

POTENCIAL ANTIBACTERIANO DE EXTRATOS DE *Xylopi aromatic*, *Allium cepa* E *Allium sativum* NO CONTROLE DA MANCHA-CEROSA (*Pseudomonas cichorii*) EM ALFACE

Luiz Fernando Caldeira Ribeiro¹, Kaio Pontes da Silva ²,

RESUMO:

O trabalho avaliou o potencial antimicrobiano in vitro dos extratos aquosos de Envira, alho e cebola sobre o crescimento de *Pseudomonas cichorii*, agente causal da mancha-cerosa da alface (*Lactuca sativa* L.). O delineamento foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3 × 8 (três extratos e oito concentrações: 0, 100, 200, 500, 1.000, 2.000, 5.000 e 10.000 mg L⁻¹), com quatro repetições. O crescimento bacteriano foi estimado por turbidimetria a 600 nm, após 24 h de incubação a 28 °C. O extrato de Envira apresentou o perfil mais favorável, com inibição dependente da dose, ausência de estímulo ao crescimento em todas as concentrações testadas e platô de inibição a partir de 2.000 mg L⁻¹, sem diferença estatística entre 2.000, 5.000 e 10.000 mg L⁻¹. O extrato de alho atingiu a maior inibição observada, porém com resposta bifásica compatível com possível hormese, com estímulo ao crescimento de 11,0% e 5,1% em 100 e 200 mg L⁻¹, respectivamente. O extrato de cebola teve o menor desempenho, com inibição máxima de apenas 11,8% em 10.000 mg L⁻¹. Nenhum dos extratos atingiu 50% de inibição na faixa avaliada, de modo que a EC₅₀ não foi determinada; o parâmetro de meia-resposta do modelo log-logístico de quatro parâmetros corresponde a inibições de aproximadamente 21% a 24%, e a CE₂₅ interpolada foi de cerca de 1.470 e 1.810 mg L⁻¹, respectivamente. A análise de variância indicou efeito significativo de extrato, concentração e da interação (p < 0,0001), com a dose respondendo por 64,7% da variação total, a interação por 25,3% e o extrato por 8,6%, com R² de 0,60 a 0,92. Conclui-se que o extrato de Envira é o candidato mais promissor para investigação no controle da doença, seguido do alho, enquanto a cebola apresentou baixo potencial.

Palavras-chave: Annonaceae, Extratos vegetais; Mancha-cerosa; Resposta bifásica.

ANTIBACTERIAL POTENTIAL OF *Xylopi aromatic*, *Allium cepa* E *Allium sativum* EXTRACTS IN THE CONTROL OF WAXY SPOT (*Pseudomonas cichorii*) IN LETTUCE

ABSTRACT:

This study evaluated the in vitro antimicrobial potential of aqueous extracts of Envira, garlic, and onion against the growth of *Pseudomonas cichorii*, the causal agent of bacterial blight of lettuce (*Lactuca sativa* L.). The experimental design was completely randomized, in a 3 × 8 factorial scheme (three extracts and eight concentrations: 0, 100, 200, 500, 1,000, 2,000, 5,000, and 10,000 mg L⁻¹), with four replications. Bacterial growth was estimated by turbidimetry at 600 nm after 24 h of incubation at 28 °C. The Envira extract exhibited the most favorable profile, showing dose-dependent inhibition, absence of growth stimulation at all tested concentrations, and an inhibition plateau from 2,000 mg L⁻¹ onward, with no statistical difference among 2,000, 5,000, and 10,000 mg L⁻¹. The garlic extract achieved the highest inhibition observed, but displayed a biphasic response consistent with possible hormesis, with growth stimulation of 11.0% and 5.1% at 100 and 200 mg L⁻¹, respectively. The onion extract showed the poorest performance, with a maximum inhibition of only 11.8% at 10,000 mg L⁻¹. None of the extracts reached 50% inhibition within the evaluated range; therefore, the EC₅₀ was not determined. The half-response parameter of the four-parameter log-logistic model

¹Doutor em Agronomia pela Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiros”, docente do Curso de Agronomia da Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT); luizribeiro@unemat.br, <https://orcid.org/0000-0002-8637-6425>. ² Graduando do curso de Agronomia da Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT), kaio.pontes@unemat.br, <https://orcid.org/0009-0006-5688-7159>.

corresponds to inhibitions of approximately 21% to 24%, and the interpolated EC_{25} values were approximately 1,470 and 1,810 mg L⁻¹, respectively. Analysis of variance indicated significant effects of extract, concentration, and their interaction ($p < 0.0001$), with concentration accounting for 64.7% of the total variation, the interaction for 25.3%, and the extract for 8.6%, with R^2 values ranging from 0.60 to 0.92. It is concluded that the Envira extract is the most promising candidate for further investigation in disease control, followed by garlic, whereas onion showed low potential.

Keywords: Annonaceae; biphasic response; plant extracts; varnish spot.

INTRODUÇÃO

Gasques et al. (2023) destacam que a agricultura brasileira consolidou posição de destaque no cenário mundial em produção e abastecimento de produtos vegetais, sustentada principalmente pelos avanços tecnológicos que têm possibilitado o aumento da produtividade. Todavia, como observam Oliveira et al. (2026), problemas fitossanitários ainda acometem as lavouras, comprometendo parcial ou totalmente o processo produtivo.

Doenças de origem fitopatológica comprometem significativamente tanto a produtividade quanto a qualidade das culturas agrícolas, resultando em perdas econômicas expressivas e afetando negativamente a segurança alimentar, desde o nível doméstico até o cenário global (Savary et al., 2019). Em escala mundial, estima-se que patógenos e pragas sejam responsáveis por perdas de 10% a 30% da produção das principais culturas alimentares, como trigo, arroz, milho, batata e soja (Savary et al., 2019). No Brasil, as perdas anuais do agronegócio associadas a pragas, doenças e plantas daninhas ultrapassam R\$ 60 bilhões, com destaque para o impacto de fitopatógenos sobre a segurança alimentar e a sustentabilidade da produção (Henz, 2024). Somente os nematoides na cultura da soja geram prejuízos superiores a R\$ 16,2 bilhões por ano, evidenciando a magnitude do problema fitossanitário nacional (Embrapa Soja, 2025).

Entre os agentes fitopatogênicos responsáveis por essas perdas, as bactérias têm papel de destaque. São registradas cerca de 200 espécies com potencial fitopatogênico (Buttimer et al., 2017), mas a maior parte dos prejuízos na agricultura está associada a um número relativamente restrito de gêneros bacterianos, entre os quais se destacam *Pseudomonas*, *Ralstonia*, *Agrobacterium*, *Xanthomonas*, *Erwinia*, *Xylella*, *Pectobacterium* e *Dickeya* (Mansfield et al., 2012).

Dentre esses, o gênero *Pseudomonas* se destaca por sua elevada diversidade e versatilidade metabólica, compreendendo pouco mais de 200 espécies descritas até a presente data. Pertencentes à classe das Gammaproteobacteria, essas bactérias Gram-negativas estão amplamente distribuídas em solos, corpos d'água e plantas, e a patogenicidade das espécies fitopatogênicas é determinada por um arsenal de fatores de virulência, como proteínas efetoras secretadas pelo sistema de secreção tipo III, produção de fitotoxinas e formação de biofilme (Bundalovic-Torma et al., 2022; Baltenneck et al., 2021). Esses mecanismos, coordenados por sistemas

de quorum sensing, culminam em sintomas como necroses e murchas em diversas culturas agrícolas, além de conferirem às bactérias elevada capacidade de adaptação a condições adversas (Nature Microbiology, 2025; mSystems, 2026).

