

PARTE IV

MUDANÇAS CLIMÁTICAS GLOBAIS E AGRICULTURA

*"O mundo não será destruído
por quem pratica o mal, mas por
quem o vigia sem fazer nada"*
Albert Einstein

PROJEÇÕES DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS E SEUS IMPACTOS NA DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA DE DOENÇAS E PRAGAS AGRÍCOLAS

Emília Hamada, Francislene Angelotti, Kátia Regiane Brunelli, Renata Ribeiro do Valle Gonçalves, Alejandro Mario Rago e Wagner Bettiol

INTRODUÇÃO

As mudanças recentes no clima são rápidas, generalizadas e intensas, afetando atmosfera, oceano, criosfera e biosfera de maneira sem precedentes ao longo de milhares de anos, e com inequívoca influência humana no aquecimento da atmosfera, do oceano e da terra (IPCC, 2021). Nesse Sexto Relatório de Avaliação (AR6) do IPCC, foram definidos cinco cenários para o futuro: cenários com altas emissões de gases de efeito estufa e CO₂ (pessimistas), nos quais o aquecimento global no século XXI superaria 2 °C em relação ao período de 1850 a 1900; cenário intermediário de emissões, com provável aquecimento global de 2 °C; e cenários otimistas, com baixa emissão de gases de efeito estufa e CO₂, nos quais seria improvável um aquecimento global de 2 °C. No entanto, os efeitos do aquecimento global já podem ser sentidos. A temperatura da superfície global aumentou mais rapidamente desde 1970 do que em qualquer outro intervalo de 50 anos nos últimos 2.000 anos (alta confiabilidade), e, na década mais recente (2011–2020), as temperaturas excederam 0,2 °C a 1,0 °C em relação a 1850–1900, considerado o período anterior mais quente em pelo menos 6.500 anos (média confiabilidade) (IPCC, 2021).

As mudanças globais representam um desafio sem precedentes para a biosfera mundial e para a comunidade global, afetando os ecossistemas e os sistemas de produção agrícola em todo o mundo (IPPC Secretariat, 2021). Para a agricultura e a proteção de plantas, as alterações no clima podem promover significativas modificações na ocorrência e na severidade de doenças e pragas agrícolas, alterando a distribuição dos problemas fitossanitários em todo o mundo, com graves consequências econômicas, sociais e ambientais.

Prever a nova distribuição geográfica e temporal dos problemas fitossanitários pode contribuir com a proteção de plantas de maneira significativa, antevendo solu-

ções que sejam mais adaptadas aos novos cenários. Neste capítulo serão apresentadas as principais contribuições técnicas produzidas pela Embrapa Meio Ambiente e seus parceiros para a distribuição geográfica e temporal das doenças e pragas, visando à proteção da saúde das plantas. Também procura-se avançar à luz do conhecimento atual, identificando os desafios e perspectivas futuras.

EVOLUÇÃO DOS ESTUDOS COM MUDANÇAS CLIMÁTICAS E PROBLEMAS FITOSSANITÁRIOS

No Brasil, o primeiro livro sobre mudanças climáticas e doenças de plantas foi publicado em 2005 pela Dra. Raquel Ghini (em memória), pesquisadora da Embrapa Meio Ambiente, cujo livro, intitulado *Mudanças climáticas globais e doenças de plantas*, apresentou a revisão sobre o assunto, com discussões sobre a importância da realização de pesquisas nas condições ambientais brasileiras. Essa obra pioneira serviu de inspiração e base para a abertura de novas linhas de pesquisa na área de proteção de plantas no Brasil, incluindo os impactos das mudanças climáticas na distribuição geográfica e temporal de problemas fitossanitários no país, que se iniciaram nesse período.

A publicação do Terceiro Relatório de Avaliação (TAR) pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) (Houghton et al., 2001) foi relevante para os estudos iniciais sobre os efeitos das mudanças climáticas na distribuição de doenças e pragas. Os relatórios de avaliação começaram a ser disponibilizados em 1990, mas somente a partir de 2001, no âmbito das projeções do clima futuro, foi verificada considerável melhoria no conhecimento sobre os processos do clima incorporado aos modelos climáticos globais, aumentando a complexidade e confiabilidade de suas projeções. Desta forma, a disponibilidade de informações mais confiáveis sobre as projeções do clima futuro nos cenários de mudanças climáticas possibilitou sua utilização em diversos campos de pesquisa.

A utilização das projeções futuras do IPCC para aplicação em estudos de distribuição geográfica constituiu-se um grande desafio, pois demandou o estabelecimento de metodologia para a estruturação dos dados climáticos. As informações passaram por diversas fases, desde a organização em cenários, a integração das projeções dos diferentes modelos climáticos globais de distintas instituições do mundo e dos períodos futuros, definidos para as simulações mensais das variáveis climáticas, até o intensivo e cuidadoso trabalho no processamento computacional das informações. O detalhamento desse processo está apresentado no item “Projeções do IPCC”.

Com base nas projeções do IPCC, diversos estudos foram realizados. Na Tabela 23.1 estão apresentadas, em ordem cronológica, as principais publicações de livros e

séries da Embrapa Meio Ambiente abordando os impactos das mudanças climáticas na distribuição geográfica e temporal de problemas fitossanitários. Além dessas, outras publicações serão discutidas.

Tabela 23.1. Cronograma das principais publicações de livros e série da Embrapa Meio Ambiente sobre impactos das mudanças climáticas sobre problemas fitossanitários.

Ano – tipo da publicação	Título	Referência
2005 – Livro	Mudanças climáticas globais e doenças de plantas	Ghini (2005)
2008 – Livro	Mudanças climáticas: impactos sobre doenças de plantas no Brasil	Ghini e Hamada (2008)*
2010 – Série	Atlas digital dos cenários climáticos futuros projetados para o Brasil com base no Terceiro Relatório do IPCC (2001): variáveis de interesse agrícola	Hamada et al. (2010)
2011 – Livro	Impactos das mudanças climáticas sobre doenças de importantes culturas no Brasil	Ghini et al. (2011a)
2013 – Série	Atlas digital dos cenários climáticos projetados para o Brasil com base no Quarto Relatório do IPCC (2007): variáveis de interesse agrícola	Hamada et al. (2013)
2014 – Livro	Climate change: impacts on plant diseases in Brazil	Ghini e Hamada (2014)*
2013 - Anais	Impactos das mudanças climáticas globais sobre problemas fitossanitários: descrição e resultados	Ghini e Hamada (2013)
2017 – Livro	Aquecimento global e problemas fitossanitários	Bettiol et al. (2017)

* Publicado em parceria com a Embrapa Informação Tecnológica.

O livro organizado por Ghini e Hamada (2008) apresentou discussões sobre os possíveis impactos das mudanças climáticas globais sobre doenças de importantes culturas do Brasil. Para tanto, foram elaborados mapas para o Brasil, a partir das projeções dos modelos climáticos globais dos cenários futuros disponibilizados no TAR do IPCC. Os mapas do Brasil continham dados mensais de temperatura média, máxima e mínima (°C), precipitação (mm/dia), umidade relativa (%) e radiação solar (W/m²) para as condições de referência de 1961 a 1990 e futuras (cenários A2 e B2, projetados para as décadas centradas em 2020, 2050 e 2080), conforme procedimento apresentado por Hamada et al. (2008). Considerando as alterações previstas da distribui-

ção geográfica do clima para o Brasil, os capítulos foram redigidos relacionando as informações climáticas e epidemiológicas e dados disponíveis na literatura, além da experiência dos autores com os problemas fitossanitários das culturas nas diferentes regiões brasileiras. No livro são apresentadas detalhadas discussões sobre o impacto dos novos cenários em doenças da batata, do tomate, pimentão, melão, arroz, cereais de inverno, milho soja, banana, cana-de-açúcar, café, citros e seringueira. Também são discutidos os efeitos sobre os fitonematoides, os agentes de controle biológico e o controle químico. Essa publicação foi posteriormente traduzida para a língua inglesa (Ghini; Hamada, 2014), ampliando o acesso de leitores de outros países.

O livro de Ghini e Hamada (2008) despertou grande atenção por parte dos fitopatologistas, agrônomos e profissionais ligados ao setor, e um aumento no número de trabalhos de pesquisa e de iniciativas de discussões a respeito do assunto foi observado, tanto no Brasil quanto em outros países. Dentre os projetos, o marco foi o “Impactos das mudanças climáticas globais sobre problemas fitossanitários” (Climapest), iniciado em 2009, que participou do Sistema Embrapa de Gestão da carteira de projetos de pesquisa do Macroprograma 1 - Grandes Desafios Nacionais, e foi liderado pela Embrapa Meio Ambiente. O projeto contou com a participação de 134 membros, de 39 instituições, sendo 17 Unidades da Embrapa e 22 instituições parceiras, entre Universidades, Institutos de pesquisa e Empresas privadas. O projeto contemplou trabalhos de experimentação (abordado no capítulo “Mudanças Climáticas e problemas fitossanitários”) e de simulação, com mapas de distribuição geográfica e temporal das culturas de soja, café, milho, laranja, forragicultura, espécies florestais, maçã, pêssego, banana, manga, uva, mandioca, algodão, mamona, coco, dendê, cana-de-açúcar, amendoim, arroz e feijão (Figura 23.1). A descrição e os principais resultados do projeto foram reunidos em Ghini e Hamada (2013), contemplando a listagem de artigos, livros, capítulos de livro, séries da Embrapa, teses e trabalhos em anais de eventos, os eventos e os projetos de pesquisa relacionados.

Motivados pelo crescente interesse do público em geral pelo tema de mudanças climáticas no Brasil, Hamada et al. (2010) organizaram o Atlas dos mapas mensais de variáveis climáticas de interesse agrícola, para o período de referência de 1961 a 1990, e dos cenários A2 e B2 para 2020, 2050 e 2080, com base no TAR do IPCC (2001), disponibilizando figuras, tabelas e dados originais de precipitação pluvial e temperatura média do ar, com recorte para a América do Sul, permitindo consultas de forma mais dinâmica e com melhor qualidade visual.

Uma das atividades do projeto Climapest para o estudo da distribuição geográfica foi a estruturação dos dados climáticos, considerando os modelos climáticos globais apresentados no Quarto Relatório de Avaliação (AR4) do IPCC (2007). Esses dados serviram de base para as discussões de um novo livro, publicado e organizado por Ghini et al. (2011a). Esse livro seguiu o mesmo procedimento do livro de

2008 (Ghini; Hamada, 2008), considerando os mapas do clima futuro para o Brasil e relacionando-os com as informações epidemiológicas da literatura e a experiência dos autores, contemplando novas culturas de importância econômica e social para o Brasil: abacaxi, acácia-negra, alface, brássicas, cajueiro, cebola, coqueiro, eucalipto, fruteiras de caroço, mamoeiro, mandioca, mangueira, morangueiro, pinus, sorgo e videira. Além disso, também foram discutidos os efeitos sobre a ocorrência de epidemias de doenças e sobre doenças bacterianas no Brasil. O processo de estruturação da base de dados climática do AR4 do IPCC está descrito em Hamada et al. (2011a). Também foi elaborado um Atlas por Hamada et al. (2013), para consulta e visualização dos mapas mensais de seis variáveis (temperatura média (°C), temperatura máxima (°C), temperatura mínima (°C), precipitação (mm/dia), umidade relativa (%) e período de molhamento foliar (h/dia)) para o período de referência de 1961–1990 e dos cenários A2 e B1 para os períodos de 2011–2040, 2041–2070 e 2071–2100, incluindo tabelas e dados originais de precipitação pluvial e temperatura média do ar, com recorte para o Brasil.

