MUDANÇAS CLIMÁTICAS E O MANEJO DE DOENÇAS DE PLANTAS: UMA BREVE REVISÃO

Autores: Bianca Callegari Freitas[1]. Maíra Silva Cattem[1]. Vanessa Moura Cardoso[1]. Aline Vieira da Silva[1]. Daniel Ferreira Leal[1]. Jailson Mauricio Pinto[1].

[1]Universidade Federal do Espírito Santo/Centro de Ciências Agrárias e Engenharias, Alto Universitário s/n, 29500-000 - Alegre-ES, Brasil, alinevdasilva1998@gmail.com, bianca.callegarifreitas@outlook.com, danielleal942@gmail.com, maira_cattem@hotmail.com, vanessa.m.cardoso@edu.ufes.br. jailsonecop@hotmail.com.

Resumo
As mudanças climáticas representam um desafio para a produção agrícola, pois alterações na temperatura, na concentração de CO_2 e na radiação UV-B podem modificar a ocorrência e a severidade de doenças e pragas. Esta revisão teve como objetivo discutir os efeitos dessas mudanças sobre os problemas fitossanitários e suas implicações para o manejo. Os estudos analisados demonstram que as respostas variam conforme a cultura, o patógeno e as condições ambientais. O aumento da temperatura e do CO_2 podem alterar o desenvolvimento e a severidade das doenças, enquanto a radiação UV-B pode influenciar a eficiência de agentes de controle biológico. Para a mancha-alvo da soja, causada por *Corynespora cassiicola*, foram observadas reduções nas perdas energéticas médias, mas também maior potencial de epidemias severas em algumas regiões. Dessa forma, as mudanças climáticas exigem estratégias de manejo adaptadas às condições futuras.
Palavras-chave: Patógenos. Severidade. Manejo fitossanitário. Temperatura.

Área do Conhecimento: Ciências agrárias, agronomia.

Introdução

As mudanças climáticas constituem um dos principais desafios para a sociedade e para a produção agrícola, uma vez que alterações como o aumento da temperatura, da concentração de gases de efeito estufa, da radiação ultravioleta (UV-B), além dos eventos extremos e déficit hídrico, podem afetar os sistemas produtivos e aumentar sua vulnerabilidade (IPCC, 2021). A agricultura, além de contribuir para as mudanças climáticas por meio da emissão de gases de efeito estufa, também é diretamente afetada por essas alterações. Nesse sentido, torna-se fundamental o estudo da relação entre as variáveis climáticas e a produção agrícola para identificar a vulnerabilidade dos sistemas e propor estratégias de adaptação que garantam a oferta de alimentos (Wing *et al*., 2021).

Entre os impactos das mudanças climáticas sobre a agricultura, destacam-se as alterações na ocorrência e na severidade de problemas fitossanitários. Os patógenos de plantas podem causar danos significativos aos cultivos, reduzindo seu rendimento, sendo que, em condições gerais, cerca de um terço da produção pode ser perdida em decorrência da ocorrência de doenças (Kashyap *et al*., 2017; Bentley *et al*., 2009). Além disso, as alterações climáticas podem influenciar direta ou indiretamente a incidência de pragas, doenças e organismos benéficos, modificando as interações entre esses organismos e as plantas. Esses impactos variam de acordo com as características dos hospedeiros, dos organismos envolvidos e das condições locais (Anderson *et al*., 2020).

Entre os principais parâmetros climáticos estudados em relação à ocorrência e à severidade de doenças e pragas encontram-se o aumento da concentração de dióxido de carbono (CO_2), da temperatura e da radiação UV-B (Ghini *et al*., 2012). Embora esses fatores ocorram simultaneamente na natureza, estudos experimentais individualizados são importantes para compreender seus efeitos sobre os organismos-alvo e fornecer subsídios para investigações posteriores que considerem a interação entre diferentes fatores climáticos. Dessa forma, o conhecimento produzido por meio de experimentos é fundamental para compreender as alterações nos problemas fitossanitários e contribuir para a redução dos danos nos sistemas produtivos.