Entre as espécies fitopatogênicas do gênero, *Pseudomonas cichorii* destaca-se como agente causal da mancha-cerosa (varnish spot), também conhecida como podridão da nervura central, em alface (*Lactuca sativa* L.) (Gálvez et al., 2024), uma das hortaliças folhosas de maior importância econômica e social no Brasil, cultivada em mais de 66 mil estabelecimentos em todo o país (Meirelles et al., 2017). A doença manifesta-se por lesões aquosas e escuras nas folhas internas, frequentemente ao longo das nervuras, que evoluem para necrose e podridão, comprometendo a qualidade comercial e a produtividade da lavoura (Zboralski et al., 2022; Patel et al., 2021; Gálvez et al., 2024). O patógeno sobrevive no solo e em restos de cultura e dissemina-se principalmente por respingos de chuva e pela água de irrigação por aspersão, que introduz a bactéria no interior da cabeça durante a fase de roseta (Gálvez et al., 2024). O desenvolvimento da doença é favorecido por alta umidade e molhamento foliar, com temperatura ótima entre 20 e 28 °C, bem como em cultivos protegidos e hidropônicos (CABI, 2020; Gálvez et al., 2024; Abd El-Rahman et al., 2025).

O manejo de *Pseudomonas cichorii*, agente causal da mancha-cerosa (crestamento bacteriano) da alface, baseia-se, de forma geral, na integração de estratégias culturais, biológicas e químicas. O controle químico ainda é amplamente utilizado no manejo de *Pseudomonas*, envolvendo principalmente compostos à base de cobre e, em determinados países, antibióticos (Pscheidt et al., 2022); ressalva-se, contudo, que essa referência trata o gênero de maneira ampla, e não o patossistema alface e *P. cichorii*. Especificamente para a mancha-cerosa em alface, não há compostos ou programas de controle químico registrados e recomendados, o que evidencia a fragilidade desse pilar de manejo (Abd El-Rahman et al., 2025).

A eficiência do controle nem sempre é satisfatória. No caso da alface, doses de cobre capazes de reduzir o inóculo geralmente provocam fitotoxicidade, e os saís avaliados não reduziram de forma significativa a severidade da mancha-cerosa (Delisle-Houde et al., 2018). De maneira mais geral, e válida para outras fitobacterioses apenas por analogia, a seleção de populações bacterianas resistentes ao cobre compromete a eficácia do

controle químico (Fan et al., 2022), e as bacterioses causadas por *Pseudomonas* e *Xanthomonas* em hortaliças permanecem de difícil controle quando se empregam somente produtos químicos convencionais (Giovanardi et al., 2025).

Esse cenário está associado, em parte, à facilidade de disseminação do patógeno por meio de práticas agrícolas e de material de propagação, bem como à presença de plantas assintomáticas que contribuem para a persistência do inóculo. Estratégias biológicas, a exemplo do uso combinado de *Bacillus subtilis* e *Bacillus velezensis*, têm sido avaliadas como alternativa ao controle químico na mancha-cerosa da alface (Abd El-Rahman et al., 2025). Além disso, o surgimento de populações resistentes aos compostos cúpricos tem sido registrado em diferentes culturas, comprometendo a eficácia do controle químico (Pinheiro et al., 2019). Diante dessas limitações, tem-se intensificado a busca por estratégias mais sustentáveis, destacando-se o uso de extratos vegetais com potencial antimicrobiano como alternativa viável (Khameneh et al., 2019; Souza et al., 2007).

Os extratos vegetais constituem importantes fontes de compostos bioativos, o que justifica sua ampla utilização com finalidades terapêuticas e antimicrobianas (Wink, 2022; Farias et al., 2018). A atividade antimicrobiana desses extratos está diretamente relacionada à presença de metabólitos secundários, como compostos fenólicos, flavonoides, taninos e terpenos, que atuam por múltiplos mecanismos, incluindo a alteração da permeabilidade da membrana celular, a desnaturação de proteínas e a inibição de enzimas essenciais ao metabolismo bacteriano (Santiago et al., 2024; Cowan, 1999; Burt, 2004).

Esse potencial é particularmente relevante em países com elevada biodiversidade como o Brasil. O Pantanal, um dos maiores biomas úmidos do mundo, abriga uma vasta diversidade de espécies vegetais ainda pouco exploradas para fins de controle microbiológico (Pott et al., 1994; Peixoto, 2022).

Nesse contexto, espécies já reconhecidas por suas propriedades antimicrobianas merecem investigação sistemática. O Alho (*Allium sativum*) é amplamente estudado por seus compostos sulfurados, especialmente a alicina, que interage com grupos tiol de proteínas bacterianas. A Cebola (*Allium cepa*) possui quercetina e outros compostos fenólicos com atividade antibacteriana documentada (Guillamon et al., 2021). A Envira (*Xylopiya aromatica*), espécie da região amazônica e do Cerrado, a literatura relata

atividade antimicrobiana e antifúngica principalmente de seus óleos essenciais, com destaque para os terpenos α e β -pineno, ativos contra leveduras dos gêneros *Candida* e *Cryptococcus* (Vieira et al., 2023). Contudo, estudos sistemáticos avaliando a atividade de extratos de *X. aromatica*, especialmente contra fitopatógenos, ainda são escassos.

O presente trabalho teve como objetivo geral avaliar o potencial antimicrobiano *in vitro* dos extratos de Envira, Alho e Cebola em diferentes concentrações sobre o crescimento de *P. cichorii*, visando subsidiar o desenvolvimento de alternativas viáveis para o controle da mancha-cerosa em alface.

MATERIAL E MÉTODOS

Obtenção dos extratos vegetais

Os extratos vegetais foram obtidos a partir de três espécies: Envira (*Xylopiya aromatica*., família *Annonaceae*), alho (*Allium sativum* L.) e cebola (*Allium cepa* L.). Os bulbilhos de alho e os bulbos de cebola foram adquiridos no comércio local da região de Cáceres, Mato Grosso, Brasil. O material botânico de Envira, composto por folhas e ramos, foi coletado em área de ocorrência natural na região de influência do Pantanal mato-grossense. Para a identificação botânica, ramos férteis foram coletados, herborizados e processados em exsiccatas, seguindo as técnicas usuais de herborização (Valaski, 2025), e a identificação taxonômica foi realizada mediante comparação com material de referência e consulta à literatura especializada (Souza & Hawkins, 2017).

O material vegetal foi higienizado, seco em estufa com circulação forçada de ar a 40°C até peso constante e, em seguida, triturado em moinho de facas até obtenção de pó fino. O extrato aquoso foi preparado por maceração do pó vegetal em água destilada estéril, na proporção de 1:10 (m/v), durante 24 horas à temperatura ambiente (25 $\pm$ 2°C), sob agitação ocasional. Após esse período, a mistura foi filtrada em gaze estéril e, em seguida, em papel filtro Whatman nº 1.

O extrato bruto obtido foi armazenado em frascos âmbar esterilizados a 4°C até o momento da utilização. Diluições seriadas foram preparadas em água destilada estéril para obtenção das concentrações de 100, 200, 500, 1000, 2000, 5000 e 10000 mg L⁻¹, além do controle negativo (água destilada estéril, 0 mg L⁻¹). As concentrações expressas em mg L⁻¹ referem-se à quantidade de extrato efetivamente recuperada após a etapa de

filtração, ou seja, à fração solúvel presente no filtrado. Todas as diluições foram preparadas no dia da montagem do ensaio.

Obtenção do isolado bacteriano e identificação

O isolado de *Pseudomonas cichorii* utilizado no experimento foi obtido a partir de cinco (05) amostras de folhas de alface (*Lactuca sativa* L.) provenientes da Feira do Produtor do município de Cáceres, Mato Grosso, Brasil, coletadas em janeiro de 2026. As amostras apresentavam sintomas característicos de mancha bacteriana, com lesões aquosas e necróticas típicas de infecção por *Pseudomonas* spp.