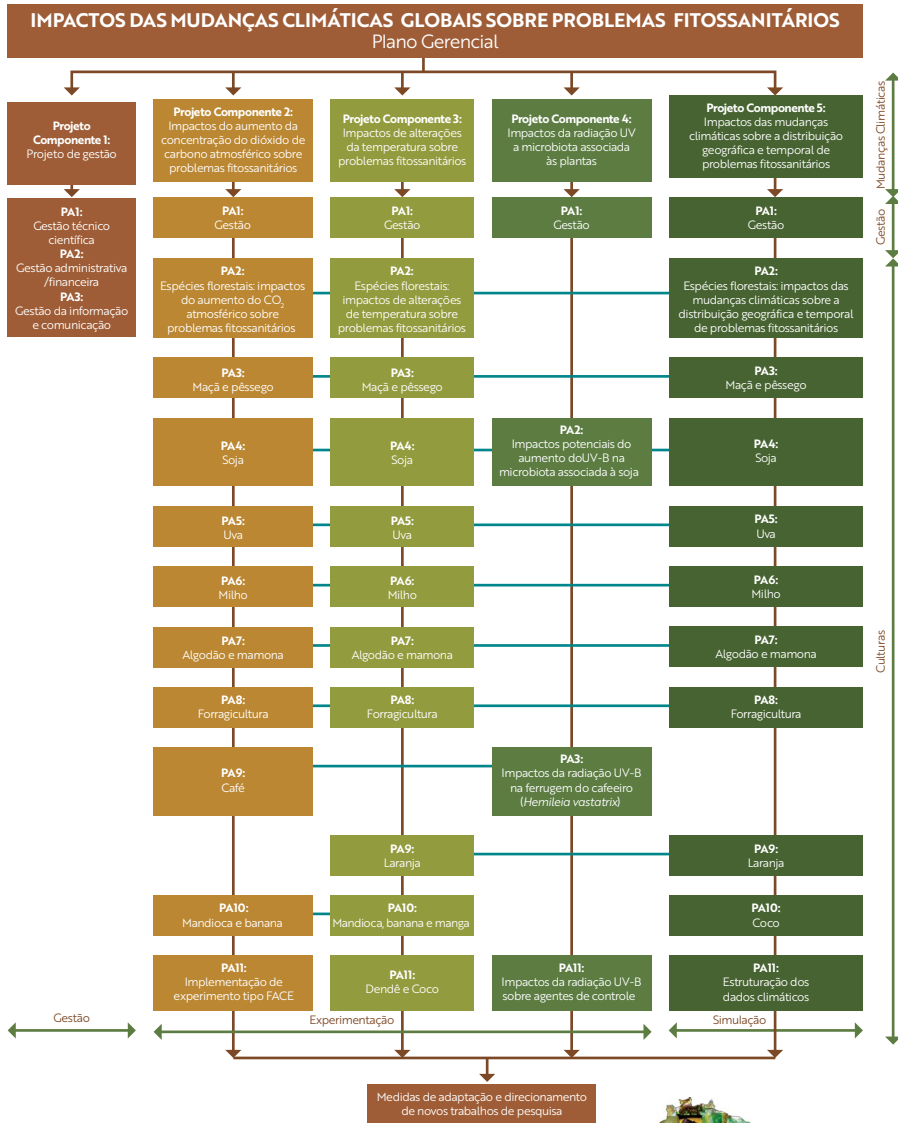


Figura 23.1. Organograma do projeto Climapest.



O livro organizado por Bettiol et al. (2017), seguindo a base climática do AR4 do IPCC, apresentou pela primeira vez capítulos que trataram dos efeitos do aquecimento global sobre pragas, que, apesar da sua grande importância, ainda não tinham sido abordados anteriormente. Temas gerais como a Fitopatologia e a Entomologia nos cenários de aquecimento global, os efeitos do aumento da temperatura e do déficit hídrico nas doenças de plantas, os efeitos sobre a quebra de resistência genética a doenças em hortaliças, além do impacto sobre a comunidade microbiana do solo, também receberam atenção. Neste livro, a discussão sobre ferrugem do cafeeiro, pragas da cana-de-açúcar, pragas em oleaginosas e pragas das pastagens considerou as informações climáticas dos mapas do clima futuro para o Brasil, relacionando-as a dados epidemiológicos da literatura e à experiência dos autores, em uma abordagem descritiva. Para as ferrugens do milho e do eucalipto, o cancro-bacteriano da videira, pragas do algodoeiro, do eucalipto, do pessegueiro e do mogno, e exemplos pontuais de pragas em oleaginosas e pastagens, as avaliações do impacto foram feitas com base em modelagem. Nesses estudos, foram aplicadas as informações climáticas do clima futuro, estruturadas no banco de dados geográfico de Sistema de Informações Geográficas (SIG) em modelos matemáticos ou equações de lógica matemática, definidos na literatura e na experiência dos autores, resultando em mapas preditivos da variável resposta, tais como severidade da doença, número de ciclos, número de gerações, favorabilidade de ocorrência etc.

O primeiro trabalho sobre a abordagem por modelagem para obtenção de mapas de distribuição geográfica de problemas fitossanitários de plantas foi realizado por Hamada et al. (2006). Utilizando o modelo biológico do bicho-mineiro-do-cafeeiro (*Leucoptera coffeella*) e associando-o às alterações climáticas futuras no Brasil, foram comparados dois processos de elaboração de mapas. O primeiro seguiu o modelo de incrementos constantes de temperatura, precipitação e outras variáveis climáticas para as condições climáticas futuras. Essa abordagem foi a pioneira no mundo para análise sobre mudanças na distribuição geográfica e temporal dos problemas fitossanitários, frente a possíveis alterações de clima. A temperatura foi a variável de entrada do modelo.

Para o segundo processo, as informações de temperatura foram tiradas diretamente das projeções dos modelos climáticos globais, disponibilizadas pelo TAR, centrados na década de 2080, cenário A2, que variaram espacialmente. Em ambos os processos de elaboração de mapas foram observados aumentos no número provável de ciclos do bicho-mineiro no futuro. No entanto, a utilização de incrementos constantes de temperatura média levou a subestimar o número de ciclos vitais do inseto no futuro, comparada à utilização de incremento de temperatura variando espacialmente das projeções do TAR. Desta forma, além de observar a diferença sazonal, foi possível verificar a diferença regional de ocorrência do número de ciclos do bicho-

-mineiro com estimativas mais precisas, adotando-se o processo com incrementos de temperatura variando espacialmente.

PROJEÇÕES DO IPCC

As projeções recentes do IPCC estimam o aquecimento entre 1,5 °C a 2 °C, na média global, que será excedido durante o século XXI, a menos que reduções drásticas na emissão de CO₂ e outros gases de efeito estufa ocorram nas próximas décadas (IPCC, 2021). Estimativas e alertas como esse são disponibilizados de forma periódica pelo IPCC, desde 1990, por meio de suas avaliações, elaboradas e revisadas em diversas etapas, garantindo objetividade e transparência. Nos relatórios de avaliação, o IPCC determina o estado atual do conhecimento sobre as mudanças climáticas, identifica os acordos na comunidade científica sobre tópicos relacionados às mudanças climáticas, e em que âmbitos mais pesquisas serão necessárias.

O IPCC disponibiliza também as simulações de diversos e sofisticados modelos globais de circulação atmosférica, desenvolvidos por renomadas instituições do mundo e executados de acordo com os diferentes cenários futuros. Esses modelos são baseados em princípios físicos bem estabelecidos e descrevem características do clima recente e alterações do clima passado, e, com considerável confiança, fornecem estimativas quantitativas da mudança do clima futuro (Randall; Wood, 2007).

A utilização das projeções dos modelos climáticos, juntamente com as informações adicionais obtidas de dados observados, possibilita prever com base quantitativa a ocorrência das mudanças do clima do futuro. Assim, esta é uma importante ferramenta na avaliação dos efeitos das alterações do clima, e foram utilizados nos estudos de impactos das mudanças climáticas na distribuição geográfica e temporal de problemas fitossanitários pela Embrapa Meio Ambiente. No período de 2005 a 2017, as publicações relacionadas ao tema foram baseadas nas projeções dos modelos globais disponibilizados nos relatórios de avaliação do TAR e AR4 (IPCC, 2001, 2007), conforme ilustra a Figura 23.2.

No livro de Ghini e Hamada (2008), as discussões foram baseadas nos mapas climáticos confeccionados a partir das projeções do TAR do IPCC. Foram escolhidos dois cenários climáticos futuros para o Brasil: A2 (mais pessimista) e B2 (mais otimista) e projeções originalmente integradas nas décadas de 2020 (2010–2039), 2050 (2040–2069) e 2080 (2070–2099). Os mapas dos cenários futuros foram resultantes da média das respostas de seis modelos climáticos globais de previsões futuras, disponibilizados pelo Data Distribution Centre (DDC) (http://www.ipcc-data.org/sim/gcm_clim/SRES_TAR/index.html) do IPCC. Os dados das variáveis climáticas foram inseridos no banco de dados do SIG, adotando-se o sistema de coordenadas geográficas (latitude e longitude) e ajustando os mapas para a resolução espacial de 0,5° X 0,5° (Hamada et al., 2008; Hamada et al., 2010).



Figura 23.2. Linha do tempo das publicações de mudanças climáticas e problemas fitossanitários (Ghini, 2005; Ghini; Hamada, 2008; Hamada et al., 2010; Ghini et al., 2011a; Hamada et al., 2013; Bettiol et al., 2017) e os relatórios de avaliação do TAR e AR4 do IPCC (2001, 2007).

Para as discussões baseadas nas projeções do AR4 do IPCC (Ghini et al., 2011a; Bettiol et al., 2017), também foram selecionados os cenários A2 e B1 de emissão de gases de efeito estufa e simulações disponibilizadas originalmente ano a ano até 2100. Desta forma, uma etapa complementar foi integrar os dados para os períodos de 2011–2040, 2041–2070 e 2071–2100 e os mapas do clima futuro para o Brasil. Os dados foram obtidos da média aritmética das projeções de quinze modelos climáticos globais, selecionados entre os mais de vinte disponibilizados pelo DDC (http://www.ipcc-data.org/sim/gcm_clim/SRES_AR4/index.html) do IPCC. Uma correção de viés para minimizar a divergência entre os valores observados e as correspondentes projeções retrospectivas dos modelos, obtendo-se as projeções corrigidas, foi também adotada (Hamada et al., 2011a; Hamada et al., 2013; Hamada et al., 2017). Utilizando a base de dados estruturada das projeções climáticas, foi possível verificar alterações do clima no Brasil, de forma quantificada. Por exemplo, a Figura 23.3 apresenta os mapas de temperatura média do ar, cujas informações mensais foram agrupadas por estações do ano. No futuro, a média dos modelos do AR4 projeta o aquecimento em todas as regiões do país, com incremento na média de 3,4 °C no verão, 3,5 °C no outono; 3,8 °C no inverno e 3,9 °C na primavera para 2071–2100, cenário A2, baseado no período de referência de 1961–1990 (Hamada; Ghini, 2015).

