

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CAMPUS DE JABOTICABAL

SOBREVIVÊNCIA DE *Xanthomonas euvesicatoria* pv. *perforans*
NO FILOPLANO E NA RIZOSFERA DE PLANTAS CULTIVADAS

Pedro Costa Scrivanti

Jaboticabal – SP

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CAMPUS DE JABOTICABAL

SOBREVIVÊNCIA DE *Xanthomonas euvesicatoria* pv. *perforans*
NO FILOPLANO E NA RIZOSFERA DE PLANTAS CULTIVADAS

Aluno: Pedro Costa Scrivanti

Orientador: Prof. Dr. Tadeu Antônio Fernandes da Silva Júnior

Trabalho apresentado à Faculdade de Ciências
Agrárias e Veterinárias – UNESP, campus de
Jaboticabal – SP, para a graduação em
ENGENHARIA AGRONÔMICA

Jaboticabal – SP

1º semestre de 2025

S434s	<p data-bbox="485 1442 1198 1626">Scrivanti, Pedro Costa Sobrevivência de <i>Xanthomonas euvesicatoria</i> pv. perforans no filoplano e na rizosfera de plantas cultivadas / Pedro Costa Scrivanti. – Jaboticabal, 2025 43 p.</p> <p data-bbox="485 1675 1198 1816">Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia Agrônômica) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal Orientador: Tadeu Antônio Fernandes da Silva Júnior</p> <p data-bbox="485 1865 1198 1928">1. Ecologia. 2. Bactéria. 3. Bacteriose. 4. Rotação de culturas. 5. Tomate. I. Título.</p>
-------	--

PEDRO COSTA SCRIVANTI

TÍTULO DO TRABALHO ACADÊMICO: SOBREVIVÊNCIA DE *XANTHOMONAS EUVESICATORIA* PV. *PERFORANS* NO FILOPLANO E NA RIZOSFERA DE PLANTAS CULTIVADAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrônômica.

Orientador: Prof. Dr. Tadeu Antônio Fernandes da Silva Júnior


Área de Concentração: Engenharia Agrônômica - Fitossanidade

Data da defesa: 29/05/2025.


(X) Aprovado

() Reprovado


Banca Examinadora:

 Documento assinado digitalmente
TADEU ANTONIO FERNANDES DA SILVA JUNIOR
Data: 30/05/2025 09:48:24-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dr. Tadeu Antônio Fernandes da Silva Júnior
UNESP – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Campus de Jaboticabal


 Documento assinado digitalmente
LAUDECIR LEMOS RAIOL JUNIOR
Data: 02/06/2025 14:20:44-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Dr. Laudecir Lemos Raiol Júnior
UNESP – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Campus de Jaboticabal

 Documento assinado digitalmente
FERNANDA DIAS PEREIRA
Data: 02/06/2025 15:42:41-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Dra. Fernanda Dias Pereira
CROPEN – Pesquisa e Consultoria Agrícola

Aprovado em reunião do Conselho do Departamento em: 07 / 06 / 2025

 Documento assinado digitalmente
DANIEL JUNIOR DE ANDRADE
Data: 07/06/2025 15:53:45-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dr. Daniel Júnior de Andrade
Chefe do Departamento

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho foi possível graças ao apoio e incentivo de diversas pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram ao longo desta caminhada acadêmica.

Agradeço, primeiramente, a Deus, por me conceder saúde, força e perseverança para seguir em frente, mesmo diante das dificuldades.

À minha família, especialmente aos meus pais Omar e Silvana meus irmãos Murilo e Bruno e minha namorada Julia pelo amor incondicional, apoio constante e por sempre acreditarem no meu potencial. Sua dedicação foi essencial para que eu chegasse até aqui.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Tadeu Antônio Fernandes da Silva Júnior, pela orientação, paciência e por compartilhar seu conhecimento de forma generosa durante o desenvolvimento deste trabalho.

A toda equipe do Laboratório de Fitopatologia (LEFITO), pelo apoio durante o decorrer do experimento.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado De São Paulo – FAPESP, pelo auxílio financeiro para desenvolvimento desta pesquisa- 2023/15853-0

Aos colegas e amigos que fizeram parte desta jornada, pelo companheirismo, pelas conversas e pela parceria nos momentos de desafios e conquistas.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a concretização deste projeto, meu sincero agradecimento.

SUMÁRIO

RESUMO.....	VI
ABSTRACT.....	VII
1. INTRODUÇÃO.....	9
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	11
2.1 A cultura do tomateiro.....	11
2.2 Doenças bacterianas do tomateiro e a mancha bacteriana.....	12
2.3 Ecologia de bactérias fitopatogênicas.....	16
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	20
3.1 Isolado bacteriano, condições de cultivo e preservação.....	20
3.2 Sobrevivência de <i>Xanthomonas euvesicatoria</i> pv. <i>perforans</i> em plantas cultivadas.....	20
3.3 Avaliações e processamento das amostras.....	21
3.4 Condições climáticas e de umidade de solo durante os experimentos.....	22
3.5 Delineamento experimental e análise de dados.....	23
4. RESULTADOS.....	24
4.1 Sobrevivência de <i>Xanthomonas euvesicatoria</i> pv. <i>perforans</i> na filoplano de plantas cultivadas.....	24
4.2 Sobrevivência de <i>Xanthomonas euvesicatoria</i> pv. <i>perforans</i> a rizosfera de plantas cultivadas.....	26
4.3 Dados de temperatura e umidade relativa do ar ocorridos nos experimentos.....	28
4.4 Dados de umidade de solo ocorridos nos experimentos.....	30
5. DISCUSSÃO.....	33
6. CONCLUSÃO.....	37
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	38

RESUMO

A mancha bacteriana do tomateiro, causada por *Xanthomonas euvesicatoria* pv. *perforans* (Xep), é uma das principais doenças da cultura, provocando perdas expressivas na produção. Este estudo teve como objetivo avaliar a sobrevivência de Xep no filoplano e na rizosfera de 14 espécies vegetais para identificar hospedeiras alternativas e subsidiar estratégias de manejo. Dois experimentos foram conduzidos em casa de vegetação em delineamento de blocos ao acaso. O isolado Tom. 3155 de Xep foi cultivado em meio de cultura NSA, acrescido de rifampicina, e utilizado para a inoculação do filoplano (pulverização) e a rizosfera (infestação do solo) das plantas, com uma suspensão ajustada para 10^7 UFC·mL⁻¹. A quantificação populacional foi avaliada em intervalos de sete dias, sendo incubadas em BOD por 72h, e tendo o período máximo de recuperação de até 70 dias. Os resultados demonstraram que Xep sobreviveu por maiores períodos no filoplano, principalmente em tomateiro, aveia-preta e pimentão, enquanto na rizosfera sua sobrevivência foi restrita a curtos períodos, geralmente inferiores a sete dias. Culturas como couve, milho, trigo, feijão e rúcula tiveram menores períodos de sobrevivência da bactéria em ambos os nichos. Os dados obtidos sugerem que o filoplano representa um ambiente mais favorável à sobrevivência de Xep e que determinadas culturas podem atuar como reservatórios assintomáticos. Por outro lado, a baixa sobrevivência da bactéria na rizosfera reforça seu papel secundário como fonte de inóculo. Essas informações são valiosas para orientar programas de rotação de culturas e reduzir a pressão da doença em áreas de produção de tomate.

Palavras-chave: ecologia, bactéria, bacteriose, rotação de culturas, tomate

ABSTRACT

Bacterial spot of tomato, caused by *Xanthomonas euvesicatoria* pv. *perforans* (Xep), is a major disease in tomato cultivation, leading to significant yield losses. This study aimed to evaluate the survival of Xep on the phylloplane and in the rhizosphere of 14 plant species to identify alternative hosts and support management strategies. Two experiments were conducted in a greenhouse using a randomized block design. The Xep isolate Tom. 3155 was grown on NSA culture medium supplemented with rifampicin and used to inoculate the phylloplane (spraying) and rhizosphere (soil infestation) of the plants with a suspension adjusted to 10^7 CFU·mL⁻¹. Population quantification was assessed at seven-day intervals, with plates incubated in a BOD incubator for 72 hours, and a maximum recovery period of up to 70 days. The results showed that Xep survived for longer periods on the phylloplane, especially on tomato, black oat, and bell pepper. In contrast, its survival in the rhizosphere was restricted to short periods, generally less than seven days. Crops such as kale, corn, wheat, common bean, and arugula showed shorter bacterial survival periods in both niches. The data suggest that the phylloplane represents a more favorable environment for Xep survival and that certain crops can act as asymptomatic reservoirs. On the other hand, the low survival of the bacterium in the rhizosphere reinforces its secondary role as a source of inoculum. This information is valuable for guiding crop rotation programs and reducing disease pressure in tomato production areas.