Nesse contexto, a avaliação dos impactos das mudanças climáticas sobre diferentes patossistemas constitui uma linha de pesquisa estratégica para a segurança alimentar. Entretanto, além de compreender os impactos sobre os patógenos e as plantas hospedeiras, é necessário desenvolver estratégias e opções de adaptação (Das *et al*., 2016). O fortalecimento da base de conhecimento sobre essas interações possibilita utilizar, ajustar e aprimorar as estratégias de proteção de plantas, contribuindo para a implementação de medidas de adaptação às mudanças climáticas (Juroszek; Tiedemann et al., 2011). Entre as estratégias de manejo utilizadas na proteção de plantas destacam-se o controle genético, cultural, químico e biológico, cuja aplicação pode variar de acordo com o grau de modernização dos diferentes sistemas de produção.

Assim, diante das alterações previstas no cenário climático e de seus possíveis impactos sobre os problemas fitossanitários, torna-se necessário compreender as respostas dos patógenos e das plantas hospedeiras e avaliar a efetividade das estratégias de manejo utilizadas. Nesse sentido, a pesquisa científica apresenta papel fundamental na adaptação e na readequação das ferramentas de proteção de cultivos, visando ao desenvolvimento de sistemas de produção agrícola mais diversificados, flexíveis e resilientes.

Metodologia

O presente trabalho consiste em uma revisão bibliográfica de caráter narrativo, desenvolvida com o objetivo de reunir e analisar informações científicas acerca dos efeitos das mudanças climáticas sobre a ocorrência e a severidade de doenças de plantas, bem como suas implicações para o manejo fitossanitário. A pesquisa bibliográfica foi realizada nas bases de dados Scientific Electronic Library Online (SciELO) e Google Acadêmico, além da consulta a livros didáticos, capítulos de livros e documentos técnicos nacionais e internacionais relacionados à área das Ciências Agrárias.

Foram considerados artigos científicos, livros, capítulos de livros e documentos técnicos publicados entre 2000 e 2026, nos idiomas português e inglês, priorizando materiais relevantes para a compreensão dos efeitos da temperatura, da concentração de CO_2 e da radiação UV-B sobre a ocorrência e a severidade de doenças e pragas, e das estratégias de manejo adaptadas a esses cenários.

As buscas foram realizadas utilizando, de forma isolada e combinada, as seguintes palavras-chave: "mudanças climáticas", "doenças de plantas", "manejo fitossanitário", "temperatura", "CO_2", "radiação UV-B", "climate change", "plant diseases", "temperature", "CO2" e "UV-B radiation". Foram incluídas publicações que abordassem os efeitos de fatores climáticos, como temperatura, CO_2 e radiação UV-B, sobre patógenos, pragas, organismos benéficos e plantas hospedeiras, além de estratégias e ferramentas de manejo fitossanitário adaptadas às mudanças climáticas. Foram excluídos trabalhos duplicados, estudos sem relação direta com o tema, publicações sem acesso ao texto completo e documentos que não apresentavam informações suficientes para atender aos objetivos desta revisão.

A análise dos estudos selecionados foi realizada de forma qualitativa e descritiva, considerando os principais resultados e informações apresentados na literatura, com ênfase nos efeitos da temperatura, do CO_2 e da radiação UV-B sobre a severidade de doenças e pragas, nas respostas observadas em diferentes patossistemas e nas implicações para as estratégias de manejo.

Resultados e Discussão

Os estudos analisados demonstram que as mudanças climáticas podem modificar significativamente a ocorrência e a severidade de problemas fitossanitários, porém as respostas variam de acordo com a cultura, o patógeno e as condições ambientais. Entre os principais fatores climáticos avaliados estão o aumento da concentração de CO_2, da temperatura e da radiação ultravioleta UV-B, os quais podem alterar as interações entre plantas, patógenos, pragas e organismos benéficos (Ghini *et al*., 2012). Experimentos conduzidos em diferentes culturas demonstraram que não existe uma resposta única aos cenários de mudança climática, sendo necessária a avaliação específica de cada patossistema.