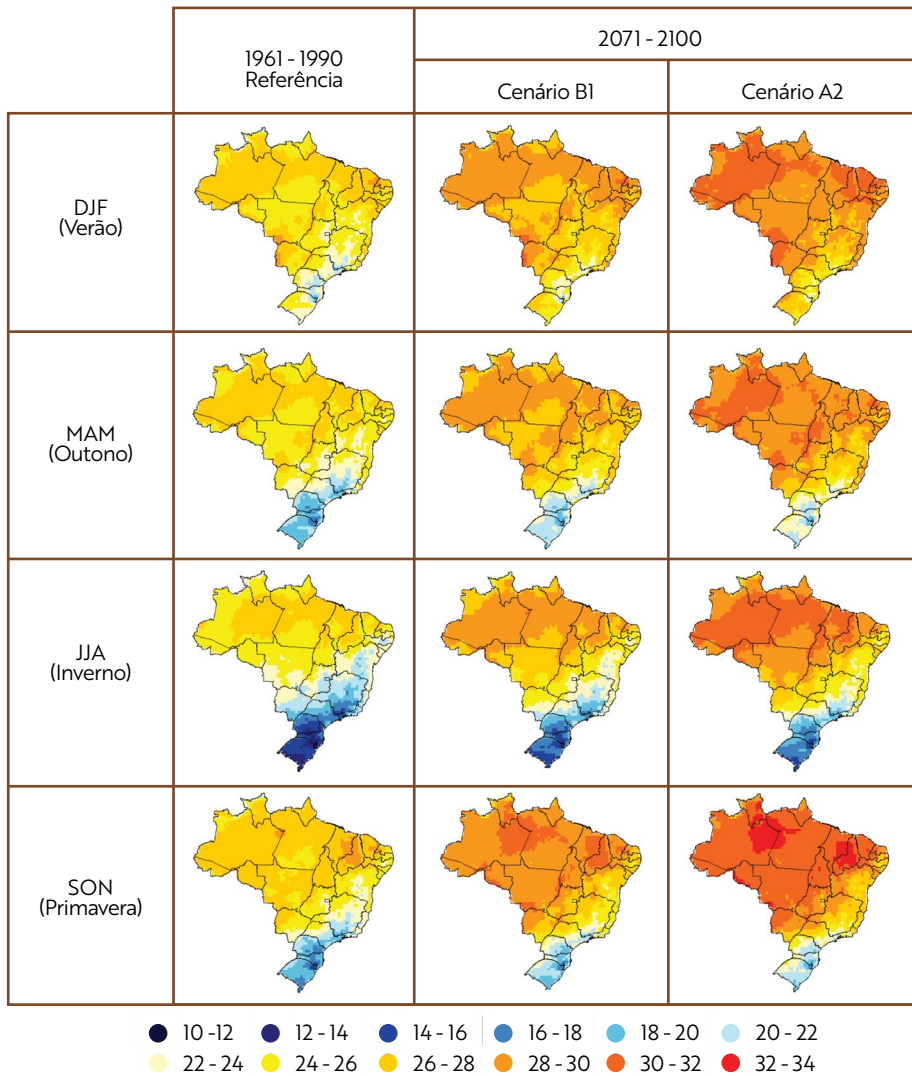


Figura 23.3. Temperatura média do ar (°C) nas estações do ano, agregados em verão (dezembro a fevereiro), outono (Março a Maio), inverno (Junho a Agosto) e primavera (Setembro a Novembro) para o clima observado de referência de 1961-1990 e o clima projetado de 2071-2100, cenários B1 e A2, da média de 15 modelos climáticos globais do Quarto Relatório do IPCC. Fonte: Hamada e Ghini (2015).

As projeções estão se tornando cada vez mais confiáveis graças ao desenvolvimento crescente dos modelos climáticos globais (IPCC, 2007). Entre 1990 e 2021, observações e modelos melhoraram a compreensão do clima (IPCC, 2021). Se na década de 1990 apontou-se um aquecimento global de 0,3 °C a 0,6 °C, desde os anos 1800, o Sexto Relatório (AR6) indica aquecimento de 0,95 °C a 1,2 °C. A evolução dos modelos também se deu na sua resolução espacial, cujas projeções partiram de 500 km e, mais recentemente, apresentam 100 km (modelos de sistema global) e de 25 a 50 km (modelos de sistema regional), considerados modelos de alta resolução. Além disso, os modelos atuais adicionaram elementos da química de atmosfera, uso e cobertura do solo, biogeoquímica terrestre e oceânica, e interações de aerossol e nuvem aos elementos que já vinham sendo considerados de circulação atmosférica e oceânica, transferência radioativa, física terrestre e gelo marinho.

DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA E TEMPORAL DE DOENÇAS E PRAGAS

O impacto das mudanças climáticas foi analisado em 279 patossistemas de 30 culturas agrícolas (Figura 23.4), e 33 insetos-pragas de oito culturas (Figura 23.5 e Tabela 23.2), considerando as publicações realizadas (Ghini et al., 2007; Ghini et al., 2008; Ghini; Hamada, 2008; Ghini et al., 2011a; Ghini et al., 2011b; Hamada et al., 2011b; Hamada et al., 2015; Angelotti et al., 2014; Angelotti et al., 2017; Bettiol et al., 2017). Para as doenças de plantas, os cultivos analisados foram divididos em quatro grupos: Fruteiras (abacaxi, banana, caju, citros, coco, frutas de caroço, mamão, manga, melão, morango e uva); Olerícolas (alface, batata, brássicas, cebola, pimentão e tomate); Grãos e Industriais (amendoim, arroz, café, cana-de-açúcar, cereais, mandioca, milho, soja e sorgo); e Florestais (acácia, eucalipto, pinus e seringueira). Destaca-se que 127 patossistemas poderão ter um aumento da sua importância frente aos cenários futuros, e 69 patógenos poderão ter a importância diminuída. Esses dados por grupo de cultivos correspondem a um aumento de 52,2%, 39,5%, 40,0% e 56,7% para Fruteiras, Olerícolas, Grãos e Industriais, e Florestais, respectivamente, indicando que haverá uma maior favorabilidade climática para a ocorrência dos patógenos analisados (Figura 23.4). Para a ocorrência de insetos pragas, o aumento da favorabilidade climática será para 66% dos organismos estudados (Tabela 23.2), nas plantas agrupadas em Florestais (eucaliptos e mogno), Fruteiras (coco e pêssego), Pastagens, e Grãos e Industriais (algodão, café e oleaginosas) (Figura 23.5).

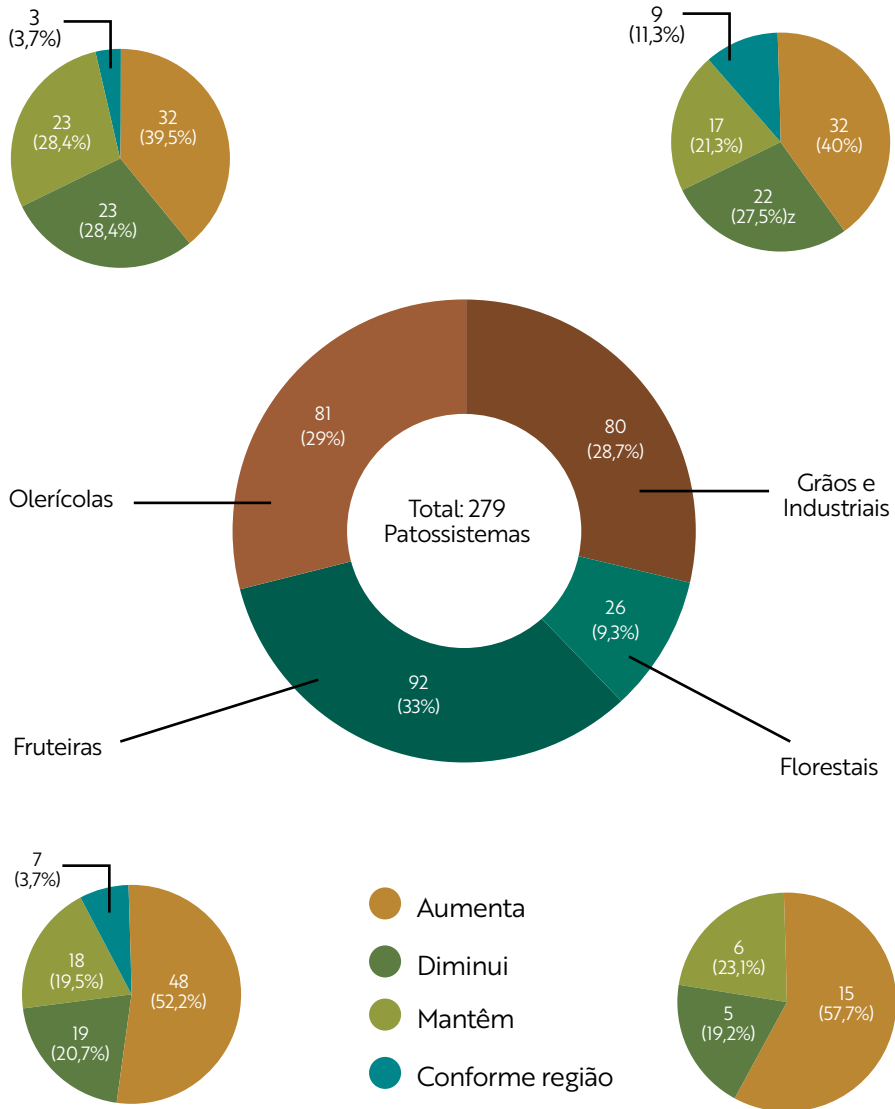


Figura 23.4. Potencial impacto das mudanças climáticas em doenças de plantas agrupadas em Fruteiras, Olerícolas, Grãos e Industriais, e Florestais, ocasionadas por fungos, bactérias, vírus e nematoides no Brasil.

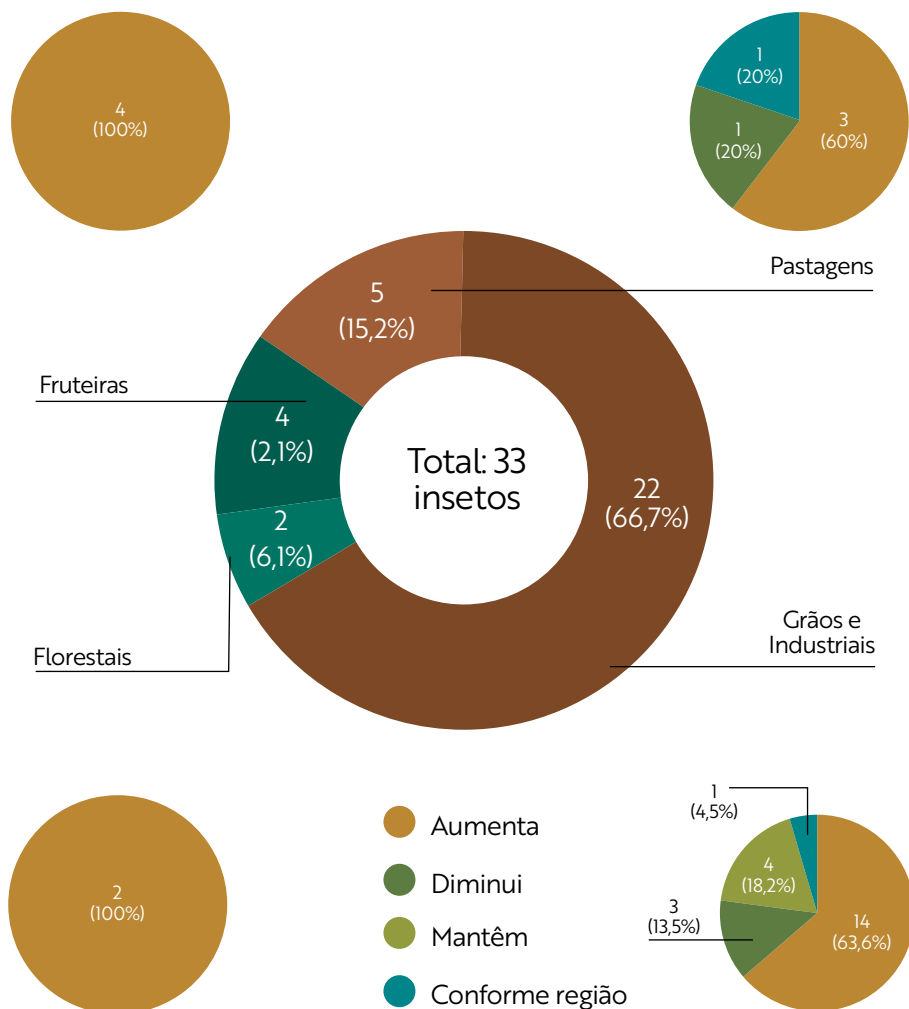


Figura 23.5. Potencial impacto das mudanças climáticas em insetos-pragas em plantas agrupadas em Florestais, Fruteiras, Pastagens, e Grãos e Industriais no Brasil.

