

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS PARA SUSTENTABILIDADE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PLANEJAMENTO E USO DE
RECURSOS RENOVÁVEIS

LUIZ OTÁVIO SANTI RAMOS

**INTEGRAÇÃO DE *BACILLUS SUBTILIS* E COBRE NO
MANEJO DO CANCRO CÍTRICO**

SOROCABA - SP

2025

LUIZ OTÁVIO SANTI RAMOS

**INTEGRAÇÃO DE *BACILLUS SUBTILIS* E COBRE NO
MANEJO DO CANCRO CÍTRICO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós- Graduação em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis para obtenção do título de Mestre em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis

Orientador: Prof. Dr. Waldir Cintra de Jesus Junior

Coorientador: Prof. Dr. Antônio de Goés

SOROCABA - SP

2025

Ramos, Luiz Otávio Santi

Integração de bacillus subtilis e cobre no manejo do cancro cítrico / Luiz Otávio Santi Ramos -- 2025.
47f.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de São Carlos, campus Sorocaba, Sorocaba
Orientador (a): Waldir Cintra de Jesus Junior
Banca Examinadora: João Paulo Agápto, Simone de Paiva Caetano Bucker Moraes
Bibliografia

1. Manejo Integrado. 2. Sustentabilidade. 3. Controle Biológico . I. Ramos, Luiz Otávio Santi. II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática
(SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Maria Aparecida de Lourdes Mariano -
CRB/8 6979



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências e Tecnologias Para a Sustentabilidade
Programa de Pós-Graduação em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis

Folha de Aprovação

Defesa de Dissertação de Mestrado do candidato Luiz Otávio Santi Ramos, realizada em 19/12/2025.

Comissão Julgadora:

Prof. Dr. Waldir Cintra de Jesus Junior (UFSCar)

Prof. Dr. João Paulo Agápto (UFSCar)

Profa. Dra. Simone de Paiva Caetano Bucker Moraes (UFES)

O Relatório de Defesa assinado pelos membros da Comissão Julgadora encontra-se arquivado junto ao Programa de Pós-Graduação em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis.

Dedico este trabalho a todos que, com inspiração e apoio constantes, tornaram possível cada passo desta jornada enriquecedora.

AGRADECIMENTO

Gostaria de expressar minha profunda e sincera gratidão à minha família, pelo apoio incondicional, amor, compreensão e incentivo ao longo de toda a minha trajetória. Sua presença constante foi fundamental para minha perseverança e motivação, especialmente nos momentos mais desafiadores.

Estendo meus agradecimentos aos meus orientadores, Dr. Waldir Cintra de Jesus Junior e Dr. Antônio de Goés, pela orientação excepcional, pela sabedoria compartilhada e pelo apoio contínuo durante o desenvolvimento deste projeto. Seus conhecimentos profundos e contribuições perspicazes foram essenciais tanto para a construção deste trabalho quanto para o meu crescimento acadêmico e profissional.

RESUMO

RAMOS, Luiz Otávio. Integração de *Bacillus subtilis* e cobre no manejo do cancro cítrico. 2025. Dissertação (Mestrado em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis) – Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba- SP, 2024. Orientador: Prof. Dr. Waldir Cintra de Jesus Junior. Coorientador: Prof. Dr. Antônio de Goés.

A citricultura brasileira, líder mundial na produção de laranja, enfrenta um avanço acelerado do cancro cítrico, atualmente presente em 32,71% dos talhões e ultrapassando 53 milhões de plantas infectadas. O controle dessa doença é realizado exclusivamente com compostos à base de cobre, o que gera uma dependência elevada e resulta em aplicações frequentes que aumentam o risco de fitotoxicidade, impactos ambientais e redução da sustentabilidade dos pomares. Nesse contexto, surge uma lacuna científica relevante: identificar alternativas que mantenham a eficiência do controle, mas diminuam o uso intensivo de cobre, como o emprego de produtos biológicos à base de *Bacillus subtilis*. Este estudo quantitativo avaliou a eficácia do manejo químico (cobre), biológico (*Bacillus subtilis*) e integrado (cobre intercalado com *Bacillus subtilis*) em três cultivares comerciais (Hamlin, Pera e Valência), ao longo de três safras consecutivas, em pomares comerciais localizados nos municípios de Itatinga e Avaré, São Paulo. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, composto por quatro tratamentos e uma repetição por tratamento, com avaliações realizadas em 30 plantas por bloco. A severidade da doença foi avaliada mensalmente com a escala diagramática de Belasque Júnior et al. (2005), e o progresso epidêmico quantificado pela Área Abaixo da Curva de Progresso da Severidade (AACPS). A produtividade foi obtida pela colheita individual das plantas, e os dados foram analisados no software RStudio, utilizando ANOVA e teste de Tukey a 5%. Os resultados indicaram que o cobre foi o tratamento mais eficiente, com severidade variando de 0 a 5% e AACPS inferior a 550 em todas as safras e cultivares. O manejo intercalado apresentou controle equivalente ao cobre quinzenal, mesmo reduzindo pela metade o número de aplicações cúpricas, demonstrando potencial para diminuir a dependência desse insumo. O *Bacillus subtilis* isolado mostrou baixa eficiência, não diferindo da testemunha em grande parte das avaliações. As cultivares apresentaram diferentes níveis de suscetibilidade, com Hamlin sendo a mais afetada e Valência a mais tolerante. A precipitação exerceu influência direta no avanço da doença, intensificando a severidade e reduzindo a produtividade nos anos mais chuvosos. Conclui-

se que o cobre permanece como a estratégia mais eficiente no controle do cancro cítrico, mas o manejo intercalado representa uma alternativa viável para reduzir seu uso, especialmente em regiões com alta pressão de inóculo. Já o *Bacillus subtilis* isolado apresentou desempenho limitado, reforçando a necessidade de avanços no desenvolvimento de alternativas sustentáveis ao controle exclusivamente cúprico.

Palavras-chave: *Bacillus subtilis*, Controle biológico, Manejo integrado, Cancro cítrico

ABSTRACT

RAMOS, Luiz Otávio. Integration of *Bacillus subtilis* and copper in citrus canker management. 2025. Master's Dissertation (Graduate Program in Planning and Use of Renewable Resources) – Federal University of São Carlos, Sorocaba, SP, 2024. Advisor: Prof. Dr. Waldir Cintra de Jesus Junior. Co-advisor: Prof. Dr. Antônio de Goés.

Brazilian citrus production, which leads the global orange market, is currently threatened by the accelerated spread of citrus canker, now present in 32.71% of orchard blocks and affecting more than 53 million trees. Control of the disease relies exclusively on copper-based compounds, resulting in excessive dependence and frequent applications that increase the risks of phytotoxicity, environmental contamination, and reduced sustainability of commercial orchards. This scenario exposes an urgent scientific gap: identifying alternative strategies capable of maintaining effective disease control while reducing the intensive use of copper, such as biological products formulated with *Bacillus subtilis*. This quantitative study evaluated the effectiveness of chemical management (copper), biological management (*Bacillus subtilis*), and integrated management (copper alternated with *Bacillus subtilis*) in three commercial sweet orange cultivars (Hamlin, Pera, and Valencia) over three consecutive seasons, conducted in commercial orchards located in the municipalities of Itatinga and Avaré, São Paulo, Brazil. The experiment followed a randomized block design with four treatments and one replication per treatment, assessing 30 plants per block. Disease severity was evaluated monthly using the diagrammatic scale proposed by Belasque Júnior et al. (2005), and epidemic progress was quantified using the Area Under the Disease Severity Progress Curve (AUDSPC). Productivity was determined by harvesting each evaluated plant, and all data were analyzed in RStudio using ANOVA and Tukey's test at a 5% significance level. Results showed that copper was the most effective treatment, with severity ranging from 0 to 5% and AUDSPC values below 550 across all seasons and cultivars. Integrated management achieved control equivalent to biweekly copper applications while reducing the number of copper sprays by half, demonstrating promising potential to decrease dependency on this input. In contrast, *Bacillus subtilis* alone showed low efficacy, not differing from the untreated control in most evaluations. The cultivars displayed different susceptibility levels, with Hamlin being the most affected and Valencia the most tolerant. Rainfall had a strong influence on disease development, intensifying severity and reducing

productivity in wetter years. In conclusion, copper remains the most effective strategy for controlling citrus canker; however, integrated management represents a viable alternative for reducing copper use, particularly in regions with high inoculum pressure. *Bacillus subtilis* alone showed limited performance, reinforcing the need for advances in sustainable alternatives to the current exclusively copper-based control approach.

Keywords: *Bacillus subtilis*, Biological control, Integrated management, Citrus canker.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Sintomas de cancro cítrico na forma de lesões em folha, ramo e fruto de citros	17
Figura 2 - Região Geográfica de Avaré	22
Figura 3 - Disposição dos campos experimentais	24
Figura 4 - Exemplo da divisão da planta para avaliação	25
Figura 5 - Escalas diagramáticas para avaliação da severidade (%) de Cancro Cítrico (<i>Xanthomonas citri subsp. citri</i>) em folhas para lesões pequenas (A), médias (B), grandes (C) e associadas com o ataque da larva minadora dos citros (D).	26
Figura 6 - Gráficos de Severidades da variedade Hamlin em Avaré e Itatinga nas três safras avaliadas	29
Figura 7 - Gráficos de Severidades da variedade Pera em Avaré e Itatinga nas três safras avaliadas	30
Figura 8 - Gráficos de Severidades da variedade Valência em Avaré e Itatinga nas três safras avaliadas	31
Figura 9 - Gráficos de AACPS da variedade Hamlin em Avaré e Itatinga nas três safras avaliadas	32
Figura 10 - Gráficos de AACPS da variedade Pera em Avaré e Itatinga nas três safras avaliadas	33
Figura 11 - Gráficos de AACPS da variedade Valência em Avaré e Itatinga nas três safras avaliadas	34
Figura 12 - Gráficos de Produtividade da variedade Hamlin em Avaré e Itatinga nas três safras avaliadas	36
Figura 13 - Gráficos de Produtividade da variedade Pera em Avaré e Itatinga nas três safras avaliadas	37
Figura 14 - Gráficos de Produtividade da variedade Pera em Avaré e Itatinga nas três safras avaliadas	38
Figura 15 - Histórico mm/chuvas nas safras avaliadas na região de Itatinga.....	40
Figura 16 - Histórico mm/chuvas nas safras avaliadas na região de Avaré.....	40

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1 CULTURA DO CITROS	15
2.2.1 Histórico e Epidemiologia da doença	16
2.2.2 Manejo do cancro cítrico	17
2.2.3 Controle Biológico	19
3 OBJETIVO.....	21
3.1 OBJETIVO GERAL.....	21
3.2 OBJETIVO ESPECÍFICO.....	21
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	22
4.1 ÁREA DE ESTUDO	22
4.2 INSTALAÇÃO E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO.....	22
4.3 CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO.....	25
4.4 ANÁLISES ESTATÍSTICAS	27
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	28
5.1 EFICÁCIA DOS TRATAMENTOS NO CONTROLE DO CANCRO CÍTRICO... 28	
5.2 IMPACTO DOS TRATAMENTOS NA PRODUTIVIDADE.....	36
5.3 INFLUÊNCIA DA PRECIPITAÇÃO E DA FENOLOGIA.....	39
6 CONCLUSÃO.....	43
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44

1 INTRODUÇÃO

A citricultura brasileira é uma das mais importantes atividades do agronegócio nacional, movimentando cerca de 6,5 bilhões de dólares por ano, sendo 2 bilhões provenientes das exportações (NEVES, 2020). O Brasil lidera mundialmente a produção e comercialização de suco de laranja, respondendo por 37% da produção global de frutas cítricas e 75% das exportações de suco (FAO, 2024). A produção de cítricos ainda precisa ser melhorada para atender às demandas presentes e futuras em todo o mundo. Infelizmente, certas restrições ambientais e biológicas estão representando uma ameaça ao cultivo de cítricos.

Entre os principais desafios fitossanitários da cultura está o cancro cítrico asiático *Xanthomonas citri subsp. citri* (*Xcc*), uma doença altamente destrutiva que afeta plantas da família *Rutaceae*. Primeiro registro da doença no Brasil, foi registrado em 1957, e atualmente, o cancro cítrico está presente em cerca de 33% dos talhões do cinturão citrícola paulista, embora a proporção de plantas infectadas dentro desses talhões tenha diminuído para 19,3% (FUNDECITRUS, 2024). No Brasil, o controle do cancro cítrico foi, por muitos anos, sustentado principalmente por medidas de exclusão e pela erradicação obrigatória de plantas infectadas. Entretanto, uma mudança na legislação em 2016 passou a permitir que estados com incidência de cancro cítrico adotassem estratégias alternativas de manejo, flexibilizando o antigo modelo de erradicação compulsória, permitindo novas estratégias de controle que não seja exclusivamente a erradicação da planta doente e atualmente a principal prática é o uso de produtos a base de hidróxido de cobre, óxido cuproso e oxicloreto de cobre e implementação de cortinas quebra-vento (MARIN et al., 2019).

Entretanto, compostos de cobre apresentam riscos significativos ao meio ambiente, e a utilização prolongada desses bactericidas pode levar à formação de cepas de *Xcc* resistentes ao cobre. Cepas resistentes ao cobre foram identificadas pela primeira vez na Argentina em meados dos anos 1990, em viveiros de frutas cítricas submetidos regularmente a bactericidas à base de cobre (SILVA, 2021). Além do mais, o uso excessivo desses sprays gera preocupações ambientais e pode resultar em fitotoxicidade, estresse oxidativo e acúmulo de cobre em níveis tóxicos nos tecidos vegetais, afetando o metabolismo, a fotossíntese e o desenvolvimento das plantas (KUMAR et al., 2021).

Nesse contexto, o uso de agentes de controle biológico surge como uma

alternativa sustentável, destacando-se bactérias do gênero *Bacillus subtilis*, especialmente a linhagem QST 713, destaca-se por sua ação antimicrobiana, capacidade de colonizar tecidos vegetais e induzir resistência sistêmica. Além disso, atua por competição e forma biofilmes protetores na rizosfera (RICETO, 2021).