Keywords: ecology, bacterium, bacterial disease, crop rotation, tomato

1. INTRODUÇÃO

Na agricultura brasileira, o tomate (*Solanum lycopersicum* L.), em 2023, representou uma parcela significativa da produção agrícola. A produção nacional de tomate foi de 4,1 milhões de toneladas, com 59 mil hectares de área colhida. O estado de Goiás foi o maior produtor, com um rendimento médio de 86 t/ha, acima da média nacional, que foi de 70 t/ha (IBGE, 2023). O valor bruto da produção mundial de tomate em 2023 foi estimado em US\$ 91,48 bilhões, enquanto no Brasil foi de US\$ 1,98 bilhão, correspondendo a 2,16% do valor mundial (FAOSTAT, 2023).

Embora o tomateiro desempenhe um papel fundamental tanto na agricultura brasileira quanto na mundial, sua produtividade pode ser comprometida por diversos fatores. Entre eles, destacam-se os problemas fitossanitários, especialmente as doenças causadas por fungos, vírus, nematoides e, sobretudo, por bactérias, que têm um impacto significativo na produção (LOPES & AVILA, 2005; FILGUEIRA, 2012; INOUE-NAGATA *et al.*, 2016; ALVES *et al.*, 2022).

Em relação às doenças de etiologia bacteriana na cultura do tomateiro, destacam-se a murcha bacteriana (*Ralstonia solanacearum*), a pinta bacteriana (*Pseudomonas syringae* pv. *tomato*), o cancro bacteriano (*Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis*), a podridão-mole e o talo-oco (*Pectobacterium* spp. e *Dickeya* spp.), a necrose da medula (*Pseudomonas corrugata* e *P. mediterranea*) e a mancha bacteriana (LOPES & AVILA, 2005; FILGUEIRA, 2012; CLEMENTE & BOITEUX, 2012; INOUE-NAGATA *et al.*, 2016; ALVES *et al.*, 2022).

A mancha bacteriana é uma das doenças mais importantes do tomateiro, sendo causada por quatro patógenos distintos: *Xanthomonas euvesicatoria* pv. *perforans* (Xep), *Xanthomonas euvesicatoria* pv. *euvesicatoria*, *Xanthomonas euvesicatoria* pv. *vesicatoria* e *Xanthomonas hortorum* pv. *gardneri* (EPPO, 2025). Em áreas onde a irrigação por aspersão é utilizada, as perdas podem alcançar até 50% da produção (INOUE-NAGATA *et al.*, 2016; ALVES *et al.*, 2022).

A literatura apresenta estudos sobre a capacidade de sobrevivência dos agentes causadores da mancha bacteriana do tomateiro em diferentes nichos, como o solo (PETERSON, 1963), restos culturais (PETERSON, 1963; JONES *et al.*, 1986), sementes (BASHAN *et al.*, 1982; JONES *et al.*, 1986) e plantas daninhas (BASHAN *et al.*, 1982; JONES *et al.*, 1986). No entanto, tais pesquisas foram conduzidas em países com condições climáticas, isolados bacterianos e espécies hospedeiras distintas daquelas encontradas no Brasil. No contexto nacional, o único estudo voltado à ecologia dessas bactérias identificou as plantas *Nicandra physaloides* (joá-de-capote) e *Solanum americanum* (maria-pretinha) como hospedeiras naturais de Xep, e *Euphorbia heterophylla* (amendoim-bravo) como hospedeira de *X. axonopodis* pv. *glycines* (Xag) (ARAÚJO *et al.*, 2015).

Observa-se que ainda há poucos estudos sobre os nichos de sobrevivência de Xep, e obter essas informações é fundamental para a adoção de práticas de manejo mais eficientes, visando conter a mancha bacteriana. Dessa forma, os objetivos deste trabalho foram: (i) determinar a sobrevivência de Xep, no filoplano e na rizosfera, de 14 espécies de plantas cultivadas; (ii)

identificar possíveis hospedeiras alternativas ou reservatórios assintomáticos que possam contribuir para a manutenção do inóculo no campo e; (iii) gerar informações que subsidiem estratégias mais eficazes de manejo fitossanitário, especialmente no contexto da rotação e sucessão de culturas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A cultura do tomateiro

O tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.), pertencente à família Solanaceae, é uma hortaliça herbácea, perene, de porte arbustivo e cultivada como anual (FILGUEIRA, 2012; ALVARENGA & BRAGA, 2022). É oriundo da região andina e amplamente propagado pelo mundo por navegadores espanhóis e portugueses, sendo seu centro de domesticação o México (FILGUEIRA, 2012; ALVARENGA & BRAGA, 2022).

Inicialmente, o tomate foi associado pelos europeus a outro fruto da mesma família, a mandrágora, que é extremamente venenosa. Consequentemente, sofreu rejeição pela população e foi amplamente utilizado como planta ornamental entre o século XVI e o início do XVII (ALVARENGA & BRAGA, 2022). Após a desmistificação dessa ideia, seu consumo começou a se espalhar pela Europa, com destaque para a Espanha e a Itália, integrando-se profundamente à gastronomia italiana (ALVARENGA & BRAGA, 2022).

No contexto da agricultura brasileira, o tomate foi introduzido no final do século XIX por imigrantes europeus (FILGUEIRA, 2012; ALVARENGA & BRAGA, 2022). Em 2023, o tomate foi a segunda hortaliça mais cultivada do país e no mundo, ficando atrás somente da batata (FAOSTAT, 2023). Com essa alta

produção de tomate, diversos desafios fitossanitários são enfrentados, destacando-se as doenças bacterianas, fúngicas, virais e nematoides, que impactam significativamente a produção (LOPES & ÁVILA, 2005; FILGUEIRA, 2012; CLEMENTE & BOITEUX, 2012; INOUE-NAGATA *et al.*, 2016; ALVES *et al.*, 2022).

2.2 Doenças bacterianas do tomateiro e a mancha bacteriana

O tomateiro está sujeito a diversas doenças bacterianas que podem comprometer sua produtividade e a qualidade dos frutos. Entre elas, destacam-se a murcha bacteriana (*Ralstonia solanacearum*), que leva ao colapso da planta devido à obstrução dos vasos condutores; a pinta bacteriana (*Pseudomonas syringae* pv. *tomato*), que forma pequenas lesões escuras nas folhas e frutos, reduzindo o valor comercial; o cancro bacteriano (*Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis*), que gera rachaduras e necroses nos caules e frutos; a podridão-mole e o talo-oco (*Pectobacterium* spp. e *Dickeya* spp.), resultando no apodrecimento dos tecidos, principalmente em condições de alta umidade; e a necrose da medula (*Pseudomonas corrugata* e *P. mediterranea*), que afeta a estrutura interna do caule, comprometendo o transporte de nutrientes (INOUE-NAGATA *et al.*, 2016; ALVES *et al.*, 2022).

No entanto, entre essas doenças, a mancha bacteriana se destaca como uma das mais importantes, afetando folhas e frutos e prejudicando significativamente a produtividade da cultura (LOPES & AVILA, 2005; FILGUEIRA, 2012; CLEMENTE & BOITEUX, 2012; INOUE-NAGATA *et al.*, 2016; ALVES *et al.*, 2022).

A mancha bacteriana foi observada pela primeira vez em tomateiro nos Estados Unidos, em 1912, e na África do Sul, em 1914, sendo que seu agente etiológico só foi identificado posteriormente, em 1921, por E. M. Doige (JONES, 1991; ALVES *et al.*, 2022). Atualmente, a doença está presente na maioria das regiões produtoras de tomate e pimentão (ALVES *et al.*, 2022). No Brasil, trata-se de uma das principais doenças que afetam o cultivo do tomate em campo aberto, tanto para a indústria quanto para o consumo *in natura*, podendo ocasionar perdas de até 50% na produção (INOUE-NAGATA *et al.*, 2016; ALVES *et al.*, 2022).

