

Como o aumento da temperatura interfere nas doenças de plantas?

Francislene Angelotti, Raquel Ghini e Wagner Bettioli

Introdução

Diversos estudos têm sido desenvolvidos sobre o efeito do clima no desenvolvimento de epidemias de doenças de plantas (EVANS et al., 2008; MILUS et al., 2009; SHARMA et al., 2007). Estes trabalhos são de extrema importância na Fitopatologia, pois o clima e a ocorrência de doenças estão diretamente relacionados. Sabe-se que a ocorrência de doenças em plantas está vinculada a três elementos: hospedeiro suscetível, patógeno virulento e ambiente favorável, que compõem o que se denomina por triângulo da doença (Figura 1). Qualquer modificação em um desses fatores pode provocar uma alteração na intensidade da doença ou na sua taxa de desenvolvimento.

Chappelka e Grulke (2016) estudaram como alterações químicas e físicas do ambiente, causadas pelas mudanças climáticas e poluição do ar, perturbarão o clássico triângulo das doenças e incorporaram essas alterações em uma expansão deste triângulo (Figura 2). Os autores afirmam que as alterações químicas no ar e as subsequentes alterações físicas no ambiente causarão um grande efeito nas doenças. Recomendaram, ainda, que essas alterações deveriam ser consideradas nos projetos de pesquisa, bem como em suas análises e nos modelos empíricos dos efeitos dos agentes fitopatogênicos.

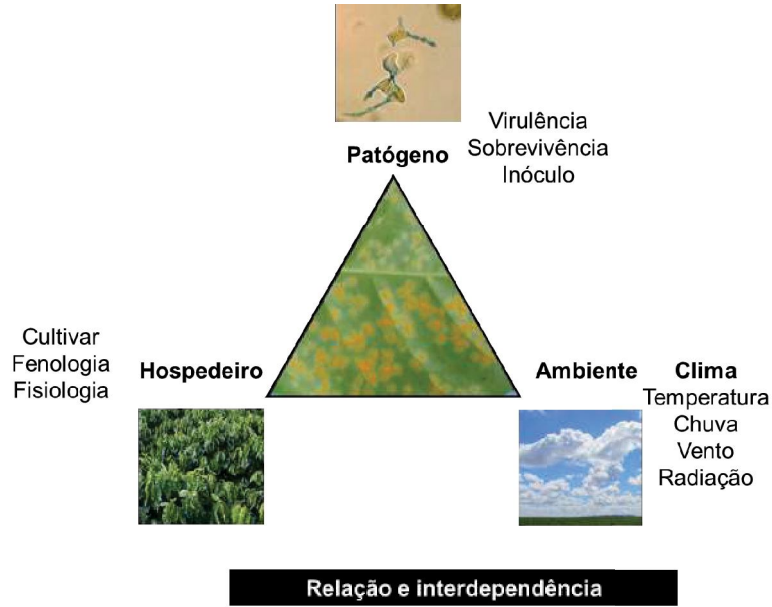


Figura 1. Triângulo da doença ilustrado com a ferrugem do cafeeiro, causada pelo fungo *Hemileia vastatrix*.

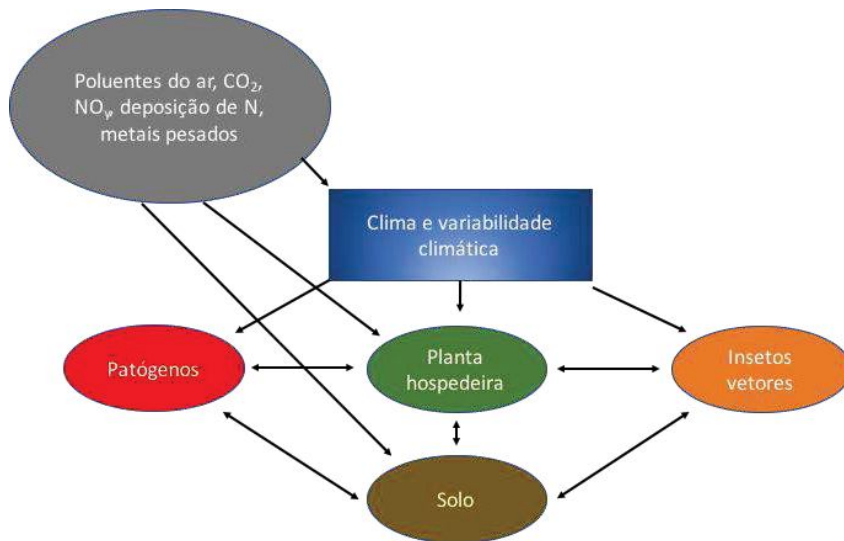


Figura 2. Expansão do triângulo da doença com a incorporação dos efeitos de poluentes do ar.