Diante disso, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a eficácia de um produto comercial contendo *Bacillus subtilis* da linhagem QST 713, isoladamente e em associação com cobre, no controle do cancro cítrico em duas cidades localizadas no Vale do Paranapanema (Avaré e Itatinga), que apresentam condições edafoclimáticas distintas, foram avaliadas três variedades de *Citrus sinensis* (Pera, Hamlin e Valencia) em cada localidade. O estudo busca identificar alternativas sustentáveis e eficientes para a citricultura brasileira.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA –

2.1 CULTURA DO CITROS

O Citros refere-se a um grande grupo de espécies vegetais da família Rutáceas (*Rutaceae*), pertencentes principalmente aos gêneros *Citrus*, *Poncirus* e *Fortunella*. Incluem frutas conhecidas como laranja, limão, tangerina, mexerica, pomelo e cidra. Entre as principais espécies cultivadas estão a laranjeira doce (*Citrus sinensis* L.Osbeck), com origem Ásia (Indochina, Sul da China) (SWINGLE et al., 1967). O cultivo comercial dessa espécie ocorre predominantemente por meio da enxertia, técnica que combina um porta-enxerto (sistema radicular) com uma copa (parte aérea produtiva) (RIBEIRO et al., 2005). Esse método é fundamental para garantir produtividade, longevidade e sanidade dos pomares, uma vez que plantas produzidas por semente apresentam grande variabilidade genética e são mais suscetíveis a doenças destrutivas, como a tristeza dos citros (*Citrus tristeza virus*) e a gomose causada por *Phytophthora spp.* (CUNHA et al., 2013).

As variedades de copa de *Citrus sinensis* no Brasil atendem a diferentes mercados e épocas de colheita. Valência e Natal são tardias e amplamente utilizadas pela indústria. Pêra, Rubi e Baininha destinam-se ao mercado de fruta fresca, enquanto Hamlin, Westin e Valência Americana são cultivares precoces voltadas ao processamento. Cultivares tradicionais como Folha Murcha, Lima, Sanguínea e Laranja da Terra possuem importância regional e características específicas (ANTOS et al., 2013).

A escolha de porta-enxertos é essencial para o desempenho do pomar, influenciando vigor, sanidade e adaptação ao solo. O Limão Cravo destaca-se pelo vigor, embora seja sensível ao *Huanglongbing* (HLB). Citromelos como o Swingle oferecem resistência à *Phytophthora spp.* e boa qualidade de frutos. O Limão Volkameriano é produtivo, porém reduz sólidos. Os citrandarins (Indio, San Diego, Riverside e BRS Bravo) apresentam maior tolerância ao HLB. Porta-enxertos tradicionais como Galego e Laranja da Terra, e os trifoliatas e seus híbridos, seguem relevantes por sua rusticidade e resistência a doenças de solo (SCHÄFER et al., 2001).

A citricultura representa um setor estratégico para a agricultura e economia global, especialmente em países como Brasil, China, Índia, México e Estados Unidos. O Brasil destaca-se como o maior produtor mundial de laranja para indústria, respondendo por mais de 70% do suco de laranja exportado globalmente (VIDAL, 2022). Na safra 2024/25, estimasse ser colhidas cerca de 315 milhões de caixas de 40,8 kg na região

citrícola de São Paulo e Triângulo/Sudoeste Mineiro, principal polo de produção do país (FUNDECITRUS, 2025).

Apesar dessa expressiva relevância econômica, a citricultura brasileira enfrenta crescentes desafios fitossanitários que comprometem sua produtividade e sustentabilidade. O *HLB* continua sendo a doença mais grave, atingindo em 2025 uma incidência média de 47,63% e severidade de 22,7%, afetando cerca de 99,6 milhões de árvores. O cancro cítrico também apresenta forte avanço, presente em 32,71% dos talhões, totalizando mais de 53 milhões de plantas infectadas. A tendência é de maiores perdas na safra 2025/2026 devido à expansão da doença e às condições climáticas favoráveis (FUNDECITRUS, 2025).

Além dessas, doenças como pinta preta, clorose variegada dos citros e leprose também causam prejuízos significativos, afetando a produção e a qualidade dos frutos (SILVA JÚNIOR, 2015). Esse cenário reforça a necessidade de um manejo fitossanitário rigoroso para garantir a sustentabilidade da citricultura.

2.2 CANCRO CITRICO

2.2.1 Histórico e Epidemiologia da doença

O cancro cítrico é uma doença de natureza bacteriana causada por *Xanthomonas citri subsp. citri* (*Xcc*). Trata-se de uma doença quarentenária de grande relevância econômica, sua primeira ocorrência no Brasil foi registrada em 1957 no estado de São Paulo (OLIVEIRA, 2008). Desde então, a doença se espalhou para os estados do Paraná, Santa Catarina, Rio Grande do Sul e São Paulo (NAMEKATA, 2002).

A bactéria *Xcc* é um fitopatógeno Gram-negativo, aeróbico e baciliforme que forma colônias amareladas e viscosas pela produção de polissacarídeos extracelulares, característica que favorece sua aderência e colonização dos tecidos. A disseminação ocorre principalmente por chuvas e ventos, que promovem o exsudamento e o transporte de células bacterianas para folhas e frutos, sendo ainda intensificada pela movimentação de mudas, máquinas e ferramentas contaminadas (BORGES, 2023).

A infecção se estabelece quando *Xcc* penetra por estômatos de folhas jovens ou por ferimentos. A introdução da larva-minadora-dos-citrus (*Phyllocnistis citrella*) ampliou drasticamente a suscetibilidade das plantas, pois as galerias formadas pelo inseto criam ferimentos profundos e persistentes que prolongam a janela de infecção e aumentam a produção de inóculo, resultando em epidemias mais intensas e de rápida expansão (BELASQUE JÚNIOR, 2005).

Após penetrar no tecido vegetal, a bactéria coloniza o espaço intercelular, multiplicando-se e degradando células. Os sintomas se manifestam em folhas, ramos e frutos, caracterizando-se por lesões circulares, salientes, de coloração amarronzada, com aspecto eruptivo e halo amarelo (OLIVEIRA et al., 2008). Em infestações severas, podem ocorrer desfolha, queda prematura de frutos e seca de ramos (NAQVI et al., 2022). Esses sinais típicos da doença podem ser observados na Figura 1, que ilustra de forma clara a presença das lesões em diferentes partes da planta, permitindo visualizar a progressão e a severidade dos danos causados pelo patógeno.

Figura 1 - Sintomas de cancro cítrico na forma de lesões em folha, ramo e fruto de citros



Fonte: Elaboração própria (2025).

A sobrevivência do patógeno ocorre em lesões remanescentes em folhas, frutos e ramos, que liberam novas células em períodos chuvosos, reiniciando o ciclo epidêmico (NAQVI et al., 2022).

2.2.2 Manejo do cancro cítrico

Historicamente, o Brasil adotou a erradicação compulsória de plantas infectadas como principal estratégia de manejo, prática que permitiu sucesso em países como Austrália e Nova Zelândia (OLIVEIRA, 2017). No entanto, no contexto brasileiro, a grande disseminação da praga, somada às condições climáticas favoráveis e ao elevado custo operacional, inviabilizou a manutenção de áreas totalmente livres (SANCHES et al., 2014). Ayres (2009) demonstrou que a erradicação era eficiente apenas em cenários de baixíssima incidência, enquanto em áreas com maior disseminação o manejo químico se tornou a alternativa economicamente viável “enquanto a erradicação custava mais de R\$ 2.000,00/ha, o controle químico com cobre permanecia ao redor de R\$ 500,00/há”.

Modelos econômicos apresentados por Sanches et al. (2014) reforçam essa perspectiva, indicando que o cancro, quando não manejado, compromete

significativamente a produtividade e a rentabilidade dos pomares. Apenas áreas com incidência inicial reduzida justificam o alto investimento na erradicação. Diante desse cenário, o Ministério da Agricultura instituiu as Instruções Normativas nº 37/2016 e nº 21/2018, que estabeleceram os conceitos de Área Livre da Praga (ALP) e Área sob Sistema de Mitigação de Risco (SMR) (OLIVEIRA, 2017). O SMR marcou uma mudança importante no manejo, permitindo a convivência controlada com a doença e reforçando o uso de tecnologias de mitigação, como bactericidas cúpricos, que em regiões de alta incidência apresentam relação benefício-custo superior a 1 em horizontes de médio e longo prazo (SANCHES et al., 2014).

Os compostos cúpricos atuam de forma preventiva e protetora, formando uma barreira na superfície dos tecidos vegetais que impede a penetração da bactéria, não apresentando ação curativa ou sistêmica. Assim, a eficiência do controle depende diretamente da proteção de tecidos jovens, especialmente folhas nos estádios v4 a v6 e frutos com até 50 mm de diâmetro, fases em que os órgãos vegetais são mais suscetíveis à infecção.

O mecanismo de ação do cobre baseia-se na liberação gradual de íons Cu^{2+} a partir de partículas de cobre fixo depositadas sobre a superfície vegetal. Essa liberação é intensificada pela presença de água e por exsudatos da planta, que reduzem o pH da superfície foliar, promovendo efeito bacteriostático por interferência em processos metabólicos essenciais das células bacterianas.

Para o manejo do cancro cítrico, recomenda-se o uso de formulações de cobre fixo ou de baixa solubilidade, como oxiclureto de cobre, hidróxido de cobre e óxido cuproso, que apresentam maior persistência e menor risco de fitotoxicidade em comparação aos sais cúpricos solúveis. As doses devem ser ajustadas ao volume da copa, sendo comuns concentrações entre 0,1% e 0,15% de cobre metálico, com intervalos de aplicação de 14 a 21 dias, variando conforme a intensidade das brotações e o regime de chuvas.

A eficácia do controle químico é ampliada quando integrada a práticas culturais, como o uso de quebra-ventos e o controle do minador-dos-citros (*Phyllocnistis citrella*), que reduzem ferimentos e a disseminação da bactéria. Ensaio demonstram que aplicações quinzenais com cerca de 32 mg m^{-3} de cobre metálico aumentam significativamente a eficiência do manejo (FERREIRA, 2017).

Entretanto, o uso intensivo de compostos cúpricos tem favorecido a seleção de isolados tolerantes (CuT) e resistentes (CuR) de *Xcc.*, associados aos genes copLAB e copABCD, frequentemente localizados em plasmídeos de fácil transferência (MARIN,

2019). Além de comprometer a eficiência do controle, esse cenário levanta preocupações ambientais relacionadas ao acúmulo de cobre no solo e aos impactos sobre a microbiota edáfica (MARIN, 2019). Nesse contexto, cresce o interesse por alternativas sustentáveis, como o uso de *Bacillus subtilis*, que atua por antibiose, competição e indução de resistência sistêmica, representando uma estratégia compatível com sistemas de produção de baixo impacto e um caminho promissor para reduzir a dependência de bactericidas cúpricos (LIMA et al., 2023).

2.2.3 Controle Biológico

A utilização de agentes biológicos no controle de doenças tem ganhado destaque. Dentre os microrganismos mais estudados, destacam-se as bactérias do gênero *Bacillus*, especialmente *Bacillus subtilis*. Estas bactérias apresentam características favoráveis como a formação de esporos e produção de metabólitos antimicrobianos (iturina, surfactina, fengicina) e enzimas hidrolíticas (ISLAM et al., 2019).

Nesse contexto, diferentes espécies do gênero *Bacillus* têm sido exploradas na agricultura, cada uma com características específicas que ampliam seu potencial de uso em sistemas de manejo integrado:

- *Bacillus subtilis*: principal espécie utilizada em formulações comerciais, inclusive em programas de manejo associados ao uso de compostos cúpricos (LIMA et al., 2023).
- *Bacillus amyloliquefaciens*: reconhecida pela elevada produção de lipopeptídeos com ação antimicrobiana (ZALILA-KOLSI et al., 2023).
- *Bacillus velezensis* e *Bacillus thuringiensis*: t amplamente estudadas por suas propriedades antagonistas e capacidade de induzir resistência em plantas (SANTOS et al., 2024).
- *Bacillus cereus* e *Bacillus pumilus*: menos comuns em formulações comerciais, mas ainda assim promissoras para o biocontrole (MELO et al., 2021).

Estudos recentes demonstram a eficácia dessas bactérias contra o cancro cítrico. A cepa *Bacillus velezensis* (Bv-25), isolada de citros, apresentou forte atividade antagonista contra *Xcc*, atribuída à produção de lipopeptídeos e poliquetídeos com expressão induzida por interação com o patógeno. A análise por RNA-seq revelou a regulação positiva de genes responsáveis pela biossíntese desses compostos (RABBEE et al., 2021)

Outra cepa promissora como *Bacillus amyloliquefaciens* (ZJLMBA1908), demonstrou efeito antibacteriano significativo quando testada em folhas de limoeiro. Os extratos fermentativos, que continham ácido palmítico, surfactina C15 e fitosfosfingosina, suprimiram completamente o crescimento de *Xcc*, mesmo após tratamento com proteases e sob condições adversas de pH e temperatura (KE et al., 2023).

Adicionalmente, isolados endofíticos como *Bacillus subtilis* (LE24) e *Bacillus amyloliquefaciens* (LE109) demonstraram controle total de sintomas em *Citrus aurantiifolia* em testes de inoculação artificial, utilizando tanto suspensões celulares quanto extratos brutos (DAUNGFU, 2019).

Diante dos desafios impostos pelo manejo convencional do cancro cítrico, especialmente frente à crescente inviabilidade econômica da erradicação e ao uso intensivo de produtos cúpricos, torna-se urgente o desenvolvimento de estratégias sustentáveis e eficazes de controle.

Nesse contexto, a investigação do potencial de bactérias do gênero *Bacillus*, como *Bacillus subtilis*, destaca-se por atuar na supressão da bactéria fitopatogênica através da produção de substâncias antibióticas e indução de resistência sistêmica na planta hospedeira (DAUNGFU, 2019). Estudos demonstraram que seu uso isolado ou em associação com cúpricos promove significativa redução na severidade da doença, com redução de até 87,8% das lesões (BHOWAL, 2022).

A avaliação do desempenho dessas bactérias em diferentes condições e cultivares cítricas, associada à compreensão dos mecanismos moleculares envolvidos na interação planta-microrganismo, pode contribuir significativamente para o aprimoramento do manejo integrado do cancro cítrico. Além disso, a identificação de agentes biológicos eficientes poderá subsidiar o desenvolvimento de bioformulados comerciais e fortalecer a citricultura frente às exigências ambientais e econômicas atuais, aproximando-se de práticas mais resilientes e sustentáveis (REIS et al., 2024).

3 OBJETIVO

3.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a eficácia de diferentes estratégias de manejo químico, biológico e integrado no controle do cancro cítrico em variedades comerciais de citros, ao longo de três safras consecutivas, considerando o progresso da doença, o impacto na produtividade e a influência das condições climáticas regionais.