A ocorrência dessa doença tem sido relatada em mudas provenientes de viveiros comerciais, especialmente aqueles que utilizam sistemas de irrigação por aspersão, que favorecem o molhamento das folhas e a disseminação do patógeno (INOUE-NAGATA *et al.*, 2016; ALVES *et al.*, 2022). Antigamente, a mancha bacteriana do tomateiro era atribuída exclusivamente à espécie *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria*. No entanto, estudos mais recentes demonstraram que a doença pode ser causada por quatro espécies distintas do gênero *Xanthomonas*: *X. vesicatoria*, *X. euvesicatoria*, *X. gardneri* e *X. perforans* (INOUE-NAGATA *et al.*, 2016; ALVES *et al.*, 2022). Posteriormente, uma atualização na taxonomia levou à reformulação desses nomes, que passaram a ser designados como: *Xanthomonas euvesicatoria* pv. *perforans* (Xep), *X. euvesicatoria* pv. *euvesicatoria*, *X. euvesicatoria* pv. *vesicatoria* e *Xanthomonas hortorum* pv. *gardneri* (EPPO, 2025). Apesar de apresentarem diferenças bioquímicas e patogênicas, essas espécies são identificadas de forma precisa

por meio de técnicas moleculares, como a BOX-PCR e a PCR com primers específicos (INOUE-NAGATA *et al.*, 2016).

Xanthomonas euvesicatoria pv. *perforans* pertence à Classe Gammaproteobacteria, Ordem Lysobacterales, Família Lysobacteracea e gênero *Xanthomonas* (EPPO, 2025). As células possuem formato de bastonetes retos, com dimensões variando entre 0,4 a 0,6 µm por 0,8 a 2,0 µm. São aeróbias obrigatórias e se locomovem por meio de um único flagelo. As colônias geralmente apresentam aspecto brilhante e viscoso, com bordos lisos, sendo facilmente reconhecidas pela coloração amarela intensa, resultante da produção dos pigmentos conhecidos como xantomonadinas (BEDENDO & BELASQUE, 2019). Semelhante ao gênero *Pseudomonas*, esse grupo também contava com diversos patovares, os quais, ao longo dos últimos anos, têm sido gradualmente reclassificados como espécies ou subespécies. Ainda assim, com o avanço das técnicas moleculares, especialmente o sequenciamento genômico completo, é provável que novas reclassificações continuem ocorrendo (BEDENDO & BELASQUE, 2019).

Para o desenvolvimento dessas bactérias, são ideais temperaturas entre 20°C e 30°C. Além disso, danos que provocam ferimentos nas plantas facilitam a entrada e o avanço da infecção (INOUE-NAGATA *et al.*, 2016; ALVES *et al.*, 2022). Em períodos chuvosos e com ventos intensos, a propagação da bactéria de plantas infectadas para plantas saudáveis na lavoura torna-se altamente eficiente, pois as células bacterianas presentes nas lesões são removidas pelo impacto das gotas de chuva e pela força do vento, formando

pequenas gotículas que carregam o patógeno e contribuem para sua disseminação (INOUE-NAGATA *et al.*, 2016).

A sintomatologia da mancha bacteriana em tomateiro abrange toda a parte aérea da planta, incluindo hastes, frutos, pedúnculos e sépalas (JONES, 1991; INOUE-NAGATA *et al.*, 2016). Nas folhas, observam-se lesões necróticas de coloração castanho-escuro, geralmente associadas a áreas encharcadas, que podem apresentar halo clorótico. A coalescência dessas lesões confere às folhas um aspecto de necrose generalizada, comprometendo significativamente a área fotossintética e predispondo os frutos à escaldadura solar (INOUE-NAGATA *et al.*, 2016). Embora os sintomas sejam semelhantes entre as espécies do gênero *Xanthomonas*, infecções por Xep distinguem-se pela formação de perfurações foliares decorrentes da necrose tecidual (INOUE-NAGATA *et al.*, 2016). Nos frutos, a infecção tem início com pequenas manchas circulares de coloração acinzentada, que evoluem para lesões necróticas escurecidas e com superfície enrugada. As lesões, quando localizadas na base do pedúnculo, podem provocar a queda prematura dos frutos (INOUE-NAGATA *et al.*, 2016).

O manejo da mancha bacteriana deve ser preventivo e integrado, com o uso de sementes e mudas saudáveis, rotação de culturas, eliminação de restos culturais e irrigação por gotejamento para evitar o molhamento foliar (INOUE-NAGATA *et al.*, 2016; ALVES *et al.*, 2022). Recomenda-se o plantio de cultivares com resistência quantitativa e, como medidas complementares, a aplicação preventiva do indutor de resistência acibenzolar-S-metil, que contribui para a redução da severidade da doença (INOUE-NAGATA *et al.*, 2016), além do uso

de produtos biológicos à base de *Bacillus subtilis*, registrados para o controle da mancha bacteriana (ALVES *et al.*, 2022).

Compreender a ecologia de bactérias fitopatogênicas é essencial para desenvolver estratégias de manejo mais eficazes, especialmente em sistemas agrícolas que envolvem a rotação ou o cultivo consorciado de culturas. O conhecimento sobre os nichos de sobrevivência de Xep, como o filoplano e a rizosfera, permite identificar hospedeiros alternativos e potenciais fontes de inóculo, possibilitando a adoção de medidas preventivas voltadas à redução da pressão inicial da doença no campo.

2.3 Ecologia de bactérias fitopatogênicas

A depender do gênero e da espécie bacteriana envolvida, o patógeno pode sobreviver em diferentes fontes de inóculo, como sementes, estruturas propagativas, resíduos culturais deixados no campo, solo, além de plantas daninhas (SCHUSTER; COYNE, 1974; HARTMAN *et al.*, 2016).

Dentre esses ambientes, o solo destaca-se por sua complexidade microbiológica, abrigando uma grande diversidade de microrganismos, incluindo bactérias fitopatogênicas (VIEIRA; SILVA, 2021). No entanto, quando presentes como células livres, a maioria dessas bactérias apresenta baixa capacidade de sobrevivência nesse nicho, devido à ausência de estruturas de resistência e à intensa ação antagonista exercida pela microbiota nativa do solo (SCHUSTER; COYNE, 1974; ROUSK *et al.*, 2010; FIERER; LENNON, 2011). Durante os períodos entre safra, fitobactérias podem sobreviver em resíduos vegetais presentes nas áreas cultivadas. A exposição desses tecidos na superfície do solo

tende a favorecer a sobrevivência de determinadas bactérias fitopatogênicas (MICHEREFF *et al.*, 2016).

Devido a essas limitações no solo, algumas espécies de fitobactérias apresentam maior aptidão para sobreviver na superfície de plantas hospedeiras, mesmo na ausência de sintomas visíveis (SCHUSTER; COYNE, 1974; ROMEIRO, 2011). As bactérias localizadas nessa superfície são classificadas como estando em fase epifítica ou residente. Nessa condição, podem se multiplicar em tecidos sadios aproveitando nutrientes exsudados pela planta (BEATTIE; LINDOW, 1995). Quando expostas a estresses ambientais, essas células entram em hipobiose, com metabolismo reduzido e protegidas por substâncias produzidas por elas mesmas, pela planta ou pela interação entre ambas (GOTO, 1990; ROMEIRO, 2011; LEBEN, 1981). Espécies do gênero *Xanthomonas* são reconhecidas por essa elevada especialização para a vida epifítica (SWINGS; CIVEROLO, 1993; RUDOLPH, 1993).

A porção aérea das plantas que abriga esses microrganismos é chamada de filoplano (LINDOW; BRANDL, 2003). Dentre os habitantes do filoplano, as bactérias constituem o grupo predominante, especialmente na superfície foliar (KARAVINA *et al.*, 2011). No entanto, esse ambiente é considerado hostil à sobrevivência de fitobactérias, pois está sujeito a intensas variações de temperatura, umidade, radiação e disponibilidade hídrica (HIRANO; UPPER, 2000; LINDOW; BRANDL, 2003).

Além das variações ambientais, aspectos estruturais da superfície foliar também influenciam a colonização bacteriana. A cutícula, composta por cutina e ceras, forma uma barreira lipofílica que protege os tecidos contra estresses

bióticos e abióticos. Sua espessura e composição, além da presença de tricomas, afetam a retenção de umidade e a densidade microbiana na superfície foliar (HIRANO; UPPER, 2000; TOUSSAINT *et al.*, 2012; O'BRIEN; LINDOW, 1989).

