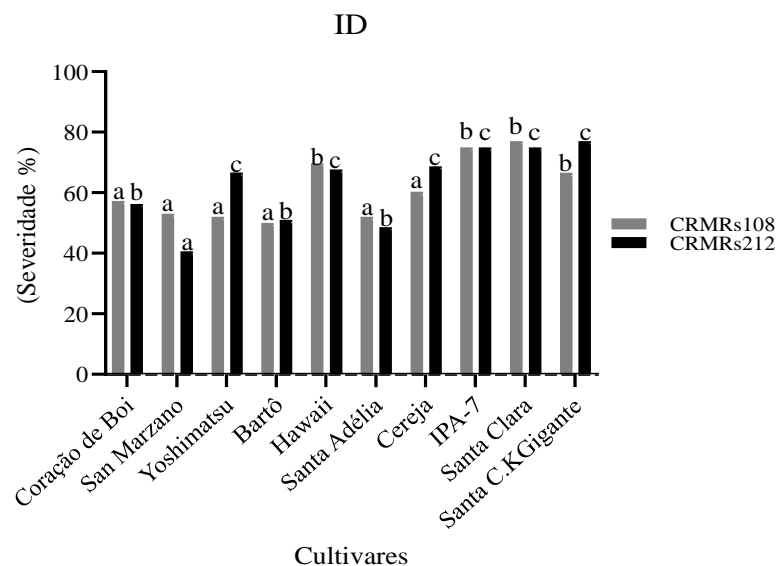
Fonte: Costa, 2023.

Para o isolado CRMRS212 houve formação de quatro grupos, com a cultivar San Marzano no grupo um e sendo a única classificada como moderadamente resistente. A maioria das cultivares fizeram parte dos grupos dois e três, e foram classificadas como moderadamente suscetíveis. As cultivares IPA-7, Santa Clara 5.800 e Santa Cruz Kada Gigante estão no grupo quatro, de maior suscetibilidade, onde apenas a última cultivar foi classificada como suscetível, e as demais como moderadamente suscetíveis (MORGADO *et al.*, 1992).

Quanto a variável Índice da Doença (Figura 13), considerando o isolado CRMRS108, formaram-se dois grupos, o primeiro composto pelas cultivares Coração de Boi, San Marzano, Yoshimatsu, Bartô, Santa Adélia e Cereja, todas apresentando uma amplitude de 50 - 60,41% de murcha bacteriana. As demais cultivares encontram-se no segundo grupo, com uma amplitude de 66,66 - 75% de murcha bacteriana.

Para o isolado CRMRS212, houve a formação de três grupos, com San Marzano no grupo um, com 40,62% de murcha bacteriana. No grupo dois estão as cultivares Santa Adélia, Bartô e Coração de Boi com 48,62%, 51,04% e 56,25% de murcha bacteriana respectivamente. No terceiro grupo estão as cultivares Yoshimatsu, Hawaii 7996, Cereja, IPA-7, Santa Clara 5.800 e Santa Cruz Kada Gigante, com uma amplitude de 66,67% - 77 % de murcha bacteriana.

Figura 13 - Gráfico de médias e teste de agrupamento de Scott Knott a 5 % de probabilidade para o Índice da doença em cultivares de tomateiro inoculadas com dois isolados de *Ralstonia pseudosolanacearum* para o intervalo do 15° - 20° dia de avaliação.



Fonte: Costa, 2023.

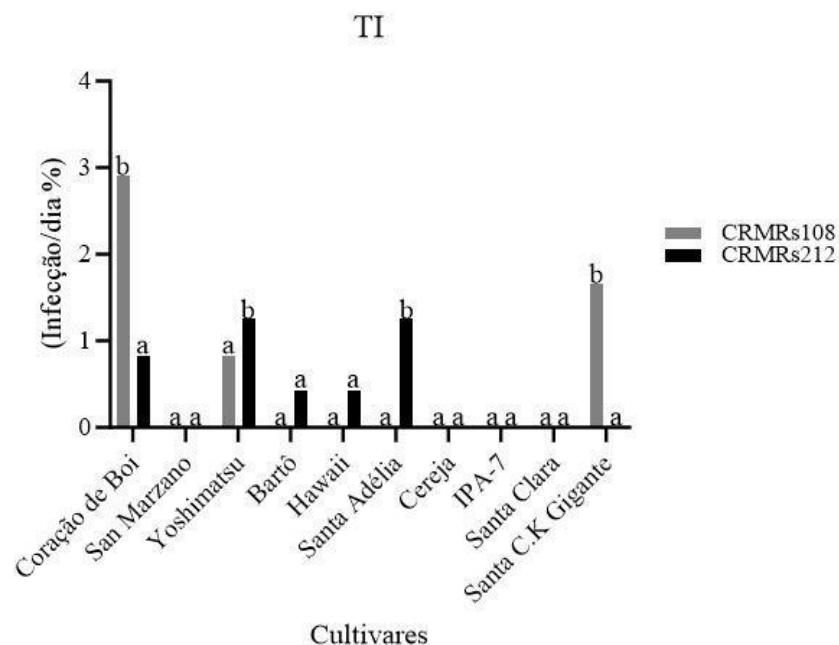
Em trabalho conduzido por Albuquerque *et al.* (2021) avaliando as cultivares Hawaii 7996 e Yoshimatsu como porta enxerto em condições de casa de vegetação em relação