3.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

- Quantificar a severidade do cancro cítrico ao longo das safras 2022/2023, 2023/2024 e 2024/2025 utilizando escalas diagramáticas padronizadas;
- Descrever a dinâmica temporal da epidemia por meio do cálculo da Área Abaixo da Curva de Progresso da Severidade (AACPS) para cada tratamento e safra;
- Comparar a eficiência das estratégias de manejo químico, biológico e integrado, avaliando os tratamentos com *Bacillus subtilis* QST 713, oxidocloreto de cobre e o manejo intercalado, em relação à ausência de controle;
- Determinar a produtividade das plantas submetidas a cada tratamento, expressa em caixas comerciais de 40,8 kg por planta, relacionando-a aos níveis de severidade e ao progresso da doença;
- Investigar a influência das condições pluviométricas regionais sobre a intensidade e evolução da doença, a fim de compreender a interação entre ambiente, manejo e epidemiologia;
- Identificar a estratégia de manejo mais eficiente e estável entre safras, considerando simultaneamente o controle fitossanitário, o desempenho produtivo e a sustentabilidade do sistema;

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 ÁREA DE ESTUDO

O experimento foi conduzido nas safras 2022/2023, 2023/2024 e 2024/2025 em três pomares comerciais localizado no município de Itatinga, SP (23°17'21.57" S; 48°40'25.71" W; 590 m de altitude) e três pomares em Avaré, SP (23° 14'22.64" S; 49°03'18.61" W; 640 m de altitude) na região administrativa de Avaré (Figura 2). As duas cidades apresentam um clima classificado como subtropical de altitude (Cwb), com inverno seco e verão ameno de acordo com a classificação de Köppen. Em Itatinga, a precipitação média anual é de 1.635 mm, com evapotranspiração de 1.084 mm (66%) e escoamento de 551 mm, com a temperatura média anual de 20 °C. Avaré, os dados da bacia Alto Pardo/Mogi indicam 1.436 mm de chuva por ano, com 514 mm de evapotranspiração (36%) e 1.018 mm de escoamento, com a temperatura média anual de 20,4 °C (INMET, 2025).

Figura 2 - Região Geográfica de Avaré



Fonte: Google imagens (2025)

4.2 INSTALAÇÃO E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO

Os experimentos foram conduzidos em pomares comerciais de laranja-doce (*Citrus sinensis*) das cultivares Hamlin, Pera e Valência, todas enxertadas sobre o porta-enxerto Citrumelo Swingle (*Citrus paradisi* × *Poncirus trifoliata*). As plantas possuíam 15 anos de idade e estavam estabelecidas no espaçamento de 6,5 × 2 m. As condições de manejo adotadas refletiram as práticas rotineiras utilizadas na citricultura comercial, incluindo preparo e correção da acidez e fertilidade do solo, adubações, controle de plantas daninhas e manejo fitossanitário voltado às principais pragas e doenças da cultura.

No município de Itatinga, os campos experimentais foram instalados em três áreas distintas. A área correspondente a cultivar Hamlin apresentava 6,87 hectares e 5.283 plantas. A área da cultivar Pera possuía 8,72 hectares e totalizava 6.711 plantas, enquanto o campo da cultivar Valência abrangia 9,06 hectares, com aproximadamente 6.958 plantas instaladas. No município de Avaré, a área experimental da cultivar Hamlin abrangia 6,47 hectares e continha 4.975 plantas; a área correspondente a cultivar Pera apresentava 9,97 hectares e 7.666 plantas; e o talhão da cultivar Valência possuía 8,61 hectares, com aproximadamente 6.621 plantas.

A estimativa do volume de copa das plantas foi realizada com base no método Tree-Row-Volume (TRV), conforme descrito por Silva Junior et al. (2014), obtendo-se um volume médio de 45 m³ por planta. Todas as áreas experimentais foram conduzidas sob condições de manejo padronizadas, garantindo uniformidade das práticas adotadas e assegurando condições adequadas para o desenvolvimento vegetativo e reprodutivo das plantas, bem como para a adequada execução e avaliação dos tratamentos experimentais propostos.

As áreas experimentais foram conduzidas em delineamento em blocos casualizados, constituído por quatro tratamentos e uma repetição por tratamento. Cada bloco foi composto por quatro linhas de plantio, sendo as duas linhas centrais destinadas às avaliações e as duas linhas externas utilizadas como bordaduras. Nas linhas de avaliação, foram selecionadas 15 plantas de forma aleatória, desconsiderando-se as cinco primeiras e as cinco últimas plantas de cada linha, a fim de minimizar efeitos de borda. Assim, cada bloco totalizou 30 plantas avaliadas, considerando o tratamento e sua respectiva repetição. Duas repetições

Os tratamentos testados foram definidos conforme descrição a seguir:

T1 – Controle, sem aplicação de produtos fitossanitários;

T2 – Aplicações quinzenais de *Bacillus subtilis* linhagem QST 713 (2 L ha⁻¹);

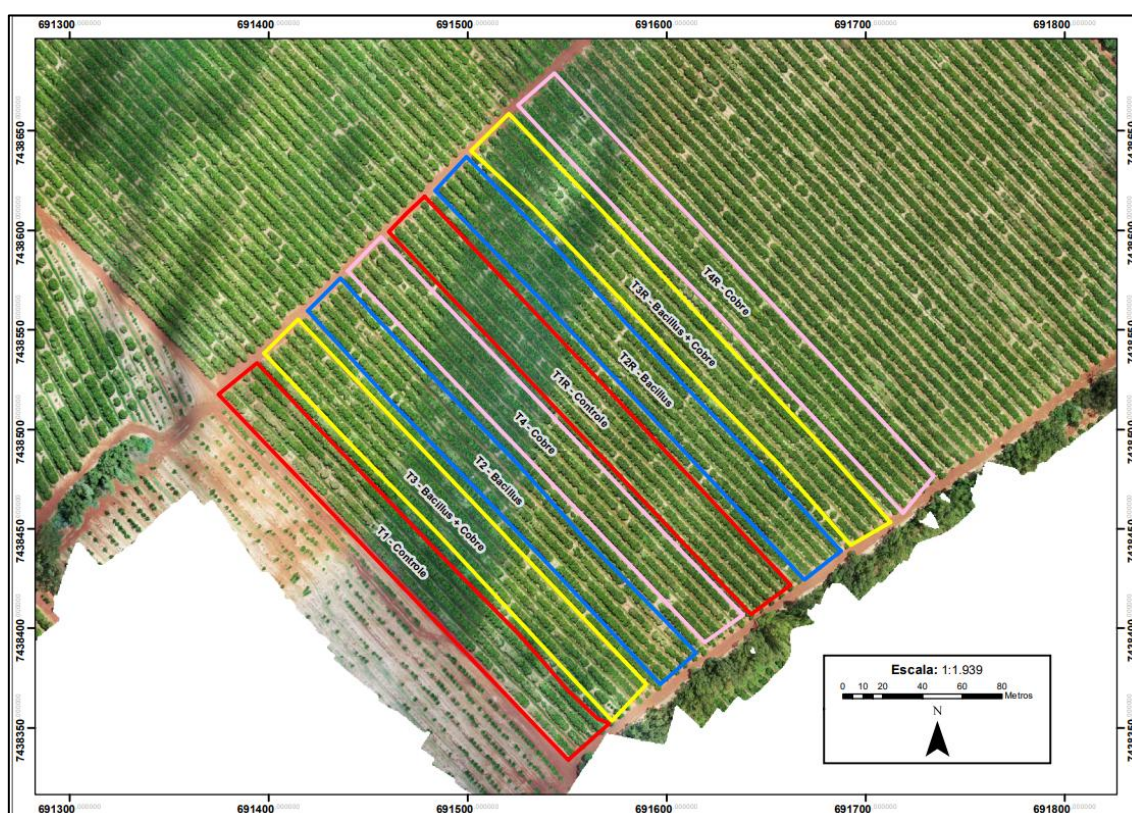
T3 – Aplicações quinzenais de oxidocloreto de cobre (2 kg ha⁻¹);

T4 – Aplicações quinzenais intercaladas entre *Bacillus subtilis* (2 L ha⁻¹) e oxidocloreto de cobre (2 kg ha⁻¹).

A Figura 3 apresenta a disposição espacial de um dos campos experimentais utilizados no estudo. Em todas as áreas, independentemente da variedade ou da cidade, adotou-se o mesmo arranjo experimental, distribuídos em blocos conforme ilustrado na imagem. A imagem exemplifica essa estrutura, mostrando especificamente a quadra correspondente à variedade Valência no município de Avaré. Cada bloco é delimitado e

identificado por cores distintas, evidenciando a organização das áreas de avaliação e bordadura dentro do pomar comercial. Essa representação visual demonstra o padrão adotado para assegurar uniformidade na condução e avaliação dos experimentos em todos os locais.

Figura 3 - Disposição dos campos experimentais



Fonte: Elaboração própria (2025).

As pulverizações foram conduzidas utilizando um turbo-pulverizador Arbus 4000, equipado com 27 bicos MGA 02 60°. Durante as aplicações, trabalhou-se com pressão constante de 120 psi, resultando em uma vazão de 1,2 L min⁻¹ por bico e velocidade média de 3,5 km h⁻¹. O volume aplicado por unidade de copa, definido conforme o método Tree Row Volume (TRV), foi de aproximadamente 90 mL m³⁻¹, o que correspondeu a 1857 L ha⁻¹.

O início das aplicações ocorreu logo após a queda de cerca de três quartos das pétalas da floração principal, fenômeno registrado no começo de setembro em cada ciclo produtivo. As pulverizações foram mantidas até abril, acompanhando o período crítico para a proteção fitossanitária e garantindo a continuidade dos tratamentos ao longo da safra.

4.3 CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO

A avaliação da severidade do cancro cítrico foi conduzida a cada 30 dias, com início no final de outubro e término em abril de cada safra, totalizando sete avaliações anuais. Em cada planta, foi posicionado um quadrado de 1 × 1 metro no terço médio da copa (faixa central), conforme ilustrado na Figura 4 (A). Dentro dessa área demarcada, selecionaram-se os ramos compreendidos pelo quadrante, conforme demonstrado na Figura 4 (B). A avaliação foi realizada em ambos os lados da planta, de modo a contemplar possíveis variações de incidência associadas à exposição diferencial ao ambiente.

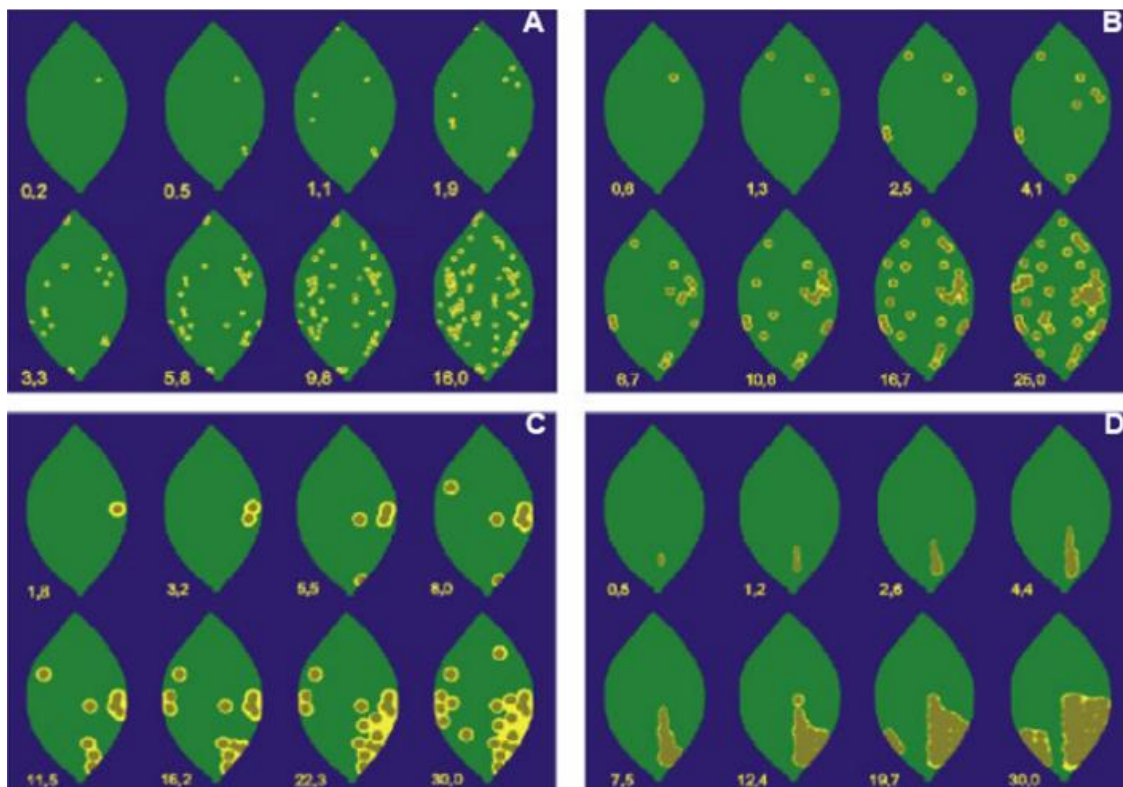
Figura 4 - Exemplo da divisão da planta para avaliação



Fonte: Elaboração própria (2025).

As avaliações seguiram a escala diagramática proposta por Belasque júnior et al. (2005), composta por oito níveis percentuais de área foliar lesionada demonstradas na figura 5, obedecendo à Lei de Weber-Fechner. Essa escala permite a quantificação visual da severidade de forma precisa e padronizada, considerando tanto lesões isoladas quanto aquelas associadas à injúria causada pela larva minadora-dos-citros (*Phyllocnistis citrella*).

Figura 5 - Escalas diagramáticas para avaliação da severidade (%) de Cancro Cítrico (*Xanthomonas citri* subsp. *citri*) em folhas para lesões pequenas (A), médias (B), grandes (C) e associadas com o ataque da larva minadora dos citros (D).



Fonte: BELASQUE JÚNIOR et al. (2005)

Os dados de severidade foram utilizados para o cálculo da Área Abaixo da Curva de Progresso da Severidade (AACPS), conforme metodologia descrita por Campbell e Madden (1990), utilizando o método do trapézio para integração temporal da doença. Essa variável expressa o progresso acumulado da severidade ao longo do tempo, sendo amplamente empregada em estudos epidemiológicos de doenças bacterianas em citros.

A colheita foi realizada ao final de cada safra, com a pesagem individual das sacolas de colheita das 30 plantas avaliadas por tratamento. A produtividade foi expressa em número de caixas de 40,8 kg por planta, permitindo a comparação direta entre os tratamentos quanto ao desempenho produtivo e ao impacto da doença.

Adicionalmente, a análise pluviométrica foi realizada com base nos registros históricos provenientes dos pluviômetros instalados nas duas regiões onde os experimentos foram conduzidos. Os dados de precipitação (mm) foram obtidos diretamente dos equipamentos presentes nas áreas comerciais e correspondem aos mesmos meses em que as avaliações de severidade foram executadas, permitindo correlacionar a progressão da doença com as condições hídricas ao longo do período analisado.