No estudo realizado por Silva *et al.* (2021), foi avaliada a sobrevivência de *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* no filoplano de diversas culturas. As espécies couve (*Brassica oleracea*), tomate (*Solanum lycopersicum*), trigo (*Triticum aestivum*), abóbora (*Cucurbita moschata*), aveia preta (*Avena strigosa*), rabanete (*Raphanus sativus*) e pimentão (*Capsicum annuum*) demonstraram capacidade de abrigar o patógeno na superfície foliar, mesmo sem apresentar sintomas visíveis. Complementando esses dados, Silva *et al.* (2017) constataram a sobrevivência de *X. campestris* pv. *campestris* no filoplano de plantas daninhas como nabiça (*Raphanus raphanistrum*), mastruço (*Lepidium virginicum*), picão-branco (*Galinsoga parviflora*), picão-preto (*Bidens pilosa*), corda-de-viola (*Ipomoea triloba*) e algodão de preá (*Emilia fosbergii*), reforçando o papel dessas espécies na manutenção do inóculo em ambientes agrícolas.

Além do filoplano, outro importante nicho de sobrevivência bacteriana é a rizosfera — região do solo em torno das raízes (VORHOLT, 2012). Em comparação ao solo livre, a rizosfera é enriquecida por exsudatos radiculares, como açúcares, ácidos orgânicos e aminoácidos, que favorecem o crescimento e a competitividade bacteriana (LUGTENBERG *et al.*, 2001; GOTO, 1990). Além disso, oferece maior proteção contra dessecação, variações térmicas e exposição à luz, constituindo um ambiente mais estável para muitos microrganismos (BRENCIC; WINANS, 2005).

A composição da comunidade bacteriana na rizosfera é influenciada pelos compostos químicos exsudados pelas raízes, que funcionam como sinais moleculares para atrair ou repelir determinados microrganismos. Essa interação ocorre por meio da quimiotaxia e afeta diretamente a colonização e a dinâmica da rizobactéria com a planta hospedeira (MARK *et al.*, 2005; WU *et al.*, 2015; BAIS *et al.*, 2006; BROEK; VANDERLEYDEN, 1995).

No entanto, a sobrevivência de fitobactérias na rizosfera ainda é pouco compreendida e continua sendo alvo de estudos (ROMEIRO, 2011). Um exemplo é *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria*, que demonstrou sobrevivência na rizosfera durante o inverno, mesmo em plantas não hospedeiras como sorgo (*Sorghum bicolor*), ervilha (*Pisum sativum*), pepino (*Cucumis sativus*), feijão comum (*Phaseolus vulgaris*) e trigo (*Triticum aestivum*) (BASHAN *et al.*, 1982). De forma semelhante, *X. campestris* pv. *campestris* também foi capaz de sobreviver na rizosfera de culturas comerciais como couve (*Brassica oleracea*), trigo (*Triticum aestivum*), abóbora (*Cucurbita moschata*), alface (*Lactuca sativa*), feijão-comum (*Phaseolus vulgaris*) e mostarda (*Brassica juncea*) (SILVA *et al.*, 2021). Além disso, Silva *et al.* (2017) relataram a presença da bactéria na rizosfera de diversas plantas daninhas, como *Raphanus raphanistrum* (nabiça), *Amaranthus viridis* (caruru-de-mancha) e *Euphorbia heterophylla* (leiteiro).

Assim, compreender os mecanismos ecológicos que sustentam a permanência de fitobactérias em diferentes nichos vegetais é essencial para o desenvolvimento de estratégias de manejo que reduzam a pressão de inóculo e, conseqüentemente, a severidade das doenças bacterianas em campo.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Isolado bacteriano, condições de cultivo e preservação

Para os experimentos de sobrevivência de Xep no filoplano e rizosfera de plantas cultivadas foi utilizado o isolado Tom. 3155, pertencente ao Laboratório de Fitopatologia da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV/UNESP). Este isolado é resistente à rifampicina, na concentração de 0,01g.L⁻¹, e patogênico ao tomateiro. O isolado foi cultivado em meio de cultura nutriente-sacarose-ágar acrescido de rifampicina (NSAR) por 72 h a 28 °C em BOD (SCHAAD *et al.*, 2001).

3.2 Sobrevivência de *Xanthomonas euvesicatoria* pv. *perforans* em plantas cultivadas

Dois experimentos, denominados 1 e 2, foram instalados para avaliar a sobrevivência de Xep no filoplano e rizosfera de plantas cultivadas, utilizadas em sucessão, rotação ou cultivadas simultaneamente com o tomateiro em campos comerciais (FILGUEIRA, 2008; ABAURRE *et al.*, 2010). As metodologias empregadas nos experimentos foram baseadas em Gonçalves *et al.* (2017) e Silva *et al.* (2017).

O experimento foi realizado com quatorze espécies de plantas cultivadas, sendo elas: abóbora cv. Moranga (*Cucurbita pepo*), alface cv. Americana (*Lactuca sativa*), aveia branca cv. IAC 7 (*Avena sativa*), aveia preta (*Avena strigosa*), cenoura cv. Brasília (*Daucus carota*), couve cv. Manteiga da Geórgia (*Brassica oleracea* var. *acephala*), feijão comum cv. IAC 2051 (*Phaseolus*

vulgaris), milho cv. P9889 (*Zea mays*), pimentão cv. All Big (*Capsicum annuum*), rúcula cv. Donatella (*Eruca sativa*), soja cv. 7362 IPRO (*Glycine max*), sorgo (*Sorghum bicolor*), tomate cv. IPA 6 (*Solanum lycopersicum*) e trigo cv. BRS 404 (*Triticum aestivum*). Plantas de tomateiro foram utilizadas como controle positivo.

Os experimentos foram conduzidos em casa de vegetação do Departamento de Fitopatologia da FCAV/UNESP e instalados nos dias 27/06/2024 (Experimento 1) e 31/10/2024 (Experimento 2).

Foram utilizados vasos de 10 L, semeando-se cinco sementes por vaso, sendo seis vasos por cultura. Os vasos continham uma mistura de areia grossa lavada, terra de barranco e esterco de curral curtido (na proporção 3:1:1). A instalação dos experimentos ocorreu com a infestação do solo por meio da rega de 500 mL de suspensão bacteriana (10^7 UFC·mL⁻¹) e da pulverização da parte aérea das plantas até o ponto de escorrimento, com a mesma suspensão bacteriana.

3.3 Avaliações e processamento das amostras

As avaliações foram realizadas a cada sete dias, por um período máximo de 70 dias, ou até a não recuperação de células de Xep dos tratamentos, por dois períodos consecutivos de avaliação. Para o filoplano, foram coletadas as partes aéreas de três plantas de cada espécie avaliada, formando-se uma amostra composta. Para a rizosfera, o solo aderido às raízes de três plantas foi coletado, também formando uma amostra composta.

As amostras foram levadas ao laboratório, onde foram pesados 5 g de cada amostra composta de solo e 5 g de cada amostra composta de parte aérea.

As amostras foram transferidas para frascos de Duran contendo 50 mL de água destilada esterilizada, seguido de agitação por 30 minutos a 300 rpm. As amostras de solo foram mantidas em repouso por 30 minutos para sedimentação (NASCIMENTO *et al.*, 2021).

Os plaqueamentos foram realizados em meio de cultura NSA acrescido de rifampicina ($0,01\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$), tiofanato metílico ($0,005\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$) e chlorothalonil ($0,005\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$) (SILVA *et al.*, 2017). As placas foram incubadas a 28°C por 72 horas, seguindo-se a contagem das colônias semelhantes a Xep. Os dados foram transformados em $\text{ufc}\cdot\text{g}^{-1}$ de tecido vegetal para o filoplano e $\text{ufc}\cdot\text{g}^{-1}$ de solo seco para a rizosfera.

Todos os períodos de sobrevivência de Xep no filoplano e rizosfera das plantas cultivadas foram confirmados através da obtenção de isolados, a partir de colônias semelhantes a Xep presentes nos plaqueamentos. Esses isolados foram cultivados em meio NSA acrescido de 5% de amido (MARINGONI, 2010), e aqueles que hidrolisaram o amido foram submetidos a reações de PCR com os primers específicos para Xep, BS-XpF e BS-XpR (KOENRAADT *et al.*, 2009).

3.4 Condições climáticas e de umidade de solo durante os experimentos

Os dados referentes às temperaturas máximas, mínimas e médias, bem como aos valores máximos, mínimos e médios de umidade relativa do ar (UR%), foram coletados da estação meteorológica da FCAV/UNESP, situada a 700 metros da área onde o experimento foi conduzido. Os níveis de umidade do solo, nos dias das avaliações, foram determinados utilizando uma balança específica para análise de umidade.

3.5 Delineamento experimental e análise de dados

O delineamento experimental nos experimentos foi de blocos ao acaso com 31 tratamentos (14 plantas cultivadas x 2 nichos de sobrevivência – filoplano e rizosfera), além dos controles positivos (plantas de tomateiro – filoplano e rizosfera), e controle negativo da rizosfera (vasos contendo apenas solo, sem o cultivo de plantas). Cada tratamento foi representado por seis vasos com cinco plantas de cada espécie por vaso.