No laboratório, fragmentos de tecido vegetal da região de transição entre o tecido lesado e o sadio foram desinfestados superficialmente com álcool 70% por 30 segundos, seguido de hipoclorito de sódio a 1% por 1 minuto e três lavagens em água destilada estéril. Os fragmentos foram macerados em água destilada estéril e a suspensão resultante foi estriada em placas de Petri contendo meio de cultura 523 (Kado & Heskett, 1970), incubadas a 28°C por 24 a 48 horas.

Após o crescimento, colônias individuais foram selecionadas com base em características morfológicas (forma, elevação, borda, cor e produção de pigmento fluorescente). A identificação presuntiva foi realizada por meio de: (i) coloração de Gram, confirmando-se a morfologia de bacilos Gram-negativos; (ii) teste de oxidase, com resultado positivo; (iii) teste de catalase, também positivo; (iv) oxidação/fermentação da glicose (teste O/F), evidenciando metabolismo oxidativo, sem fermentação; e (v) produção de pigmento fluorescente em meio King B (King et al., 1954). O conjunto dessas características é consistente com o perfil fenotípico de *Pseudomonas cichorii*, que se enquadra no grupo das pseudomonas fluorescentes, sendo oxidase positiva e com metabolismo oxidativo da glicose (Marques et al., 2016; Timilsina et al., 2017). Os isolados foram mantidos em tubos inclinados contendo meio 523, a 4°C, com repiques a cada 30 dias.

Para confirmação da patogenicidade do isolado, foi realizado o Postulado de Koch em plantas de alface tipo lisa (*Lactuca sativa* L.), cultivadas em vasos em casa de vegetação até o estágio de quatro a seis folhas verdadeiras, estágio em que as plântulas já apresentam área foliar suficiente para a inoculação e a expressão de sintomas (Richardson et al., 2024). A suspensão bacteriana (10^6 UFC mL⁻¹) foi inoculada

por aspersão na superfície foliar até o ponto de escorrimento, utilizando-se um atomizador manual. Após a inoculação, as plantas foram mantidas em câmara úmida por 48 horas e, em seguida, transferidas para casa de vegetação. Plantas inoculadas apenas com água destilada estéril foram utilizadas como controle negativo. O aparecimento de sintomas foi monitorado diariamente até o 10º dia após a inoculação. Ao final do período de observação, fragmentos de tecido sintomático foram coletados e submetidos ao reisolamento bacteriano em meio 523, seguindo os mesmos procedimentos de desinfestação e estriamento descritos anteriormente. As colônias reisoladas foram comparadas morfológica e bioquimicamente ao isolado original, confirmando-se, assim, a identidade do patógeno.

Preparação do inóculo

Para a preparação do inóculo, a bactéria foi repicada para placas de Petri contendo meio 523 e incubada a 28°C por 24 horas. A suspensão bacteriana foi preparada em solução salina estéril (NaCl 0,85%), com a turbidez ajustada ao padrão 0,5 na escala McFarland (aproximadamente $1,5 \times 10^8$ UFC mL⁻¹), utilizando espectrofotômetro (Spectrophotometer Bel-SP1102). Em seguida, a suspensão foi diluída para a concentração de trabalho de aproximadamente 10^6 UFC mL⁻¹.

Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial 3×8 , compreendendo três extratos vegetais (Envira, alho e cebola) e oito concentrações (0, 100, 200, 500, 1000, 2000, 5000 e 10000 mg L⁻¹), com quatro repetições, totalizando 96 unidades experimentais. Cada unidade experimental foi constituída por um tubo de ensaio contendo o meio de cultura, a suspensão bacteriana e o extrato na concentração estabelecida.

Ensaio de atividade antimicrobiana *in vitro*

A atividade antimicrobiana dos extratos vegetais foi avaliada pelo método de macrodiluição em caldo, em tubos de ensaio esterilizados, conforme adaptação de metodologias recentes (Vanegas et al., 2021). O caldo 523 foi empregado por ser o meio de referência para o cultivo de bactérias fitopatogênicas. Em cada tubo, foram adicionados 9,0 mL de caldo 523 duplamente concentrado, 1,0 mL da suspensão bacteriana (10^6 UFC mL⁻¹) e 1,0 mL do extrato vegetal, totalizando 11,0 mL por tubo.

As diluições dos extratos foram preparadas de modo que, ao serem adicionadas ao tubo, resultassem nas concentrações finais estabelecidas no delineamento experimental (100, 200, 500, 1000, 2000, 5000 e 10000 mg L⁻¹). Nos tubos-controle (testemunha), o volume de extrato foi substituído por igual volume de água destilada estéril.

Os tubos de ensaio foram incubados a 28°C por 24 horas em incubadora BOD. Após o período de incubação, a absorbância foi determinada em espectrofotômetro (Spectrophotometer Bel-SP1102) no comprimento de onda de 600 nm. Todos os procedimentos foram realizados em capela de fluxo laminar para garantir condições assépticas.

Parâmetros avaliados

O crescimento bacteriano foi estimado por turbidimetria, em espectrofotômetro, a 600 nm, sendo a absorbância diretamente proporcional à densidade celular da suspensão. Para cada concentração de extrato foi preparado um branco abiótico correspondente, constituído de meio 523 mais extratos, na mesma proporção volumétrica utilizada nos tratamentos, sendo o inóculo, substituído por solução salina estéril e incubado nas mesmas condições dos demais tubos.

A absorbância de cada branco foi subtraída da absorbância do respectivo tubo inoculado, de modo a descontar a contribuição da absorbância própria do extrato, bem como da turbidez e da precipitação de seus componentes, assegurando que as diferenças ópticas observadas fossem atribuíveis ao crescimento bacteriano. A correção foi aplicada conforme a equação:

$$ABS_{corrigida} = ABS_{ida} - ABS_{branco} \quad (i)$$

O percentual de inibição do crescimento bacteriano foi então calculado com os valores de absorbância corrigidos:

$$\%Inibição = ((Abs_{controle} - Abs_{tratamento}) / Abs_{controle}) \times 100 \quad (ii)$$

Em que Abs_controle corresponde à absorbância média do tratamento testemunha (0 mg L⁻¹) e Abs_tratamento corresponde à absorbância de cada tratamento.

A concentração efetiva para 50% de inibição (EC 50) foi estimada para cada extrato por meio de regressão não-linear, utilizando o pacote drc (Ritz et al., 2015) do software R.

Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) pelo teste F, considerando-se o modelo de efeitos fixos para os fatores extrato, concentração e sua interação. As pressuposições de normalidade dos resíduos (teste de Shapiro-Wilk) e homogeneidade das variâncias (teste de Bartlett) foram verificadas previamente. As médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Scott-Knott a 1% de probabilidade ($p < 0,01$).

Para a modelagem da relação entre a concentração dos extratos e o crescimento bacteriano, foram ajustados três modelos de regressão, com finalidades complementares:

Modelo log-logístico de quatro parâmetros (LL.4):

$$Y = c + (d - c / (1 + \exp[b(\ln x - \ln e)])) \quad (iii)$$

Em que Y é a resposta observada; x, a concentração do extrato; c e d, as assíntotas inferior e superior da curva, respectivamente; e, a concentração efetiva que proporciona 50% da resposta entre as assíntotas (ED50); e b, a inclinação da curva no ponto de inflexão. Esse modelo foi empregado por descrever a relação dose-resposta completa e fornecer estimativas com interpretação biológica direta, notadamente a ED50, parâmetro central para a comparação da atividade entre os extratos;

Regressão linear simples:

$$Y = a + bx \quad (iv)$$

Regressão quadrática:

$$Y = a + bx + cx^2 \quad (v)$$

Os modelos polinomiais foram utilizados com finalidade descritiva, para caracterizar a tendência geral da resposta na faixa de concentrações avaliada e auxiliar na interpretação biológica dos dados, sem substituir, contudo, as estimativas de ED50 fornecidas pelo modelo log-logístico.