4.4 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os dados de severidade e produtividade foram submetidos à análise de variância (ANOVA), considerando-se o efeito de tratamento e safra como fatores fixos. Quando detectadas diferenças significativas, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p < 0,05$). Todas as análises estatísticas foram conduzidas no software RStudio Desktop Versão: 2025.09.2+418.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 EFICÁCIA DOS TRATAMENTOS NO CONTROLE DO CANCRO CÍTRICO

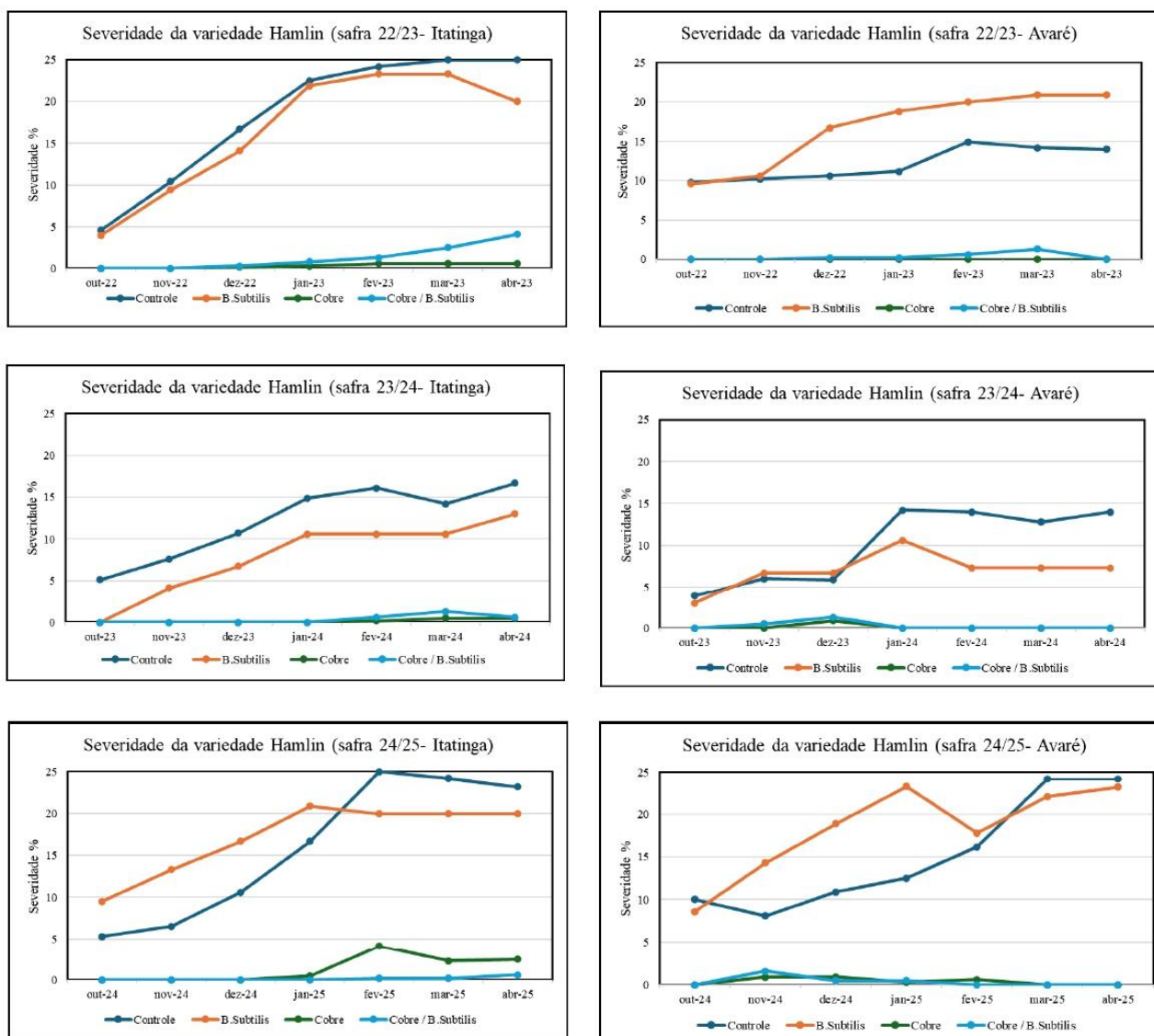
A eficácia no controle de uma doença pode ser avaliada por diferentes métodos, como medir sua severidade, avaliar a gravidade dos sintomas ou calcular a Área Abaixo da Curva de Progresso da Severidade (AACPS) (SOUZA, 2018). É importante ressaltar que a utilização da AACPS é fortemente recomendada na literatura (BAILEY et al., 1987; LEONARD et al., 1986), uma vez que esse indicador engloba todas as avaliações feitas ao longo do tempo e não é afetado por mudanças que possam modificar a taxa de progressão da doença.

Neste estudo, notou-se diferenças significativas ($P = 0,05$) entre os tratamentos em relação às variáveis analisadas, principalmente no que diz respeito à Severidade e AACPS. Ademais, a quantidade de agrupamentos de similaridade variou conforme cada variável analisada (Figura 6 a Figura 11).

As figuras apresentam os resultados de severidade e AACPS do cancro cítrico para as variedades em Avaré e Itatinga. Os gráficos de severidade são exibidos em formato de linha, organizados em três linhas (safra 2022/23, 2023/24 e 2024/25) e duas colunas, sendo Itatinga à esquerda e Avaré à direita. Cada gráfico mostra a evolução temporal da severidade (%) ao longo das datas avaliadas, contemplando os quatro tratamentos na mesma ordem: Controle, *B. subtilis*, Cobre e Cobre + *B. subtilis*.

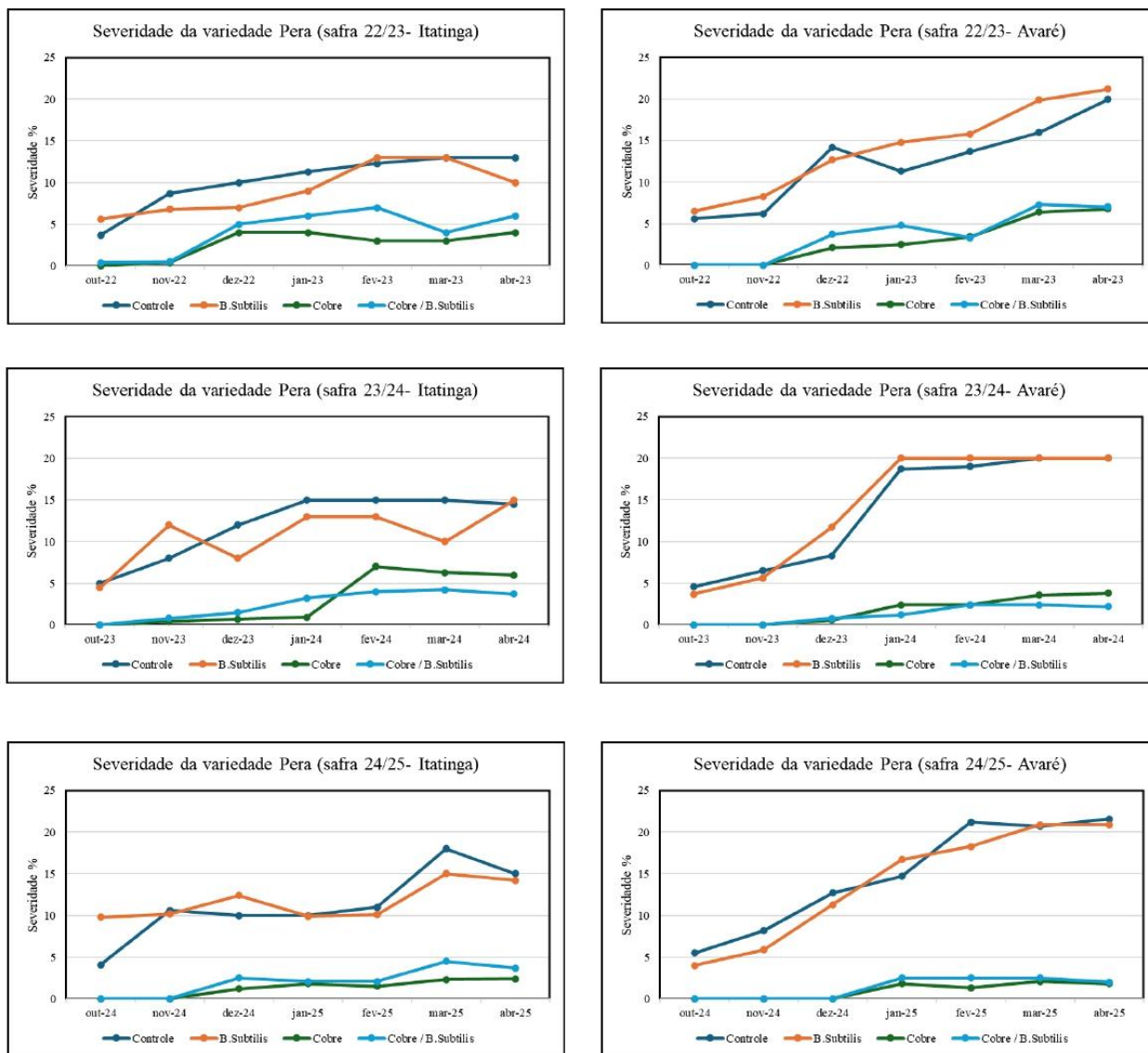
Os gráficos de AACPS seguem a mesma disposição espacial, porém em formato de colunas verticais, representando a área abaixo da curva de progresso da doença para cada tratamento e seguindo a ordem: *B. subtilis*, Cobre, Cobre + *B. subtilis* e Controle.

Figura 6 - Gráficos de Severidades da variedade Hamlin em Avaré e Itatinga nas três safras avaliadas



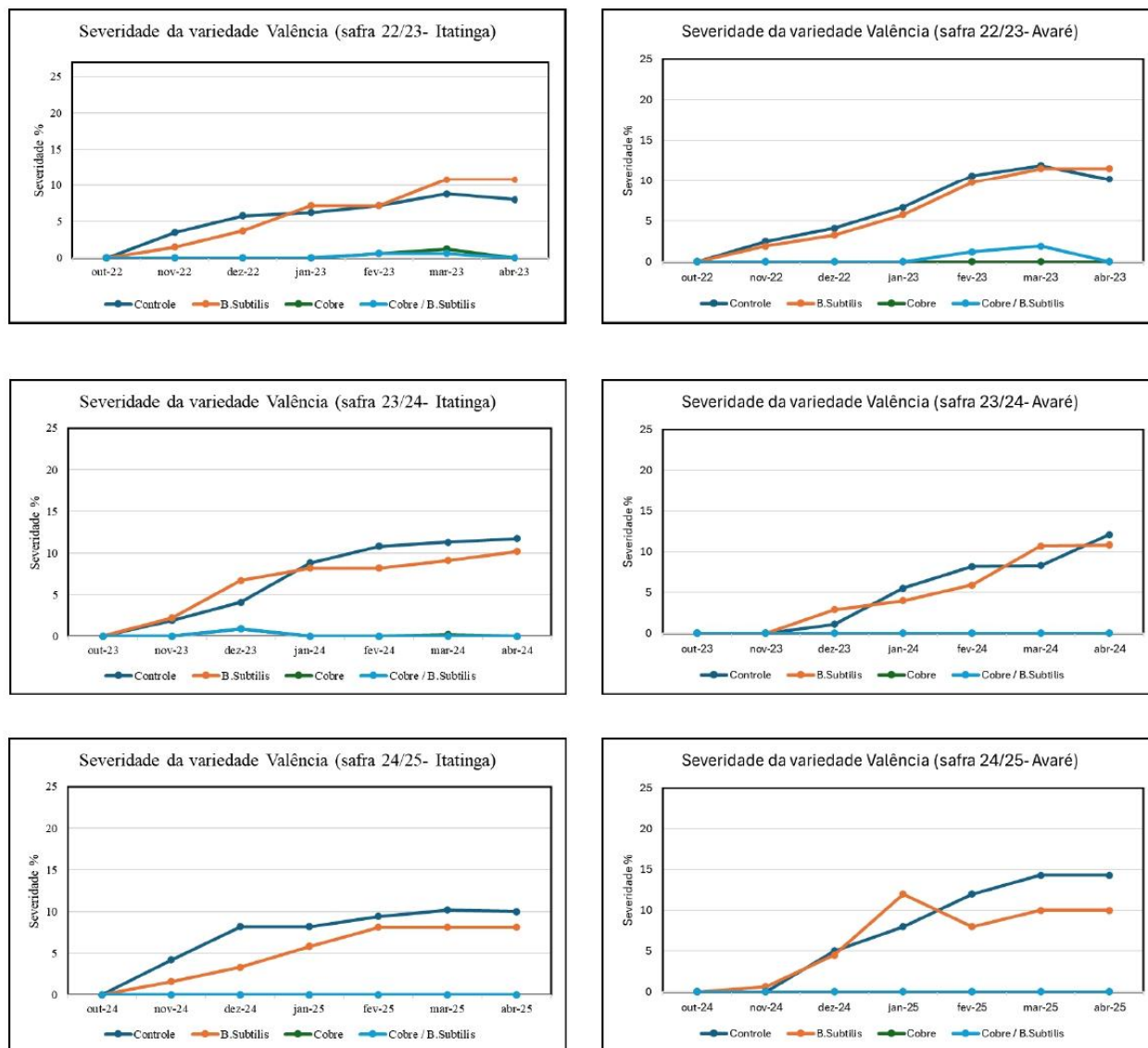
Fonte: Elaboração própria (2025).