Em relação ao aumento da temperatura, os resultados apresentados indicam que esse fator pode interferir tanto no desenvolvimento das plantas hospedeiras quanto nas diferentes etapas do ciclo de

vida dos patógenos, incluindo germinação, infecção, incubação, colonização, reprodução e sobrevivência. Consequentemente, a temperatura pode aumentar ou reduzir a severidade das doenças (Angelotti *et al*., 2017b). Nos estudos apresentados, o aumento da temperatura reduziu a severidade do oídio em feijão-caupi, melão e videira, associado ao aumento do período latente e ao possível retardamento das epidemias. Por outro lado, foi observada redução do período de incubação de *Xanthomonas campestris* pv. *viticola*, demonstrando que diferentes organismos podem responder de maneira distinta às alterações térmicas (Magalhães *et al*., 2011; Santana, 2013; Araújo *et al*., 2019; Angelotti *et al*., 2017c).

Os efeitos do aumento da concentração de CO_2 também apresentaram respostas diferenciadas entre os patossistemas. Estudos realizados em estufas de topo aberto e outros ambientes experimentais observaram redução da severidade de algumas ferrugens, como as do cafeeiro, eucalipto e soja, enquanto houve aumento da severidade da ferrugem da alfafa e da videira. Essa variabilidade reforça a complexidade das interações entre o aumento de CO_2, o hospedeiro e o patógeno, além da importância de considerar a variabilidade genética das cultivares nos estudos sobre mudanças climáticas (Tozzi; Ghini et al., 2016; Ghini *et al*., 2015; Lessin; Ghini, 2011; Santos et al., 2015; Fernandes *et al*., 2012).

A radiação UV-B também apresentou importância para as estratégias de manejo. Em estudos com controle biológico do mofo-cinzento, o aumento da radiação UV-B não alterou a capacidade de *Clonostachys rosea* em controlar *Botrytis cinerea*. Esse resultado foi associado ao fato de o isolado utilizado ter sido previamente selecionado por apresentar maior tolerância à radiação UV-B. Assim, os estudos indicam que a seleção de agentes de controle biológico tolerantes a esse fator pode ser importante para a manutenção da eficiência desse método de controle em cenários futuros (Nechet *et al*., 2017).

No estudo mais recente de Luca, Romanelli e Marin (2026), a relação entre mudanças climáticas e manejo fitossanitário foi avaliada especificamente para a mancha-alvo da soja, causada por *Corynespora cassiicola*. Os autores integraram um modelo epidemiológico ao modelo de crescimento da soja CROPGRO-Soybean, do DSSAT, considerando 24 localidades brasileiras, cinco modelos climáticos do CMIP6 e três cenários de emissão. A perda de produtividade causada pela doença foi convertida em perda energética e comparada à energia necessária para a fabricação e aplicação de fungicidas, permitindo estabelecer o Energy Injury Level (EnIL), utilizado como critério para determinar quando o controle químico seria energeticamente justificável.

Os resultados mostraram uma tendência de redução da perda energética mediana causada pela mancha-alvo na maioria dos cenários futuros. Essa redução foi acompanhada pelo aumento da frequência de anos em que a aplicação de fungicidas não seria energeticamente justificada. No cenário SSP5-RCP8.5, por exemplo, a frequência de anos sem justificativa energética para o controle aumentou para 28,1% na região Norte e 24,9% na região Central ao final do século, enquanto no período de referência esses valores eram de apenas 1,9% e 2,9%, respectivamente. Esses resultados foram interpretados pelos autores como indicativo de maior ocorrência de condições ambientais menos favoráveis ao desenvolvimento do patógeno.

Entretanto, a redução da pressão média da doença não significou ausência de epidemias severas. Nas regiões Central e Sul, o potencial máximo de dano aumentou nos cenários futuros, passando de aproximadamente 5,0 GJ ha^{-1} no período de referência para quase 6,0 GJ ha^{-1} no cenário SSP5-RCP8.5. Segundo os autores, condições ambientais altamente favoráveis, possivelmente associadas a eventos extremos, ainda podem proporcionar epidemias mais severas que as observadas historicamente. Dessa forma, os cenários futuros podem apresentar uma combinação de períodos de menor risco com eventos ocasionais de elevada intensidade.

A região Sul apresentou maior estabilidade, principalmente no cenário SSP1-RCP2.6 e no período de 2020–2039. Essa estabilidade foi relacionada à permanência das condições climáticas próximas à faixa considerada favorável ao desenvolvimento do patógeno. Segundo Mesquini (2012), condições próximas a 26–27 °C associadas a pelo menos seis horas de molhamento foliar são favoráveis ao desenvolvimento da doença. Já na região Norte, as perdas projetadas permaneceram inferiores às observadas no período histórico, mesmo no futuro próximo e no cenário mais otimista.