a *R. pseudosolanacearum*, com o isolado CRMRS126, obteve índice da doença em média 37,5% e 81,87%, respectivamente, em Chã Grande/PE com temperatura média de 34° C e umidade relativa de 65%. Neste mesmo experimento, com a inoculação de outro isolado de *R. pseudosolanacearum*, o CRMRS116, Hawaii 7996 e Yoshimatsu obtiveram índice da doença menor, em média 10,62% e 40%, respectivamente. Evidenciando o quanto o ambiente, em termos de temperatura elevada e menor umidade relativa do ar, além do isolado inoculado, influenciam na reação de resistência do hospedeiro.

Quanto a taxa de infecção (figura 14) para os dois isolados houve a formação de dois grupos. Para o CRMRS108 no primeiro grupo estão as cultivares San Marzano, Yoshimatsu, Hawaii 7996, Bartô, Santa Adélia, Cereja, IPA-7 e Santa Clara 5.800; dessas, apenas Yoshimatsu mostrou crescimento diário da murcha bacteriana neste período, com 0,83%. No grupo dois, com maior crescimento da doença estão as cultivares Santa Cruz Kada Gigante (1,66 %) e Coração de boi (2,91 %).

Para o isolado CRMRS212, no primeiro grupo, estão as cultivares Coração de Boi, Bartô, Hawaii 7996, San Marzano, Cereja, IPA-7, Santa Clara 5.800 e Santa Cruz Kada Gigante, destas, apenas as três primeiras obtiveram crescimento de murcha bacteriana com (0,83%), (0,42%) e (0,42%) respectivamente. Yoshimatsu e Santa Adélia compõem o grupo dois, ambas com 1,25% de taxa de infecção. A falta de crescimento da doença em algumas cultivares significa que a murcha bacteriana progrediu somente até o 15° dia de avaliação.

Figura 14 - Gráfico de médias e teste de agrupamento de Scott Knott a 5 % de probabilidade para a Taxa de Infecção em cultivares de tomateiro inoculadas com dois isolados de *Ralstonia pseudosolanacearum* para o intervalo do 15° - 20° dia de avaliação.



As testemunhas de resistência neste trabalho, Hawaii 7996 e Yoshimatsu, nas condições experimentais de Piranhas/AL, em casa de vegetação, em temperatura de 36° C, com 40% de umidade relativa do ar, obtiveram elevadas porcentagens de Incidências, de severidade da murcha bacteriana e de Taxa de Infecção. Também expressaram elevados valores da Área Abaixo da Curva do Progresso da doença, reagindo como cultivares moderadamente suscetíveis. Diferente do que foi relatado em trabalhos em que os experimentos foram conduzidos sob temperaturas médias consideravelmente menos elevadas, em que ambas as cultivares reagiram com total resistência a murcha bacteriana.

Segundo Tsuzuki *et al.* (2023), condições ambientais como temperatura alta, elevada umidade do ar, elevada população do patógeno e isolado muito agressivo favorecem a manifestação dos sintomas de murcha bacteriana. Assim é de extrema importância que sejam desenvolvidos estudos voltados a avaliação de reação de resistência de cultivares de tomateiro a murcha bacteriana em diferentes ambientes e a diferentes isolados dentro do Complexo de Espécies de *Ralstonia solanacearum*.

A partir destes trabalhos é possível identificar fontes de resistência para serem utilizadas em programas de melhoramento da própria região para a obtenção de cultivares de tomateiro resistentes a murcha bacteriana. Dessa forma, fica evidenciada a importância e relevância desta pesquisa, uma vez que pode ser considerada pioneira, pois na literatura não se encontram trabalhos disponíveis com esta temática no Estado de Alagoas, faltando informações básicas para a comunidade científica quanto a reação de cultivares de tomateiro a murcha bacteriana, e, também quanto ao melhoramento da cultura a esta doença tão devastadora.

Segundo Nick e Silva (2016), no mercado não existem cultivares/híbridos de tomateiro com níveis satisfatórios de resistência a murcha bacteriana, e que apresentem características agronômicas desejáveis. Contudo, neste trabalho pioneiro, para a região do Alto Sertão Alagoano a cultivar comercial Bartô obteve moderada resistência a ambos os isolados. A cultivar San Marzano moderada resistência ao isolado CRMRS212. Coração de Boi e Santa Adélia moderada resistência ao isolado CRMRS108. Com estes resultados, a recomendação destas cultivares pode ser considerada uma das medidas de controle da murcha bacteriana na cultura do tomateiro, considerada de extrema importância, dentro de um manejo integrado da doença (LOPES, 2021).