A seleção do modelo mais adequado baseou-se no coeficiente de determinação (R^2) e no R^2 ajustado, no Critério de Informação de Akaike (AIC), na significância dos parâmetros estimados, na ausência de padrão nos resíduos e na interpretação biológica dos dados, priorizando-se o modelo parcimonioso que melhor descrevesse o fenômeno estudado.

O coeficiente de variação (CV) foi calculado para avaliar a precisão experimental. Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o software R (R Core Team, 2024), versão 4.4, com os pacotes ExpDes.pt (Ferreira et al., 2021) e drc (Ritz et al., 2015).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir de folhas de alface tipo lisa coletadas na Feira do Produtor de Cáceres, MT, em janeiro de 2026, foram obtidos isolados bacterianos com sintomas de mancha. As colônias em meio 523 apresentaram morfologia típica de *Pseudomonas* spp. (circular, convexa, borda inteira, pigmento fluorescente). A caracterização revelou bacilos Gram-negativos, oxidase positiva, catalase positiva, metabolismo oxidativo da glicose e produção de pigmento fluorescente em meio King B. O Postulado de Koch em alface tipo lisa confirmou a patogenicidade do isolado, com aparecimento de lesões aquosas e necróticas entre o terceiro e quinto dia após inoculação, enquanto as plantas-controle permaneceram assintomáticas. O reisolamento em meio 523 produziu colônias com as mesmas

características morfológicas e bioquímicas do isolado original, confirmando a identidade do patógeno como *Pseudomonas cichorii*.

Os resultados experimentais apresentados neste trabalho permitem uma análise aprofundada sobre o potencial de extratos botânicos no controle alternativo de *P. cichorii*, fitopatógeno causal da mancha-cerosa em alface. A abordagem de utilização de extratos vegetais como alternativa aos agroquímicos sintéticos tem ganhado expressivo espaço na fitopatologia, especialmente diante da crescente pressão por sistemas agrícolas mais sustentáveis e da necessidade de mitigar a resistência bacteriana a produtos convencionais (Koscak et al., 2023).

Os ensaios *in vitro* realizados para avaliar a eficácia antimicrobiana dos extratos de Envira, Alho e Cebola contra o fitopatógeno *P. cichorii* demonstraram variações significativas em função da concentração e da natureza do material botânico. A análise de variância (ANOVA) revelou alta precisão experimental e significância estatística para todos os parâmetros avaliados (Tabela 01)

Tabela 01. Análise de variância (ANOVA) para o efeito de extratos vegetais e concentrações sobre o crescimento de *P. cichorii* em condições *in vitro*.

Fonte de Variação	GL	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	F	p-valor
Extrato (E)	2	14528,42	7264,21	215,18	< 0,0001
Tratamento/Do se (T)	7	109452,15	15636,02	463,61	< 0,0001
Interação (E x T)	14	42745,80	3053,27	90,40	< 0,0001
Resíduo	72	2428,56	33,73	-	-
Total	95	169154,93	-	-	-

R²: 0,986

O fator extrato foi significativo ($F = 215,18$; $p < 0,0001$), indicando que os três extratos diferiram entre si quanto ao efeito sobre o crescimento bacteriano, embora tenham respondido por 8,6% da variação total. O fator concentração foi o de maior peso ($F = 463,61$; $p < 0,0001$), respondendo por 64,7% da soma de quadrados total. Cabe registrar que, em razão do baixo quadrado médio do resíduo, os testes F são bastante sensíveis, de modo que a

significância estatística deve ser lida em conjunto com a magnitude dos efeitos e não como evidência de impacto biológico relevante por si só.

A elevada significância estatística observada para todos os fatores testados, com destaque para o fator Tratamento, evidencia que a resposta bacteriana ao extrato de Envira, Alho e Cebola foi robusta e diferenciada entre os materiais testados. A interação significativa entre Extrato e Tratamento reforça que a

eficácia de cada extrato é dependente da concentração aplicada, corroborando o princípio de que a prospecção de bioativos vegetais exige curvas de dose-resposta completas para determinação precisa da atividade antimicrobiana (RIBERA & ZUNIGA, 2025).

A interação entre extrato e concentração também foi altamente significativa ($F = 90,40$; $p < 0,0001$), indicando que o efeito da concentração depende do extrato avaliado, e que os extratos diferem quanto à forma da curva dose-resposta e quanto à concentração de máxima eficiência. Como o ensaio avaliou um único alvo biológico, *P. cichorii*, os resultados não permitem inferir espectro de ação nem seletividade contra outros fitopatógenos ou organismos não alvo, inferência que exigiria delineamentos com múltiplos alvos, por exemplo um fatorial entre extratos e diferentes espécies de patógenos.

A precisão experimental ficou evidente pelo baixo quadrado médio do resíduo ($QMR = 33,73$),

com 72 graus de liberdade, o que dá alta confiabilidade às estimativas. O modelo como um todo explicou cerca de 98,6% da variação total dos dados, restando apenas 1,4% atribuídos ao erro aleatório, um valor que confirma a robustez do delineamento e a consistência das condições de condução do ensaio. Considerando a partição da soma de quadrados, o fator dose respondeu por 64,7% da variação total, a interação Extrato $\times$ Dose por 25,3% e o fator extrato por 8,6%, o que confirma o efeito dose como principal determinante da inibição bacteriana.

No conjunto, esses resultados mostram que tanto o extrato quanto os tratamentos exerceram influência significativa sobre a variável resposta. A interação significativa entre esses fatores, no entanto, revela um comportamento não aditivo que impede a interpretação isolada dos efeitos principais (Tabela 02).

Tabela 02. Desdobramento da interação entre extratos vegetais e concentrações sobre o crescimento de *P. cichorii*, expresso em absorbância (600 nm), com grupos estatísticos pelo teste de Scott-Knott a 1% de probabilidade.

Tratamento	Envira	Cebola	Alho
Testemunha	1,4098 aA	1,4098 aA	1,4098 cA
100 mg L ⁻¹	1,3711 bB	1,3548 bB	1,5648 aA
200 mg L ⁻¹	1,3656 bB	1,3536 bB	1,4823 bA
500 mg L ⁻¹	1,3441 cA	1,3172 cA	1,3587 cA
1.000 mg L ⁻¹	1,3262 cA	1,3028 cA	1,1874 dB
2.000 mg L ⁻¹	0,7566 dC	1,2894 cA	1,0270 eB
5.000 mg L ⁻¹	0,7433 dB	1,2840 cA	0,7071 fB
10.000 mg L ⁻¹	0,7365 dB	1,2437 dA	0,7051 fB

Legenda: A tabela 2 apresenta o desdobramento da interação, onde letras minúsculas comparam as doses dentro de cada extrato (colunas) e letras maiúsculas comparam os extratos dentro de cada dose (linhas).

O extrato de Envira apresentou inibição gradativa até 1.000 mg L⁻¹, com absorbâncias entre 1,3711 (100 mg L⁻¹) e 1,3262 (1.000 mg L⁻¹), representando inibição de aproximadamente 2,7% a 5,9% em relação à testemunha (1,4098). O ponto crítico ocorreu entre 1.000 e 2.000 mg L⁻¹, com redução expressiva da absorbância para 0,7566, uma queda de aproximadamente 43% em relação ao valor observado em 1.000 mg L⁻¹ e inibição de 46,3% em relação à testemunha. A partir de 2.000 mg L⁻¹, os

valores se estabilizaram em torno de 0,74 (0,7433 em 5.000 mg L⁻¹ e 0,7365 em 10.000 mg L⁻¹), com baixa variabilidade entre repetições, indicando alta consistência experimental. Pelo teste de Scott-Knott, as doses de 100 a 1.000 mg L⁻¹ formaram grupos de inibição moderada, enquanto a partir de 2.000 mg L⁻¹ houve intensificação significativa da inibição, sem diferença estatística entre 2.000, 5.000 e 10.000 mg L⁻¹. Isso significa que 2.000 mg L⁻¹ foi suficiente para atingir a eficiência máxima do extrato de Envira nas

condições testadas, com inibição máxima de 47,8% na maior concentração. Ressalta-se que, mesmo na máxima eficiência, a inibição não atingiu 50% do crescimento em relação à testemunha.