Fonte: Adaptado de Chappelka e Grulke (2016).

A incidência, distribuição geográfica e a severidade de uma doença estão condicionadas à ação direta do ambiente sobre o patógeno e sobre a planta hospedeira. No ambiente, a temperatura é um dos principais elementos climáticos que influencia todas as fases de crescimento do hospedeiro e também no ciclo de vida do patógeno (AGRIOS, 2005). Assim, as alterações na temperatura poderão causar impactos sobre a ocorrência de doenças em plantas.

De maneira geral, os impactos da temperatura sobre a planta hospedeira podem interferir no seu crescimento, fisiologia, morfologia, reprodução e sobrevivência, causando alterações na interação com os microrganismos simbiotes, com os insetos e na competição com plantas invasoras, bem como na resistência a fitopatógenos e insetos-pragas. Além disso, a temperatura pode afetar o patógeno, por meio de interferências diretas no ciclo de vida, na dispersão e na sobrevivência dos microrganismos. Indiretamente, a temperatura pode afetar as interações de parasitismo e competição (AGRIOS, 2005).

Cenários de aumento de temperatura

Segundo os dados do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), o aumento da temperatura média do planeta, no período de 1880 a 2012 foi de 0,85°C. A evidência de que a influência humana seja a causa dominante do aquecimento é considerada extremamente provável, sendo a temperatura do ar um dos principais elementos climáticos que sofrerá alterações (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2013).

A projeção dos aumentos de temperatura considera os cenários de emissão dos gases do efeito estufa. Para o cenário de baixa emissão (RCP2.6), é provável que a temperatura não exceda 1,7°C. Entretanto, em um cenário de alta emissão (RCP8.5), o aumento da temperatura média global para o período 2081–2100 em rela-

ção a 1986-2005 estará provavelmente na faixa de 2,6°C a 4,8°C (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2013) (Figura 3). Além disso, a previsão é de que o aquecimento continuará a apresentar variabilidade interanual a decenal e que não será uniforme regionalmente.

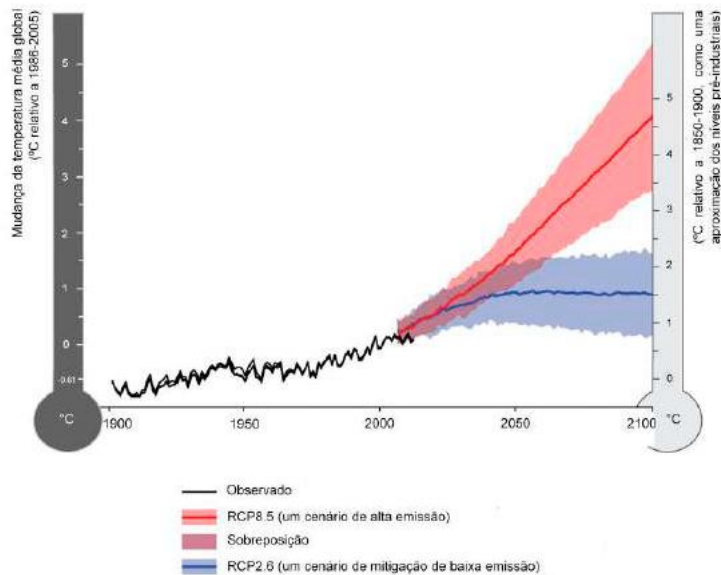


Figura 3. Projeções do aumento da temperatura segundo os cenários RCP8.5 e RCP2.6.

Fonte: Intergovernmental Panel on Climate Change (2013).

Interferência da temperatura no ciclo das relações patógeno-hospedeiro

A ocorrência de uma determinada doença é precedida por uma sequência de eventos entre o patógeno e o hospedeiro, conhecida como ciclo das relações patógeno-hospedeiro. Cada fase apresenta características próprias e função definida, incluindo sobrevivência, disseminação, infecção, colonização e reprodução do patógeno (Figura 4).