Em conjunto, os dois estudos demonstram que os efeitos das mudanças climáticas sobre doenças de plantas não apresentam comportamento uniforme. A literatura geral revisada evidência respostas diferenciadas de doenças e pragas diante de alterações em CO_2, temperatura e UV-B, enquanto Luca,

Romanelli e Marin (2026) demonstram que, para a mancha-alvo da soja, a pressão média da doença pode diminuir em diferentes cenários, mas episódios de elevada severidade ainda podem ocorrer em determinadas regiões. Portanto, os resultados reforçam a necessidade de estratégias de manejo adaptadas às condições climáticas e aos diferentes patossistemas. No caso da mancha-alvo da soja, os autores propõem o uso do EnIL como ferramenta de apoio à decisão, permitindo evitar aplicações de fungicidas quando a perda energética causada pela doença for inferior ao custo energético do controle.

Além disso, o primeiro estudo destaca que alterações na dinâmica dos problemas fitossanitários podem afetar diretamente as práticas de manejo, incluindo a eficácia e a persistência dos pesticidas químicos e o desenvolvimento de resistência em populações. Dessa forma, a avaliação dos impactos climáticos e o desenvolvimento de estratégias de controle eficientes e sustentáveis são considerados fundamentais para a adaptação dos sistemas agrícolas às mudanças climáticas.

Conclusão

As mudanças climáticas podem alterar a ocorrência e a severidade de doenças e pragas, porém seus efeitos variam de acordo com o patossistema e as condições ambientais. Alterações na temperatura, no CO_2 e na radiação UV-B podem influenciar tanto o desenvolvimento dos problemas fitossanitários quanto a eficiência das estratégias de controle. No caso da mancha-alvo da soja, apesar da redução das perdas energéticas médias, algumas regiões podem apresentar maior risco de epidemias severas. Assim, o monitoramento das condições fitossanitárias e a adoção de estratégias de manejo adaptadas às mudanças climáticas são fundamentais para uma produção agrícola mais eficiente e sustentável.

Referências

ANGELOTTI, F.; HAMADA, E.; PEIXOTO, A. R.; GARRIDO, L. da R. Impacto potencial das mudanças climáticas sobre a distribuição geográfica do cancro-bacteriano da videira no Brasil. In: BETTIOL, W.; HAMADA, E.; ANGELOTTI, F.; AUAD, A. M.; GHINI, R. (ed.). Aquecimento global e problemas fitossanitários. Brasília, DF: Embrapa, 2017b. p. 243-261.

ARAÚJO, A. L. de S. Impacto do aumento da temperatura e da concentração de CO2 sobre o oídio em meloeiro. 2019. 80 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental para o Semiárido) – Universidade de Pernambuco, Petrolina.

DAS, T.; MAJUMDAR, M. H.; DEVI, R.; RAJESH, T. Climate change impact on plant diseases. SAARC Journal of Agriculture, v. 14, p. 200-209, 2016. DOI: 10.3329/sja. v14i2.31259.

GHINI, R.; BETTIOL, W.; HAMADA, E. Diseases in tropical and plantation crops as affected by climate changes: current knowledge and perspectives. Plant Pathology, v. 60, p. 122-132, Jan. 2011. DOI: 10.1111/j.1365- 3059.2010.02403.x.

BENTLEY, J. W. Impact of IPM extension for smallholder farmers in the tropics. In: PESHIN R.; DHAWAN A. K. (ed.). Integrated pest management: dissemination and impact. Dordrecht: Springer, 2009. p. 333-346.

JUROSZEK, P.; TIEDEMANN, A. V. Potential strategies and future requirements for plant disease management under a changing climate. Plant Pathology, v. 60, p. 100-112, 2011. DOI: 10.1111/j.1365-3059.2010.02410.x.

KASHYAP, P. L.; KUMAR, S.; SRIVASTAVA, A. K. Nanodiagnostics for plant pathogens. Environmental Chemistry Letters, v. 15, p. 7-13, 2017. DOI: 10.1007/ s10311-016-0580-4.

SANTANA, C. V. da S. Interação entre fatores do ambiente e Oidium sp. em feijão-caupi. 2013. 69 f. Tese (Doutorado em Agricultura Tropical) – Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências Agrárias, Areia.