Esse desempenho superior é consistente com mecanismos de ação descritos na literatura para alcaloides isoquinolínicos e terpenoides, classes de metabólitos secundários amplamente relatadas na família Annonaceae e reconhecidas por sua capacidade de romper a membrana citoplasmática bacteriana (Silva et al., 2024). Estudos fitoquímicos com espécies do gênero *Annona* relatam atividade bacteriostática e bactericida dessas moléculas contra bactérias Gram-negativas, com mecanismos de desestabilização da bicamada lipídica e inibição do bombeamento de prótons (Sousa, 2020). Ressalta-se, contudo, que a presença e a concentração desses compostos nos extratos aqui testados não foram caracterizadas, de modo que sua participação no efeito observado constitui hipótese a ser confirmada por análises fitoquímicas.

Nas condições *in vitro* avaliadas, o extrato de Envira não estimulou o crescimento de *P. cichorii* em nenhuma das concentrações testadas, indicando ausência de resposta bifásica compatível com hormese nesse sistema. Esse comportamento é um indicativo favorável de previsibilidade do efeito antimicrobiano, mas não autoriza conclusões sobre segurança de uso em campo: a confirmação de que concentrações subinibitórias não favoreceriam o patógeno em tecido vegetal depende de ensaios *in planta*, uma vez que o presente estudo não avaliou colonização, progresso da doença, fitotoxicidade ou efeitos sobre organismos não alvo.

O extrato de Alho apresentou resposta bifásica, com estímulo ao crescimento bacteriano nas doses de 100 e 200 mg L⁻¹, em 100 mg L⁻¹ (absorbância de 1,5648, superando a testemunha em aproximadamente 11,0%) e em 200 mg L⁻¹ (absorbância de 1,4823, cerca de 5,1% acima da testemunha), seguido de inibição progressiva a partir de 500 mg L⁻¹. Esse padrão é compatível com possível hormese, uma vez que a denominação formal desse fenômeno exige critério analítico específico não previsto no delineamento adotado.

Em 2.000 mg L⁻¹ a absorbância foi de 1,0270, com inibição de 27,2%, e nas doses de 5.000 e 10.000 mg L⁻¹ observou-se a maior inibição entre os três extratos, com absorbância de 0,7071 e inibição de 49,8% em ambas as concentrações, valor máximo que não atingiu 50% do crescimento em relação à testemunha. O desvio padrão nulo nessas

concentrações confirma a uniformidade da resposta entre repetições.

Esse padrão é consistente com relatos da literatura, em que a alicina e outros compostos sulfurados do alho, em concentrações subinibitórias, podem atuar como elicitores de mecanismos de compensação metabólica bacteriana, induzindo respostas de estresse oxidativo que, paradoxalmente, favorecem o crescimento celular (Wuellner et al., 2019). Ressalta-se, contudo, que a confirmação da hormese exigiria análise estatística específica para essa finalidade. Sarges et al. (2025) destacaram que a alicina interage com grupos tiol de proteínas bacterianas, inibindo enzimas essenciais, mas alertaram que o efeito é dose-dependente e que concentrações inadequadas podem comprometer a eficácia do tratamento.

Embora a literatura aponte propriedades antimicrobianas para *Allium cepa*, associadas à quercetina e a outros compostos fenólicos, os resultados indicam que o extrato aquoso não apresentou toxicidade suficiente para o patossistema *Pseudomonas*-alface nas concentrações avaliadas, possivelmente pela baixa concentração desses bioativos no material testado, o que demandaria confirmação por análise fitoquímica. A baixa variabilidade entre repetições nessas concentrações sinaliza que o efeito, embora fraco, é estável, o que confere previsibilidade ao tratamento.

O extrato de Alho apresentou o comportamento mais complexo e dinâmico, marcado por resposta bifásica compatível com possível hormese. Nas doses de 5000 e 10000 mg L⁻¹, o alho atingiu a maior inibição observada entre os extratos e inibição de 49,8% em ambas, valor máximo que não atingiu 50% do crescimento em relação à testemunha. Esse efeito foi confirmado estatisticamente: a dose de 100 mg L⁻¹ foi significativamente superior à da própria testemunha. A partir de 500 mg L⁻¹, o extrato passou a inibir o crescimento de forma dose-dependente, com cada aumento de concentração gerando um novo agrupamento estatístico distinto. Esse padrão indica uma resposta progressiva e consistente. A baixa variabilidade entre repetições nessas concentrações confirma a uniformidade da resposta.

Em termos moleculares, o estímulo ao crescimento observado nas menores doses poderia ser explicado, segundo relatos da literatura, pela ação da alicina e de outros compostos sulfurados que, em doses subinibitórias, são descritos como elicitores de mecanismos de compensação metabólica bacteriana

(Wuellner et al., 2019). Trata-se, contudo, de hipótese fundamentada em estudos prévios, uma vez que a composição química do extrato testado não foi caracterizada no presente estudo.

O estímulo ao crescimento observado *in vitro* nas doses de 100 e 200 mg L⁻¹ constitui indício, e não demonstração, de um possível risco associado a subdoses em condições de campo. A hipótese de que concentrações subinibitórias venham a favorecer a mancha-cerosa em condições de cultivo permanece como perspectiva a ser testada, o que exigiria ensaios *in planta* capazes de avaliar, de forma direta, se doses abaixo da faixa inibitória alteram a severidade da doença.

O extrato de Cebola apresentou o perfil mais modesto e linear dos três. Não houve quedas abruptas em nenhum ponto, indicando um mecanismo contínuo e dose-dependente, mas de baixa intensidade. Pelo teste de Scott-Knott, todas as doses diferiram significativamente da testemunha; as doses de 100 e 200 mg L⁻¹ formaram um grupo intermediário (grupo b), as doses de 500 a 5.000 mg L⁻¹ constituíram um único bloco homogêneo (grupo c), mostrando que aumentar a dose nessa faixa não traz ganho, e apenas 10.000 mg L⁻¹ se separou em grupo próprio (grupo d), ainda assim com inibição máxima de apenas 11,8% em relação à testemunha.

Embora a literatura reconheça propriedades antibacterianas para a quercetina e outros compostos fenólicos de *Allium cepa* (Guillamon et al., 2021), os resultados indicam que o extrato aquoso não gerou toxicidade relevante para o patossistema *P. cichorii*-alface nas concentrações avaliadas. Como a caracterização química do extrato não foi realizada, não é possível afirmar se o fraco efeito decorre da baixa concentração desses bioativos no material testado; essa relação permanece como hipótese a ser verificada. Estudos recentes com extratos de casca e bulbo de cebola confirmam atividade contra bactérias Gram-positivas, mas apontam eficácia limitada contra Gram-negativas, possivelmente devido à barreira adicional imposta pela membrana externa desses microrganismos (Santos et al., 2025).

A avaliação global da inibição do crescimento de *P. cichorii* evidenciou que o fator dose foi o principal determinante da resposta, responsável por 64,7% da variação total, excedendo em muito as contribuições do fator extrato (8,6%) e da interação extrato × dose (25,3%). O modelo de análise de variância explicou 98,6% da variação observada, com apenas 1,4% atribuível ao erro aleatório, o que confere alta confiabilidade às inferências. A

predominância do componente dose indica que a atividade dos materiais vegetais é essencialmente dependente da concentração, enquanto a interação altamente significativa ($p < 0,0001$) mostra que o comportamento de cada extrato só pode ser compreendido em função da dose avaliada, o que corrobora a necessidade de curvas dose-resposta completas na prospecção de bioativos vegetais, em lugar de ensaios realizados em concentração única.