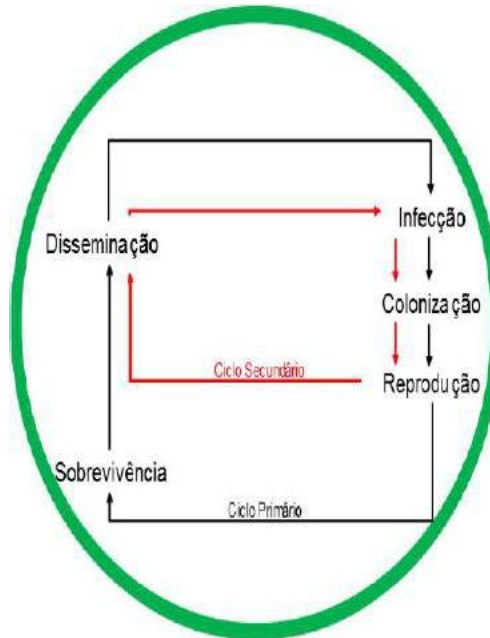


Figura 4. Ciclos primário e secundário das relações patógeno-hospedeiro.
Fonte: Amorim (1995).

A temperatura atua nas diversas fases do ciclo das relações patógeno-hospedeiro. O desenvolvimento da doença tem início com a presença do patógeno (por meio de propágulos, isto é, estruturas reprodutivas, micélio, células de bactérias e outros) que, em contato com a planta hospedeira, promove a infecção dos tecidos. Após a colonização ocorre a reprodução, seguida da sobrevivência e disseminação, correspondente ao ciclo primário da doença (Figura 4). A primeira geração do patógeno na cultura corresponde ao ciclo primário e as gerações subseqüentes no mesmo ciclo da cultura são os ciclos secundários das relações patógeno-hospedeiro.

Na infecção, a temperatura pode aumentar ou diminuir a taxa de germinação dos esporos (MAIA et al, 2011; POLTRONIERI et al., 2013). Os patossistemas apresentam respostas diferenciadas à temperatura (ANGELOTTI et al., 2014; DALLA PRIA et al., 2003;

EVANS et al., 2008; MAIA et al., 2015; MILUS et al., 2009; SHARMA et al., 2007). Na Tabela 1 são apresentados exemplos com as preferências térmicas de diferentes gêneros e espécies de fungos causadores de ferrugens.

Tabela 1. Temperaturas (°C) requeridas para infecção por fungos causadores de ferrugens.

	Hospedeiro	T _{min.}	T _{máx.}	T _{ótima}	Referências
<i>Phakopsora euvitis</i>	Uva	15	30	20	Angelotti et al. (2014)
<i>Puccinia psidii</i>	Eucalipto	14,8	31	22,9	Ruiz et al. (1989)
<i>Melampsora medusae</i>	Álamo	8	27,1	16-21	May-de-Mio e Amorim (2002)
<i>Phakopsora pachyrhizi</i>	Soja	10	27,5	22,5	Marchetti et al. (1976)
<i>Puccinia psidii</i>	Jambeiro	12	27	17-22	Tessmann (1992)
<i>Uromyces striatus</i>	Alfafa	15	28	17,5	Webb e Nutter (1997)
<i>Puccinia polysora</i>	Milho	9,9	33	23	Godoy et al. (1999)

Após a infecção do tecido do hospedeiro, os patógenos iniciam a fase de reprodução, que se dá principalmente por meio da esporulação (CAMPBELL; MADDEN, 1990). O número de dias entre a deposição da estrutura reprodutiva no tecido hospedeiro e a produção de esporos é uma característica importante no desenvolvimento da doença, denominado de período latente. O período latente é influenciado pela temperatura e sua duração repercute diretamente sobre o número de ciclos de reprodução do patógeno durante o ciclo da cultura.

Para a maioria dos patógenos, a temperatura pode determinar a rapidez e a extensão da infecção (MAY-DE-MIO et al., 2002; VALE et al., 2000). O maior número de ciclos da doença durante a estação de cultivo está associado à temperatura favorável ao desenvolvimento do patógeno, permitindo que o mesmo complete o ciclo em menor tempo. Vale et al. (2000) verificaram que a temperatura

influenciou o período latente da ferrugem do cafeeiro, causada por *Hemileia vastatrix*, alterando-o de 19 a 60 dias, dependendo da prevalência de temperaturas altas nos meses de verão ou de temperaturas baixas nos meses de inverno, respectivamente. Esses resultados levaram os autores a concluir que medidas de controle da ferrugem do cafeeiro podem ser ineficazes e antieconômicas se adotadas no período em que as variáveis climáticas exercem efeito negativo sobre a incidência e o desenvolvimento da doença.