ANDERSON, R.; BAYER, P. E.; EDWARS, D. Climate change and the need for agricultural adaptation. Current Opinion in Plant Biology, v. 56, p. 197–202, 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.pbi.2019.12.006.

ANGELOTTI, F.; HAMADA, E.; PEIXOTO, A. R.; GARRIDO, L. da R. Impacto potencial das mudanças climáticas sobre a distribuição geográfica do cancro-bacteriano da videira no Brasil. In: BETTIOL, W.; HAMADA, E.; ANGELOTTI, F.; AUAD, A. M.; GHINI, R. (ed.). Aquecimento global e problemas fitossanitários. Brasília, DF: Embrapa, 2017c. p. 243-261.

FERNANDES, H. A.; ANGELOTTI, F.; PINHEIRO, G. S.; CALGARO, M.; GHINI, R.; TORRE NETO, A.; BARBOSA, L. G. Impacto do aumento da concentração de CO2 atmosférico sobre a severidade da ferrugem em videira cv. sugraone In: WORKSHOP SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS E PROBLEMAS FITOSSANITÁRIOS, 2012, Jaguariúna. Anais... Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2012.

GHINI, R.; HAMADA, E., ANGELOTTI, F.; COSTA, L. B.; BETTIOL, W. Research approaches, adaptation strategies, and knowledge gaps concerning the impacts of climate change on plant diseases. Tropical Plant Pathology, v. 37, p. 5-24, 2012. DOI: https://doi.org/10.1590/S1982-56762012000100002.

GHINI, R.; MAC LEODB, R. E. O.; SANTOS, M. S.; SILVA, C. E. O. Elevated atmospheric carbon dioxide concentration increases eucalyptus plantlets growth and reduces diseases severity. Procedia Environmental Sciences, v. 29, p. 206-207, 2015a. DOI: https://doi.org/10.1016/j.proenv.2015.07.264.

MAGALHÃES, E. E. de; ANGELOTTI, F.; FERNANDES, H. A.; PEIXOTO, A. R.; BARBOSA, L. G.; PINHEIRO, G. S. Severidade do oídio da videira em função do aumento da temperatura do ar. In: SIMPÓSIO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS E DESERTIFICAÇÃO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO, 3., 2011, Juazeiro. Experiências para mitigação e adaptação. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2011. 1 CD-ROM. (Embrapa Semiárido. Documentos, 239).

NECHET, K. L.; VILELA, E. S. D.; HECK, D. W.; TERAO, D.; HALFELD-VIEIRA, B. A. Effect of increased UV-B radiation on biological control of the gray mold by Clonostachys rosea and on the expression of strawberry defense-related enzymes. Australasian Plant Pathology, v. 46, n. 2, p. 107-113, 2017. DOI: https://dx.doi.org/10.1007/s13313-017-0467-2.

LESSIN, R. C.; GHINI, R. Impacto do aumento da concentração de CO2 atmosférico sobre a ferrugem asiática e o desenvolvimento de plantas de soja. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2011. 19 p. (Embrapa Meio Ambiente. Boletim de Pesquisa, 57).

TOZZI, F. R. O.; GHINI, R. Impacto do aumento da concentração atmosférica do dióxido de carbono sobre a ferrugem e o crescimento do cafeeiro. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 51, n. 8, p. 933-941, 2016. DOI: https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016000800005.

WING, I. S.; De CIAN, E.; MISTRY, M. N. Global vulnerability of crop yields to climate change. Journal of Environmental Economics and Management, v. 109, 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jeem.2021.102462.

LUCA, G. A; ROMANELLI, T. L; MARIN, F. R. Limiar baseado em energia para o manejo da mancha-alvo da soja sob mudanças climáticas no Brasil. Front. Agron. , 21 de julho de 2026; Seção de Gestão de Doenças. Volume 8 - 2026 |https://doi.org/10.3389/fagro.2026.1835386.

Agradecimentos

À Universidade do Vale do Paraíba (UNIVAP) e à Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). Expressamos também nossa gratidão ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade

Federal do Espírito Santo (PPGAG/UFES), pelo apoio institucional e suporte ao desenvolvimento deste trabalho, bem como à Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo incentivo à pesquisa e ao fortalecimento da produção científica.