Nenhum dos três materiais atingiu 50% de inibição do crescimento bacteriano em relação à testemunha em qualquer dose avaliada, com máximos de 47,8% para a Envira (a partir de 2.000 mg L⁻¹), 49,8% para o Alho (em 5.000 e 10.000 mg L⁻¹) e 11,8% para a Cebola (em 10.000 mg L⁻¹). A EC₅₀, definida em relação à testemunha, portanto, não foi alcançada na faixa experimental e deve ser reportada como não determinada (superior a 10.000 mg L⁻¹) para a Envira e o Alho. Os valores de 1.435 e 1.468 mg L⁻¹ correspondem, na realidade, ao parâmetro de meia-resposta dos modelos de regressão ajustados (log-logístico de quatro parâmetros e polinomial de segundo grau), isto é, à dose no ponto médio entre as assíntotas inferior e superior da curva, cuja inibição real associada foi de aproximadamente 21% a 24% (interpolação dos dados da Tabela 02). Como alternativa inteiramente contida na faixa experimental, calculou-se a concentração efetiva para 25% de inibição (CE₂₅) por interpolação linear entre doses adjacentes, resultando em aproximadamente 1.470 mg L⁻¹ para a Envira e 1.810 mg L⁻¹ para o Alho (CE₃₀ de cerca de 1.600 e 2.370 mg L⁻¹, respectivamente); para a Cebola, nem mesmo a CE₂₅ foi alcançada, dado o máximo de apenas 11,8%.

A Envira apresentou o perfil de resposta mais favorável e mais previsível entre os três extratos. A curva foi sigmoide, com efeito limiar evidente: atividade reduzida até 1.000 mg L⁻¹, queda abrupta da resposta entre 1.000 e 2.000 mg L⁻¹ e estabilização em platô de até 47,8% de inibição nas doses de 2.000 a 10.000 mg L⁻¹, sem diferença estatística nesse intervalo pelo teste de Scott-Knott a 1%. O ajuste foi adequado ao modelo polinomial de segundo grau (R^2 de 0,89) e ainda superior ao log-logístico de quatro parâmetros, que capturou bem a assíntota inferior e a transição em S, enquanto o modelo linear não representou a resposta limiar. Esse padrão, com ausência de resposta bifásica e baixa variabilidade entre repetições, indica uma relação dose-resposta estável, com interpretação biológica favorecida pela presença de concentração mínima efetiva.

O extrato de Alho exibiu o maior pico de inibição entre todos os tratamentos, alcançando 49,8% em 5.000 e 10.000 mg L⁻¹, sem diferença estatística entre essas doses. Seu perfil, contudo, foi bifásico: nas doses de 100 e 200 mg L⁻¹ houve estímulo ao crescimento bacteriano de até 11% acima da testemunha, padrão compatível com resposta do tipo hormese, cuja caracterização formal exigiria modelo de resposta não monotônica e testes específicos não previstos no delineamento adotado (Murado & Vázquez, 2010). Perfis bifásicos dessa natureza já foram documentados para diversos compostos de origem vegetal (Jodynys-Liebert & Kujawska, 2020; Calabrese et al., 2023), mas exigem cautela interpretativa, pois curvas bifásicas em bioensaios antimicrobianos também podem decorrer de populações microbianas com sensibilidade bimodal ao agente, e não de hormese propriamente dita (Murado & Vázquez, 2010). O modelo polinomial de segundo grau foi o mais adequado (R² de 0,92), capturando tanto a fase de estímulo quanto a de inibição; o log-logístico convergiu apenas para a fase inibitória, confirmando o parâmetro de meia-resposta de aproximadamente 1.468 mg L⁻¹. A atividade antibacteriana do alho é amplamente reconhecida e atribuída principalmente aos compostos organossulfurados, especialmente a alicina, cujos mecanismos envolvem desestabilização de membranas e interferência na adesão e na formação de biofilmes bacterianos (Magryś et al., 2021; Cupertino et al., 2025). A ocorrência de estímulo em doses subinibitórias, entretanto, indica que o extrato requer investigação específica de seu comportamento em baixas concentrações antes de qualquer consideração sobre uso, uma vez que respostas horméticas poderiam, em tese, favorecer o inóculo no campo.

Já o extrato de Cebola apresentou o menor desempenho, com resposta linear, contínua e de baixa intensidade, máximo de 11,8% de inibição em 10.000 mg L⁻¹ e ausência de concentração efetiva determinável na faixa avaliada. O desdobramento da interação mostrou que a testemunha diferiu das demais doses, mas as concentrações de 500 a 5.000 mg L⁻¹ formaram um bloco homogêneo, indicando que aumentos de dose nesse intervalo não produzem ganho de eficácia, e somente 10.000 mg L⁻¹ se destacou, ainda assim com inibição incipiente. O melhor ajuste foi o modelo linear, porém com R² de 0,60, relação fraca, e o log-logístico sequer convergiu, ausência consistente com um perfil sem assíntotas definidas. A baixa potência frente a *P.*

cichorii, uma bactéria Gram-negativa, é coerente com a literatura sobre cebola, cuja atividade antibacteriana é reconhecidamente mais pronunciada sobre bactérias Gram-positivas, enquanto bactérias do gênero *Pseudomonas* podem ser resistentes aos seus extratos (Adomi & Nana, 2023); mesmo compostos purificados de *A. cepa* apresentaram menor atividade contra Gram-negativas (Aboagye et al., 2025). O solvente de extração também condiciona o resultado, com extratos aquosos frequentemente inativos em comparação aos obtidos com etanol ou metanol (Adomi & Nana, 2023), o que reforça a importância de especificar o método na interpretação comparativa. Nas condições testadas, a Cebola mostrou baixo potencial como agente de controle isolado, podendo, no máximo, ser cogitada em associação com outros métodos, hipótese que requer validação.

A significância da interação extrato × dose ($p < 0,0001$) se refletiu nos contrastes do teste de Scott-Knott: em 100 e 200 mg L⁻¹, o Alho apresentou as maiores médias, em razão da fase de estímulo, enquanto Envira e Cebola não diferiram entre si; em 500 mg L⁻¹, os três extratos formaram um único grupo, demarcando o ponto de transição; em 1.000 mg L⁻¹, o Alho já se separava, com maior inibição; e em 2.000 mg L⁻¹ o contraste foi máximo, com três grupos mutuamente exclusivos, destacando-se a Envira, com 47,8% de inibição. Esse padrão confirma que a eficácia relativa dos extratos é dependente da concentração e reforça a necessidade de selecionar materiais vegetais específicos para cada patossistema. A generalização dos achados, contudo, não é sustentada pelo delineamento, que avaliou um único patógeno em condição *in vitro*, e permanece como hipótese a ser testada; a validação em planta é etapa obrigatória, sobretudo porque o manejo de *P. cichorii* em alface permanece desafiador e estratégias sustentáveis, como indutores de resistência e agentes biológicos, vêm sendo investigadas como alternativas aos bactericidas convencionais (Zboralski et al., 2022; Glushenkova et al., 2026).

Em síntese, considerando potência, previsibilidade da curva e variabilidade experimental, a Envira destacou-se pela inibição expressiva a partir de 2.000 mg L⁻¹, perfil sigmoide estável e ausência de resposta bifásica; o Alho igualou a potência nas altas concentrações, porém com a ressalva do estímulo em doses subinibitórias; e a Cebola apresentou eficácia marginal.

Esse padrão é compatível com os mecanismos de ação descritos na literatura para os metabólitos secundários de Annonaceae, como alcaloides e

terpenoides, aos quais se atribui capacidade de desestabilizar a membrana citoplasmática bacteriana (Silva et al., 2024; Sousa, 2020). Como a caracterização química dos extratos não foi realizada no presente estudo, essa relação deve ser interpretada como mecanismo potencial fundamentado na literatura, e não como efeito demonstrado experimentalmente; sua confirmação dependeria de análise fitoquímica dos extratos. Nas doses de 5.000 e 10.000 mg L⁻¹, Envira e alho não diferiram entre si, ambos com inibição próxima a 50% (47,8% e 49,8%), enquanto a cebola se manteve consistentemente inferior.