Tanto o aumento, quanto a redução na ocorrência de risco de problemas fitossanitários são informações importantes para defesa vegetal, uma vez que alterações na dinâmica populacional de microrganismos e insetos têm implicações diretas nas estratégias de manejo e nos custos de produção.

Destaca-se que a ocorrência de problemas fitossanitários interfere diretamente na dinâmica florestal, causando impactos sobre o crescimento, a reprodução e a sobrevivência das espécies (Dukes et al., 2009). Entretanto, analisando os resultados obtidos ao longo dos últimos anos no Brasil, apenas 9% dos estudos foram realizados em patossistemas florestais, e apenas um estudo com praga em mogno, sendo essa uma lacuna importante para novos estudos.

Os resultados obtidos por meio do uso do SIG com a elaboração de mapas de distribuição geográfica e temporal têm contribuído na geração de conhecimento sobre a favorabilidade climática em diferentes áreas, com climas específicos. Para o Brasil, um país continental, as informações geradas em função do clima das regiões produtoras têm sido fundamentais para a análise de dados de doenças associadas às localizações geográficas. Por exemplo, Angelotti et al. (2017a) avaliaram o potencial impacto das mudanças climáticas na ocorrência do míldio da videira, causado por *Plasmopara viticola*, no Brasil, conjugando dados experimentais de efeitos do aumento de temperatura e mapas de distribuição geográfica e temporal da favorabilidade de ocorrência da doença. No estudo foram consideradas a temperatura do ar e a duração de período de molhamento foliar do clima de referência e climas futuros. Os autores observaram que a infecção do míldio da videira será afetada pelo aumento da temperatura, diminuindo a severidade e aumentando o período latente da doença. Assim, com base nos cenários climáticos futuros projetados pelo IPCC, os mapas indicam, em geral, redução da favorabilidade de ocorrência do míldio no território brasileiro, mas com variabilidade para as diferentes regiões produtoras de uva.

A distribuição espacial e os riscos frente à favorabilidade climática a partir dos mapas elaborados considerando as projeções do clima futuro contribuirão para a prevenção e a disseminação de patógenos entre as diferentes regiões (Bisonard et al., 2020). Doenças como o cancro bacteriano da videira podem ser evitadas em função do conhecimento sobre o risco climático das regiões produtoras, especificado por meio de mapas de distribuição geográfica e temporal, que podem ser facilmente interpretados (Angelotti et al., 2017b). A partir da análise potencial de risco, os tomadores de decisão podem, além de prevenir a entrada de um patógeno, recomendar medidas de controle mais eficientes.

Para prever a distribuição geográfica do ácaro vermelho das palmeiras, Raiolla indica (Acari: Tenuipalpidae), praga invasora do coqueiro no Brasil, Navia et al. (2016) utilizaram a metodologia na construção de mapas considerando faixas de favorabilidade de temperatura e umidade relativa. Os níveis dessas faixas foram definidos a

partir da informação disponível sobre a biologia e a dinâmica populacional da praga. Os autores observaram aumento de favorabilidade para os cenários futuros, indicando agravamento do impacto da praga, caso esta esteja amplamente disseminada e causando danos no país. Também verificaram que, nos cenários de referência e futuros de mudanças climáticas, a maior parte das áreas favoráveis e muito favoráveis para o ácaro-vermelho-das-palmeiras está no Nordeste do Brasil.

A partir das projeções de aumento, redução ou manutenção na ocorrência de problemas fitossanitários, faz-se necessário o acompanhamento das populações ao longo dos anos, visto que outros fatores, como os efeitos diretos e indiretos dos elementos climáticos sobre as plantas hospedeiras, a ocorrência de inimigos naturais, bem como a adaptação dos microrganismos e dos insetos, podem interferir nas projeções. Além disso, as mudanças climáticas poderão causar impactos sobre a geografia dos cultivos agrícolas, com perspectivas de ampliação de áreas de cultivos em regiões de clima temperado. Desta maneira, maior atenção precisará ser dada à distribuição geografia e temporal de pragas e doenças de plantas, com possível interferência nos quadros fitossanitários atual e futuro.

Tabela 23.2. Efeito das mudanças climáticas na ocorrência de insetos-pragas no Brasil.

Hospedeiro	Praga	Efeito das mudanças climáticas
Algodão (Albuquerque et al., 2017)	Curruquerê-do-algodoeiro (<i>Alabama argillacea</i>)	Aumento populacional
	Ácaro vermelho (<i>Tetranychus luteidii</i>)	Aumento da favorabilidade com diferença ao longo dos meses
Café (Ghini et al., 2008)	Bicho-mineiro (<i>Leucoptera coffeella</i>)	Aumento populacional
Coco (Marçal et al., 2013; Navia et al., 2016)	Ácaro-vermelho-das-palmeiras (<i>Raoiella indica</i>)	Aumento da favorabilidade
Eucalipto (Wrege et al., 2017)	Percevejo-bronzeado (<i>Thaumastocoris peregrinus</i>)	Aumento populacional
Mogno (Wrege; Thomazini, 2017)	Broca do ponteiro ou broca das meliáceas (<i>Hypsipyla grandella</i>)	Aumento populacional
Oleaginosas (Bueno et al., 2017)	Curculionídeos-das-raízes (<i>Parapanatomorus fluctuosus</i>)	Aumento populacional
	Lagarta (<i>Elasmopalpus lignosellus</i>)	Tolerante ao aquecimento global
	Lagarta (<i>Agrotis ipsilon</i>); <i>Maraca vitrata</i>)	Baixo impacto frente ao aumento da temperatura
	Coco (<i>Anticarsia gemmatalis</i>)	Temperatura > 25 °C poderá prejudicar o desenvolvimento e/ou deslocar a área de ocorrência desta praga para outras regiões
	Lagarta-da-soja (<i>Anticarsia gemmatalis</i>)	Aumento na região Sul
	Lagartas falsa-medideiras (<i>Complexo de Plusiinae</i>)	Resposta variável em função das regiões produtoras
	Lagartas (gênero Spodoptera) e Lagartas-das-maças (<i>Chloridea virescens</i>)	Aumento
	Lagarta (<i>Helicoverpa armigera</i>)	Redução
	Traça-das-crucíferas (<i>Plutella xylostella</i>)	Adaptação em regiões com altas temperaturas
	Mosca branca (<i>Bemisia tabaci</i>)	Aumento
	Váquinha (<i>Ceratomyia arcuata</i> ; <i>Diatrocha speciosa</i>)	Elevação da temperatura até 30 °C é benéfica à ocorrência desses insetos
	Trips (<i>Frankliniella</i> sp.; <i>Caliothrips brasiliensis</i>)	Aumento
	Ácaro (<i>Tetranychus urticae</i> ; <i>Polyphagotarsonemus latus</i>)	Aumento
	Percevejo-verde (<i>Nezara viridula</i>)	Redução
	Percevejo-marrom (<i>Euschistus heros</i>)	Aumento de áreas favoráveis
	Percevejo-verde-pequeno (<i>Piezodorus guildinii</i>)	Manutenção das áreas favoráveis nas regiões quentes e frias do Brasil.
Pastagens (Auaud et al., 2017)	Cigarrinha (<i>Mahanarva spectabilis</i>)	Oeste; Aumento incremento na região Sul
	Pulgão (<i>Siphia flava</i> , <i>Rhopalosiphum padi</i>)	Redução de <i>Siphia flava</i> e aumento para <i>Rhopalosiphum padi</i>
	Lagarta (<i>Spodoptera frugiperda</i>)	Aumento no número de gerações
	Cochonilha (<i>Antonina graminis</i>)	Aumento da taxa metabólica do inseto e no número de gerações
Pêssego (Nava et al., 2017)	Mosca-das- frutas (<i>Anastrepha fraterculus</i> , <i>Ceratitis capitata</i> e <i>Grapholita molesta</i>)	Aumentov

EXEMPLOS DE POSSÍVEIS IMPACTOS DA ALTERAÇÃO AMBIENTAL

Grande parte das olerícolas de importância econômica tem seu centro de origem em locais de climas temperado e foram introduzidas no Brasil por imigrantes europeus e asiáticos que tinham hábitos de consumo desses vegetais em seus países de origem. Durante décadas esses vegetais foram selecionados por produtores e pesquisadores visando torná-los cada vez mais adaptados às condições de clima e solo do ambiente tropical. Essa insistência proporcionou estabilidade anual de produção, evitando sazonalidades na oferta dos produtos. Couve-flor e brócolis, alfaces crespas e americanas são encontradas em grande parte do Brasil durante o ano todo. Além da seleção para adaptabilidade ambiental, os programas de melhoramento genético também têm agregado resistência a importantes patógenos. Para que essa resistência funcione, é necessário compreender a dinâmica da população patogênica e sua interação com o ambiente e com o hospedeiro. Alterações ambientais podem reduzir a expressão dos genes de resistência, tornando suscetíveis genótipos antes resistentes. Isso acontece, por exemplo, com o gene Mi-1 do tomateiro, responsável pela resistência aos nematoides *Meloidogyne javanica*, *Meloidogyne incognita* e *Meloidogyne arenaria*, amplamente utilizado nos programas de melhoramento da cultura. A temperatura ambiente acima de 28 °C torna esse gene não efetivo e os genótipos suscetíveis (Droppkin, 1969). Portanto, a elevação térmica por período prolongado fará com que a efetividade da resistência seja perdida e o problema com a doença volte a ser importante (Brunelli et al., 2017).

Mudança no ambiente também pode favorecer a infecção e colonização de patógenos. *Leveillula taurica*, agente causal do oídio em pimentão, por exemplo, é altamente favorecido por elevadas temperaturas e baixa umidade relativa. No Brasil, em um passado recente, essa doença era importante em plantas de pimentões cultivadas em ambiente protegido e irrigadas por sistema de gotejamento. Hoje, em vista da redução do regime pluviométrico que algumas regiões enfrentam, essa doença também se tornou importante para pimentão cultivado em campo aberto. Não são raros relatos de epidemia dessa doença, tanto em campo aberto quanto em cultivo protegido. A elevação térmica e a alteração no regime pluviométrico estão associadas a essas epidemias. Kobori et al. (2008) haviam predito o aumento significativo na importância dessa doença diante de mudanças climáticas.

Frente a um novo cenário climático, patógenos e vetores também podem sofrer pressão de seleção, mantendo sua importância ou até mesmo aumentando. Vários patógenos e pragas possuem plasticidade genotípica, o que pode lhes garantir sucesso de sobrevivência em ambientes que antes seriam inóspitos. *Podosphaera xanthii*, causador do oídio das cucurbitáceas, é um exemplo. Essa espécie possui mais de 28 raças fisioló-

gicas descritas (Hong, 2018), que são capazes de suportar ampla faixa de temperatura e umidade. Como seus esporos são dispersos a grandes distâncias, os patótipos selecionados em um local podem migrar rapidamente para outros distantes do local de origem. Ao chegarem nesse novo ambiente, podem se tornar predominantes, ampliando o problema da doença. Exemplo disso é a raça 3.5, originalmente descrita na Europa em 2008 (Pitra; Besombes, 2008). Três anos após esse primeiro relato, ela foi encontrada nos Estados Unidos (McCreight; Coffey, 2011), e, mais recentemente, no Brasil. Essa é uma raça capaz de infectar as cucurbitáceas em ampla faixa de temperatura e de umidade relativa, e tem a tendência de se tornar predominante após introduzida, causando importantes epidemias. Na região de Baraúnas (RN), onde foi detectada pela primeira vez no Brasil, a temperatura pode chegar facilmente aos 38 °C, e a umidade relativa pode variar de 50% a 90%, dependendo da época do ano. Brunelli et al. (2008) projetaram possível substituição de raças com manutenção da importância da doença frente a novos cenários climáticos. Por ter sido encontrada recentemente no Brasil, não há dados suficientes para afirmar se a raça 3.5 é atualmente a predominante.