Figura 7 - Gráficos de Severidades da variedade Pera em Avaré e Itatinga nas três safras avaliadas



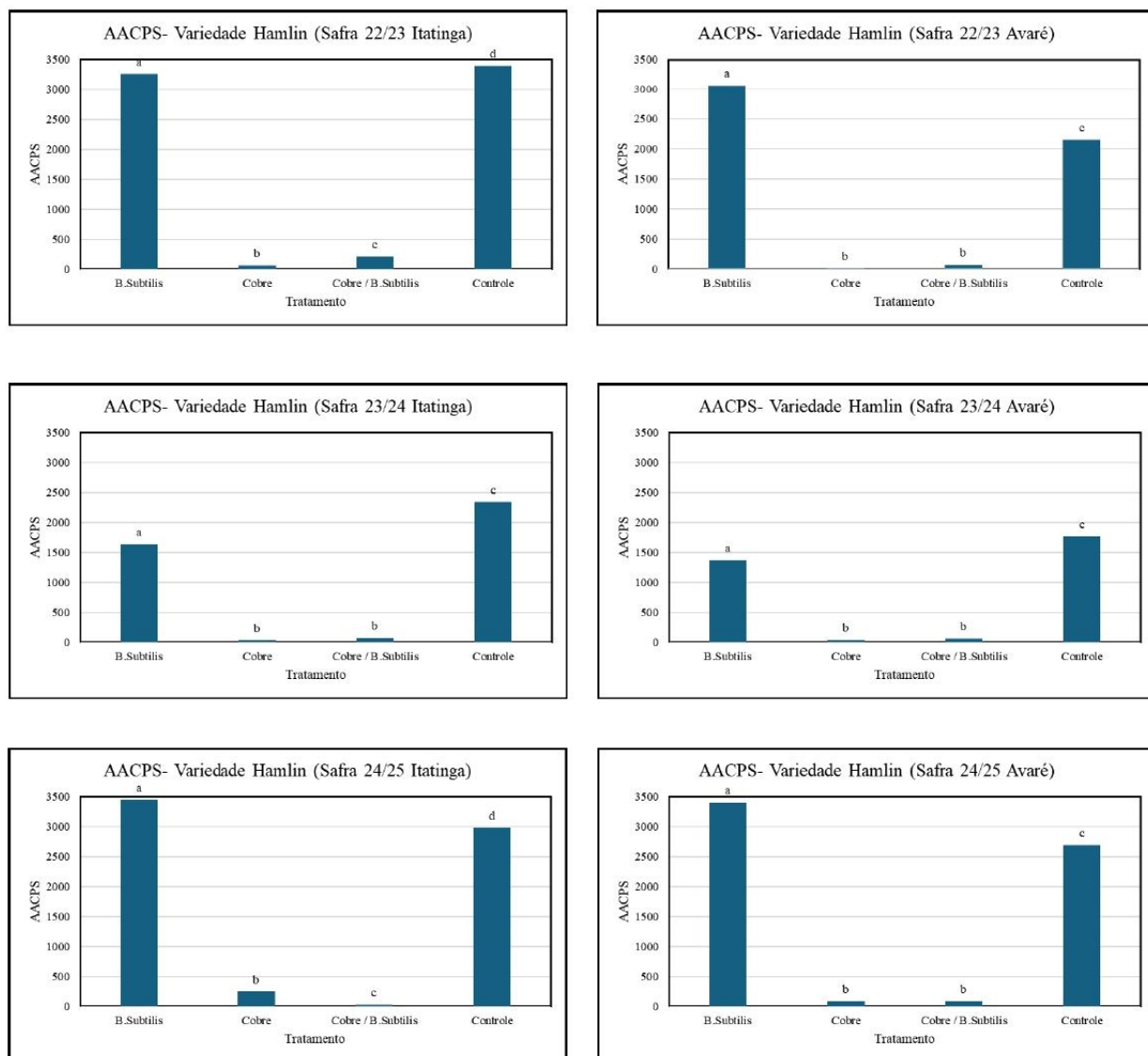
Fonte: Elaboração própria (2025).

Figura 8 - Gráficos de Severidades da variedade Valência em Avaré e Itatinga nas três safras avaliadas



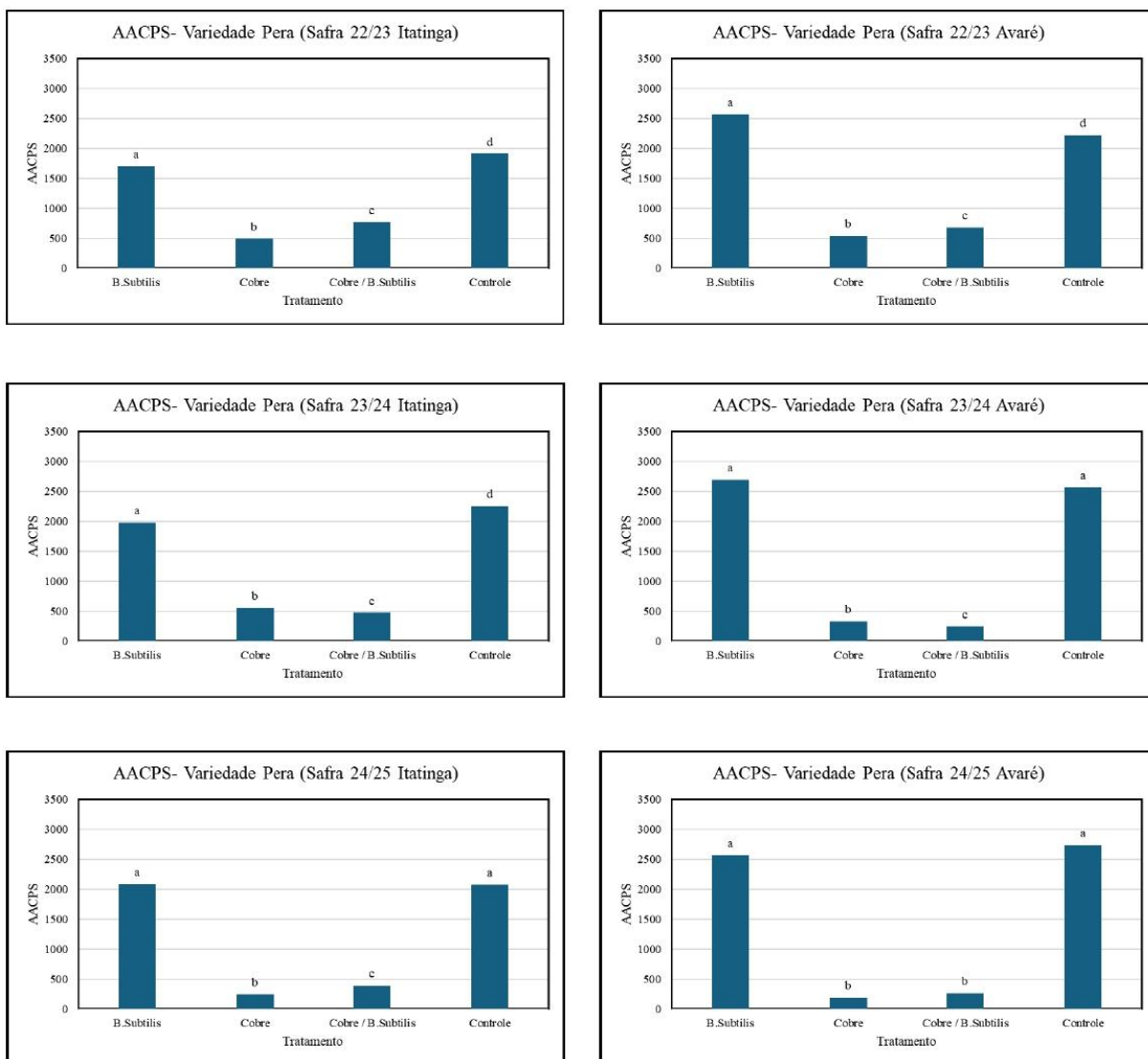
Fonte: Elaboração própria (2025).

Figura 9 - Gráficos de AACPS da variedade Hamlin em Avaré e Itatinga nas três safras avaliadas



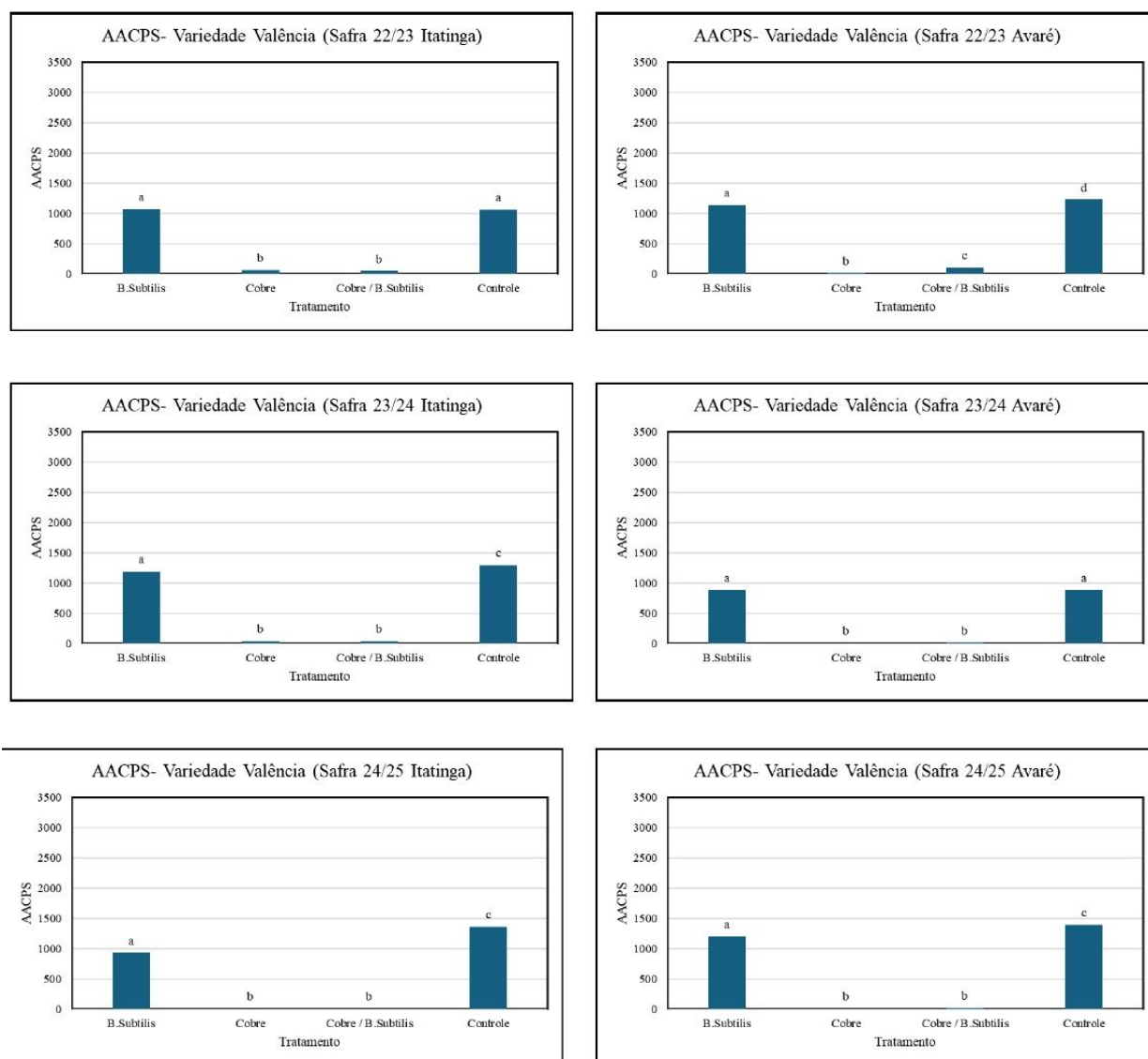
Fonte: Elaboração própria (2025).

Figura 10 - Gráficos de AACPS da variedade Pera em Avaré e Itatinga nas três safras avaliadas



Fonte: Elaboração própria (2025).

Figura 11 - Gráficos de AACPS da variedade Valência em Avaré e Itatinga nas três safras avaliadas



Fonte: Elaboração própria (2025).

Os resultados obtidos nas três safras avaliadas confirmam a superioridade dos tratamentos à base de cobre no controle do cancro cítrico, independentemente da cultivar (Hamlin, Pera ou Valência) e da localidade (Avaré e Itatinga). Os valores de severidade e de Área Abaixo da Curva de Progresso da Severidade (AACPS) demonstraram que tanto o cobre isolado quanto o manejo intercalado (cobre + *Bacillus subtilis*) mantiveram níveis de infecção extremamente baixos, frequentemente próximos de zero nas primeiras avaliações após a queda das pétalas, mesmo em safras com maior precipitação e maior pressão de inóculo.

Esses resultados estão em plena concordância com o modo de ação preventivo dos compostos cúpricos, que formam uma barreira protetora na superfície foliar e liberam

íons capazes de desorganizar membranas celulares, desnaturar proteínas e interferir na formação de biofilme, inibindo a colonização e multiplicação de *Xanthomonas citri subsp. citri* (BEHLAU et al., 2008; BEHLAU et al., 2012). Essa proteção físico-química explica a capacidade do cobre de estagnar o progresso da doença ao longo do ciclo vegetativo, efeito amplamente registrado em estudos epidemiológicos de longa duração.

Behlau et al. (2010), ao avaliar a progressão anual e poliética do cancro cítrico, demonstraram que pulverizações cúpricas são capazes de reduzir drasticamente a taxa de progresso da doença e, em muitos cenários, praticamente impedir sua evolução ao longo de vários anos consecutivos. Resultados semelhantes foram observados por Oliveira et al. (2017) que documentou reduções substanciais na incidência de lesões em folhas e frutos de laranjeiras, bem como menor queda prematura de frutos em árvores tratadas com cobre. Em conjunto, esses estudos mostram que o manejo cúprico reduz tanto a progressão anual quanto o acúmulo de inóculo entre safras, comportamento inteiramente compatível com os dados obtidos no presente trabalho.

O tratamento com *Bacillus subtilis* isolado não apresentou eficácia satisfatória, mantendo severidade e AACPS estatisticamente semelhantes ao tratamento Controle. Essa limitação é coerente com estudos como de Lima et al. (2023) e Islam et al. (2019), os quais demonstram que a persistência epifítica de antagonistas microbianos em condições de campo é reduzida, principalmente devido à radiação UV e à baixa disponibilidade de nutrientes na superfície foliar.

No entanto, a interpretação do tratamento intercalado (Cobre + *Bacillus subtilis*) requer uma análise mais aprofundada. Nesse regime, o cobre foi aplicado a cada 30 dias, e não a cada 15 dias como no tratamento químico isolado. A literatura indica que o intervalo ótimo de aplicação de cobre para controle do cancro cítrico se situa entre 14 e 21 dias, pois a persistência protetora do cobre no filoplano raramente ultrapassa três semanas, especialmente sob alta precipitação ou presença de novas vegetações (BEHLAU et al., 2010). Assim, de acordo com o conhecimento técnico consolidado, uma ampliação do intervalo para 30 dias deveria resultar em redução significativa do controle caso apenas o cobre estivesse atuando.