A explicação para que essas cultivares tenham sido mais resistentes que as demais, inclusive as testemunhas de resistência, pode ser devido a colonização do feixe vascular retardada, em que as bactérias podem entrar nos tecidos vasculares radiculares, mas a colonização no vaso é espacialmente restrita. Isto ocorre, pois, a cultivar resistente restringe a colonização bacteriana das raízes no espaço e no tempo (CALDWELL *et al.*, 2017).

O fato de algumas cultivares possuírem resistência moderada a um tipo de isolado e a outro não, indica que a reação de resistência de cultivares de tomateiro à murcha bacteriana é considerada específica para cada isolado, pois vários estudos evidenciam este tipo de resposta, que quando inoculados isolados diferentes é possível observar respostas diferentes de cada cultivar. Isso se deve a ampla variabilidade genética entre e dentro das espécies do Complexo *R. solanacearum* (SANTIAGO *et al.*, 2017).

A utilização dos intervalos entre os dias de avaliações (5° - 10° e 15° - 20°) para a obtenção das variáveis fitopatométricas, foi de extrema importância para a percepção do comportamento e dinâmica da doença, e a reação de resistência de cada cultivar aos isolados de *R. pseudosolanacearum*, pois é perceptível o avanço da murcha bacteriana nas cultivares através dos dias, assim como fica evidenciado também a estabilização da doença.

Através da variável Taxa de Infecção por exemplo, é possível observar que a maioria das cultivares classificadas como suscetíveis neste estudo, no segundo intervalo de avaliação não expressaram crescimento de murcha bacteriana diário, o que indica que no 15° dia algumas plantas estavam mortas, enquanto as demais obtiveram seu último incremento de infecção dentro do intervalo. Isso pode ter sido influenciado pela reação do patógeno a elevada temperatura. Segundo Michereff (2001), o efeito mais comum da temperatura em epidemias é sobre o patógeno durante as fases de penetração e colonização, quando a temperatura permanece favorável durante estas fases, os patógenos policíclicos completam o ciclo da doença em menos tempo.

Os resultados encontrados neste estudo preliminar servirão de base para os futuros experimentos, em que serão avaliados maior número de cultivares/genótipos e de isolados dentro do Complexo de Espécies de *Ralstonia solanacearum*, principalmente os que infestam o solo da região do Alto Sertão Alagoano/Sergipano. Podendo ser realizado em diferentes épocas de cultivos.

## 6 CONCLUSÕES

Houve interação significativa entre cultivares x isolados, para as seguintes variáveis: IMB, AACPD, TI (5° - 10° dia de avaliação) e para IMB, ID e TI (15° - 20° dia de avaliação);

As variáveis PL50, INC, TI e AACPD, caracterizaram o início da epidemia da murcha bacteriana desde o primeiro intervalo de avaliação, independentemente das cultivares e isolados;

A cultivar Hawaii 7996 foi classificada resistente ao isolado CRMRS108; A cultivar Bartô foi classificada como moderadamente resistente a ambos os isolados;

As variáveis fitopatométricas foram eficientes para mostrar a interação hospedeiro, patógeno e ambiente nos intervalos de avaliação.

## REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, GR; LUCENA, LP; ASSUNÇÃO, EF; MESQUITA, JCP; SILVA, AMF; SOUZA, EB; NICOLI, A; GAMA, MAS. 2021. Evaluation of tomato rootstocks to *Ralstonia solanacearum* and *R. pseudosolanacearum* in Mata mesoregion, PE. **Horticultura Brasileira** 39: 072-078.
- AHMED, W., YANG, J., TAN, Y., MUNIR, S., LIU, Q., ZHANG, J., ZHAO, Z. *Ralstonia solanacearum*, a deadly pathogen: Revisiting the bacterial wilt biocontrol practices in tobacco and other Solanaceae. **Rhizosphere**, v. 21, p. 100479, 2022.
- ALLEN, C., PRIOR, P., HAYWARD, A. C. Bacterial wilt disease and the *Ralstonia solanacearum* species complex. **American Phytopathological Society** (APS Press), 2005.
- ALVARENGA, M.A.R. Tomate: produção em campo, em casa-de-vegetação e em hidroponia. Lavras: UFLA, 2004. 400p.
- ALVARENGA, M. A. R. Tomate: produção em campo, casa de vegetação e hidroponia. rev. e ampl. **Lavras: UFLA**, 2013.
- ALVES, G. C. S., DE CASTRO SANTOS, L., DUARTE, H. D. S. S., DIAS, V., ZAMBOLIM, L., DA ROCHA, M. R. Escala diagramática para quantificação da ferrugem da folha do trigo. **Multi-Science Journal**, v. 1, n. 1, p. 128-133, 2015.
- AMORIM, L. Avaliação de doenças. In: BERGAMIM FILHO, A.; KIMATICA, H.; AMORIM, L. (Eds). **Manual de fitopatologia**, v.1. São Paulo: Ceres, p.647-671, 1995.
- BECKER, W. F., WAMSER, A. F., FELTRIM, A. L., SUZUKI, A., SANTOS, J. D., VALMORBIDA, J., MUELLER, S. Sistema de produção integrada para o tomate tutorado em Santa Catarina. Florianópolis, **Epagri**. 149p, 2016.
- BERGAMIM FILHO, A.; AMORIM, L. 1996. Doenças de plantas tropicais: epidemiologia e controle econômico. São Paulo: **Ceres**.
- BOCK, C. H.; HOTCHKISS, M. W.; WOOD, B. W. Assessing disease severity: accuracy and reliability of rater estimates in relation to number of diagrams in a standard area diagram set. **Plant Pathology**, v. 65, n. 2, p. 261-272, 2016.
- BRANDÃO FILHO, J.U.; FREITAS, P.S.L.; BERIAN, L.O.S.; GOTO, R. Hortaliças-fruto. Maringá: **EDUEM**, 2018.
- BRICKELL CD; BAUM BR; HETTERSCHIED WLA; LESLIE AC, MCNEILL J; TREHANE P; VRUGTMAN F; WIERSEMA JH. International code of nomenclature of cultivated plants. **Acta Horticulturae**, 647: 1-123. 2004.
- BROWN, J. F.; KEANE, Philip. Assessment of disease and effects on yield. **Plant Pathogens and Plant Diseases**, Brown, JF, Ogle, HJ (Eds.) pp, p. 315-329, 1997.
- BUDDENHAGEN, I; KELMAN, A. Biological and physiological aspects of bacterial wilt caused by *Pseudomonas solanacearum*. **Annual Review of phytopathology**, v. 2, n. 1, p. 203-230, 1964.

CALDWELL, D; KIM, BS; IYER-PASCUZZI, AS. 2017. *Ralstonia solanacearum* differentially colonizes roots of resistant and susceptible tomato plants. **Phytopathology** 107: 528-536.

CAMPBELL, C. L.; MADDEN, L. V. Introduction to plant disease epidemiology. 1. ed. New York: John Wiley. 532p, 1990.

CARMO, C.A.S; CALIMAN, L. F. Clima, época de plantio e cultivar. Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural Tomate. Vitória: **INCAPER** 67p, 2010.

CHEN, D.; HUANG, C.; CHEN, Z. A review for the pharmacological effect of lycopene in central nervous system disorders. **Biomed Pharmacoth**, [s.l.], v. 111, p. 791-801, 2019.

CONAB. Compêndio de estudos Conab. Tomate: Análise dos Indicadores da Produção e Comercialização no Mercado Mundial, Brasileiro e Catarinense. V.21. Brasília: Conab. 2022.

COSTA, E.S; COSTA, K.D.S; FILHO, J.L.S.C; SILVA, M.O. Reação de resistência do tomateiro à *Ralstonia solanacearum* em condições de casa de vegetação. **Brazilian Journal of Development**, v. 9, n. 6, p. 19413-19428, 2023.

COSTA, DS. Herança da Resistência à Murcha Bacteriana do Tomateiro dos Genótipos Yoshimatsu e Hawaii 7996. Tese de Doutorado. UFRPE. Pernambuco, 2019.

COSTA, KDS. Controle Genético da Resistência a *Ralstonia solanacearum* e *Ralstonia Pseudosolanacearum* na cultivar de tomateiro yoshimatsu. Tese de doutorado. UFRPE, Pernambuco, 2017.

COSTA, KDS; SANTOS, PR; SANTOS, AMM; SILVA, AMF; CHAGAS, JTB; FILHO, JLSC; PEREIRA, JW; SILVA, MO; SILVA, JR; MENEZES, D. Controle genético da resistência do tomateiro a *Ralstonia solanacearum*. *Euphytica*, 215, 136. 2019.

DE BEM, B. P.; BOGO, A.; EVERHART, S. E.; CASA, R. T.; GONÇALVES, M. J.; MARCON FILHO, J. L.; RUFATO, L.; SILVA, F. N.; ALLEBRANDT, R.; CUNHA, I. C. Effect of four training systems on the temporal dynamics of downy mildew in two grapevine cultivars in southern Brazil. **Tropical Plant Pathology**, v. 41, n. 6, p. 370–379, 2016.

ELPHINSTONE, J.G; ALLEN, C; PRIOR, P; HAYWARD, A.C. he current bacterial wilt situation: A global overview. Bacterial wilt disease and the *Ralstonia solanacearum* species complex. St Paul, MN: **American Phytopathological Society Press**, pp. 9 – 28, 2005.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Embrapa Hortaliças. Cadeia produtiva de hortaliças. Brasília, 2023.