Outro exemplo importante é o oomiceto *Bremia lactucae*, agente causal do míldio da alface. Esse patógeno causa problemas em locais ou épocas com temperatura baixa, entre 15 °C e 20 °C, e com alta umidade relativa. O que se tem observado ao longo dos últimos anos, principalmente nas regiões Sul e Sudeste do Brasil, é que a doença, antes restrita aos meses de inverno, está estendendo a importância para a primavera. Novos isolados estão sendo identificados no Brasil, e parte deles é capaz de quebrar os genes de resistência de muitas variedades comerciais. Apesar de baixa plasticidade climática, *Bremia* parece estar se adaptando a ambientes um pouco mais aquecidos. Não se espera, até o ponto em que se conhece desse patógeno, que ele passe a ter importância em temperaturas muito elevadas, assim como previsto por Kobori et al. (2011), mas o que se observa é que, mesmo em ambientes um pouco mais aquecidos, a doença continua importante.

Patógenos de solo também podem evoluir para continuar parasitando seus hospedeiros quando submetidos à pressão de seleção. *Plasmodiophora brassicae*, um importante patógeno das plantas da família das brássicas, como brócolis, couve-flor, repolho e rúcula, tem mostrado ampla adaptação às alterações ambientais e químicas do solo. Dados de literatura indicam que a infecção do patógeno nas raízes das plantas é altamente favorecida por ambiente ácido do solo, associado a temperatura ambiente entre 20 °C e 25 °C (Carrijo; Rêgo, 2000; Maringoni, 2005). Observações a campo, entretanto, contrapõem a essa afirmação. Nos campos brasileiros não é raro ataque severo de *Plasmodiophora brassicae* em temperaturas superiores a 25 °C, demonstrando claramente que a adaptação desse patógeno já o tornou capaz de suportar ambientes aquecidos. Em cultivos extensivos do Equador, brócolis são atacados severamente por *Plasmodiophora brassicae* em pH do solo acima de 8,0. Até o momento, não se co-

nhecem, na espécie *Brassica oleracea*, genes de resistência efetivos e duráveis a este patógeno. Com a falta de base genética para resistência, aliada à ampla adaptação ambiental, maior até do que a do próprio hospedeiro, este é um exemplo de patógeno que pode ampliar a importância diante de um cenário de mudança climática, assim como previsto por Brunelli et al. (2011).

O mosaico dourado do tomateiro ou geminivirose é uma das doenças virais mais importantes para o cultivo de tomate ao redor do mundo. No Brasil, é causada por mais de 14 espécies distintas de vírus pertencentes ao gênero *Begomovirus*. Essas espécies possuem genoma formado por DNA de fita simples e circular, podendo ser compostos por uma única partícula (monopartido) ou por duas (bipartido). No país, apenas um *begomovirus* monopartido foi reportado (ToMoLCV), todos os demais são bipartidos (Inoue-Nagata et al., 2016).

A transmissão se dá de forma persistente pela mosca branca *Bemisia tabaci*. O biótipo B (MEAM 1) de *Bemisia tabaci* foi o grande responsável pelas severas epidemias ocorridas nas últimas décadas no Brasil. Em 2014, foi reportado pela primeira vez a ocorrência do biótipo Q (MED) de *Bemisia tabaci* (Barbosa et al., 2014). Este biótipo tem menor valor de competição quando comparado ao B, porém possui alto nível de resistência aos neonicotinoides, inseticidas muito utilizados para controle de mosca branca. Talvez por este motivo, nos levantamentos populacionais mais recentes feitos no Brasil, o biótipo Q tem se mostrado prevalente nas principais áreas hortícolas brasileiras. Nos últimos dois anos, houve redução significativa na incidência e severidade do mosaico dourado nas principais áreas de cultivo de tomate do Brasil. Esse fato coincide com a redução na população do biótipo B e incremento do Q. Gottlieb et al. (2010) já haviam reportado, em estudos realizados em Israel, que o biótipo Q, transmitia de forma errática e pobre o TYLCV, um geminivirus monopartido, para plantas de tomate. Provavelmente bactérias simbiotes, presentes no biótipo B e ausentes no biótipo Q, em Israel, seriam a causa da baixa habilidade deste último em transmitir o *begomovirus*. A redução na importância da doença no Brasil pode, aos moldes do ocorrido em Israel, estar associada à troca da população do inseto vetor. Isso demonstra que alterações não esperadas na população de vetores e pragas podem alterar as previsões realizadas sobre importância futura das doenças. Nas análises preditivas realizadas por Gioria et al. (2008) sobre alterações climáticas e doenças do tomateiro, esperava-se que, com o aumento da temperatura, o geminivirus continuasse a ter a importância do passado, uma vez que populações de mosca branca tendem a se multiplicar mais facilmente em um cenário mais aquecido. De fato, o inseto continua a ter grande importância como praga, mas pode ter perdido a importância como vetor. Apesar dessa redução na importância da doença, vivenciada nos últimos anos, técnicos e melhoristas que trabalham com a cultura do tomateiro não esperam que este cenário perdure por muito tempo. Exatamente por haver uma ampla diversidade ge-

nética na população do biótipo Q, é esperado que em algum momento a doença volte a ter a importância de alguns anos atrás. Por isso, os programas de melhoramento do tomateiro continuam o trabalho de ampliar o *pool* de genes de resistência a estes vírus nas novas variedades comerciais.

EXPERIÊNCIAS DA PARCERIA COM INSTITUIÇÃO DE PESQUISA DA ARGENTINA

Uma aliança estratégica entre a Embrapa Meio Ambiente e o Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) da Argentina, por meio do projeto Climafitos (2011–2015) e Climafitos 2 (2018–2021), possibilitou a realização de análises conjuntas de doenças, enfatizando a importância da internacionalização da pesquisa, abrindo novas oportunidades para explorar o risco de surgimento de outros problemas fitossanitários que poderiam afetar os diferentes países, inclusive na região da América do Sul (Bisonard et al., 2020). Nesse estudo foram analisadas doenças que afetam a cultura da cana-de-açúcar e do amendoim no Brasil e na Argentina. Um caso analisado foi a queima das folhas da cana-de-açúcar, causada por *Stagonospora sacchari*. No Brasil, este agente fitossanitário é considerado uma Praga Quarentenária A1, o que significa que é uma espécie exótica potencial (não introduzida) e que constitui ameaça à economia agrícola, sendo necessárias medidas de controle que evitem a entrada no país. Na Argentina foi relatada, mas não é considerada um dos principais patógenos da cultura. O patógeno pode gerar perdas de produção quando as condições climáticas forem favoráveis e as variedades cultivadas suscetíveis. A intensidade da doença é incrementada na presença de chuvas intensas no verão, que podem acelerar a disseminação do patógeno (Lee; Liang, 2000). As principais áreas de cana-de-açúcar na Argentina apresentam-se favoráveis ou muito favoráveis à doença, e nos períodos futuros o panorama é de aumento da favorabilidade à sua incidência, diferentemente do que ocorre nas áreas produtoras de amendoim no Brasil, onde a tendência de favorabilidade climática apresenta redução no futuro (Hamada et al., 2019).

Na cana-de-açúcar, a ferrugem alaranjada causada pelo fungo *Puccinia kuehnii* é a doença mais nova da cultura nas Américas. Restrita à Austrália e ao Sudeste Asiático como doença secundária, tornou-se importante desde a detecção na Flórida (EUA), em 2007 (Comstock et al., 2008). Logo, o patógeno foi registrado em diferentes países, entre eles o Brasil (Barbasso et al., 2010) e a Argentina (Funes et al., 2016). Na Argentina, o registro foi em uma pequena área canavieira da província de Misiones, próxima à fronteira com o Brasil, e até o momento não foi registrada a presença nas províncias de Tucumán, Salta e Jujuy, principal área produtora Argentina (Funes et al., 2016). No Brasil, o patógeno ganhou importância econômica devido aos danos causados nas

principais regiões produtoras do estado de São Paulo (Klosowski et al., 2015; Sentelhas et al. 2016). A ocorrência está intimamente relacionada às condições ambientais favoráveis para as etapas do ciclo de infecção do patógeno e à presença de cultivares suscetíveis. O desenvolvimento da ferrugem alaranjada é favorecido por períodos prolongados com temperaturas noturnas entre 20 °C e 22,2 °C. No entanto, temperaturas máximas acima de 32,2 °C afetam negativamente o desenvolvimento da doença (Sangel et al., 2019). Avaliando o risco de ocorrência da ferrugem alaranjada na Argentina e no Brasil frente às mudanças climáticas, determinou-se que a favorabilidade para a ocorrência nas principais regiões produtoras de cana-de-açúcar variou ao longo dos meses do ciclo de cultivo. Tanto para a Argentina quanto para Brasil, os cenários climáticos futuros apontam para uma redução da favorabilidade para a ocorrência da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar nos meses de maior crescimento da cultura (dezembro a março).

Nos países Brasil e Argentina, produtores de amendoim, a ocorrência de condições climáticas favoráveis, com umidade relativa igual ou superior a 90% e temperaturas médias acima de 20 °C, apresenta-se como uma ameaça à produção devido à ocorrência de doenças, principalmente a mancha castanha e a mancha preta, causadas pelos fungos *Cercospora arachidicola* e *Cercosporidium personatum*, respectivamente. Essas doenças têm ocorrência frequente, com maior ou menor intensidade dependendo das condições ambientais, em ambas as regiões produtoras (Barreto, 2016; March et al., 1993). Os mapas de distribuição geográfica e temporal da mancha preta do amendoim para a Argentina e Brasil apresentam diferenças na favorabilidade ao longo dos meses e dos anos. No clima atual, as principais áreas produtoras de amendoim da Argentina apresentam alta favorabilidade para a ocorrência da mancha preta, e os cenários futuros indicam aumento na favorabilidade climática. No entanto, para o Brasil, as mesorregiões de Ribeirão Preto, Araraquara Bauru, Assis e Marília, que ainda apresentam áreas desfavoráveis para ocorrência do fungo *Cercosporidium personatum*, no futuro enfrentarão aumento da favorabilidade, com destaque para o mês de março, que apresenta, na atualidade, 85% da área desfavorável. Estas diferenças podem ser explicadas pela interação planta-patógeno-ambiente, relacionadas com a adaptabilidade dos patógenos aos diferentes locais de produção, e pela diversidade genética das variedades de amendoim plantadas nos dois países (Bisonard et al., 2020).

CONTRIBUIÇÕES E EFEITOS SOBRE ESTRATÉGIAS DE MANEJO

É indiscutível a importância de realizar uma previsão, a mais detalhada possível, utilizando as informações constantes nos relatórios do IPCC. Essas previsões permitem que profissionais que trabalham no setor definam novas estratégias de manejo das doenças sob a ótica das alterações climáticas. Esse aspecto sempre foi

discutido no âmbito do projeto Climapest, motivo do envolvimento de profissionais das empresas privadas que trabalham diretamente com o manejo integrado. Todas as medidas de controle disponíveis devem ser consideradas nas estratégias de manejo. Entretanto, considerando os cenários das mudanças climáticas e as informações obtidas de que a importância de diversas doenças das principais culturas agrícolas brasileiras será aumentada, novas estratégias devem ser desenvolvidas e outras, já disponíveis, encaradas com novas abordagens. Assim, a associação do controle genético (o mais importante e menos impactante no controle de doenças), químico, físico, biológico e cultural terá extrema importância no enfrentamento das mudanças climáticas.

Os métodos de controle de doenças de plantas poderão ser afetados pelas mudanças climáticas. Assim, o entendimento desses efeitos colaborará na redução das perdas de produtividade, sendo ferramenta indispensável para permitir uma previsão com determinada segurança. Cada componente do novo clima influenciará de diferentes formas no manejo integrado. O aumento da temperatura poderá fazer com que importantes genes de resistência sejam desligados, e, com isso, variedades atualmente resistentes poderão perder essa característica. Ainda, o aumento de temperatura poderá inviabilizar a utilização de determinados agentes de controle biológico mais sensíveis ao aumento da temperatura.