Diante das limitações apontadas, os resultados discutidos devem ser interpretados como indicativos de potencial antimicrobiano *in vitro*, e não como recomendações de aplicação. A viabilidade prática dos extratos de Envira, Alho e Cebola no manejo da mancha-cerosa da alface permanece como perspectiva que requer validação experimental, incluindo ensaios *in planta* com inoculação de *P. cichorii* em condições controladas e de campo, avaliação de fitotoxicidade em diferentes cultivares, determinação de concentrações e formulações adequadas à aplicação foliar e caracterização fitoquímica dos extratos para identificação dos compostos responsáveis pela atividade observada. Somente a partir dessas etapas será possível discutir eficácia, segurança agrônômica e viabilidade de uso.

CONCLUSÃO

O estudo evidenciou que o extrato aquoso de Envira apresentou o perfil mais favorável entre os avaliados, com inibição dependente da dose e ausência de estímulo ao crescimento bacteriano, ainda que não tenha atingido inibição suficiente para atuar como agente de controle isolado nas condições *in vitro*. Esse desempenho é coerente com o que a literatura descreve para espécies de Annonaceae, família reconhecida pela produção de metabólitos secundários com reconhecida atividade antimicrobiana, com destaque para as acetogeninas, os alcaloides e os terpenos, cuja ação sobre membranas e vias metabólicas bacterianas já foi documentada em diferentes patossistemas. A resposta dose-dependente observada é compatível com a presença desses compostos bioativos, embora a confirmação dessa relação exija a caracterização fitoquímica do extrato, etapa não contemplada neste trabalho.

O extrato de alho, apesar de alcançar a maior inibição observada, mostrou resposta bifásica compatível com possível hormese, estimulando o crescimento bacteriano em doses subinibitórias, o que exige investigação específica antes de qualquer uso em campo. Esse comportamento pode estar associado à complexidade do perfil químico de *Allium*, rico em compostos sulfurados como a alicina, cuja atividade é altamente dependente da concentração e da estabilidade do princípio ativo. Já o extrato de cebola demonstrou o menor desempenho, sem alcançar o limiar de inibição em nenhuma concentração, indicando baixo potencial como agente isolado. Como nenhum extrato atingiu o nível de inibição necessário, a concentração efetiva não pôde ser determinada para nenhum deles.

Os resultados reforçam o interesse da prospecção de bioativos em Annonaceae e *Allium* como ferramenta complementar no manejo da mancha-cerosa em alface, em linha com a busca por estratégias menos dependentes de insumos sintéticos.

FINANCIAMENTO

Os autores agradecem à Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT) pelo apoio institucional e pela infraestrutura disponibilizada para a realização deste estudo.

REFERÊNCIAS

- Abd El-Rahman, A.F.; Abd-El-Aziz, R.M. & Ali, A.M. (2025). Occurrence and control of *Pseudomonas cichorii*, the bacterial pathogen causing midrib rot on 'Batavia' lettuce under a deep-flow technique hydroponic system. **Egyptian Journal of Phytopathology** 53(1): 111-129. <https://doi.org/10.21608/ejp.2025.427628>
- Aboagye, D.; Bando, C.O.; Quaye, K.O.; et al. (2025). Extraction, isolation, and antimicrobial evaluation of bioactive compounds from the ethanolic extract of *Allium cepa* L. **The Journal of Phytopharmacology**. <https://doi.org/10.31254/phyto.2025.14307>
- Adomi, P.O. & Nana, M.J. (2023). Antibacterial effects of fresh onion (*Allium cepa* L.) bulbs against clinical bacteria. **Tropical Journal of Science and Technology** 4(1). <https://doi.org/10.47524/tjst.v4i1.92>

- Baltenneck, J.; Reverchon, S. & Hommais, F. (2021). Quorum sensing regulation in phytopathogenic bacteria. **Microorganisms** 9(2): 239. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9020239>
- Bundalovic-Torma, C.; Lonjon, F.; Desveaux, D. & Guttman, D.S. (2022). Diversity, evolution, and function of *Pseudomonas syringae* effectoromes. **Annual Review of Phytopathology** 60. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-021621-121935>
- Burt, S. (2004). Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods - A review. **International Journal of Food Microbiology** 94: 223-253. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2004.03.022>
- Buttimer, C.; McAuliffe, O.; Ross, R.P.; Hill, C.; O'Mahony, J. & Coffey, A. (2017). Bacteriophages and bacterial plant diseases. **Frontiers in Microbiology** 8: 34. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.00034>
- CABI. (2020). *Pseudomonas cichorii* (bacterial blight of endive). In: **CABI Compendium**. Wallingford: CABI. <https://doi.org/10.1079/cabicompendium.44942>
- Calabrese, E.J.; Dhawan, G.; Kapoor, R.; Agathokleous, E. & Calabrese, V. (2023). Moringa induces its beneficial effect via hormesis. **Nutrition Research Reviews**. <https://doi.org/10.1017/S0954422423000161>
- Cowan, M.M. (1999). Plant products as antimicrobial agents. **Clinical Microbiology Reviews** 12(4): 564-582. <https://doi.org/10.1128/CMR.12.4.564>
- Cupertino, M.C.; Nascimento, S.A.C.; Duarte, R.N.F.; Castro, A.B.M. & Siqueira-Batista, R. (2025). Updates on the antimicrobial properties of garlic (*Allium sativum*) biomolecules in the treatment of human infectious diseases. **Brazilian Journal of Health and Biomedical Sciences**. <https://doi.org/10.12957/bjhbs.2025.93428>
- Delisle-Houde, M.; Affia, H. & Tweddell, R.J. (2018). Evaluation of different salts for the control of lettuce varnish spot: when phytotoxicity rules. **Canadian Journal of Plant Science**. <https://doi.org/10.1139/cjps-2017-0237>
- Embrapa Soja. (2025). **Nematoides na soja: prejuízos bilionários e estratégias sustentáveis de controle no Brasil**. Disponível em: <https://agribrasilis.com/2025/04/15/nematoides-soja>
- Fan, X.; Saleem, T. & Zou, H. (2022). Copper resistance mechanisms in plant pathogenic bacteria. **Phytopathologia Mediterranea** 61(1): 129-138. <https://doi.org/10.36253/phyto-13282>
- Farias, F.L.; Pires, L.L.S.; Silva Júnior, R.I.; Pavão Júnior, J.M.S.; Rocha, T.J.M. & Santos, A.F. (2018). Antibacterial activity assessment of extract ethanol *Bauhinia forficata* L. **Diversitas Journal** 3(2): 402-411. <https://doi.org/10.17648/diversitas-journal-v3i2.636>
- Ferreira, E.B.; Cavalcanti, P.P. & Nogueira, D.A. (2021). ExpDes.pt: pacote experimental designs (Portuguese). Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=ExpDes.pt>
- Gálvez, E.; Besoain, X.; Salinas, A.; Fuentes, B.; Váscquez, I.-N. & Valenzuela, M. (2024). Occurrence of *Pseudomonas cichorii* causing midrib rot of lettuce under hydroponic cultivation in Chile. **Plant Disease** 108(2): 515. <https://doi.org/10.1094/PDIS-09-23-1870-PDN>
- Gasques, J.G.; Vieira Filho, J.E.R.; Bastos, E.T. & Bacchi, M.R.P. (2023). Produtividade da agricultura brasileira. **Revista de Política Agrícola** 32(3): 133-139.
- Giovanardi, D.; Biondi, E.; Biondo, N.; Quiroga, N.; Modica, F.; Puopolo, G. & Pérez Fuentealba, S. (2025). Sustainable and innovative biological control strategies against *Pseudomonas syringae* pv. tomato, *Pseudomonas savastanoi* pv. phaseolicola and *Xanthomonas* spp. affecting vegetable crops: a review. **Frontiers in Plant Science** 16: 1536152. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1536152>
- Glushenkova, O.E.; Polyakov, D.D. & Ignatov, A.N. (2026). Eco-friendly resistance inducers for control of *Pseudomonas cichorii* in lettuce. **Russian Journal of Plant Physiology**. <https://doi.org/10.1134/S1021443726602818>
- Guillamon, E.; Andreo-Martinez, P.; Muzzi, C.; Bernal, L.J. & Martinez-Tome, M. (2021). Beneficial effects of organosulfur compounds from *Allium cepa*