ESTEVES, I.N. Antagonismo in vitro à bactéria fitopatogênica *Ralstonia solanacearum*. TCC. Instituto De Microbiologia Paulo De Góes, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 53p, 2022.

FAO (Food and Agriculture Organization) 2020. Disponível em: <https://www.fao.org/land-water/databases-and-software/crop-information/tomato/en/>. Acesso em: 15 de novembro de 2023.

FAO (Food and Agriculture Organization) 2022. Disponível em: <https://www.fao.org/land-water/databases-and-software/crop-information/tomato/en/>. Acesso em: 15 de novembro de 2023.

FEGAN, M; PRIOR, P. How complex is the *Ralstonia solanacearum* species complex. **Bacterial wilt disease and the *Ralstonia solanacearum* species complex**, v. 1, n. 15, pág. 449-461, 2005.

FERREIRA, A. P. M., CORDEIRO, F. M., CORREA, G. A., DE MELO GITTE, P. H., JANKO, P. H. C., & VILELA, L. R. R. Ação do licopeno no câncer de próstata: uma revisão da literatura. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 17, p. e12111738687-e12111738687, 2022.

FILGUEIRA, F. A. R. Novo manual de Olericultura: Agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. 3 ed. Viçosa, MG: UFV, p. 421, 2012.

FONTES, P.C.R; NICK, C. Olericultura Teoria e Prática - 2ª Edição, UFV, p.611, 2019. GOMES, D. P.; ROCHA, V. S.; PEREIRA, O. L.; SOUZA, M. A. Damage of wheat blast on the productivity and quality of seeds as a function of the initial inoculum in the field. **Journal of Seed Science**, v. 39, n. 1, p. 66-74, 2017.

GYAWALI, S.; VERMA, R. P. S.; KUMAR, S.; BHARDWAJ, S. C.; GANGWAR, O. P.; SELVAKUMAR, R.; SHEKHAWAT, P. S.; REHMAN, S.; SHARMA-POUDYAL, D. Seedling and adult-plant stage resistance of a world collection of barley genotypes to stripe rust. **Journal of Phytopathology**, v. 166, n. 1, p. 18-27, 2018.

HAYWARD, A.C. Biology and epidemiology of bacterial wilt caused by *Pseudomonas solanacearum*. **Annul Reviews Phytopathology**, 29: 65-87. 1991.

HAYWARD, A.C. Systematics and phylogeny of *Pseudomonas solanacearum* and related bacteria. In: Hayward AC, Hartman GL (eds) Bacterial wilt: the disease and its causative agent, *Pseudomonas solanacearum*. **CAB International**, Wallingford, pp 123–135, 1964b.

HEUVELINK, Ep; LI TAO, Li Tao; DORAIS, Martine. Crop growth and yield. In: **Tomatoes**. Wallingford UK: Cabi, p. 89-136, 2018.

HIKICHI, Y; MORI, Y; ISHIKAWA, S; HAYASHI, K; OHNISHI, K; KIBA, A; KAI, K. Regulation involved in colonization of intercellular spaces of host plants in *Ralstonia solanacearum*. **Frontiers. Plant Science**, 8, 967, 1–6. 2017.

INGEL, B; CALDWELL, D; DUONG, F; PARKINSON, D.Y; MCCULLOH, K.A; IYER-PASCUZZI, A.S; LOWE-POWER, T.M. Revisiting the source of wilt symptoms: X-ray microcomputed tomography provides direct evidence that *Ralstonia* biomass clogs xylem vessels. **PhytoFrontiers™**, v. 2, n. 1, pág. 41-51, 2022.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística–IBGE. Levantamento sistemático da produção agrícola (LSPA). Pesquisa mensal de previsão e acompanhamento das safras agrícolas no ano civil. Rio de Janeiro, v. 29, n. 2, p.1-79, 2022.

Jacobs, J. M., Milling, A., Mitra, R. M., Hogan, C. S., Ailloud, F., Prior, P., & Allen, C. *Ralstonia solanacearum* requires PopS, an ancient AvrE-family effector, for virulence and to

overcome salicylic acid-mediated defenses during tomato pathogenesis. **MBio**, v. 4, n. 6, p. 10.1128/mbio.00875-13, 2013.

JAMES, W. Clive. Assessment of plant diseases and losses. **Annual review of Phytopathology**, v. 12, n. 1, p. 27-48, 1974.

JÚNIOR, H. P. L.; BRUNELLI, M. J.; LEMOS, A. L. A. Licopeno: Diagn Tratamento, São Paulo, v. 16, n. 2, p. 71-74, 2021.

KADO, C. Plant bacteriology. Saint Paul: **APS Press**, 336 p. 2010.