Alterações na precipitação, relacionadas com intensidade, frequência ou duração, poderão comprometer a eficiência tanto do controle químico quanto do biológico, haja vista que ambos dependem dessas condições para manter a eficiência ou mesmo a presença sobre o hospedeiro.

Além dos efeitos diretos sobre o clima (temperatura e umidade), os novos cenários preveem alteração no ciclo do carbono. O aumento da concentração de CO_2 atmosférico interferirá direta e indiretamente sobre o controle biológico e químico. No caso do controle biológico, as populações envolvidas poderão ser afetadas negativamente, positivamente ou não sofrerem nenhum tipo de ação pelo aumento do CO_2 . O controle químico poderá ser influenciado negativamente nas plantas que responderem positivamente ao incremento do CO_2 (aumento de crescimento e vigor) pela dificuldade dos produtos em atingir o alvo. Além disso, a fisiologia e a morfologia das plantas também serão alteradas, e com isso aspectos relacionados a alguns mecanismos de resistência poderão ser comprometidos. É conhecido que a elevação na concentração de CO_2 atmosférico altera as concentrações de nutrientes e de carboidratos nas plantas, a quantidade de fibras, o acúmulo de silício (importante na resistência de algumas plantas), a quantidade de estômatos nas folhas, o acúmulo de cera nas folhas, e outras alterações, todas guardando relação com a incidência e severidade de doenças. Assim, considerar também esse fator nas previsões seria importante. Contudo, não existem informações disponíveis até o momento.

O aumento nos níveis de CO₂ e de temperatura e alterações no padrão de precipitação, por exemplo, bem como a nova geografia das doenças prevista em Ghini e Hamada (2008), Ghini et al. (2011a) e Bettiol et al. (2017), sugerem que o controle cultural por meio da rotação de cultura precisará ser reestruturado, pois as plantas utilizadas nessa prática poderão ter sua resistência aos patógenos alterada, além de poderem ser atacadas por novos problemas fitossanitários. Dessa forma, haverá necessidade de ampliar os estudos sobre quais sequencias de rotação deverão ser recomendadas.

Quando se analisa os cenários futuros, apresentado em Ghini e Hamada (2008), Ghini et al. (2011a) e Bettiol et al. (2017), observa-se que o controle físico, de modo geral, deverá ser pouco influenciado pelas mudanças climáticas, pois o uso de refrigeração, atmosfera controlada ou modificada, radiação, eliminação de determinados comprimentos de ondas, termoterapia dos órgãos de propagação, e tratamento térmico do solo por meio do uso de vapor, da solarização e de coletor solar, são menos dependentes das condições climáticas do que os outros métodos. A refrigeração, o uso de radiação, a termoterapia de órgãos de propagação, a eliminação de determinados comprimentos de ondas e o tratamento térmico do solo utilizam energia externa ao sistema, e normalmente são empregados com controle das condições ambientais. A solarização do solo e o uso de coletor solar poderão ser beneficiados pelo aumento de temperatura em todas as regiões brasileiras. Contudo, dependendo do que ocorrer, com a precipitação poderão ser negativamente influenciados em determinados períodos do ano.

A desinfestação anaeróbica ou biológica dos solos é um método de tratamento de solo que visa ao controle de doenças das plantas causados por patógenos habitantes do solo (Roskopf et al., 2015; Shrestha et al., 2016), que vem aumentando de importância nos últimos anos, nos esforços de substituir o uso de brometo de metila, um dos gases responsáveis pela destruição da camada de ozônio. Essa prática poderá ser beneficiada pela elevação da temperatura e do aumento do CO₂. Considerando que a desinfestação anaeróbica é obtida por meio da incorporação de fontes de matéria orgânica, ricas em carbono, associada à cobertura do solo com um filme plástico para elevação da temperatura (Rooskopf et al., 2015), as alterações ambientais previstas deverão acelerar a atividade microbiana no solo, aumentando a eficiência da técnica. Assim como a solarização, essa é uma ferramenta de controle que tem sido pouco utilizada, mas poderá ser estimulada frente a um novo cenário climático.

Por outro lado, o controle biológico de doenças de plantas, que é o resultado de uma interação entre hospedeiro, patógeno e uma variedade de não patógenos que repousam no sítio de infecção, com potencial de limitar ou aumentar a atividade dos patógenos, ou a resistência do hospedeiro (Cook; Baker, 1983; Cook, 1985), é amplamente afetado pelas condições ambientais. Portanto, seguramente as mudanças climáticas previstas em Ghini e Hamada (2008), Ghini et al. (2011a) e Bettiol et al. (2017), alterarão as interações hospedeiro-patógeno-agentes de controle biológico (Bettiol, 2008). De

acordo com Bettiol e Ghini (2009), as mudanças climáticas afetarão o número de espécies e a diversidade de microrganismos que vivem na rizosfera, filosfera, carposfera e espermosfera, e dos endofíticos, e conseqüentemente o equilíbrio biológico necessário nesse ambiente. Além disso, de acordo com Coakley et al. (1999), as mudanças climáticas alterarão a dinâmica da comunidade microbiana do solo e da parte aérea das plantas, com isso poderão interferir no controle de patógenos e no desenvolvimento delas. Dessa forma, os quatro tipos de controle biológico (natural, conservativo, aumentativo e clássico) poderão ser amplamente influenciados no clima futuro. O controle biológico natural poderá ser o mais afetado, pois é importante o equilíbrio das populações. O controle biológico conservativo, que tem a indução de supressividade do solo como um grande exemplo, terá que ser estudado de forma a considerar as mudanças climáticas, pois o recrutamento de microrganismos pelas plantas será alterado (Faria et al., 2021). O controle biológico clássico, baseado na introdução de espécies exóticas, terá que considerar as novas condições climáticas e se os organismos introduzidos se adaptarão aos novos cenários. No caso do controle biológico aumentativo, em que a eficácia dos agentes de controle biológico varia de acordo com o ambiente (Bettiol; Ghini, 2009; Elad; Pertot, 2014), seguramente será afetada em todas as regiões brasileiras considerando as previsões em Ghini e Hamada (2008), Ghini et al. (2011a) e Bettiol et al. (2017). Assim, os efeitos do ambiente sobre os bioagentes obrigatoriamente terão que ser amplamente estudados antes de seu registro, para o controle de doenças. Contudo, ainda é muito limitado o conhecimento sobre os efeitos das mudanças climáticas sobre os agentes de biocontrole. Mas, com certeza, durante o processo de desenvolvimento dos produtos biológicos, como no isolamento e na seleção dos agentes de biocontrole, os aspectos relacionados com as mudanças climáticas deverão ser considerados (Bettiol et al., 2021, no prelo). As informações constantes em Ghini e Hamada (2008), Ghini et al. (2011a), Bettiol et al. (2017) e Hamada et al. (2011a, 2013) podem colaborar para que, durante o processo de desenvolvimento dos produtos, os novos cenários sejam utilizados.

Nesse aspecto, e considerando as elevações de temperatura previstas no Terceiro (TAR) e no Quarto (AR4) Relatórios do IPCC e apresentados em Ghini e Hamada (2008) e Ghini et al. (2011a), respectivamente, pode-se afirmar que tanto a diversidade quanto as atividades dos antagonistas serão alteradas. Bactérias do gênero *Bacillus* estão entre os antagonistas mais comercializados no mundo para controle de doenças de plantas. Essas bactérias, apesar de serem afetadas, se desenvolvem em uma ampla faixa de temperatura. *Bacillus*, portanto, possivelmente não teria sérios problemas com as elevações de temperatura. Dentre os fungos antagonistas mais comercializados no mundo, sem dúvida *Trichoderma* é o mais importante. Dentro do gênero *Trichoderma*, é possível encontrar isolados que crescem e se reproduzem em ampla faixa de temperatura. Dessa forma, será imprescindível isolar e selecionar isolados adaptados

aos novos cenários climáticos, principalmente se considerado o seu uso em áreas em que a temperatura já é mais elevada, como diversas regiões brasileiras. Contudo, antagonistas como *Conyothirium* e *Clonostachys*, que são mais sensíveis à temperatura, poderão ter a eficiência alterada, pois a faixa adequada de temperatura para esses fungos está entre 15 °C e 25 °C (Sutton et al., 1997; Melo, 1998; Morandi et al., 2001; Zaldúa; Sanfuentes, 2010; Musiet-Soto, 2015).

De acordo com Bettiol (2008), considerado o mapa de temperaturas médias previstas para o Brasil por Hamada et al. (2008), a introdução massal de bioagentes deverá ser beneficiada nas regiões Sul e Sudeste do Brasil, pois as temperaturas adequadas aos antagonistas se manterão por maior período. Entretanto, Bettiol (2008) considera que, para as regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste, diversos antagonistas comercializados atualmente não encontrarão temperaturas adequadas para uso. Essas previsões são importantes de serem consideradas pelas instituições públicas e privadas nos trabalhos de isolamento e seleção de antagonistas, a fim de se obter organismos adaptados às novas condições climáticas. Além da temperatura, a precipitação também é fundamental para as atividades dos antagonistas, portanto também terão que ser consideradas as condições de umidade nos trabalhos de seleção destes.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Doença pode ser conceituada como uma interação dinâmica entre um patógeno agressivo e um hospedeiro suscetível, em íntima relação com o ambiente, o conhecido triângulo da doença. Uma das formas de controlar enfermidades de plantas é exatamente alterar o ambiente para desfavorecer a evolução de uma doença. Quando controlada, é possível prever as implicações da mudança no manejo. Um inseto passa a ser considerado como praga quando a sua população aumenta, causando dano econômico para uma cultura agrícola cultivada ou produtos armazenados. Noris et al. (2003) propõem um tetraedro, com o inseto, a cultura, o ambiente e o tempo em cada vértice.

As mudanças nos padrões climáticos da terra tendem a ser mais complexas, e as interferências sobre os hospedeiros, patógenos e insetos pragas não tão óbvias. Modelos matemáticos que tentam prever a nova realidade climática nos próximos 60 anos foram gerados a partir de relatórios disponibilizados pelo IPCC. Com base nesses dados, e com a experiência de cientistas e técnicos, foi possível prever possíveis novos padrões para as principais doenças e pragas que afligem culturas de importância econômica no Brasil. Essas previsões são fundamentais para nortear novas formas de controlar a doença. Entretanto, por envolver muitas variáveis, como adaptação do hospedeiro, adaptação do patógeno, interação desses novos genótipos entre si e no ambiente, é adequado que o monitoramento da doença seja sempre feito com olhar

crítico frente a novos cenários, permitindo seguir os rumos previamente determinados ou guiná-los, caso necessário.