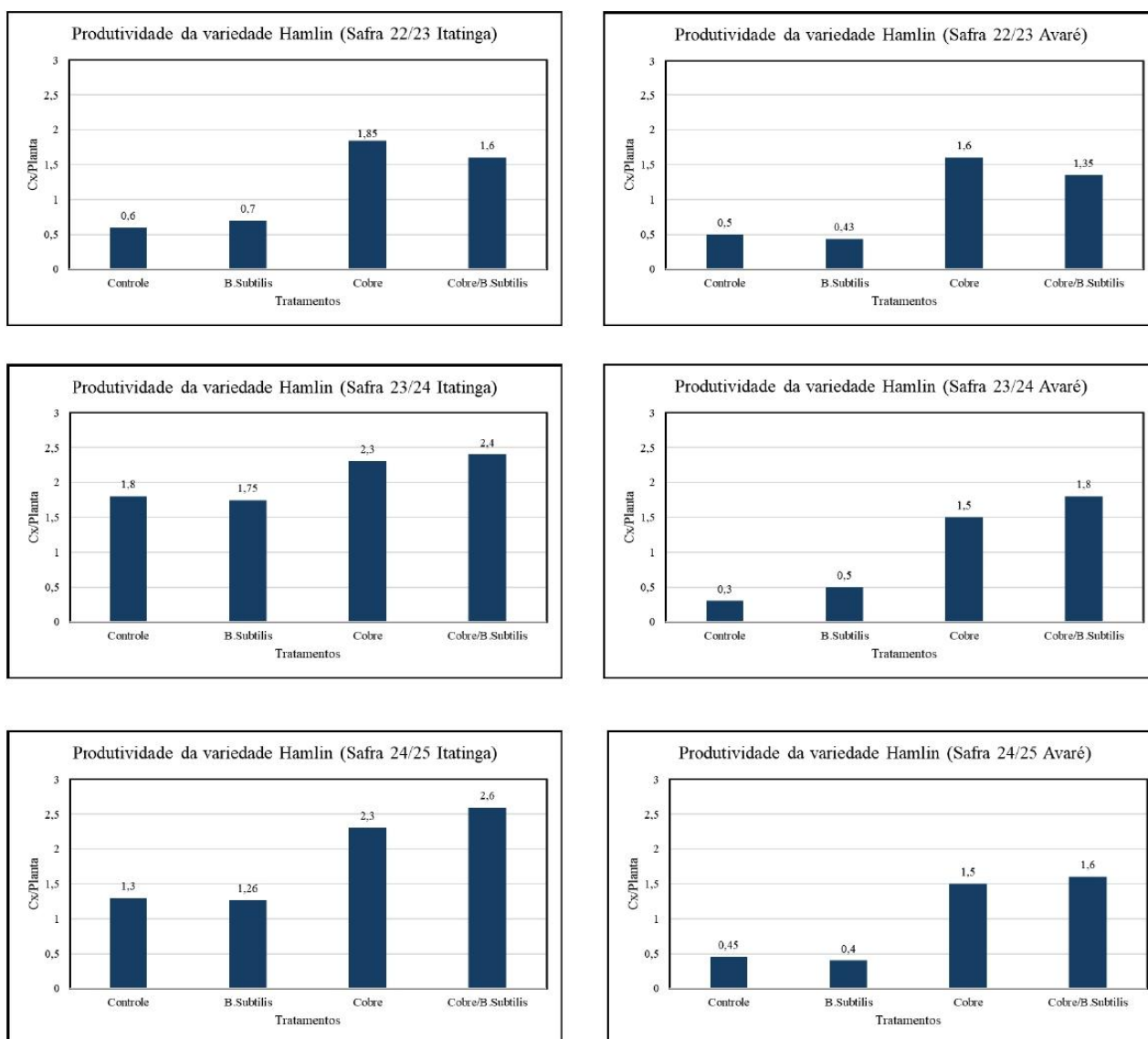
Contudo, os resultados deste estudo mostraram que o tratamento intercalado apresentou eficácia equivalente ao cobre aplicado quinzenalmente, tanto em AACPS quanto em produtividade. À luz da literatura, esse desempenho sugere que o *Bacillus subtilis* exerceu efeito compensatório, contribuindo para manter proteção durante o intervalo prolongado entre as aplicações cúpricas. Essa sinergia é atribuída à ação inicial

bactericida do cobre e à posterior colonização por *Bacillus subtilis*, que produz compostos antimicrobianos como surfactina e iturinas (KHAN et al., 2022), além de ativar genes de defesa vegetal como PR-2 (RAMOS et al., 2022).

5.2 IMPACTO DOS TRATAMENTOS NA PRODUTIVIDADE

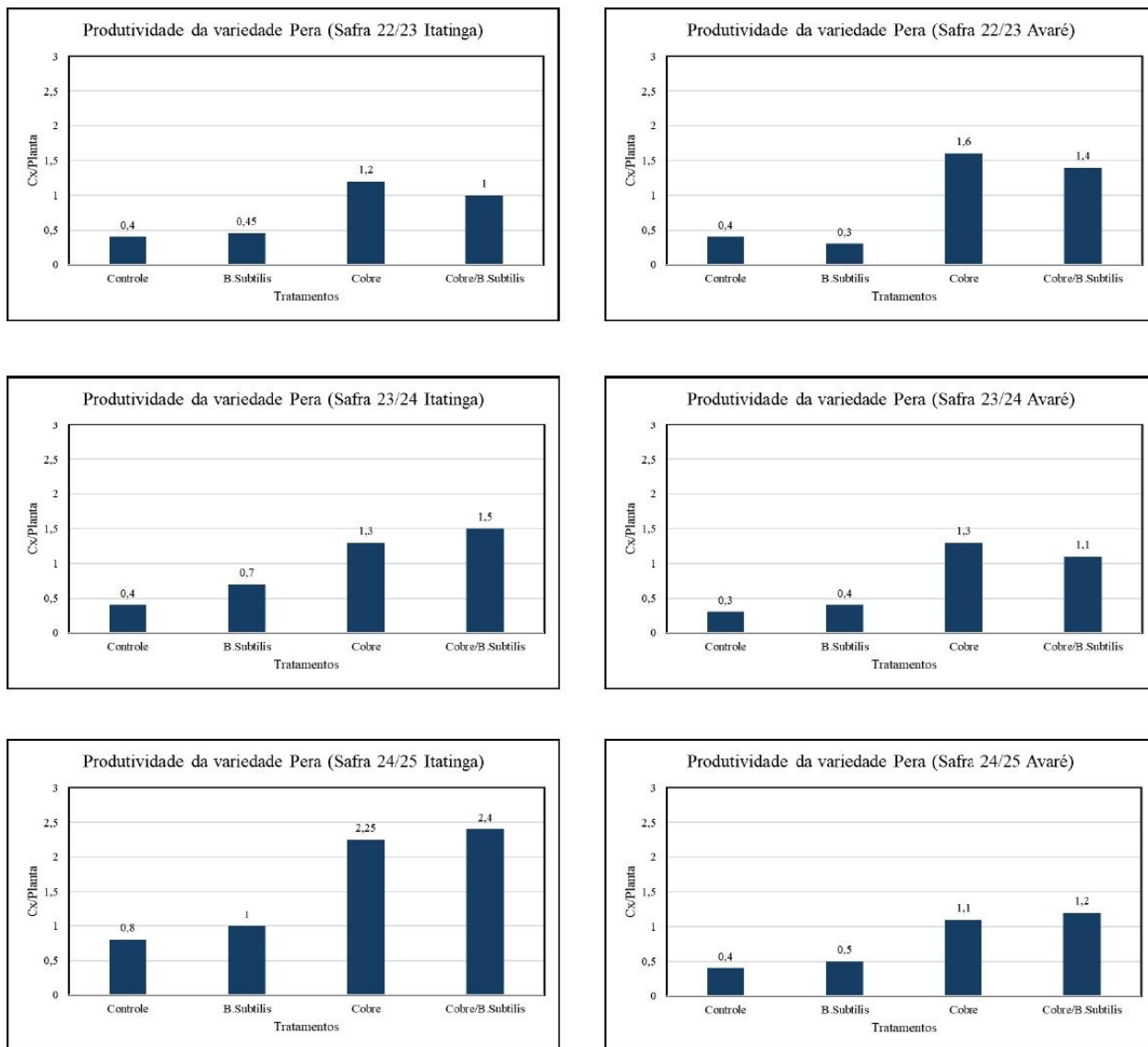
A relação inversa entre severidade e produtividade ficou evidente em todas as safras, conforme ilustrado nas Figuras 12, 13 e 14.

Figura 12 - Gráficos de Produtividade da variedade Hamlin em Avaré e Itatinga nas três safras avaliadas



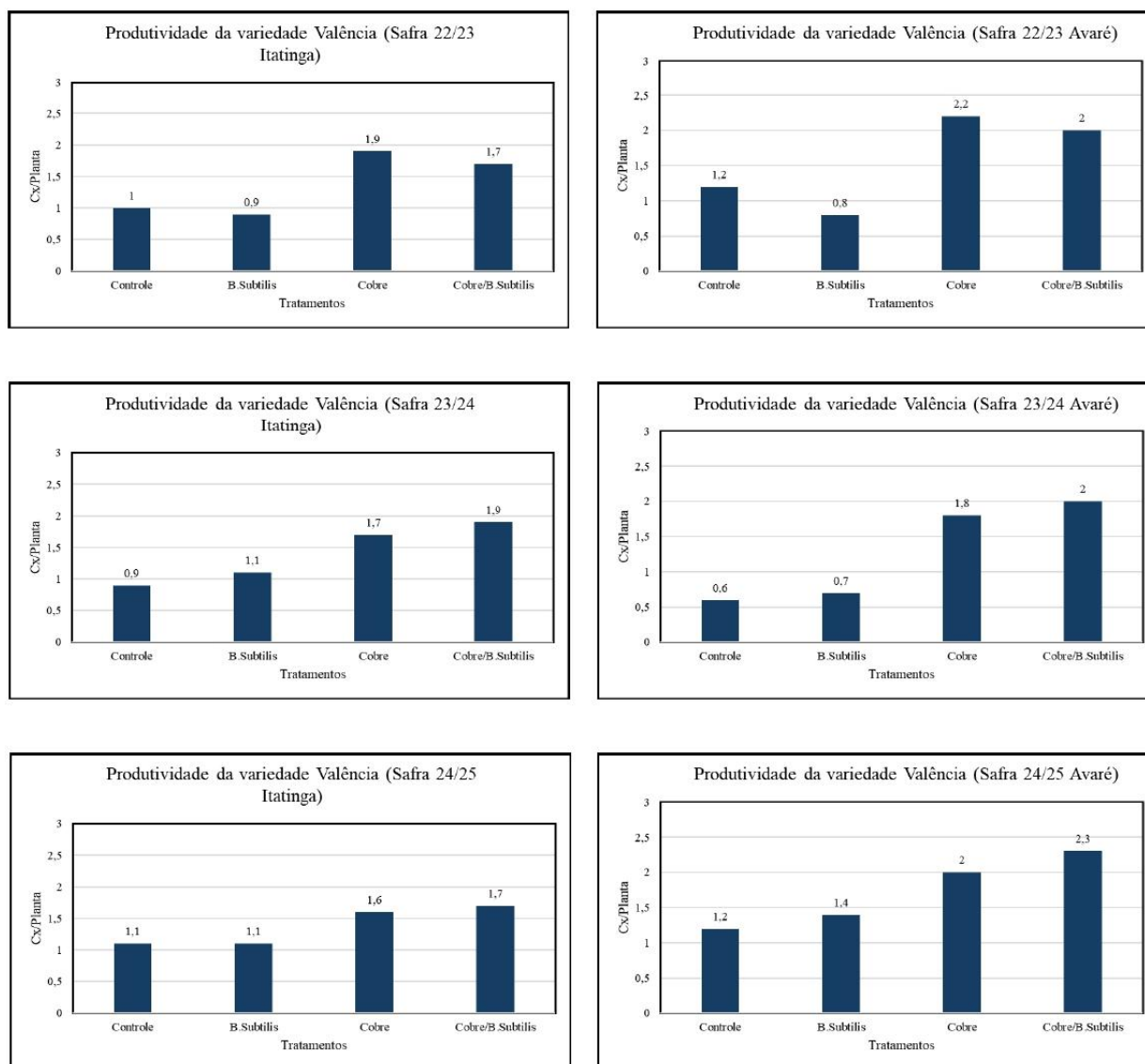
Fonte: Elaboração própria (2025).

Figura 13 - Gráficos de Produtividade da variedade Pera em Avaré e Itatinga nas três safras avaliadas



Fonte: Elaboração própria (2025).

Figura 14 - Gráficos de Produtividade da variedade Pera em Avaré e Itatinga nas três safras avaliadas



Fonte: Elaboração própria (2025).

Os tratamentos contendo cobre apresentaram as maiores produtividades, especialmente na variedade Hamlin, na qual o tratamento Cobre + *Bacillus subtilis* atingiu 2,6 caixas/planta na safra 2024/25 em Itatinga. Em contraste, os tratamentos Controle e *Bacillus subtilis* isolado registraram produtividades inferiores a 0,6 caixas/planta em diversas combinações de safra e localidade. Esses resultados reforçam que o avanço da severidade promove desfolha, queda de frutos de forma prematura e compromete o enchimento dos frutos, resultando em perdas significativas, conforme relatado tanto em estudos clássicos quanto em pesquisas mais recentes (BELASQUE JÚNIOR et al., 2005; FUNDECITRUS, 2025). Vale salientar que nas safras analisadas observou perdas por outras pragas e doenças, como pinta preta, *HLB* e leprose.

Observa-se que os tratamentos com aplicação de cobre, tanto isolado quanto intercalado com *Bacillus subtilis*, apresentaram produtividades superiores à testemunha e ao tratamento com *Bacillus* isolado. No entanto, não houve diferença significativa no número de caixas por planta entre tratamento químico e químico + biológico, indicando que o biológico não contribuiu para incremento adicional de produtividade.