Angelotti et al. (2011) relataram que o aumento da temperatura média em 5,8°C no Submédio do Vale do São Francisco, que tem a temperatura média anual de 26°C, poderá aumentar o período latente do míldio da videira nessa região. De um lado, o aumento do número de dias entre a infecção e a produção de esporângios reduz a taxa de progresso da doença no campo (ROSSI et al., 2008). Por outro lado, o aumento da temperatura também poderá reduzir o período de latência. Pérez Gomez (2013) verificou que o período de latência para a ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar, causada pelo fungo *Puccinia kuehnii*, foi de 11 dias para as variedades SP 891115 de 21/22, respectivamente, para as temperaturas de 18°C e 25°C. Para a variedade RB 855156 o período de latência foi de 21-24 e 13-14 dias para essas mesmas temperaturas.

Para garantir a sua perpetuação, o patógeno precisa superar as condições adversas de temperatura. Assim, para a sua sobrevivência, muitos fungos apresentam estruturas de resistência, formadas em condições climáticas desfavoráveis ou na ausência do hospedeiro que se constituem em nova fonte de inóculo (DUFALTY et al., 2006). Para *Fusarium graminearum*, a produção de peritécios foi observada na faixa de temperatura de 5°C a 30°C, mas a maturação dos mesmos só ocorreu na faixa de 20°C a 25°C (MANSTRETTA; ROSSI, 2016).

Além de atuar na formação das estruturas de resistência, a temperatura pode limitar a sobrevivência do patógeno. A viabilidade de escleródios de *Sclerotium rolfii* é afetada pela temperatura, que pode induzir distúrbios fisiológicos nessa estrutura de resistência, tornando-a vulnerável ao ataque de antagonistas do solo (KATAN, 1980). A identificação da capacidade de sobrevivência, em função da temperatura, é importante para entender o comportamento do patógeno e sua capacidade de se estabelecer em novas regiões.

Um dos aspectos fundamentais para os patógenos é a sua adaptabilidade às novas condições climáticas. A capacidade de adaptação ao aumento da temperatura poderá determinar se ocorrerá aumento ou redução de perdas causadas por determinados patógenos. Sabburg et al. (2016) verificaram que *Fusarium pseudograminearum* em trigo apresentou maior adaptabilidade a temperaturas diurna/noturna de 15/15°C, do que em temperaturas de 20-15°C, 25-15°C e 28-15°C em linhagens de trigo com diferentes graus de resistência. A adaptabilidade também foi influenciada pelo nível de resistência à doença. Observou-se que a temperatura influenciou a capacidade adaptativa de *F. pseudograminearum*, assim, o aumento da temperatura, associado com a resistência do hospedeiro, pode reduzir a sua capacidade de causar doença.

Efeito direto da temperatura nos patógenos

Efeito na reprodução e dispersão

A produção dos diferentes propágulos dos fitopatógenos, o seu crescimento, a produção de estruturas de resistência e a germinação das mesmas são processos altamente dependentes da temperatura. Assim, esse fator poderá colaborar para o desenvolvimento ou não de uma epidemia. Entretanto, associada à temperatura, a

umidade relativa também apresenta importância fundamental para o desenvolvimento dos patógenos. Uma ampla gama de patógenos, especialmente os que atacam a parte aérea das plantas, apresenta uma flutuação na sua incidência e severidade em resposta às condições do ambiente. Muitos fungos são favorecidos por condições de alta umidade durante o ciclo da cultura por causa do aumento da produção de esporos e, em muitos casos, pela dispersão por gotas de chuva. Outros, como os oídios, são favorecidos pela baixa umidade. As condições climáticas do inverno também são importantes fatores que determinam o sucesso da sobrevivência saprofítica de diversos patógenos (BROADMEADOW, 2002).