Os dados gerados nos experimentos referiram-se ao período médio de sobrevivência de Xep e à área abaixo da curva (AAC), obtidos para cada espécie vegetal avaliada no filoplano e na rizosfera. Para cada experimento, o período de sobrevivência de Xep foi determinado, correspondendo ao tempo máximo (em dias) em que a bactéria foi recuperada. O critério para o encerramento das avaliações foi a ausência de detecção da bactéria por dois períodos consecutivos de sete dias, considerando o término quando não houve recuperação por dois períodos consecutivos. Já a AAC foi calculada aplicando o método do trapézio sobre os valores de unidades formadoras de colônia ($\text{UFC}\cdot\text{g}^{-1}$) registrados ao longo do tempo, permitindo quantificar a dinâmica populacional da bactéria durante os experimentos.

Os resultados obtidos foram organizados em tabelas descritivas, apresentando e comparando os valores médios entre as espécies e entre os nichos avaliados. As interpretações foram feitas com base nas diferenças observadas nos valores médios, identificando as espécies que apresentaram maior ou menor capacidade de manter populações de Xep, mesmo na ausência

de análises estatísticas. Esse enfoque permitiu compreender os padrões de sobrevivência do patógeno sob diferentes contextos agrícolas e ambientais.

4. RESULTADOS

4.1 Sobrevivência de *Xanthomonas euvesicatoria* pv. *perforans* na filoplano de plantas cultivadas

A sobrevivência de Xep variou entre as espécies avaliadas nos dois experimentos. O tomateiro foi a única cultura a apresentar sintomas característicos da mancha bacteriana, servindo como controle positivo da infecção.

No Experimento 1, Xep apresentou maior tempo de sobrevivência no filoplano de aveia preta (70 dias), tomate (63 dias) e pimentão (49 dias) (Tabela 1). Em contraste, em aveia branca, milho, feijão e couve manteiga, a bactéria foi detectada por apenas sete dias ou menos, indicando baixa capacidade de sobrevivência nesses hospedeiros.

Quanto aos valores de área abaixo da curva (AAC), os maiores acúmulos populacionais foram registrados em tomate (380,0), aveia preta (241,9) e pimentão (160,1), refletindo maior densidade bacteriana ao longo do tempo nessas espécies. Por outro lado, nas demais culturas, como aveia branca, milho, feijão e couve, os valores de AAC permaneceram abaixo de 45, reforçando a limitação desses hospedeiros na manutenção da bactéria (Tabela 1).

Tabela 1 – Período de sobrevivência no filoplano e áreas abaixo da curva (AAC) dos experimentos 1 e 2 de sobrevivência de *Xanthomonas euvesicatoria* pv. *perforans* em plantas cultivadas

Planta Cultivada	Experimento 1		Experimento 2	
	Sobrevivência (dias)	AAC	Sobrevivência (dias)	AAC
Abóbora moranga	14	74,0	7	49,8
Alface americana	14	67,1	0	-
Aveia branca	7	44,2	21	90,5
Aveia preta	70	241,9	35	167,7
Cenoura	21	102,3	7	40,3
Couve manteiga	0	- ^a	7	40,8
Feijão	7	66,0	7	36,4
Milho	7	36,0	7	43,4
Pimentão	49	160,1	28	81,9
Rúcula	14	64,6	0	-
Soja	14	39,6	0	-
Sorgo	14	82,1	7	39,2
Tomate	63	380,0	63	334,4
Trigo	14	76,9	14	64

^a Ausência de AAC

No Experimento 2, os maiores períodos de sobrevivência de Xep no filoplano foram novamente observados em tomate (63 dias) e aveia preta (35 dias) e pimentão (28 dias). As demais espécies apresentaram sobrevivência igual ou inferior a 21 dias, com destaque para alface, rúcula e soja, nas quais Xep foi detectada por menos de sete dias.

Em relação à AAC, tomate e aveia preta também se destacaram, com valores de 334,4 e 167,7, respectivamente. Nas demais culturas, os valores de AAC foram, em sua maioria, inferiores a 100. Especificamente, alface

(21,3), rúcula (39,2) e soja (19,3) apresentaram os menores valores, evidenciando baixa sobrevivência populacional da bactéria nessas espécies (Tabela 1).

A comparação entre os dois experimentos confirmou que o tomateiro, a aveia preta e o pimentão foram os principais hospedeiros da bactéria no filoplano, sustentando populações elevadas por longos períodos. Em contraste, culturas como couve manteiga, milho, rúcula, feijão e sorgo apresentaram baixa capacidade de sobrevivência da bactéria nesse nicho ecológico, sendo, portanto, potenciais opções para rotação de culturas em áreas afetadas pela mancha bacteriana.

4.2 Sobrevivência de *Xanthomonas euvesicatoria* pv. *perforans* a rizosfera de plantas cultivadas

A sobrevivência de Xep na rizosfera das plantas cultivadas foi, em geral, inferior à observada no filoplano, tanto em tempo de detecção quanto nos valores de AAC. De modo consistente, os períodos de recuperação foram mais curtos e os acúmulos populacionais mais baixos, indicando que esse nicho apresentou menor aptidão para a permanência da bactéria (Tabela 2).

No Experimento 1, os maiores períodos de sobrevivência na rizosfera foram registrados em tomate (28 dias), alface, soja e abóbora (14 dias cada). Em contraste, culturas como aveia preta, feijão, milho, sorgo e trigo apresentaram detecção da bactéria por apenas sete dias, demonstrando baixa sustentação populacional nesse ambiente (Tabela 2).

Quanto aos valores de AAC, as maiores áreas acumuladas foram observadas em tomate (101,3), seguido por alface (77,6), soja (76,2) e abóbora (71,4). Para as demais culturas, como aveia preta, feijão, milho, sorgo e trigo, os valores de AAC variaram entre 41,6 e 47,5, refletindo a capacidade reduzida de manter populações viáveis da bactéria ao longo do tempo (Tabela 2).

Tabela 2 – Período de sobrevivência na rizosfera e áreas abaixo da curva (AAC) dos experimentos 1 e 2 de sobrevivência de *Xanthomonas euvesicatoria* pv. *perforans* em plantas cultivadas

Planta Cultivada	Experimento 1		Experimento 2	
	Sobrevivência (dias)	AAC	Sobrevivência (dias)	AAC
Abóbora moranga	14	71,4	0	- ^a
Alface americana	14	77,6	7	56,3
Aveia branca	14	68,0	0	-
Aveia preta	7	41,6	7	42,1
Cenoura	14	67,3	7	40,3
Couve manteiga	7	98,7	0	-
Feijão	7	47,5	0	-
Milho	7	46,9	7	54,0
Pimentão	7	53,6	7	32,5
Rúcula	14	58,9	0	-
Soja	14	76,2	0	-
Sorgo	7	47,4	7	33,9
Tomate	28	101,3	0	-
Trigo	7	45,5	7	42,0
Solo *	7	46,9	7	33,9

^a Ausência de AAC

*Controle negativo

No Experimento 2, os resultados foram ainda mais restritivos: *Xep* foi recuperada na rizosfera de todas as espécies avaliadas por no máximo sete dias,

incluindo o solo sem planta. Não houve diferença expressiva no tempo de sobrevivência entre os tratamentos, o que reforça a limitação desse nicho para a permanência do patógeno (Tabela 2).

Mesmo com sobrevivência reduzida, os maiores valores de AAC no Experimento 2 foram observados em alface (56,3), milho (54) e aveia preta (42,1). Todos os demais tratamentos apresentaram AAC abaixo de 60, confirmando o baixo acúmulo populacional da bactéria nas condições avaliadas.

Esses dados reforçam que, ao contrário do filoplano, a rizosfera possui papel secundário na manutenção de Xep, com menor capacidade de sustentação populacional e menor persistência temporal. Assim, sua contribuição como fonte de inóculo entre os ciclos de cultivo é limitada, sendo menos relevante do ponto de vista epidemiológico para a mancha bacteriana do tomateiro.

4.3 Dados de temperatura e umidade relativa do ar ocorridos nos experimentos

As temperaturas e umidades relativas do ar variaram consideravelmente ao longo dos períodos avaliados nos Experimentos 1 e 2 (Tabela 3), influenciando potencialmente a dinâmica de sobrevivência de Xep nos diferentes nichos ecológicos.