A junção de cientistas e técnicos de vários setores do agronegócio permite um olhar mais amplo sobre os problemas que poderão advir das alterações climáticas. As previsões sobre os patossistemas frente aos novos cenários foram feitas a partir de parcerias com diversas instituições de pesquisa, universidades, fundações e empresas privadas. Os resultados contribuirão para o direcionamento do melhoramento genético, na busca de cultivares com maior tolerância aos estresses bióticos e alterações nas estratégias de manejo, auxiliando na escolha de medidas de adaptação que ajudarão a reduzir os impactos negativos frente às mudanças climáticas. Os mapas de distribuição geográfica e temporal apresentam também um papel importante na prevenção de disseminação entre fronteiras de países, uma vez que, a partir da identificação de potenciais ameaças, ações efetivas para a defesa vegetal poderão ser adotadas. Além disso, por meio do alerta do IPCC vislumbra-se que a proteção de plantas deverá trazer à luz as estratégias de manejo integrado, visando à conservação ambiental e à sustentabilidade dos sistemas de cultivo.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, F. A. de; HAMADA, E.; SANTOS, J. O. dos. Impacto potencial das mudanças climáticas sobre a distribuição geográfica do curuquerê e do ácaro-vermelho-do algodoeiro nas regiões Nordeste e Centro-Oeste e no Estado do Tocantins. In: BETTIOL, W.; HAMADA, E.; ANGELOTTI, F.; AUAD, A. M.; GHINI, R. (Ed.). **Aquecimento global e problemas fitossanitários**. Brasília, DF: Embrapa, 2017. cap. 17, p. 410-439. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/171030/1/Impacto-potencial-das-mudancas-climaticas-sobre-a-distribuicao-geografica.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2021.
- ANGELOTTI, F.; HAMADA, E.; GHINI, R.; GARRIDO, L. R.; TEIXEIRA, A. H. C.; PEDRO JUNIOR, M. J. **Mudanças climáticas e o cenário de ocorrência do mildio e do oídio da videira no Submédio do Vale do São Francisco**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2014. 20 p. (Embrapa Semiárido. Documentos, 260). Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/114743/1/SDC260.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2021.
- ANGELOTTI, F.; HAMADA, E.; MAGALHAES, E. E.; GHINI, R.; GARRIDO, L. R.; PEDRO JUNIOR, M. J. Climate change and the occurrence of downy mildew in Brazilian grapevines. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, p. 426-434, 2017a. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2017000600006>.
- ANGELOTTI, F.; HAMADA, E.; PEIXOTO, A. R.; GARRIDO, L. R. Impacto potencial das mudanças climáticas sobre a distribuição geográfica do cancro-bacteriano da videira no Brasil. BETTIOL, W.; HAMADA, E.; ANGELOTTI, F.; AUAD, A. M.; GHINI, R. (Ed.). **Aquecimento global e problemas fitossanitários**. Brasília, DF: Embrapa, 2017b. cap. 12, p. 243-261. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/165562/1/Fran-4.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2021.
- AUAD, A. M.; FONSECA, M. das G.; RESENDE, T. T. de. Efeito do aquecimento global sobre pragas das pastagens. In: BETTIOL, W.; HAMADA, E.; ANGELOTTI, F.; AUAD, A. M.; GHINI, R. (Ed.). **Aquecimento global e problemas fitossanitários**. Brasília, DF: Embrapa, 2017. cap. 16, p. 380-409. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/174533/1/Cap-16-Livro-Aquecimento-Global.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2021.
- BARBOSA, L. F.; MARUBAYASHI, J. M.; MARCHI, B. R.; YUKI, V. A.; PAVAN, M. A.; MORIONES, E.; NAVAS-CASTILLO, J.; KRAUSE-SAKATE, R. Indigenous American species of the *Bemisia tabaci* complex are still widespread in the Americas. **Pest Management Science**, v. 70, n. 10, p. 1440-1445, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1002/ps.3731>.
- BARRETO, M. Doenças do amendoim. In: AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L. E. A. (Ed.). **Manual de fitopatologia: doenças das plantas cultivadas**. 5 ed. Ouro Fino: Agrônômica Ceres, 2016. v. 2. p. 75- 81.
- BISONARD, E. M.; ANGELOTTI, F.; HAMADA, E.; GONCALVES, R. R. V.; RAGO, A. M. Evolução da mancha preta do amendoim nas principais regiões produtoras da Argentina e do Brasil frente às mudanças no clima. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, p. 1778-1791, 2020. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.4.p1778-1791>.
- BUENO, A. de F.; BORTOLOTTI, O. C.; BUENO, R. C. O. de F.; HAMADA, E.; FAVETTI, B. M.; SILVA, G. V. Efeitos do aquecimento global sobre pragas de oleaginosas. In: BETTIOL, W.; HAMADA, E.; ANGELOTTI, F.; AUAD, A. M.; GHINI, R. (Ed.). **Aquecimento global e**

- problemas fitossanitários.** Brasília, DF: Embrapa, 2017. cap. 14, p. 280-347. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/165635/1/Efeitos-do-aquecimento.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2021.
- BETTIOL, W. Impacto potencial das mudanças climáticas sobre o controle biológico de doenças de plantas. In: GHINI, R.; HAMADA, E. (Ed.). **Mudanças climáticas: impactos sobre doenças de plantas no Brasil.** Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. cap. 18, p. 299-321. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/150056/1/2008CL-40.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2021.
- BETTIOL, W.; GHINI, R. Impactos das mudanças climáticas sobre o controle biológico de doenças de plantas. In: BETTIOL, W.; MORANDI, M.A.B. **Biocontrole de doenças de plantas: uso e perspectivas.** Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2009. p. 29-48. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/144210/1/2009CL-01.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2021.
- BETTIOL, W.; HAMADA, E.; ANGELOTTI, F.; AUAD, A. M.; GHINI, R. (Ed.). **Aquecimento global e problemas fitossanitários.** Brasília, DF: Embrapa, 2017. 488 p. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/165241/1/2017LVo3.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2021.
- BRUNELLI, K. R.; GIORIA, R.; KOBORI, R. F. Impacto potencial das mudanças climáticas sobre as doenças das brássicas no Brasil. In: GHINI, R.; HAMADA, E.; BETTIOL, W. (Ed.). **Impactos das mudanças climáticas sobre doenças de importantes culturas no Brasil.** Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2011. p. 145-160. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/45857/4/24343.PDF>. Acesso em: 25 ago. 2021.
- BRUNELLI, K. R.; GIORIA, R.; KOBORI, R. F. Influência do aquecimento global na quebra de resistência genética a doenças de hortaliças. In: BETTIOL, W.; HAMADA, E.; ANGELOTTI, F.; AUAD, A. M.; GHINI, R. (Ed.). **Aquecimento global e problemas fitossanitários.** Brasília, DF: Embrapa, 2017. p. 159-176.
- BRUNELLI, K. R.; KOBORI, R. F.; GIORIA, R. Impacto potencial das mudanças climáticas sobre as doenças do melão no Brasil. In: GHINI, R.; HAMADA, E. (Ed.). **Mudanças climáticas: impactos sobre doenças de plantas no Brasil.** Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008, p. 129-139.
- CARRIJO, I. V.; RÊGO, A. M. Doenças das brássicas. In: ZAMBOLIM, L.; VALE, F. X. R.; COSTA, H. (Ed.). **Controle de doenças de plantas.** Viçosa: UFV, 2000, v. 1, p. 335-372.
- COAKLEY, S. M.; SCHERM, H.; CHAKRABORTY, S. Climate change and plant disease management. **Annual Review of Phytopathology.** v. 37, p. 399-426, 1999.
- COMSTOCK, J. C.; SOOD, S. G.; GLYNN, N. C.; SHINEII, J.; MCKEMY, J. M.; CASTLEBURY, L. A. First report of *Puccinia kuehnii* butler, causal agent of orange rust of sugarcane in the United States and Western Hemisphere. **Plant Disease,** v. 92, p. 175, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1094/PDIS-92-1-0175A>.
- DROPKIN, V.H. Necrotic reaction of tomatoes and other hosts resistant to *Meloidogyne*: Reversal by temperature. **Phytopathology,** v.59, p. 1632-1637, 1969. Disponível em: <https://eurekamag.com/research/014/757/014757499.php>. Acesso em: 25 ago. 2021.
- DUKES, J. S.; PONTIUS, J.; ORWIG, D.; GARNAS, J. R.; RODGERS, V. L.; BRAZEE, N.; COOKE, B.; THEOHARIDES, K. A.; STANGE, E. E.; HARRINGTON, R.; EHRENFELD, J.; GUREVITCH, J.; LERDAU, M.; STINSON, K.; WICK, R.; AYRES, M. Responses of insect pests, pathogens, and invasive plant species to climate change in the forests of northeastern North America: what can we predict? **Canadian Journal of Forest Research,** v. 39, p. 231-248, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1139/Xo8-171>.

FARIA, M. R.; COSTA, L. S. A. S.; CHIARAMONTE, J. B.; BETTIOL, W.; MENDES, R. The rhizosphere microbiome: functions, dynamics, and role in plant protection. **Tropical Plant Pathology**, v. 46, p. 13-25, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40858-020-00390-5>.

GASSMANN, W.; APPEL, H. M.; OLIVER, M. J. The interface between abiotic and biotic stress responses. **Journal of Experimental Botany**, v. 67, p. 2023-2024, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1093/jxb/erw110>.

GHINI, R. **Mudanças climáticas globais e doenças de plantas**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2005. 104 p. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/58499/1/MudancasClimaticas2005.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2021.

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, 2011c. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2010.02403.x>.

GHINI, R.; HAMADA, E. (Ed.). **Climate change: impacts on plant diseases in Brazil**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. E-book. Disponível em: <https://vendasliv.sct.embrapa.br/liv4/consultaProduto.do?metodo=detalhar&codigoProduto=00052830>. Acesso em: 25 ago. 2021.

GHINI, R.; HAMADA, E. (Ed.). **Mudanças climáticas: impactos sobre doenças de plantas no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. 331 p. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/149956/1/2008OL-06.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2021.

GHINI, R.; HAMADA, E. (Org.). **Impactos das mudanças climáticas globais sobre problemas fitossanitários: descrição e resultados**. Jaguariúna, SP: Embrapa Meio Ambiente, 2013. 1 CD-ROM.

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, n. 1, p. 5-24, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1982-56762012000100002>.

GHINI, R.; HAMADA, E.; BETTIOL, W. Climate change and plant diseases. **Scientia Agricola**, v.65, special issue, p. 98-107, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-90162008000700015>.

GHINI, R.; HAMADA, E.; BETTIOL, W. (Ed.). **Impactos das mudanças climáticas sobre doenças de importantes culturas no Brasil**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2011a. 356 p. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/45857/4/24343.PDF>. Acesso em: 25 ago. 2021.

GHINI, R.; HAMADA, E.; GONÇALVES, R. R. V.; GASPAROTTO, L.; PEREIRA, J. C. R. Análise de risco das mudanças climáticas globais sobre a sigatoka-negra da bananeira no Brasil. **Fitopatologia Brasileira**, v. 32, p. 197-204, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-41582007000300003>.

GHINI, R.; HAMADA, E.; PEDRO JUNIOR, M. J.; GONÇALVES, R. R. V. Incubation period of *Hemileia vastatrix* in coffee plants in Brazil simulated under climate change. **Summa Phytopathologica**, v. 37, p. 85-93, 2011b. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-54052011000200001>.

GHINI, R.; HAMADA, E.; PEDRO JÚNIOR, M. J.; MARENGO, J. A.; GONÇALVES, R. R. V. Risk analysis of climate change on coffee nematodes and leaf miner in Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 2, p. 187-194, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2008000200005>.

GOTTLIEB, Y.; ZCHORI-FEIN, E.; MOZES-DAUBE, N.; KONTSEDALOV, S.; SKALJAC, M.; BRUMIN, M.; SOBOL, I.; CZOSNEK, H.; VAVRE, F.; FLEURY, F.; GHANIM, M. The transmission efficiency of tomato yellow leaf curl virus by the whitefly *Bemisia tabaci* is correlated with the presence of a specific symbiotic bacterium species. *Journal of Virology*, v. 84, n. 18, p. 9310-9317, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1128/JVI.00423-10>.

HAMADA, E.; ANGELOTTI, F.; GARRIDO, L. R.; GHINI, R.; CARVALHO, M. C.; PALLADINO, R. P. Efeito das mudanças climáticas sobre a favorabilidade às podridões da uva madura e cinzenta da videira no Nordeste brasileiro. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 4, n. 6, p. 1213-1221, 2011b. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgfv4i6.232767>.

HAMADA, E.; ANGELOTTI, F.; GARRIDO, L.R.; GHINI, R. Cenários futuros de epidemia do oídio da videira com as mudanças climáticas para o Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 8, p. 454-470, 2015. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgfv8.o.p454-470>.

HAMADA, E.; BISONARD, E. M.; GONCALVES, R. R. V.; ANGELOTTI, F.; MORALES, C. C.; RAGO, A. M. Panorama da favorabilidade da doença queima das folhas da cana-de-açúcar no Brasil e na Argentina sob efeito das mudanças climáticas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 19, 2019, Santos. *Anais...* São José dos Campos: INPE, 2019. p. 775-778. Disponível em: <https://proceedings.science/sbsr-2019/papers/panorama-da-favorabilidade-da-doenca-queima-das-folhas-da-cana-de-acucar-no-brasil-e-na-argentina-sob-efeito-das-mudanca>. Acesso em: 25 ago. 2021.