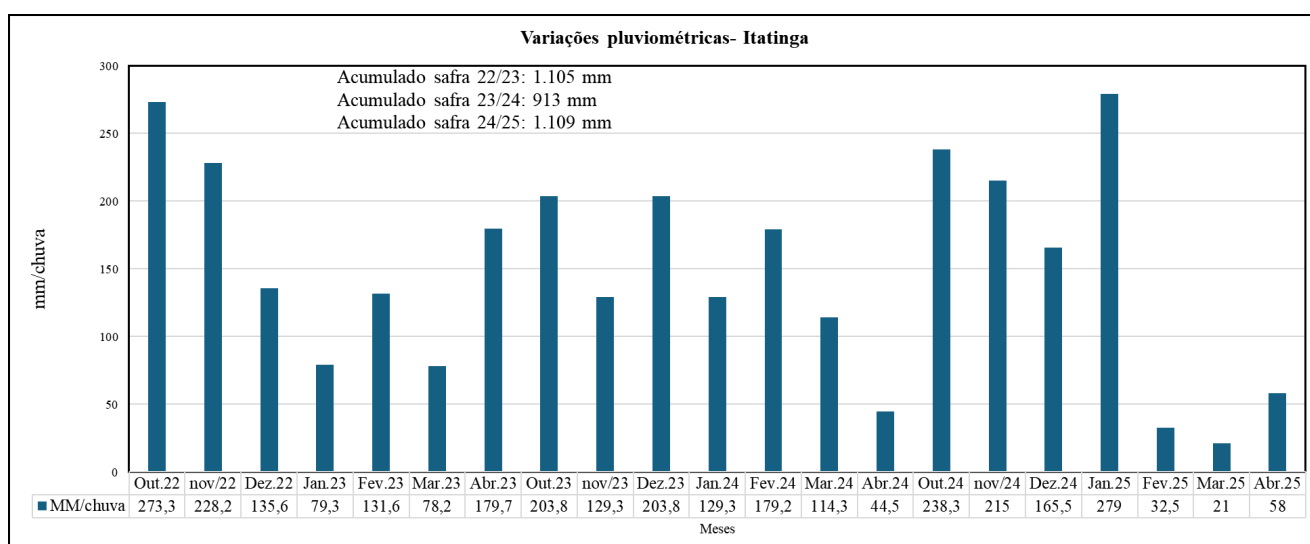
A ausência de incremento no número de caixas por planta nos tratamentos com *Bacillus subtilis*, como observado neste estudo ao longo das três safras avaliadas, pode ser explicada por características fisiológicas intrínsecas dos citros. Conforme descrito por Cunha Sobrinho et al. (2013), as culturas perenes apresentam respostas fisiológicas mais lentas e distribuídas ao longo do tempo, o que reduz a expressão imediata de benefícios promovidos por agentes biológicos. Essa dinâmica fisiológica ajuda a explicar por que, mesmo com três ciclos produtivos consecutivos, os efeitos do *Bacillus* não se traduziram em aumentos significativos de produtividade nas cultivares Hamlin, Pera e Valência. Além disso, a baixa persistência de *Bacillus subtilis* no filoplano tem sido amplamente documentada como Lima et al. (2023) onde demonstram que a sobrevivência do microrganismo na superfície foliar é rapidamente reduzida pela radiação UV, chuvas e limitações de substrato, o que exige reaplicações frequentes. Essa limitação explica o desempenho inferior do tratamento biológico isolado nas condições avaliadas, sobretudo sob a alta pressão de inóculo observada nos pomares de Itatinga e Avaré.

Em contraste, estudos em culturas anuais como soja (LOURO et al., 2024) e milho (ETESAMI et al., 2023), relatam incrementos de produtividade associados a *Bacillus spp.*, devido à resposta rápida dessas culturas a mecanismos de promoção de crescimento e indução de resistência. Nos citros, tais efeitos não foram suficientes para refletir em aumento de caixas por planta nas safras avaliadas.

5.3 INFLUÊNCIA DA PRECIPITAÇÃO E DA FENOLOGIA

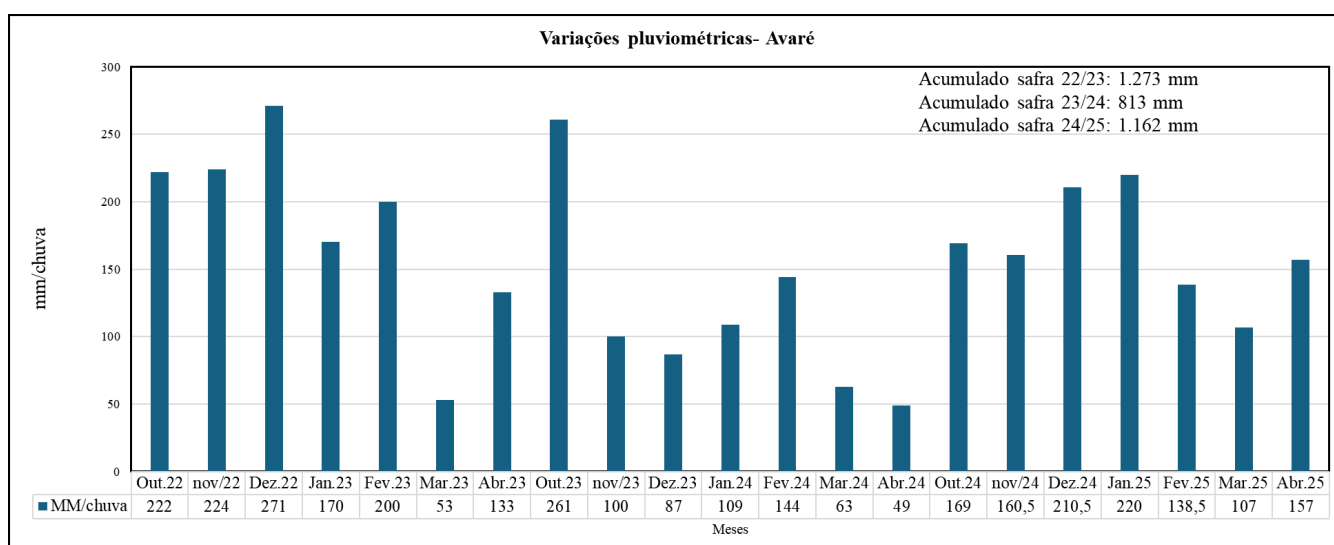
As variações pluviométricas entre as safras exerceram forte influência sobre o progresso do cancro cítrico, conforme apresentado nas Figuras 15 e 16.

Figura 15 - Histórico mm/chuvas nas safras avaliadas na região de Itatinga



Fonte: Elaboração própria (2025).

Figura 16 - Histórico mm/chuvas nas safras avaliadas na região de Avaré



Fonte: Elaboração própria (2025).

As safras mais chuvosas como 2022/23, com totais anuais de 1.105 mm em Itatinga e 1.273 mm em Avaré favoreceram maior severidade nos tratamentos Controle e Bacillus, devido ao aumento do molhamento foliar e à redução da persistência dos produtos aplicados, padrão compatível com o relatado por Melo et al. (2021), que enfatizam a dificuldade de agentes biológicos de contato atuarem em doenças bacterianas sob condições ambientais adversas. Nos anos de menor precipitação, como 2023/24, observou-se redução no ritmo de progresso da doença, reforçando a dependência da infecção de *Xcc* de longos períodos de umidade. Como a ocorrência de chuvas acompanhadas de ventos é a principal forma de disseminação da bactéria que causa o

cancro cítrico, a sincronização entre fluxo vegetativo e precipitação foi decisiva para explicar a variação da severidade entre safras, variedades e municípios.

Ao longo das três safras de avaliações foram detectadas diferenças significativas nas médias de severidade dos genótipos ao cancro cítrico. Essas oscilações estão relacionadas às estações do ano e conseqüentemente às condições climáticas de cada período, tanto em relação ao efeito sobre o hospedeiro, quanto aos efeitos sobre a disseminação do patógeno, conforme indicado pelo estudo Borges (2023). Além disso, a variabilidade na suscetibilidade dos sintomas pode estar relacionada diretamente com a morfologia de cada genótipo, sendo estes influenciados pela anatomia dos estômatos, o qual determina a penetração ou não da bactéria na planta

A menor severidade observada na cultivar Valência sugere a presença de uma tolerância intrínseca ao cancro cítrico, possivelmente relacionada a aspectos anatômicos e fenológicos que reduzem a suscetibilidade. Características como menor frequência de fluxo de brotações em períodos críticos, arquitetura foliar que dificulta a entrada do patógeno e menor atividade estomática durante fases sensíveis podem limitar a infecção por *Xcc*. Esse comportamento foi relatado por Vargas et al. (2013), que observaram menor progresso epidêmico em cultivares com menor emissão de brotações e maior eficiência na barreira estrutural contra a patogênese. Revisões sobre interações hospedeiro-patógeno também destacam que diferenças morfofisiológicas entre cultivares influenciam diretamente a suscetibilidade e o desenvolvimento da doença, explicando por que variedade Valência frequentemente apresenta menor severidade em avaliações de campo.

A cultivar Pera, por sua vez, apresentou severidade relativamente alta mesmo sob aplicação de cobre, resultado que pode ser explicado por um conjunto de fatores estruturais e fenológicos. Por ser uma cultivar de meia-estação, a Pera concentra fluxo de brotações em períodos críticos, aumentando a disponibilidade de tecidos suscetíveis. Além disso, apresenta copa mais densa, o que favorece a formação de microambientes úmidos e sombreados, condições que prolongam a sobrevivência do inóculo. A maior abertura estomática em fases de crescimento também pode facilitar a penetração da bactéria. Estudos sobre microclima de copa e eficácia de controle, como os de Behlau et al. (2007), demonstram que dosséis mais fechados dificultam a deposição e a retenção da calda cúprica, reduzindo sua eficiência. Ademais, danos pré-existentes causados por insetos minadores, frequentemente associados ao aumento da severidade do cancro cítrico, reforçam a importância do estado da copa e da fenologia na suscetibilidade comportamento esse observado por Belasque júnior (2005).

A maior suscetibilidade da cultivar Hamlin, evidenciada pelos elevados valores de severidade e AACPS, pode ser atribuída à sua intensa taxa de brotação. A variedade Hamlin tende a emitir grande quantidade de brotações jovens no período correspondente à janela de suscetibilidade, que constituem o principal alvo para novas infecções por *Xcc*, ampliando continuamente a janela epidemiológica. Brotações frequentes são reconhecidas como um dos principais fatores que regulam a dinâmica do cancro cítrico, aumentando tanto a pressão de inóculo quanto a probabilidade de estabelecimento da doença. Esses achados são consistentes com estudos epidemiológicos que relacionam fluxo de brotações intenso com a maior progressão da doença, como demonstrado por Behlau et al. (2010) e Vargas et al. (2013) que destacam a importância da fenologia e da disponibilidade de tecido suscetível como motores fundamentais da epidemia.

6 CONCLUSÃO

Os resultados confirmam a elevada eficiência dos compostos cúpricos no controle do cancro cítrico, refletindo-se em menor severidade e maior produtividade em todas as safras e variedades avaliadas. O *Bacillus subtilis* isolado não apresentou eficácia significativa; contudo, o regime intercalado oxidocloreto + *Bacillus subtilis* manteve o nível de controle do cobre quinzenal, sugerindo efeito compensatório do biocontrole ao ampliar o intervalo entre aplicações cúpricas. Apesar desse indício, é importante ressaltar que a comprovação definitiva do efeito compensatório exige a inclusão de um tratamento adicional contendo apenas cobre aplicado a cada 28–30 dias.

Esse tratamento permitiria distinguir se o desempenho observado decorre da atuação complementar do *Bacillus* ou se o cobre, mesmo em intervalo ampliado, ainda seria suficiente para o controle nas condições específicas deste estudo. Diferenças das variedades e condições de precipitação demonstraram papel determinante no progresso da doença, reforçando a necessidade de manejo integrado baseado em prevenção, escolha da variedade e uso racional de cobre.

Portanto, embora os resultados indiquem forte evidência indireta de sinergia prática, estudos adicionais são necessários, para confirmar a contribuição de produtos biológicos no controle do cancro cítrico.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANTOS, D. C. dos; SOARES FILHO, W. dos S.; PASSOS, O. S.; CUNHA SOBRINHO, A. P. da; MAGALHÃES, A. F. de J. **Cultivares, copas e porta-enxertos para a citricultura brasileira**. Cruz das Almas, BA: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2013. 34 p. Disponível em:

<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1007492/1/Debora214.pdf>
Acesso em: 05 nov. 2025.

AYRES, A. J. **Cancro cítrico vira epidemia em SP e só manejo pode frear doença**.

2009. 5 f. Tese (Doutorado) – Curso de Agronomia, Associtrus, São Paulo, 2015.

Disponível em: <https://noticias.uol.com.br/ultimas-noticias/agencia-estado/2015/07/12/cancro-citrico-vira-epidemia-em-sp-e-so-manejo-pode-frear-doenca.htm> Acesso em: 25 nov. 2025.

BAILEY, B. A.; SCHUH, W.; FREDERIKSEN, R.A.; BOCKHOLT, A. J.; SMITH, J. D. **Indentification of “slow rusting”resistance to Puccinia polysora in maize inbreds and single crosses**. *Plant Disease*, v. 71, n. 6, p. 518-521, 1987. Disponível em: https://www.apsnet.org/publications/PlantDisease/BackIssues/Documents/1987Articles/PlantDisease71n06_518.PDF Acesso em: 15 out.2025

BEHLAU, F.; BELASQUE JÚNIOR, J.; BERGAMIN FILHO, A.; LEITE JÚNIOR, R. P. **Incidência e severidade de cancro cítrico em laranja ‘Pêra Rio’ sob condições de controle químico e proteção com quebra-vento**. *Fitopatologia Brasileira*, 2007.

Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/fb/a/5b3VpFsCjK6gg4WkfyJrLLv/?format=html&lang=pt>
Acesso em: 20 nov. 2025.

BEHLAU, F.; BELASQUE JÚNIOR, J.; BERGAMIN FILHO, A.; GRAHAM, J. H.; LEITE JÚNIOR, R. P.; GOTTWALD, T. R.

Copper sprays and windbreaks for control of citrus canker on young orange trees in southern Brazil. *Crop Protection*, 2008. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0261219407002980> Acesso em: 20 nov. 2025.

BEHLAU, F.; AMORIM, L.; BELASQUE JR., J.; BERGAMIN FILHO, A.; LEITE JR., R. P.; GRAHAM, J. H.; GOTTWALD, T. R. **Annual and polyetic progression of citrus canker on trees protected with copper sprays**. *Plant Pathology*, v. 59, p. 1031-1036, 2010. Disponível em:

<https://bsppjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-3059.2010.02344.x>
Acesso em: 20 nov. 2025.

BELASQUE JÚNIOR, J. **Dinâmica espacial do cancro cítrico, interação com a larva minadora dos citros (*Phyllocnistis citrella*) e diversidade genética do seu agente causal (*Xanthomonas axonopodis* pv. *citri*)**. 2005. 171 f. Tese (Doutorado em Fitopatologia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/T.11.2019.tde-20191220-143807> Acesso em: 08 nov. 2025.

BELASQUE JÚNIOR, J.; BASSANEZI, R.B.; SPÓSITO, M.B.; RIBEIRO, L.M.; JESUS JUNIOR, W.C.; AMORIM, L. **Escalas diagramáticas para avaliação da**

severidade do cancro cítrico. Fitopatologia Brasileira, v. 30, p. 387-393, 2005. Dóí: <https://doi.org/10.1590/S0100-41582005000400008> Acesso em: 28 nov. 2025.