No Experimento 1, as temperaturas médias oscilaram entre 17,8 °C e 25,7 °C, enquanto os valores médios de umidade relativa do ar variaram de 33,9% a 62,3%. A menor umidade registrada foi de 33,9%, entre os dias 50 e 56, período também caracterizado por uma das maiores temperaturas médias (25,5 °C)

(Tabela 3). Essas condições mais secas e quentes podem ter contribuído para a redução da sobrevivência de Xep na fase final do experimento.

Além disso, observou-se uma amplitude térmica mais acentuada nesse experimento, com temperaturas mínimas chegando a 9,7 °C, principalmente entre os dias 43 e 49. Essa oscilação térmica pode ter afetado negativamente a viabilidade bacteriana, sobretudo no filoplano, onde o microambiente é mais exposto às condições atmosféricas (Tabela 3).

Tabela 3 - Temperatura média, máxima e mínima (°C) e umidade relativa do ar média, máxima e mínima (%) registradas durante os períodos de avaliação nos Experimentos 1 e 2.

Período	Temperatura (C°)			Umidade relativa do ar (%)		
	Média	Máxima	Mínima	Média	Máxima	Mínima
Experimento 1						
(0-7)	20,9	27,7	14,8	62,3	85,3	34,1
(8-14)	21,8	29,0	15,7	54,1	78,0	30,3
(15-21)	22,0	29,9	15,4	55,7	85,5	26,5
(22-28)	21,5	28,7	13,8	43,8	71,4	19,5
(29-35)	21,8	29,9	14,6	46,9	71,2	24,1
(36-42)	23,2	30,8	16,7	44,2	68,5	21,8
(43-49)	17,8	25,7	9,7	51,6	84,1	23,4
(50-56)	25,5	34,5	16,6	33,9	59,9	15,5
(57-63)	20,6	29,2	13,4	52,6	76,3	27,7
(64-70)	25,7	34,1	17,1	34,1	62,7	15,2
Experimento 2						
(0-7)	23,8	28,8	20,2	77,0	91,6	53,7
(8-14)	24,1	29,4	19,5	72,0	89,5	47,6
(15-21)	24,8	31,1	19,9	70,7	92,4	43,8
(22-28)	25,8	32,4	19,9	58,5	83,1	33,4
(29-35)	25,0	30,6	21,4	78,1	94,3	52,7
(36-42)	25,7	32,0	20,7	70,2	91,5	41,2
(43-49)	24,3	30,6	19,4	71,6	92,7	43,8
(50-56)	24,0	29,6	20,8	82,6	96,1	56,3
(57-63)	23,9	30,5	19,1	79,4	96,5	50,9
(64-70)	24,6	31,2	20,1	75,9	94,6	46,1

No Experimento 2, os valores médios de temperatura foram, em geral, mais elevados e estáveis, variando entre 23,8 °C e 25,8 °C, enquanto a umidade relativa do ar oscilou entre 58,5% e 79,4% (Tabela 3). Essas condições mais úmidas e constantes favorecem, em geral, a sobrevivência de bactérias epifíticas, o que pode explicar a maior detecção de Xep em algumas espécies no filoplano, mesmo em comparação com o primeiro experimento.

Apesar de não terem sido realizadas análises estatísticas formais para correlacionar essas variáveis abióticas com os dados de sobrevivência, os registros climáticos obtidos contribuem para contextualizar os resultados. Fatores como temperatura média, umidade relativa do ar e amplitude térmica influenciam direta ou indiretamente a persistência de fitobactérias em diferentes nichos, especialmente em ambientes externos sujeitos à radiação, vento e desidratação.

4.4 Dados de umidade de solo ocorridos nos experimentos

Os valores de umidade relativa do solo foram registrados para cada espécie e período de avaliação durante os Experimentos 1 e 2 (Tabela 4). Esses dados foram fundamentais para o cálculo da densidade populacional de Xep na rizosfera, expressa em unidades formadoras de colônia por grama de solo seco ($\text{UFC} \cdot \text{g}^{-1}$).

No Experimento 1, os teores de umidade variaram amplamente entre as espécies ao longo dos períodos de avaliação, com médias que oscilaram de 8,0% (solo sem planta) a 24,1% (cenoura) (Tabela 4).

No Experimento 2, os valores médios de umidade do solo apresentaram uma distribuição mais uniforme entre as espécies, com variações entre 14,6% (trigo) e 24,1% (cenoura) (Tabela 4). As condições foram, em geral, mais úmidas do que no primeiro experimento, fato que pode ter contribuído, ainda que discretamente, para as diferenças observadas na recuperação de Xep entre os ensaios. Adicionalmente, como observado na Tabela 3, o Experimento 2 apresentou temperaturas médias mais elevadas e estáveis ao longo do período experimental. Esse aumento térmico pode ter intensificado a taxa de evaporação do solo, exigindo irrigações mais frequentes para compensar as perdas hídricas e manter os níveis adequados de umidade nas unidades experimentais.

Tabela 4 - Valores de umidade do solo (em %) obtidos de cada espécie de planta cultivada, em cada período de avaliação.

Planta cultivada	Umidade relativa do solo (%)							Média
	0	7	14	21	28	35	42	
Experimento 1								
Abóbora moranga	42,3	24,9	6,7	14,3	- ^a	-	-	22,1
Alface americana	19,5	21,3	17,2	17,1	15,4	-	-	18,1
Aveia branca	7,2	15,5	14,1	14,0	13,0	-	-	12,8
Aveia preta	15,3	14,6	12,2	15,3	-	-	-	14,4
Cenoura	21,1	21,9	20,2	25,4	14,3	-	-	20,6
Couve manteiga	18,2	19,2	13,1	-	-	-	-	16,8
Feijão	8,4	13,1	13,2	15,3	-	-	-	12,5
Milho	17,5	16,1	17,1	14,5	14,3	-	-	15,9
Pimentão	19,3	23,2	14,4	13,4	-	-	-	17,6
Rúcula	18,5	15,7	14,2	18,3	14,5	-	-	16,2
Soja	21,1	19,1	20,1	12,4	14,0	-	-	17,3
Sorgo	15,6	22,2	18,9	15,7	-	-	-	18,1
Tomate	28,9	21,1	14,2	11,6	12,8	9,3	14,0	16,0
Trigo	18,1	17,5	13,3	18,1	-	-	-	16,8
Solo*	17,7	12,1	1,3	0,8	-	-	-	8,0
Experimento 2								
Abóbora moranga	17,8	20,8	10,8	-	-	-	-	16,4
Alface americana	20,0	22,1	12,8	15,1	-	-	-	17,5
Aveia branca	19,1	16,6	14,9	-	-	-	-	16,8
Aveia preta	19,6	19,7	13,7	11,7	-	-	-	16,1
Cenoura	22,5	21,3	35,4	17,5	-	-	-	24,1
Couve manteiga	21,4	15,1	18,2	-	-	-	-	18,2
Feijão	18,9	19,3	14,1	-	-	-	-	17,4
Milho	17,5	16,8	13,5	13,9	-	-	-	15,4
Pimentão	19,7	20,3	16,0	13,9	-	-	-	17,4
Rúcula	18,6	19,3	16,8	-	-	-	-	18,2
Soja	17,7	17,6	15,2	-	-	-	-	16,8
Sorgo	18,0	19,1	21,6	-	-	-	-	19,5
Tomate	19,2	20,1	15,5	-	-	-	-	18,2
Trigo	15,4	19,4	10,7	13,0	-	-	-	14,6
Solo*	20,0	17,9	14,3	-	-	-	-	17,4

^a Não houve recuperação no período.

*Controle negativo

5. DISCUSSÃO

A superfície foliar representa um ambiente hostil para a sobrevivência de bactérias fitopatogênicas, por estar diretamente exposta às condições atmosféricas (VORHOLT, 2012). Fatores como incidência solar, variações bruscas de temperatura e umidade, ocorrência de chuvas e a escassez de nutrientes disponíveis tornam esse habitat pouco favorável à manutenção de populações bacterianas (LINDOW; BRANDL, 2003; VORHOLT, 2012). A rizosfera, por outro lado, proporciona um ambiente mais estável frente às oscilações climáticas e apresenta maior disponibilidade de compostos orgânicos e minerais (BRENCIC; WINANS, 2005).

Apesar desse contraste teórico, os dados obtidos neste estudo indicam que o filoplano das plantas cultivadas constituiu um nicho mais favorável para Xep, permitindo sua permanência por períodos prolongados, ao contrário do que se verificou na rizosfera. Esse comportamento pode ser atribuído ao fato de que bactérias do gênero *Xanthomonas* apresentam elevada especialização para multiplicação em tecidos vegetais (RUDOLPH, 1993), mas possuem baixa adaptação às condições do solo, inclusive na região da rizosfera, onde sua sobrevivência é limitada (MENZIES, 1963; SCHUSTER; COYNE, 1974).