HAMADA, E.; GHINI, R.; GONÇALVES, R. R. V. Efeito da mudança climática sobre problemas fitossanitários de plantas: metodologias de elaboração de mapas. *Engenharia ambiental*, v. 3, p. 73-85, 2006. Disponível em: <http://ferramentas.unipinhal.edu.br/engenhariaambiental/viewarticle.php?id=57&layout=abstract>. Acesso em: 09 ago. 2021.

HAMADA, E.; GHINI, R.; GONÇALVES, R. R. V.; MARENGO, J.; THOMAZ, M. C. **Atlas digital dos cenários climáticos futuros projetados para o Brasil com base no Terceiro Relatório do IPCC (2001):** variáveis de interesse agrícola. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2010. CD-ROM. (Embrapa Meio Ambiente. Documentos, 82).

HAMADA, E.; GHINI, R.; MARENGO, J. A.; OLIVEIRA, B. S.; NOGUEIRA, S. M. C. **Atlas digital dos cenários climáticos projetados para o Brasil com base no Quarto Relatório do IPCC (2007):** variáveis de interesse agrícola. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2013. CD-ROM. (Embrapa Meio Ambiente. Documentos, 96).

HAMADA, E.; GHINI, R.; MARENGO, J. A.; THOMAZ, M. C. Projeções de mudanças climáticas para o Brasil no final do século XXI. In: GHINI, R.; HAMADA, E.; BETTIOL, W. (Ed.). **Impactos das mudanças climáticas sobre doenças de importantes culturas no Brasil.** Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2011a. p. 41-74.

HAMADA, E.; GHINI, R.; OLIVEIRA, B. S. Projeções de variáveis climáticas de interesse agrícola para o Brasil ao longo do século 21. In: BETTIOL, W.; HAMADA, E.; ANGELOTTI, F.; AUAD, A. M.; GHINI, R. (Ed.). **Aquecimento global e problemas fitossanitários.** Brasília, DF: Embrapa, 2017. p. 17-52.

HAMADA, E.; GONÇALVES, R. R. V.; MARENGO, J. A.; GHINI, R. Cenários climáticos futuros para o Brasil. In: GHINI, R.; HAMADA, E. (Ed.). **Mudanças climáticas: impactos sobre doenças de plantas no Brasil.** Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. p. 25-73. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/150054/1/2008CL-38.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2021.

HONG, Y.; HOSSAIN, M.R.; KIM H.; PARK, J.; NOU, S. Identification of two new races of *Podospaera xanthii* causing powdery mildew in melon in South Korea. **Plant Pathology Journal**, v. 34, n. 3, p. 182-190, 2018. DOI: <https://doi.org/10.5423/PPJ.OA.12.2017.0261>.

HOUGHTON, J. T.; DING, Y.; GRIGGS, D. J.; NOGUER, M.; LINDEN, P. J. van der; DAI, X.; MASKELL, K.; JOHNSON, C. A. (Ed.). **Climate change 2001: the scientific basis: contribution of working group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge: Cambridge University Press, 2001. 881 p. Disponível em: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/07/WG1_TAR_FM.pdf. Acesso em: 25 ago. 2021.

IPCC. **Summary for policymakers: a contribution of Working Groups I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge: Cambridge University Press, 2001. 20 p. Disponível em: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/07/WG1_TAR_SPM.pdf. Acesso em: 26 ago. 2021.

IPCC. Summary for policymakers. In: SOLOMON, S.; QIN, D.; MANNING, M.; CHEN, Z.; MARQUIS, M.; AVERYT, K. B.; TIGNOR, M.; MILLER, H. L. (Ed.). **Climate change 2007: the physical science basis: contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2007. p. 1-18.

IPCC. Summary for policymakers. In: MASSON-DELMOTTE, V.; ZHAI, P.; PIRANI, A.; CONNORS, S. L.; PÉAN, C.; BERGER, S.; CAUD, N.; CHEN, Y.; GOLDFARB, L.; GOMIS, M. I.; HUANG, M.; LEITZELL, K.; LONNOY, E.; MATTHEWS, J. B. R.; MAYCOCK, T. K.; WATERFIELD, T.; YELEKÇI, O.; YU, R.; ZHOU, B. (Ed.). **Climate change 2021: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge: Cambridge University Press. In Press. 2021. Disponível em: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGL_SPM.pdf. Acesso em: 25 ago. 2021.

IPPC Secretariat. **Scientific review of the impact of climate change on plant pests – A global challenge to prevent and mitigate plant pest risks in agriculture, forestry and ecosystems**. Rome. FAO on behalf of the IPPC Secretariat. 2021. DOI: <https://doi.org/10.4060/cb4769en>.

KOBORI, R. F.; BRUNELLI, K. R.; GIORIA, R; Impacto potencial das mudanças climáticas sobre as doenças da alface no Brasil In: GHINI, R.; HAMADA, E.; BETTIOL, W. (Eds.). **Impactos das mudanças climáticas sobre doenças de importantes culturas no Brasil**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2011. p. 129-144. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/45857/4/24343.PDF>. Acesso em: 25 ago. 2021.

KOBORI, R. F.; GIORIA, R; BRUNELLI, K. R. Impacto potencial das mudanças climáticas sobre as doenças do pimentão no Brasil. In: GHINI, R.; HAMADA, E. (Ed.). **Mudanças climáticas: impactos sobre doenças de plantas no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008, p. 119-128.

LEE, C. -S.; LIANG, Y. -G. Leaf scorch. In: ROTT, P.; BAILEY, R.; COMSTOCK, J. C.; CROFT, B.; SAUMTALLY, S. (Ed.). **A guide to sugarcane diseases**. Montpellier, France: CIRAD/ISSCT, 2000. p. 114-117.

MACQUEEN, A.; BERGELSON, J. Modulation of R-gene expression across environments. **Journal of Experimental Botany**, v. 67, p. 2093-2105. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1093/jxb/erv530>.

MARCH, G. J.; MARINELLI, A.; BEVIACQUA, J. E.; ALCALDE, M., Efecto de las temperaturas, humedad relativa y precipitaciones sobre el desarrollo de la viruela, causada por *Cercospora*

arachidicola Hori y *Cercosporidium personatum* (Berk. & Curt.) (Deighton) en maní (*Arachis hypogaea* L.) Boletín de Sanidad Vegetal Plagas, v.19, p. 227-235. 1993. Disponível em https://www.miteco.gob.es/ministerio/pags/Biblioteca/Revistas/pdf_plagas%2FBSVP-19-02-227-235.pdf. Acesso em: 25 ago. 2021.

MARINGONI, A. C. Doença das crucíferas (brócolis, couve, couve-chinesa, couve-flor, rabanete, repolho e rúcula). In: KIMATI, H.; AMORIN, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L. E. A. (Ed.). **Manual de fitopatologia: doenças das plantas cultivadas**. 4. ed. Campinas: Agronômica Ceres, v.2, 2005. p. 315-324.

McCREIGHT J. D.; COFFEY, M. D. Inheritance of resistance in melon PI 313970 to cucurbit powdery mildew incited by *Podosphaera xanthii* race S. *HortScience*, v. 46, p. 838-840, 2011. DOI: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.46.6.838>.

MELO, I. S. Agentes microbianos de controle de fungos fitopatogênicos. In: MELO, I. S.; AZEVEDO, J. L. (Ed.). **Controle biológico**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 1998. p. 17-68.

MORANDI, M. A. B.; MAFFIA, L. A.; SUTTON, J. C. Development of *Clonostachys rosea* and interaction with *Botrytis cinerea* in rose leaves and residues. *Phytoparasitica*, v. 29, p. 103-113, 2001. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02983954>.

MUSIET-SOTO, D. N. Eficacia de diferentes formulaciones de *Clonostachys rosea* en el control del moho gris (*Botrytis cinerea*) en condiciones operacionales de plantas de *Eucalyptus* spp. 2015. 62 f. Magister en Ciencias Forestales) - Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Concepción, Chile, 2015. Versão eletrônica. Disponível em: http://repositorio.udec.cl/bitstream/11594/1729/1/Tesis_Eficacia_de_diferentes_formulaciones.Image.Marked.pdf. Acesso em: 09 ago. 2021.

MARÇAL, G. G.; HAMADA, E.; BENITO, N. P.; FERREIRA, M. N. D.; OLIVEIRA, T. C. Proposta metodológica para avaliação dos impactos das mudanças climáticas em pragas quarentenárias: estudo de caso em praga do coqueiro no Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2013, Foz do Iguaçu. *Anais...* São José dos Campos: INPE. 7 p. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/86972/1/2013AA05.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2021.

NAVA, D. E.; WREGG, M. S.; DIEZ-RODRIGUEZ, G. I. Impacto potencial das mudanças climáticas sobre a distribuição geográfica de insetos-praga na cultura do pessegueiro. In: BETTIOL, W.; HAMADA, E.; ANGELOTTI, F.; AUAD, A. M.; GHINI, R. (Ed.). **Aquecimento global e problemas fitossanitários**. Brasília, DF: Embrapa, 2017. cap. 19, p. 453-476. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/165619/1/Dori-Nava-Livro-Aquecimento-global-e-problemas-fitossanitarios.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2021.

NAVIA, D.; HAMADA, E.; GONDIM JUNIOR, M. G. C.; BENITO, N. P. Spatial forecasting of red palm mite in Brazil under current and future climate change scenarios. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília v. 51, n. 5, p. 586-598, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016000500020>.

PITRAT, M.; BESOMBES, D. Inheritance of *Podosphaera xanthii* resistance in melon line '90625' In: PITRAT, M. (Ed.). **Cucurbitaceae 2008: IXth EUCARPIA Meeting on Genetics and Breeding of Cucurbitaceae**. Avignon, France: INRA, 2008. p. 135-142. Disponível em: <https://powderymildew.ucr.edu/wp-content/uploads/2017/04/MPMA7.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2021.

RANDALL, D. A.; WOOD, R. A. (Coord.). Climate models and their evaluation. In: SOLOMON, S.; QIN, D.; MANNING, M.; CHEN, Z.; MARQUIS, M.; AVERYT, K. B.; TIGNOR, M.; MILLER, H. L. (Ed.). **Climate change 2007: the physical science basis: contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2007. p. 589–662.

ROSSKOPF, E. N.; SERRANO-PÉREZ, P.; HONG, J.; SHRESTHA, U., RODRÍGUEZ-MOLINA, M. C.; MARTIN, K.; KOKALIS-BURELLE, N.; SHENNAN, C.; MURAMOTO, J.; BUTLER, D. Anaerobic soil disinfestation and soilborne pest management. In: MEGHVANSI, M. K.; VARMA, A. (Ed.). **Organic amendments and soil suppressiveness in plant disease management**. New York: Springer, 2015. p. 277-305. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-23075-7_13.

SHRESTHA, U.; AUGÉ, R. M.; BUTLER, D. M. A Meta-analysis of the impact of anaerobic soil disinfestation on pest suppression and yield of horticultural crops. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, e1254, 2016. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01254>.

SUTTON, J. C.; LI, D. W.; PENG, G.; YU, H.; ZHANG, P.; VALDEBENITO-SANHUEZA, R. M. *Gliocladium roseum*, a versatile adversary of *Botrytis cinerea* in crops. **Plant Disease**, v. 81, p. 316–328, 1997. Disponível em: <https://apsjournals.apsnet.org/doi/pdf/10.1094/PDIS.1997.81.4.316>. Acesso em: 25 ago. 2021.

ZALDÚA, S.; SANFUENTES, E. Control of *Botrytis cinerea* in *Eucalyptus globulus* mini-cuttings using *Clonostachys* and *Trichoderma* strains. **Chilean Journal of Agricultural Research**, v. 70, p. 576–582, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392010000400007>.