KAI, K. The phc Quorum-Sensing System in *Ralstonia solanacearum* Species Complex. **Annual Review of Microbiology**, v. 77, 2023.

KASHYAP, S., SHARMA, I., DOWARAH, B., BARMAN, R., GILL, S. S., AGARWALA, N. Plant and soil-associated microbiome dynamics determine the fate of bacterial wilt pathogen *Ralstonia solanacearum*. **Plant**, v. 258, n. 3, p. 57, 2023.

KINET, J. M.; PEET, M. M. Tomato. **The physiology of vegetable crops**, 1997.

KRANZ, J. Measuring plant disease. In: Experimental techniques in plant disease epidemiology. Berlin, Heidelberg: **Springer Berlin Heidelberg**, 1988. p. 35-50.

KUMAR, A., KUMAR, V., GULL, A., NAYIK, G.A. Tomato (*Solanum Lycopersicon*). In: NAYIK, G.A., GULL, A. (eds) Antioxidants in Vegetables and Nuts – Properties and Health Benefits, **Springer**, Singapore. 2020.

LEE, I; KIM, Y.S, KIM, J.W e PARK, D.H Genetic and pathogenic characterization of bacterial wilt pathogen, *Ralstonia pseudosolanacearum* (*Ralstonia solanacearum* Phylotype I), on rosesin Korea. **The Plant Pathology Journal**, v. 36, n. 5, pág. 440, 2020.

LI, L., FENG, X., TANG, M., HAO, W., HAN, Y., ZHANG, G., WAN, S. Antibacterial activity of Lansiumamide B to tobacco bacterial wilt (*Ralstonia solanacearum*). **Microbiological research**, v. 169, n. 7-8, p. 522-526, 2014.

LOPES, C.A. Doenças do tomateiro, Brasília–DF, **Embrapa**, p. 210, 2021.

LOPES, C.A; REIS, A. Diferenciando as murchas do tomateiro. Embrapa Hortaliças, 2022.

LOPES, CA. Murcha Bacteriana ou Murchadeira - Uma Inimiga do Tomateiro em Climas Quentes, Brasília, DF: Embrapa Serviço de Produção de Informação, 2009.

LUTEROTTI, S., BICANIC, D., MARKOVIĆ, K., & FRANKO, M. Carotenes in processed tomato after thermal treatment. **Food Control**, v. 48, p. 67-74, 2015.

LUZ, J.M.Q; BITTAR, C.A; OLIVEIRA R.C; NASCIMENTO, A.R; NOGUEIRA, APO. Desempenho e divergência genética de genótipos de tomate para processamento industrial. **Horticultura Brasileira** 34: 483-490, 2016.

MADDEN, L. V., HUGHES, G., VAN DEN BOSCH, F. **The study of plant disease epidemics**. 2007.

MAFIA, R. G.; ALFENAS, A. C.; FERREIRA, M. A. Avaliação da resistência do eucalipto à murcha-bacteriana causada por *Ralstonia solanacearum*. **Revista Árvore**, 38: 649–656, 2014.

MAMPHOGORO, T.P; BABALOLA, O.O; AIYEGORO, O.A. Sustainable management strategies for bacterial wilt of sweet peppers (*Capsicum annuum*) and other Solanaceous crops. **Journal of Applied Microbiology**, v. 129, n. 3, pág. 496-508, 2020.

MANDA, R.R; ADDANKI, V.A; SRIVASTAVA, S. Bacterial wilt of solanaceous crops. **Int. J. Chem. Stud**, v. 8, n. 6, p. 1048-1057, 2020.

MANSFIELD, J; GENIN, S; MAGOEI, S; CITOVSKY, V; SRIARITANUM, M; RONALD, P; DOW, M; VERDIER, V; BEER, SV; MACHADO, MA; TOTH, I; SALMOND, G; FOSTER, GD. Top 10 plant pathogenic bacteria in molecular plant pathology. **Molecular Plant Pathology**, Oxford, v.13, n. 6, p. 614-629, 2012.

MARCUZZO, L. L; DUARTE, T. S.; ROSA NETO, A. J.; HOFFMANN, F. Efeito de fosfito de potássio e de fungicidas no controle da cercosporiose (*Cercospora beticola*) da beterraba. **Summa Phytopathologica**, v. 42, n. 2, p. 186-187, 2016.

MAZOYER, M.; R, L. Histórias da agricultura no mundo. Do neolítico à crise contemporânea. Universidade Estadual Paulista (UNESP), 2010.

MENDES, A.Q; MENEZES, D; CARVALHO, I.D.E, SILVA, A.M.F, ALVES, A.O, FELINTO FILHO, E.F, MELO, G.G. Identification of Tomato Lines Resistant to Bacterial Wilt. **Journal of Experimental Agriculture International**, v. 24, n. 6, pág. 1-10, 2018.