Por causa desse efeito direto do clima sobre as fases do ciclo dos patógenos, espera-se que as mudanças climáticas causem alterações nessas fases, especialmente, em longo prazo. Uma redução do número de dias chuvosos no verão pode reduzir a disseminação de patógenos que necessitam de gotas de chuva para a dispersão de seus propágulos. Os conídios do fungo *Mycosphaerella fijensis*, agente causal da sigatoka-negra, são dispersos por lavagem ou pelo impacto de gotas de chuva, sendo importantes para a disseminação local da doença (SIGATOKA..., 2003). Também para *Colletotrichum sublineolum*, causador da antracnose do sorgo, os respingos de chuvas são de grande importância na disseminação dos esporos do patógeno (COTA et al., 2010).

O efeito do aumento da temperatura e da concentração de CO₂ do ar foi avaliado em 100 ciclos da antracnose, causada por *Colletotrichum acutatum* em *Capsicum annum* (KOO et al., 2016). A porcentagem de frutos doentes e o número de esporos produzidos por lesão do patógeno foram reduzidos em ambiente a 30°C e 700 ppm de CO₂ quando comparados às condições de 25°C e 400 ppm de CO₂.

Há necessidade, também, de se considerar as diferenças entre os patógenos biotróficos e necrotróficos. Possivelmente, como os biotróficos dependem do hospedeiro vivo, a sua reprodução será beneficiada quando as condições forem adequadas para a sobrevivência das plantas. Para os necrotróficos, as condições de temperatura que causarem a morte do hospedeiro poderão favorecer a multiplicação dos patógenos.

Efeito na sobrevivência

Diversos patógenos sobrevivem por longos períodos na ausência da planta hospedeira, como ocorre com patógenos de culturas anuais ou perenes com folhas decíduas. Nesses casos, a fase de sobrevivência é de grande importância para garantir a quantidade de inóculo suficiente para causar doença no início do próximo ciclo da cultura. A temperatura poderá afetar a sobrevivência de diversos fitopatógenos durante a ausência da planta hospedeira. Para *Phytophthora ramorum*, por exemplo, verificou-se que os clamidósporos são capazes de sobreviver em condições altamente adversas de temperatura durante pelo menos 7 dias (TOOLEY et al., 2008).

A adaptação do fitopatógeno aos efeitos da temperatura poderá resultar na seleção ocorrida pelo aumento da sobrevivência entre as epidemias, período no qual os isolados são expostos a condições climáticas mais extremas, do que durante o ciclo da cultura e das epidemias (MARIETTE et al., 2016). A conclusão desses autores foi baseada em estudos com duas linhagens clonais de *Phytophthora infestans*, sugerindo que deve ser considerada para explicar e, possivelmente prever, a distribuição global de linhagens específicas e seu potencial em causar epidemias.

Efeito na distribuição geográfica

A distribuição geográfica dos patógenos pode ser rapidamente alterada pelas mudanças na temperatura. Entretanto, a previsão das alterações na distribuição geográfica não depende somente dos diversos fatores do ambiente, mas também da densidade, distribuição, suscetibilidade da planta hospedeira e das práticas de manejo, bem como da capacidade de dispersão do patógeno. Por esse motivo, previsões detalhadas e específicas são difíceis de serem obtidas e somente informações de natureza geral podem ser transmitidas aos tomadores de decisões. As ferramentas de predição baseadas em correlações com o ambiente dependem de uma boa base de dados, a qual não está disponível para a maioria dos patógenos (SHAW; OSBORNE, 2011).

Modelos climáticos globais ou regionalizados fornecem estimativas quantitativas das mudanças do clima no futuro, porém, a utilização desses modelos apresenta diversos problemas. As incertezas dos modelos se baseiam, principalmente, no desconhecimento das emissões futuras de gases de efeito estufa, na variabilidade natural do tempo e clima e nas incertezas da modelagem. Assim, para contornar esse problema, um conjunto de cenários é geralmente adotado, considerando-se os diferentes aumentos projetados da temperatura média, com alteração do clima variando de região para região. Outra dificuldade refere-se ao fato de as resoluções espaciais e temporais características dos modelos climáticos serem diferentes das escalas dos modelos de doença de planta. Além disso, nem todas as variáveis estão disponíveis igualmente nos modelos e, para o estudo do efeito das mudanças climáticas sobre a distribuição geográfica de doenças, a duração do período de molhamento foliar é uma variável particularmente importante, mas não existe. Nesse caso, uma opção é estimar o período de duração de molhamento foliar em função de outro parâmetro, como a umidade relativa (HAMADA et al., 2008a), possibilitando sua aplicação, por