Nesse contexto, os sintomas foram observados apenas nas plantas de tomateiro (controle positivo), enquanto outras espécies sustentaram a bactéria de forma assintomática. A aveia preta permitiu a sobrevivência de Xep no filoplano por até 70 dias, enquanto o pimentão, pertencente à mesma família do tomateiro (*Solanaceae*), sustentou a bactéria por até 49 dias. No entanto, não foram observados sintomas de infecção em nenhuma das duas culturas.

A superfície das folhas é composta pela cutícula que recobre as células epidérmicas e por outras estruturas como os tricomas, que podem variar na capacidade de retenção de água e liberação de nutrientes, influenciando a habilidade da planta em abrigar e sustentar determinadas populações microbianas (LEVEAU, 2015, 2018; VACHER *et al.*, 2016). Esse aspecto estrutural ajuda a explicar a menor persistência de Xep observada na superfície foliar da couve, por exemplo, em comparação a outras espécies como o tomateiro, onde a bactéria sobreviveu por até 63 dias.

Na rizosfera, por outro lado, a bactéria foi recuperada apenas por curtos períodos, geralmente inferiores a sete dias, o que corrobora estudos anteriores que evidenciam a baixa aptidão de *Xanthomonas* para esse ambiente, mesmo na presença de exsudatos radiculares ricos em nutrientes (GOTO, 1990; BASHAN *et al.*, 1982).

Resultados semelhantes foram observados por Silva *et al.* (2021), que relataram a sobrevivência de *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* no filoplano de diversas culturas comerciais, incluindo couve (*Brassica oleracea*), tomate (*Solanum lycopersicum*), trigo (*Triticum aestivum*), abóbora (*Cucurbita moschata*), aveia preta (*Avena strigosa*), rabanete (*Raphanus sativus*) e pimentão (*Capsicum annuum*), mesmo na ausência de sintomas visíveis. Já na rizosfera, a bactéria foi capaz de sobreviver em couve (*Brassica oleracea*), trigo (*Triticum aestivum*), abóbora (*Cucurbita moschata*), alface (*Lactuca sativa*), feijão comum (*Phaseolus vulgaris*) e mostarda (*Brassica juncea*), indicando que esses cultivos podem abrigar populações viáveis do patógeno no solo próximo às raízes.

De forma complementar, Silva *et al.* (2017) evidenciaram que plantas daninhas também podem atuar como hospedeiras assintomáticas, observando a sobrevivência de *X. campestris* pv. *campestris* no filoplano de espécies como nabiça (*Raphanus raphanistrum*), almeirão-roxo (*Lepidium virginicum*), picão-branco (*Galinsoga parviflora*), picão-preto (*Bidens pilosa*), corda-de-viola (*Ipomoea triloba*) e algodão de preá (*Emilia fosbergii*). Na rizosfera, a bactéria também foi detectada em nabiça (*Raphanus raphanistrum*), caruru-de-mancha (*Amaranthus viridis*), leiteiro (*Euphorbia heterophylla*), camapu-roxo (*Nicandra physalodes*), camapu (*Physalis angulata*) e beldroega (*Portulaca oleracea*), reforçando o papel das plantas espontâneas na manutenção do inóculo bacteriano em ambientes agrícolas.

Os resultados obtidos no presente estudo corroboram parcialmente os achados de Silva *et al.* (2017, 2021), especialmente no que diz respeito à sobrevivência de *Xanthomonas* no filoplano. Assim como observado por esses autores em espécies como trigo (*Triticum aestivum*) e pimentão (*Capsicum annuum*), Xep também foi recuperada por períodos prolongados na superfície foliar dessas e de outras culturas, como aveia preta (*Avena strigosa*). No entanto, na rizosfera, a sobrevivência da bactéria foi mais restrita no presente estudo, limitada a curtos períodos em praticamente todas as espécies avaliadas, o que difere de Silva *et al.* (2021), que reportaram persistência de *X. campestris* pv. *campestris* na rizosfera de várias culturas e plantas daninhas. Essas diferenças podem estar associadas à variabilidade entre patótipos, às condições experimentais ou às interações específicas entre planta e bactéria.

Embora o presente estudo não tenha ocorrido relações estatísticas diretas entre variáveis abióticas e os valores de AAC, é importante considerar que fatores como temperatura, umidade relativa e teor de água no solo influenciam indiretamente a dinâmica populacional de bactérias epifíticas e rizosféricas (HIRANO; UPPER, 2000; LINDOW; BRANDL, 2003).

A diferença de umidade do solo entre espécies, mesmo sob irrigação controlada, pode estar relacionada à morfologia radicular e à capacidade de extração de água de cada cultura, fatores que modulam a microecologia da rizosfera e a composição de sua microbiota (LUGTENBERG *et al.*, 2001; BAIS *et al.*, 2006). Esse aspecto pode explicar as pequenas diferenças observadas na sobrevivência de Xep entre algumas espécies na rizosfera, como alface e abóbora, ainda que em níveis baixos.

Considerando a importância da rotação de culturas como estratégia complementar no manejo da mancha bacteriana, os dados obtidos neste estudo fornecem informações relevantes. Embora fitobactérias do gênero *Xanthomonas* sejam capazes de sobreviver em diferentes nichos, os resultados demonstraram que culturas como couve (*Brassica oleracea*), rúcula (*Eruca sativa*), milho (*Zea mays*), trigo (*Triticum aestivum*), sorgo (*Sorghum bicolor*), feijão (*Phaseolus vulgaris*), não houve a prevalência de populações detectáveis de Xep no filoplano ou rizosfera por períodos prolongados. Esses dados indicaram que tais espécies, além de não apresentarem sintomas, tampouco favoreceram a sobrevivência da bactéria, o que as torna opções viáveis em programas de rotação, com potencial para contribuir na redução da pressão de inóculo em áreas produtoras de tomateiro.

6. CONCLUSÃO

A sobrevivência de Xep ocorreu preferencialmente no filoplano, sendo a rizosfera um nicho secundário e de baixo risco. A principal implicação epidemiológica deste estudo reside na capacidade da bactéria de colonizar de forma assintomática culturas comerciais como a aveia preta e o pimentão, ao contrário do tomateiro, que manifestou os sintomas da doença. Essas culturas atuaram como reservatórios assintomáticos da bactéria, possibilitando que o inóculo permaneça viável no campo entre os ciclos de cultivo do tomate e aumentando a pressão inicial do inóculo. A baixa sobrevivência de Xep em outras culturas, somada à sua baixa sobrevivência na rizosfera, reforça que o manejo deve se concentrar na utilização de culturas não hospedeiras da bactéria.

Diante do exposto, os resultados deste estudo fornecem subsídios para a adoção de estratégias de manejo cultural mais eficazes. Recomenda-se que a rotação de culturas em áreas com histórico de mancha bacteriana priorize espécies que demonstraram baixa capacidade de sobrevivência da bactéria, como milho, feijão, trigo, couve e rúcula. Por outro lado, o cultivo de aveia preta e pimentão em sucessão ou consórcio com o tomateiro deve ser evitado, dado seu potencial como reservatórios assintomáticos. A implementação dessas práticas de rotação planejada, com base na ecologia do patógeno, é fundamental para reduzir o inóculo inicial no campo e, conseqüentemente, o impacto da mancha bacteriana na produção de tomate.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARENGA, M. A. R.; BRAGA, R; Origem, Botânica, Descrição da planta e Valor nutricional. In: ALVARENGA, M. A. R. (org.). **Tomate: produção em campo, casa de vegetação e hidroponia**. 3. ed. Lavras: Editora UFLA, 2022. cap. 1, p. 11–28.

ALVES, E. *et al.* Doenças fúngicas, bacterianas e causadas por nematóides. In: ALVARENGA, M. A. R. (org.). **Tomate: produção em campo, casa de vegetação e hidroponia**. 3. ed. Lavras: Editora UFLA, 2022. cap. 11, p. 315–380.

ARAUJO, E. R. *et al.* *Xanthomonas perforans* and *X. gardneri* associated with bacterial leaf spot on weeds in Brazilian tomato fields. **European Journal of Plant Pathology**, v. 143, n. 3, p. 543–548, 2015. doi: 10.1007/s10658-015-0705-9.