MONFORTE, A. J.; DIAZ, A.; CAÑO-DELGADO, A.; VAN DER KNAAP, E. The genetic basis of fruit morphology in horticultural crops: lessons from tomato and melon. **Journal of Experimental Botany**, v.65, p. 4625–4637. 2014.

MORAIS, R.F. Estrutura genética de *Ralstonia pseudosolanacearum* no estado de Pernambuco. 2018. Dissertação – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife. 60p, 2018.

NEITZKE, R. S.; BÜTTOW, M. V. Tomate: presente dos astecas para a gastronomia mundial. **Origem e evolução de plantas. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica**, p. 803-818, 2008.

NICK, C; SILVA, D.J. H. Melhoramento de tomate. **Melhoramento de hortaliças. Viçosa: UFV**, p. 396-431, 2016.

NUNES, C.C; ALVES, S.A.M. Elaboração e validação de escala diagramática para quantificação da severidade de entomosporiose em folhas de pereira. **Summa Phytopathologica**, v. 38, p. 239-244, 2012.

NUTTER JR., F. W.; TENG, P. S.; SHOKES, F. M. Disease assessment terms and concepts. **Plant Disease**, v. 75, p. 1187-1188, 1991.

PAUDEL, S; DOBHAL, S; ALVAREZ, AM; ARIF, M. Taxonomy and phylogenetic research on *Ralstonia solanacearum* species complex: a complex pathogen with extraordinary economic consequences. **Pathogens**, v. 9, n. 11, p. 886, 2020.

PEIXOTO, J. V. M.; MORAES, E. R. de.; PEIXOTE, J. L. M.; NASCIMENTO, A. R.; NEVES, J. G. Tomaticultura: Aspectos Morfológicos e Propriedades Físico-químicas do Fruto. *Rev. Cient. Rural –Urcamp, Bagé –RS*, vol. 19, n.1, 2017.

PERALTA, I.E.; SPOONER, D.M. History, origin and early cultivation of tomato (*Solanaceae*). **Genetic improvement of solanaceous crops**, v. 2, p. 1-27, 2006.

PETRUCCELLI, A.; ALVES, M. R.; GIANOTTI, F. ESTUDO DE VIABILIDADE DE UMA AGROINDÚSTRIA DE TOMATES E POLPAS NA CIDADE DE TAQUARITINGA-SP. **Revista Interface Tecnológica**, [S. l.], v. 19, n. 2, p. 797–809, 2022.

PLANAS-MARQUÈS, M; KRESSIN, J.P; KASHYAP, A; PANTHEE, D.R, LOUWS, F.J, COLL, N.S; VALLS, M. Marc et al. Four bottlenecks restrict colonization and invasion by the pathogen *Ralstonia solanacearum* in resistant tomato. **Journal of Experimental Botany**, v. 71, n. 6, pág. 2157-2171, 2020.

PNUELI, L., CARMEL-GOREN, L., HAREVEN, D., GUTFINGER, T., ALVAREZ, J., GANAL, M., LIFSCHITZ, E. The SELF-PRUNING gene of tomato regulates vegetative to reproductive switching of sympodial meristems and is the ortholog of CEN and TFL1. **Development**, 125 (11), 1979-1989, 1998.

PUIATTI, M; BALBINO, J.D.S; FONSECA, M.D.O; RONCHI, C.P. Fisiologia do desenvolvimento do tomateiro. 2010.

QUEZADO DUVAL, A.M; LOURENÇO JUNIOR, V. Os desafios da Olericultura. Manejo de doenças foliares do tomateiro. **Hortaliças em Revista**, Brasília, v. 1, n. 24, p. 12-13, 2018.

RANC, N.; MUNOS, S.; XU, J.; LE PASLIER, M. C.; CHAUVEAU, A.; BOUNON, R.; ROLLAND, S.; BOUCHET, J.; BRUNEL, D.; CAUSSE, M. Genome-wide association mapping in tomato (*Solanum lycopersicum*) is possible using genome admixture of *Solanum lycopersicum* var. cerasiforme. **G3: Genes| Genomes| Genetics**, v. 2(8), p. 853–864, 2012.

RANI, V; PRASANNA, R; KAUSHIK, R. Prospecting the significance of methane-utilizing bacteria in agriculture. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 38, n. 10, pág. 176, 2022.

RAVA, C.A., SARTORATO, A. Conceitos básicos sobre doenças de plantas. (EMBRAPA-CNPAF. Documentos, 50). 1994.

RODRIGUES, R.R; PIZETTA, S.C., JAEGGI, M.E. P. C; ROCHA, R. S; SILVA, R. K.G; CRUZ, D.P., PEREIRA, I.M; BATISTA, J.N; ROCHA, J.G; PARAJARA, M.C; ENTRINGER, G.C; GRAVINA, G.A; DAHER, R.F; SOUZA, A.G; MONTEIRO, E.C; MATEUS, V.F; CAPETINI, S.A. Cultivo do tomateiro em ambiente protegido sob diferentes tensões de água no solo. **Research, Society and Development**, 9(11), 1-28, 2020.