exemplo, para o míldio da videira (HAMADA et al., 2008b). Uma discussão sobre esses problemas metodológicos é apresentada por Ghini et al. (2012). Diversos trabalhos foram publicados acerca da utilização dessa ferramenta para determinar a distribuição geográfica de doenças no Brasil (Tabela 2). Em uma revisão mais ampla, Juroszek e Tiedemann (2015) encontraram 38 estudos de simulação publicados em diversos países de janeiro de 2000 a junho de 2014, onde modelos de previsão de doença (em poucos casos contemplando também modelos de crescimento da cultura) foram associados a modelos climáticos para a previsão da distribuição geográfica nos cenários climáticos futuros.

De modo geral, as temperaturas que favorecem as plantas hospedeiras também favorecem seus patógenos. Assim, a alteração na distribuição geográfica das culturas tende a ser semelhante à dos patógenos. Segundo as simulações realizadas por Coelho Filho et al. (2010) para os cenários climáticos futuros, haverá redução das áreas de aptidão para o cultivo da bananeira em condições não irrigadas no Estado da Bahia. Situação semelhante foi observada por Ghini et al. (2007) quanto à favorabilidade à ocorrência da sigatoka-negra. Segundo os autores, poderá haver redução da área favorável à doença no Estado da Bahia com o passar dos anos.

A velocidade com a qual os patógenos se estabelecerão no novo ambiente decorre da dispersão e sobrevivência entre estações do ano ou de cultivo e das mudanças fisiológicas e ecológicas da planta hospedeira.

Tabela 2. Distribuição geográfica de doenças de plantas no Brasil em cenários climáticos disponibilizados pelo Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).

Cultura	Patógeno	Doença	Modelos climáticos do 3º/4º Relatório do IPCC	Abrangência geográfica	Tendência de aumento/redução da favorabilidade	Referência
Banana	<i>Mycosphaerella fijiensis</i>	Sigatoka-negra	3º	Nacional	Redução	Ghini et al. (2007)
Banana	<i>Mycosphaerella fijiensis</i>	Sigatoka-negra	3º	Mundial	Redução	Jesus Júnior et al. (2008)
Cacau	<i>Moniliophthora roreri</i>	Moniliase	3º	Nacional	Redução	Moraes et al. (2012a)
Café	<i>Meloidogyne incognita</i>	Nematoides	3º	Nacional	Aumento	Ghini et al. (2008)
Café	<i>Hemileia vastatrix</i>	Ferrugem	3º	Estados produtores	Aumento	Ghini et al. (2011)
Café	<i>Phoma</i> spp.	Mancha-de-Phoma	3º	Nacional	Redução	Moraes et al. (2012b)
Cana-de-açúcar	<i>Puccinia melanocephala</i>	Ferrugem	3º	Nacional	Redução	Moraes et al. (2011a)
Eucalipto	<i>Puccinia psidii</i>	Ferrugem	3º	Nacional	Redução	Moraes et al. (2014)
Mamão	<i>Asperisporium caricae</i>	Variola	3º	Nacional	Redução	Jesus Jr. et al. (2007)
Milho	<i>Puccinia polysora</i>	Ferrugem	3º	Nacional	Redução	Moraes et al. (2011b)
Uva	<i>Glomerella cingulata</i>	Podridão da uva madura	4º	Região deste	Not-Redução	Hamada et al. (2011)
Uva	<i>Botrytis cinerea</i>	Podridão-cinzenta	4º	Região deste	Not-Redução	Hamada et al. (2011)
Uva	<i>Uncinula necator</i>	Oídio	4º	Nacional	Aumento	Hamada et al. (2015)

Efeito nos hospedeiros

Efeito no crescimento

Os efeitos do aumento da temperatura sobre as plantas hospedeiras serão variáveis dependendo das estações do ano. Possivelmente, o aumento da temperatura durante o inverno deverá reduzir os estresses das plantas. Entretanto, um aumento da temperatura durante os períodos quentes do ano (primavera e verão) causará um aumento desses estresses (ELAD; PERTOT, 2014).