BAIS, H. P. *et al.* The role of root exudates in rhizosphere interactions with plants and other organisms. **Annual Review of Plant Biology**, Palo Alto, v. 57, p. 233–266, 2006.

BASHAN, Y.; DIAB, S.; OKON, Y. Survival of *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria* in pepper seeds and roots in symptomless and dry leaves in non-host plants and in the soil. **Plant and Soil**, v. 68, p. 161-170, 1982. doi: 0032-079X/82/0642-0161501.50.

BEDENDO, I.P.; BELASQUE, J. Bactérias fitopatogênicas. In: AMORIM, L.; REZENDE, J.A.M.; BERGAMIN FILHO, A.; **Manual de fitopatologia, Princípios e Conceitos**. Ouro Fino: Agronômica Ceres, 2019. p. 143-160.

BRENCIC, A.; WINANS, S. C. Detection of and response to signals involved in host-microbe interactions by plant-associated bacteria. **Microbiology and Molecular Biology Reviews**, Washington, v. 69, n. 1, p. 155-194, 2005.

CLEMENTE, F.M.V.T.; BOITEUX, L.S. **Produção de tomate para processamento industrial**. Brasília, DF: Embrapa, 2012.

EPPO – European and Mediterranean Plant Protection Organization. EPPO Global Database. Disponível em: <https://gd.eppo.int/>. Acesso em: 03 maio 2025.

FAOSTAT. FAOSTAT crop statistics. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QV>. Acesso em: 25 mar. 2025.

FILGUEIRA, F.A.R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2008. 421 p.

FILGUEIRA, F.A.R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2012. 421 p.

FIERER, N.; LENNON, J. T. The generation and maintenance of diversity in microbial communities. **American Journal of Botany**, v. 98, n. 3, p. 439–448, 1 mar. 2011.

GONCALVES, R.M. *et al.* Alternative hosts of *Curtobacterium flaccumfaciens* pv. *flaccumfaciens*, causal agent of bean bacterial wilt. **European Journal of Plant Pathology**, v. 148, n. 2, p. 357-365, 2017. doi: 10.1007/s10658-016-1094-4.

GOTO, M. **Fundamentals of bacterial plant pathology**. San Diego: Academic, 1990. 342 p.

HARTMAN, G. *et al.* **Compendium of soybean diseases and pests**, Fifth Edition, 28 out. 2016.

HIRANO, S. S.; UPPER, C. D. Bacteria in the leaf ecosystem with emphasis on *Pseudomonas syringae*: a pathogen, ice nucleus, and epiphyte. **Microbiology and Molecular Biology Reviews**, Washington, v. 64, n. 3, p. 624-653, 2000.

IBGE. Produção Agropecuária Municipal: Tomate. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/tomate/br>. Acesso em: 30 jan. 2025.

INOUE-NAGATA, A.K. *et al.* Doenças do tomateiro. In: AMORIM, L.; REZENDE, J.A.M.; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L.E.A. (Orgs.) **Manual de Fitopatologia: doenças das plantas cultivadas**. Ouro Fino: Agronômica Ceres, 2016. p. 697-735.

JONES, J.B. *et al.* **Compendium of tomato diseases**. St. Paul, Minnesota: American Phytopathological Society, 1991.

JONES, J.B. *et al.* Survival of *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria* in Florida on tomato crop residue, weeds, seeds, and volunteer tomato plants. **Phytopathology**, v. 76, n. 4, p. 430-434, 1986. doi: 10.1094/Phyto-76-430.

KARAVINA, C. *et al.* Epiphytic Survival of *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli* (EFSM). **Journal of Animal and Plant Sciences**, Nairobi, v. 9, n. 2, p. 1161-1168, 2011.

KOENRAADT, H. *et al.* Development of specific primers for the molecular detection of bacterial spot of pepper and tomato. In: SAYGILI, H. *et al.* (eds.) **Proceedings of the II International Symposium on Tomato Diseases. ISHS Acta Horticulturae**, v. 808, p. 99-102, 2009.

LEBEN, C. How plant-pathogenic bacteria survive. **Plant Disease**, Saint Paul, v. 65, n. 8, p. 633-637, 1981.

LEVEAU, J. H. J. Microbial communities in the phyllosphere. *In*: ROBERTS, J. A. (Ed.). **Annual Plant Reviews book series**. Chichester: John Wiley & Sons, 2018. cap. 11, p. 334-367.

LINDOW, S. E.; BRANDL, M. T. Microbiology of the phyllosphere. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v. 69, n. 4, p. 1875-1883, 2003.

LOPES, C.A.; AVILA, A.C. **Doenças do Tomateiro**. 2. ed. Brasília, DF: Athalia Gráfica e Editora, 2005.

LUGTENBERG, B. J. J.; DEKKERS, L.; BLOEMBERG, G. V. Molecular determinants of rhizosphere colonization by *Pseudomonas*. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v. 39, n. 1, p. 461-490, 2001.

MARK, G. L. *et al.* Transcriptome profiling of bacterial responses to root exudates identifies genes involved in microbe-plant interactions. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, v. 102, n. 48, p. 17454-17459, 2005.

MARINGONI, A. C. **Técnicas em Fitobacteriologia**. Botucatu: Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais, 2010. 70p.

MENZIES, J. D. Survival of microbial plant pathogens in soil. **The Botanical Review**, New York, v. 29, n. 1, p. 79-122, 1963.

NASCIMENTO, D.M. *et al.* Survival of *Curtobacterium flaccumfaciens* pv. *flaccumfaciens* in the phyllosphere and rhizosphere of crops. **European Journal of Plant Pathology**, v. 160, n. 1, p. 161–172, 2021.

O'BRIEN, R. D.; LINDOW, S. E. Effect of plant species and environmental conditions on epiphytic population sizes of *Pseudomonas syringae* and other bacteria. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 79, n. 5, p. 619-627, 1989.

PETERSON, G.H. Survival of *Xanthomonas vesicatoria* in soil and diseased tomato plants. **Phytopathology**, v. 53, p. 765-767, 1963.

QUEZADO-DUVAL, A.M.; LOPES, C.A. **Produção de tomate para processamento industrial**. Brasília, DF: Embrapa, 2012.

ROMEIRO, R.S. Sobrevivência de bactérias fitopatogênicas e suas implicações. In: _____. **Bactérias Fitopatogênicas**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2011. cap. 12, p. 257-292.

ROUSK, J. *et al.* Soil bacterial and fungal communities across a pH gradient in an arable soil. **The ISME Journal**, v. 4, n. 10, p. 1340–1351, 2010.

RUDOLPH, K. Infection of the plant by *Xanthomonas*. In: SWINGS J. G.; CIVEROLO, E.L. (Eds.). **Xanthomonas**. London: Chapman & Hall, 1993. cap. 4, p. 193-264.

SCHAAD, N.W.; JONES, J.B.; CHUN, W. (Eds.). **Laboratory guide for identification of plant pathogenic bacteria**. 3. ed. Saint Paul: APS PRESS, 2001. 373 p.

SCHUSTER, M.L.; COYNE, D.P. Survival mechanisms of phytopathogenic bacteria. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v. 12, n. 1, p. 199-221, 1974.

SILVA, J.C. *et al.* Survival of *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* in the phyllosphere and rhizosphere of weeds. **Plant Pathology**, v. 66, n. 9, p. 1517-1526, 2017. doi: 10.1111/ppa.12682.

SILVA, J. C. da *et al.* Survival of *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* in the phyllosphere and rhizosphere of crops. **Plant and Soil**, v. 462, p. 389–403, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-021-04832-0>.

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

TOUSSAINT, V.; BENOIT, D. L.; CARISSE, O. Potential of weed species to serve as a reservoir for *Xanthomonas campestris* pv. *vitians*, the causal agent of bacterial leaf spot of lettuce. **Crop Protection**, Amsterdam, v. 41, p. 64-70, 2012.

VACHER, C. *et al.* The phyllosphere: microbial jungle at the plant-climate interface. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, Palo Alto, v. 47, n. 1, p. 1-24, 2016.

VIEIRA, A. F.; MOURA, M.; SILVA, L. Soil metagenomics in grasslands and forests – A review and bibliometric analysis. **Applied Soil Ecology**, v. 167, p. 104047, 1 nov. 2021.

VORHOLT, J. A. Microbial life in the phyllosphere. **Nature Reviews Microbiology**, London, v. 10, n. 12, p. 828-840, 2012.

WU, K. *et al.* Root exudates from two tobacco cultivars affect colonization of *Ralstonia solanacearum* and the disease index. **European Journal of Plant Pathology**, Dordrecht, v. 141, n. 4, p. 667-677, 2015.