ROMANTSCHUK, Martin. Attachment of plant pathogenic bacteria to plant surfaces. **Annual review of phytopathology**, v. 30, n. 1, p. 225-243, 1992.

ROSSATO, M. Espécies de *Ralstonia* no Brasil: caracterização fenotípica, molecular, novas fontes de resistência em tomateiro e patogenicidade em cafeeiro. Tese – Universidade de Brasília, Brasília - DF.165p, 2016.

ROSSI, A.P, JESUS JUNIOR, WC, ZAUZA, E.A, COUTINHO, M.P, DOS ANJOS, B.B, MORAES, W.B. Spatiotemporal dynamics of bacterial wilt in Eucalyptus. **Forest Pathology**, v. 53, n. 2, p. e12798, 2023.

SAFNI, I., CLEENWERCK, I., DE VOS, P., FEGAN, M., SLY, L., & KAPPLER, U. Polyphasic taxonomic revision of the *Ralstonia solanacearum* species complex: proposal to emend. **International journal of systematic and evolutionary microbiology**, v. 64, n. Pt\_9, p. 3087-3103, 2014.

SANTIAGO, T.R; LOPES, C.A; CAETANO, G. Estrutura genética de *Ralstonia solanacearum* e *Ralstonia pseudosolanacearum* no Brasil. **Plant Disease**, v. 104, n. 4, pág. 1019-1025, 2020.  
SANTIAGO, TR; LOPES, CA; CAETANOANOLLÉS, G; MIZUBUTI, ESG. 2017. Phylotype and sequevar variability of *Ralstonia solanacearum* in Brazil, an ancient center of diversity of the pathogen. **Plant Pathology** 66: 383-392.

SHARMA, K; IRUEGAS, B. ALCALÁ, B. Cepas de *Ralstonia* das Regiões de Cultivo de Batata do Quênia Revelam Dois Filotipos e Clonalidade Epidêmica do Filotipo II Sequevar 1 Cepas. **Phytopathology**®, v. 112, n. 10, pág. 2072-2083, 2022.

SIEMONSMA, J. S; KASEM, P. "Plant resources of south-east Asia. No. 8: Vegetables." (1993).

SILVA, F.J.A; MICHEREFF, S.J. Quantificação de fitobacterioses. Gama MAS, Nicoli A, Guimarães LMP, Lopes UP e MichereffSJ (eds) Estado da arte em fitobacterioses tropicais. **UFRPE, Recife** , p. 83-106, 2016.

SILVA, P.H.R. Adaptabilidade comparativa de *Ralstonia pseudosolanacearum* e *R. solanacearum* em solanáceas no estado de Pernambuco. Dissertação – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife. 92p, 2020.

SOUZA, K.C. Isolados de trichoderma no manejo de *Meloidogyne incognita* na cultura do tomate. Dissertação - Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa. 45p, 2023.

TSUZUKI, M; INOUE, K; KIBA, A; OHNISHI, K; KAI, K; HIKICHI, Y. Infection route in tomato roots and quorum sensing of *Ralstonia pseudosolanacearum* strain OE1-1. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, p. 101995, 2023.

VALE, F. X. R.; JESUS JUNIOR, W. C.; LIBERATO, J. R.; SOUZA, C. A. Quantificação de doenças e do crescimento do hospedeiro. In: ALE, F. X. R.; JESUS JUNIOR, W. C.; ZAMBOLIN, L. Epidemiologia aplicada ao manejo de doenças de plantas. Belo Horizonte: **Perffil**. p. 91-121, 2004.

VILELA, N.J; BOITEUX, L.S; TEXEIRA, F.M.V. **Embrapa Hortaliças**. Produção do Tomate. EMBRAPA, 2022.

WALISZEWSKI, K. N.; BLASCO, G. Propiedades nutraceuticas del licopeno. **Salud Pública Méx**, [s.l.], v. 52, n. 3, p. 254 -265, 2020.

WICKER, E., LEFEUVRE, P., DE CAMBIAIRE, J. C., LEMAIRE, C., POUSSIER, S., PRIOR, P. Contrasting recombination patterns and demographic histories of the plant pathogen *Ralstonia solanacearum* inferred from MLSA. **The ISME journal**, v. 6, n. 5, p. 961-974, 2012.

YULIAR, A.N., Toyota, K. Recent trends in control methods for bacterial wilt diseases caused by *Ralstonia solanacearum*. **Microbes and environments**, v. 30, n. 1, p. 1-11, 2015.

ZULUAGA, R.K., HILES, R., BARUA, P., CALDWELL, D., IYER-PASCUZZI, A.S. Getting to the root of *Ralstonia* invasion. In: **Seminars in Cell & Developmental Biology**. Academic Press, 2023. p. 3-12.