- on gut health: a systematic review. **Foods** 10(8): 1680. <https://doi.org/10.3390/foods10081680>
- Henz, G.P. (2024). Impacto das doenças de plantas na segurança alimentar e nutricional global: tema estratégico para o Brasil. **Revisão Anual de Patologia de Plantas (RAPP)** 30. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1174958/impacto-das-doencas-de-plantas-na-seguranca-alimentar-e-nutricional-global-tema-estrategico-para-o-brasil>
- Jodynys-Liebert, J. & Kujawska, M. (2020). Biphasic dose-response induced by phytochemicals: experimental evidence. **Journal of Clinical Medicine** 9(3): 718. <https://doi.org/10.3390/jcm9030718>
- Kado, C.I. & Heskett, M.G. (1970). Selective media for isolation of *Agrobacterium*, *Corynebacterium*, *Erwinia*, *Pseudomonas* and *Xanthomonas*. **Phytopathology** 60: 969-976.
- Khameneh, B.; Iranshahy, M.; Soheili, V. & Bazzaz, B.S.F. (2019). Review on plant antimicrobials: a mechanistic viewpoint. **Antimicrobial Resistance & Infection Control** 8(1): 118. <https://doi.org/10.1186/s13756-019-0559-6>
- Koscak, L.; Lamovsek, J.; Dermic, E. & Godena, S. (2023). Microbial and plant-based compounds as alternatives for the control of phytopathogenic bacteria. **Horticulturae** 9(10): 1124. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9101124>
- Magryś, A.; Olender, A. & Tchórzewska, D. (2021). Antibacterial properties of *Allium sativum* L. against the most emerging multidrug-resistant bacteria and its synergy with antibiotics. **Archives of Microbiology** 203(5): 2257-2268. <https://doi.org/10.1007/s00203-021-02248-z>
- Mansfield, J.; Genin, S.; Magori, S.; Citovsky, V.; Sriariyanum, M.; Ronald, P.; Dow, M.; Verdier, V.; Beer, S.; Machado, M.A.; Toth, I.; Salmond, G. & Foster, G.D. (2012). Top 10 plant pathogenic bacteria in molecular plant pathology. **Molecular Plant Pathology** 13(6): 614-629. <https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2012.00804.x>
- Marques, E.; Borges, R.C.F. & Uesugi, C.H. (2016). Identification and pathogenicity of *Pseudomonas cichorii* associated with a bacterial blight of gerbera in the Federal District. **Horticultura Brasileira** 34(2): 285-290. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/hb/a/kw99HkhXbDpsyNjCTRLBhdF>
- Meirelles, A.F.M.; Baldotto, M.A. & Baldotto, L.E.B. (2017). Produtividade da alface (*Lactuca sativa* L.) em resposta à aplicação de ácidos húmicos e bactérias diazotróficas, em condições de campo. **Revista Ceres** 64(5). <https://doi.org/10.1590/0034-737X201764050014>
- MSystems. (2026). **Biosynthetic gene clusters in *Pseudomonas viridiflava* have a fitness cost during *Arabidopsis thaliana* infection.** Disponível em: <https://journals.asm.org/doi/10.1128/msystems.00212-26>
- Murado, M.A. & Vázquez, J.A. (2010). Biphasic toxicodynamic features of some antimicrobial agents on microbial growth: a dynamic mathematical model and its implications on hormesis. **BMC Microbiology** 10: 220. <https://doi.org/10.1186/1471-2180-10-220>
- Nature Microbiology. (2025). ***Pseudomonas syringae* subpopulations cooperate by coordinating flagellar and type III secretion spatiotemporal dynamics to facilitate plant infection.** Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41564-025-01966-0>
- Oliveira, C.M.; Pereira, T.S.; Mouro, L.P. & Canale, M.C. (2026). A disease complex: crop losses and economic impact of corn stunt diseases on Brazilian corn production. **Crop Protection** 202: 107549. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2026.107549>
- Peixoto, L.S.; Freitas, R.M.; Gomes, J.; Ferreira, T.R.L. & Favareto, R. (2022). Compostos bioativos do bioma do Pantanal: uma revisão. **Research, Society and Development** 11(13): e348111335554. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i13.35554>
- Pinheiro, L.A.M.; Pereira, C.; Frazão, C.; Balcão, M. & Almeida, A. (2019). Eficiência do fago φ6 para biocontrole de *Pseudomonas syringae* pv. *syringae*: um estudo preliminar in vitro. **Microorganisms** 7(9): 286. <https://doi.org/10.3390/microorganisms7090286>

- Pott, A. & Pott, J. (1994). **Plantas do Pantanal**. Brasília: EMBRAPA.
- Pscheidt, J.W.; Warneke, B.W. & Nackley, L. (2022). **Grape (*Vitis vinifera* 'Pinot noir', 'Pinot gris'): powdery mildew**. Corvallis: Oregon State University.
- R Core Team. (2024). **R: a language and environment for statistical computing**. Vienna: **R Foundation for Statistical Computing**. Disponível em: <https://www.R-project.org/>
- Ribera, A.E. & Zuniga, G. (2025). Metabolitos secundarios inducidos en plantas para el control de hongos fitopatógenos: una revisión. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition** 12(4): 893-911.
- Ritz, C.; Baty, F.; Streibig, J.C. & Gerhard, D. (2015). Dose-response analysis using R. **PLOS ONE** 10(12): e0146021. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0146021>
- Sarges, N.C.S.; Silva, A.; Santos, I.R.A.; Barros, W.B.; Marinho, Y.F.; Lopes, Y.A.; Machado, A.M.B. & Dias, J.A.R. (2025). Avaliação in vitro da atividade antibacteriana de fitobióticos contra bactérias patogênicas na piscicultura continental. **Ciência Animal Brasileira** 26: e-79128P. <https://doi.org/10.1590/1809-6891v26e-79128P>
- Savary, S.; Willocquet, L.; Pethybridge, S.J.; Esker, P.; McRoberts, N. & Nelson, A. (2019). The global burden of pathogens and pests on major food crops. **Nature Ecology & Evolution** 3: 430-439. <https://doi.org/10.1038/s41559-018-0793-y>
- Souza, E.N.F. & Hawkins, J.A. (2017). Comparison of herbarium label data and published medicinal use: herbaria as an underutilized source of ethnobotanical information. **Economic Botany**.
- Timilsina, S.; Adkison, H.; Testen, A.L.; Newberry, E.A.; Miller, S.A. & Paret, M.L. (2017). A novel phylogroup of *Pseudomonas cichorii* identified following an unusual disease outbreak on tomato. **Phytopathology** 107(11): 1298-1305. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-05-17-0178-R>
- Valaski, S. (2025). **Manual didático para herborização e montagem de exsicatas**. Universidade Federal do Paraná (UFPR).
- Wink, M. (2022). Current understanding of modes of action of multicomponent bioactive phytochemicals: potential for nutraceuticals and antimicrobials. **Annual Review of Food Science and Technology** 13: 337-359. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-052720-100326>
- Zboralski, A.; Biessy, A.; Ciotola, M.; Cadieux, M.; Albert, D.; Blom, J. & Fillion, M. (2022). Harnessing the genomic diversity of *Pseudomonas* strains against lettuce bacterial pathogens. **Frontiers in Microbiology** 13: 1038888. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.1038888>