BHOWAL, R.; KUMARI, S.; DEKA, P.; ROY, P.; KOCH, P.; AHMED, S.; SINHA, A. **Biocontrole do cancro cítrico: uma alternativa ao tratamento químico.** Curr Agri Res 2022; 10(3). Disponível em: <https://bit.ly/3jPb7hZ> Acesso em: 28 nov. 2025.

BORGES, A. L. O.; SILVA, F. P.; MENINI, L.; XAVIER, A. S.; BENTO, C. S. **Revisão: patovares bacterianos *Xanthomonas spp.* de importância agrícola nas regiões brasileiras.** In: INIC – Encontro Latino-Americano de Iniciação Científica, 2023. Anais Univap, 2023. Disponível em: https://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2023/anais/arquivos/0009_0193_01.pdf Acesso em: 07 nov. 2025.

CAMPBELL, C. L.; MADDEN, L. V. **Introduction to plant disease epidemiology.** New York NY. John Wiley & Sons. 1990. Disponível em: <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/19912305030> Acesso em: 28 nov. 2025.

CUNHA SOBRINHO, A. P. da; MAGALHÃES, A. F. de J.; SOUZA, A. da S.; PASSOS, O. S.; SOARES FILHO, W. dos S. (ed.). **Cultura dos citros.** Brasília, DF: Embrapa, 2013. v. 1. 399 p. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/979492/1/CULTURA-CITROS-ed01-2013.pdf> Acesso em: 10 out. 2025.

DAUNGFU, O.; YOUNG, S.; LUMYONG, S. **Endophytic bacteria isolated from citrus plants for biological control of citrus canker in lime plants.** Tropical Life Sciences Research, Penang, v. 30, n. 1, p. 73–88, jan. 2019. DOI: 10.21315/tlsr2019.30.1.5. Acesso em: 10 set. 2025.

ETESAMI, H.; JEONG, B. R.; GLICK, B. R. **Potencial uso de *Bacillus spp.* como bioestimulante eficaz contra estresses abióticos em culturas agrícolas — uma revisão.** Current Research in Biotechnology, 2023. DOI: 10.1016/j.crbiot.2023.100128. Acesso em: 15 set. 2025.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Citrus production,** 2024. Disponível em: <https://www.fao.org/land-water/databases-and-software/crop-information/citrus/en/> Acesso em: 28 nov. 2025.

FERREIRA, D. H. **Redução do intervalo de aplicação e adequação da dose de cobre para o controle do cancro cítrico.** Paranavaí, 2017. Relatório técnico/dissertação — Fundo de Defesa da Citricultura (Fundecitrus). Disponível em: <https://www.fundecitrus.com.br/wp-content/uploads/2025/05/DIEGO-HENRIQUE-FERREIRA-Reducao-do-intervalo-de-aplicacao-e-adequacao-da-dose-de-cobre-para-o-controle-do-cancro-citrico.pdf> Acesso em: 08 nov. 2025.

FUNDECITRUS. **Levantamento da incidência das doenças dos citros no cinturão cítrico de São Paulo e Triângulo/Sudoeste Mineiro – Greening, CVC e Cancro Cítrico.** 2024. Disponível em: <https://www.fundecitrus.com.br/wp->

content/uploads/2025/09/Levantamento-de-doencas-2024_Relatorio.pdf Acesso em: 28 nov. 2025.

FUNDECITRUS. **Safra de laranja 2025/26 do cinturão citrícola de São Paulo e Triângulo/Sudoeste Mineiro. Comunicado de imprensa/relatório, 2025.** Disponível em: <https://www.fundecitrus.com.br/noticias/safra-de-laranja-202526-do-cinturao-citricola-de-sp-e-mg-e-estimada-em-31460-milhoes-de-caixas/> Acesso em: 27 jul. 2025.

INMET, **Instituto Nacional de Meteorologia.** 2025 Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/> Acesso em: 27 Jun. 2025.

ISLAM, M. N.; ALI, M. S.; CHOI, S-J.; HYUN, J-W.; BAEK, K-H. **Biocontrol of Citrus Canker Disease Caused by *Xanthomonas citri* subsp. *citri* Using an Endophytic *Bacillus thuringiensis*.** The Plant Pathology Journal, v. 35, n. 5, p. 486–497, 2019. DOI: 10.5423/PPJ.OA.03.2019.0060. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6788417/> Acesso em: 07 nov. 2025.

Ke, X.; Wu, Z.; Liu, Y.; Liang, Y.; Du, M.; Li, Y. **Isolation, antimicrobial effect and metabolite analysis of *Bacillus amyloliquefaciens* ZJLMBA1908 against citrus canker caused by *Xanthomonas citri* subsp. *citri*.** Microorganisms, Basel, v. 11, n. 12, art. 2928, 2023. DOI: 10.3390/microorganisms11122928. Acesso em: 07 nov. 2025.

KHAN, N. **Copper-tolerant *Bacillus* sp. reduces metal toxicity and promotes growth in plants under stress.** Environmental Pollution, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653523027650> Acesso em: 28 nov. 2025.

KUMAR, V. **Biodisponibilidade, absorção, toxicidade e tolerância do cobre em plantas: uma revisão abrangente.** Chemosphere, v. 262, p. 127810, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653520320051> Acesso em: 28 nov. 2025.

LOURO, A; DOS SANTOS, R; FERREIRA, C, E; SILVA, R; CARVALHO, V; DE SOUSA, T, P. **Uso de *Bacillus subtilis* no incremento da produção na cultura da soja.** Cadernos de Agroecologia, v. 19, n. 1, 2024. Anais do XII Congresso Brasileiro de Agroecologia, Rio de Janeiro, RJ. Disponível em: <https://cadernos.aba-agroecologia.org.br/cadernos/article/view/7891> Acesso em: 28 nov. 2025.

LEONARD, K. J.; FRY, W. E. **Plant diseases epidemiology New York: Macmillan Publishing Company, 1986.** 372. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-017-3302-1_1 Acesso em: 28 nov. 2025.

LIMA, I. O.; PINTO, J. M.; SILVA, M. B. **A espécie *Bacillus subtilis* e suas aplicações na agricultura.** Agriculturae, 2023. DOI: 10.6008/CBPC2674-645X.2023.001.0005. Disponível em: <https://www.cognitionis.inf.br/index.php/agriculturae/article/download/258/244/630> Acesso em: 21 ago. 2025.

MARIN, T. G. S.; GALVANIN, A. L.; LANZA, F. E.; BEHLAU, F. **Descrição de isolados de *Xanthomonas citri* subsp. *citri* tolerantes ao cobre e comparação genotípica com isolados sensíveis e resistentes.** *Plant Pathology*, v. 68, n. 6, p. 1088–1098, 2019. DOI: 10.1111/ppa.13026. Acesso em: 08 nov. 2025.

MELO, T. A.; NASCIMENTO, I. T. V. S.; SERRA, I. M. R. S. **O gênero *Bacillus* aplicado ao controle biológico de doenças de plantas.** *Research, Society and Development*, v. 10, n. 9, e18110917817, 2021. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i9.17817> Acesso em: 21 ago. 2025.

NAMEKATA, T.; CERÁVOLO, L. C.; MONTES, S. M. N.; FERRARI, J. T.; NOGUEIRA, E. M. de C. **Contribuição à bibliografia sobre cancro cítrico – resumo dos trabalhos publicados por pesquisadores do Instituto Biológico e em colaboração com pesquisadores de outras instituições (1957-1999).** *Arquivos do Instituto Biológico, São Paulo*, v. 69, n. 4, p. 123–200, out.–dez. 2002. DOI: 10.1590/1808-1657v69n4p1232002. Acesso em: 07 set. 2025.

NAQVI, S. A. H. et al. **Citrus canker — distribution, taxonomy, epidemiology, disease cycle, pathogen biology, detection and management: a critical review and future research agenda.** *Agronomy*, v. 12, n. 5, p. 1075, 2022. DOI: 10.3390/agronomy12051075. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/agronomy12051075> Acesso em: 08 nov. 2025.

NEVES, M. F. **O retrato da citricultura brasileira. Centro de Pesquisa e Projetos em Marketing e Estratégia – Markestrat / CitrusBR, Ribeirão Preto, 2020.** Disponível em: https://citrusbr.com/wp-content/uploads/2020/10/Retrato_Citricultura_Brasileira_MarcosFava.pdf Acesso em: 2025.

OLIVEIRA, R. P. de; UENO, B.; SCIVITTARO, W. B.; KOLLER, O. C.; ROCHA, P. S. G. da. **Cancro cítrico: epidemiologia e controle.** Pelotas, RS: Embrapa Clima Temperado, 2008. 40 p. (Embrapa Clima Temperado. Documentos, 234). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/746695/1/documento234.pdf> Acesso em: 07 nov. 2025.

OLIVEIRA, R. P.; FELICETTI, R. A.; LIPP, P.; JOÃO, J. J.; CARBONARI, J.; DANIELI, R. (Eds.). **Sistema integrado de medidas fitossanitárias para o manejo do cancro cítrico no Rio Grande do Sul.** Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2017. (Documentos, 451). Acesso em: 08 nov. 2025.

RABBEE, M. F.; ISLAM, N.; BAEK, K.-H. **Biocontrole do cancro bacteriano dos citros causado por *Xanthomonas citri* subsp. *citri* por *Bacillus velezensis*.** *Saudi Journal of Biological Sciences*, v. 29, n. 4, p. 2363–2371, 2022. DOI: 10.1016/j.sjbs.2021.12.005. Acesso em: 25 ago. 2025.

RAMOS, D. **Systemic resistance induced in citrus by *Bacillus subtilis* and copper application.** *Plant Pathology Reports*, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304423822003594> Acesso em: 28 nov. 2025.

REIS, P. F. S.; PADUAN, F. N.; MATSUMOTO, L. S. **Ação de biofertilizante no controle do cancro cítrico**. Fitopatologia Brasileira, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1590/0100-5405/277061> Acesso em: 25 ago. 2025.

RIBEIRO, G. D.; COSTA, J. N. M.; VIEIRA, A. H.; SANTOS, M. R. A. dos. **Enxertia em fruteiras**. Porto Velho, RO: Embrapa Rondônia, 2005. 8 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/859550/1/rt92enxertiadefruteiras.pdf> Acesso em: 20 ago. 2025.

RICETO, M. P. **Controle biológico de *Alternaria dauci* com *Bacillus pumilus* e *Bacillus subtilis* em sementes de cenoura**. Botucatu, 2021. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/items/fd5bfabc-daaa-44d3-bc25-b9f925ea79fa> Acesso em: 28 nov. 2025.

SANCHES, A. L. R.; MIRANDA, S. H. G. de; BELASQUE JÚNIOR, J.; BASSANEZI, R. B. **Análise econômica da prevenção e controle do cancro cítrico no Estado de São Paulo**. Revista de Economia e Sociologia Rural, v. 52, n. 3, p. 549–566, 2014. DOI: 10.1590/S0103-20032014000300008. Acesso em: 08 nov. 2025.

SANTOS, J. C.; SCHUSTER-RUSSIANO, M. C.; SALVADORI, C. N.; SABURO, R. S. S.; MAZARO, S. M. **Ação antagonista de *Bacillus velezensis* sobre fitopatógenos de espécies agrícolas**. Anais do XII Congresso Brasileiro de Agroecologia, v. 19, n. 1, 2024. Disponível em: <https://cadernos.aba-agroecologia.org.br/cadernos/article/view/7548> Acesso em: 21 ago. 2025.

SCHÄFER, G.; BASTIANEL, M.; DORNELLES, A. L. C. **Porta-enxertos utilizados na citricultura**. Ciência Rural, Santa Maria, v. 31, n. 4, p. 723–733, 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782001000400028> Acesso em: 05 nov. 2025.

SILVA, J. A.; MOURA, C. T.; OLIVEIRA, P. R. **Transcriptoma (RNA-seq) de laranja doce Valência (*Citrus sinensis* L. Osbeck) e Kumquat (*Fortunella spp.*) infectadas por *Xanthomonas citri* subsp. *citri***. Piracicaba: ESALQ/USP, 2021. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo. Disponível em: <https://acervodigital.unesp.br/handle/11449/92721> Acesso em: 28 nov. 2025.

SILVA JÚNIOR, G. J.; BEHLAU, F.; BASSANEZI, R. B.; LOPES, S. A. **Doenças limitantes na citricultura brasileira: manejo atual e perspectivas**. In: COLMÁN, A. A. et al. (org.). Doenças em espécies florestais e frutíferas. Viçosa, MG: UFV, 2015. p. 84–112. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/294907747_Doencas_limitantes_na_citricultura_brasileira_manejo_atual_e_perspectivas Acesso em: 06 nov. 2025.

SILVA JUNIOR, G.J., SPÓSITO, M.B., MARIN, D.R., AMORIM, L. **Efficacy and timing of application of fungicides for control of citrus postbloom fruit drop**. Crop Protection 59:51-56. 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2014.01.012> Acesso em: 28 nov. 2025.

SOUZA, H. S. de. **Sistema de análise temporal de doenças em plantas – SiTemp**. 2018. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Agronomia, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Núcleo de Pesquisa em Biotecnologia Aplicada, Maringá, PR. Disponível em: http://www.pga.uem.br/uploads/hudson-2018.pdf_1559323691.pdf Acesso em: 10 nov. 2025.

SWINGLE, W. T.; REECE, P. C. **The botany of citrus and its wild relatives**. In: REUTHER, W.; WEBBER, H. J.; BATCHELOR, L. D. (Ed.). *The citrus industry*. Riverside: University of California Press, v. 1, p. 190–430, 1967. Disponível em: <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=155740> Acesso em: 28 nov. 2025.

VARGAS, R. G.; GONÇALVES-ZULIANI, A. M. O.; CROCE FILHO, J.; CARVALHO, S. A.; NOCCHI, P. T. R.; NUNES, W. M. C. **Avaliação da resistência de variedades de *Citrus spp.* à *Xanthomonas citri subsp. citri* na região Noroeste Paranaense, em condições de campo**. Summa Phytopathologica, [S.l.], 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/sp/a/MTbNdMbKvTm3c7sBfYGnzFD/?format=pdf&lang=pt> Acesso em: 20 nov. 2025.

VIDAL, M.F. **Citricultura: Laranja**. [S.l.]: Banco do Nordeste do Brasil, 2022. Disponível em: https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/bitstream/123456789/1432/1/2022_CDS_241.pdf Acesso em: 05 nov. 2025.

ZALILA-KOLSI, I.; BEN-MAHMOUD, A.; AL-BARAZIE, R. ***Bacillus amyloliquefaciens*: harnessing its potential for industrial, medical, and agricultural applications — a comprehensive review**. *Microorganisms*, v. 11, n. 9, p. 2215, 2023. DOI: 10.3390/microorganisms11092215. Acesso em: 21 ago. 2025.