A distribuição geográfica da araucária (*Araucaria angustifolia*), projetada nos cenários climáticos futuros por Wrege et al. (2016), indica uma significativa redução da área com potencial para essa espécie. No cenário RCP4.5, menos pessimista, a redução é menor; porém, no cenário RCP8.5, mais pessimista, as projeções revelam uma significativa redução da área, chegando próximo à extinção da espécie em 2100. O longo ciclo da araucária dificulta a sua adaptação em curto período de tempo. Além disso, a ocorrência de pragas e doenças, alterações no florescimento e germinação de sementes colaboram para aumentar o problema.

Para a cana-de-açúcar, entretanto, o aumento da temperatura acompanhado do aumento da concentração de CO₂ atmosférico, deve ser benéfico para a cultura, aumentando as taxas de fotossíntese e melhorando as relações hídricas entre o solo, a planta e a atmosfera (MARIN; NASSIF, 2013). Dessa forma, regiões marginais poderão ser beneficiadas, aumentando as áreas favoráveis ao cultivo. Nesse sentido, Sanguino (2008) afirma que a mancha-amarela, causada pelo fungo *Mycovellosiella koepkei*, que não encontra condições favoráveis na maioria das áreas cultivadas no Sudeste brasileiro, poderá encontrar essas condições no Pantanal e nas regiões ribeirinhas do Estado do Mato Grosso e no litoral do Nordeste brasileiro. Esse mesmo autor afirma que as doenças mais importantes da cana-de-açúcar, atualmente, como o carvão, o mosaico,

a escaldadura-das-folhas e o raquitismo-da-soqueira, por serem doenças sistêmicas, só sofrerão alterações em sua atual manifestação por ação do homem, indicando que há necessidade de se manter as medidas preconizadas para o controle dessas doenças.

De acordo com Brunelli et al. (2011), as brassicáceas constituem uma família de plantas consideradas pouco plásticas com relação às exigências ambientais, observando-se que grande parte das cultivares de brócolis, couve-flor, e repolho, exige temperaturas amenas para o seu adequado desenvolvimento. Dessa forma, mesmo considerando a composição genética utilizada nos programas de melhoramento para as condições brasileiras, os cenários previstos para 2071-2100, para algumas regiões em determinados períodos do ano, suplantarão as temperaturas máximas suportadas atualmente por esses germoplasmas. Também para alface, Kobori et al. (2011) salientam que, por ser oriunda de ambientes temperados, a espécie sofrerá consideravelmente com o aumento da temperatura, pois as do grupo das lisas suportam temperaturas ao redor de 28°C, enquanto as crespas toleram temperaturas ao redor de 26°C. Assim, para esses autores, diversas regiões brasileiras se tornarão impróprias para o cultivo dessa hortaliça. Além disso, para as duas culturas, os autores consideram que algumas doenças poderão se tornar mais importantes do que no cenário atual. Para alface, Kobori et al. (2011) ainda ressaltaram que a murchadeira ou podridão-negra-das-raízes (causada por *Thielaviopsis basicola*) e o oídio (causado por *Erysiphe cichoracearum*) causarão maiores danos nos cenários futuros. No entanto, doenças que atualmente são importantes, como o míldio, causado por *Bremia lactucae*, e podridão-de-esclerotinia ou mofo-branco, causado por *Sclerotinia sclerotiorum* e *Sclerotinia minor*, podem se tornar secundárias.

Efeito na resistência genética

A temperatura poderá interferir tanto na suscetibilidade do hospedeiro, como na virulência do patógeno. Entretanto, os estudos sobre o efeito da temperatura na resistência genética de plantas a patógenos ainda são restritos. Por causa do desafio do aquecimento global para agricultura, o conhecimento das respostas moleculares das plantas e dos patógenos precisará ser elucidado. Estes estudos contribuirão para a identificação das bases da resistência e/ou suscetibilidade a estes patógenos, visando subsidiar futuros programas de melhoramento das culturas de importância agrícola (UPCHURCH; RAMIREZ, 2011; WANG et al., 2009).

Entre os impactos causados à planta hospedeira, a temperatura poderá afetar a expressão de genes de resistência, causando alterações na resposta de hipersensibilidade e no acúmulo de compostos envolvidos na defesa das plantas aos patógenos (WANG et al., 2009). Em plantas de fumo, o aumento da temperatura inibiu a ação do gene *PR1* contra o vírus do mosaico (TMV), tornando as plantas suscetíveis (MALAMY et al., 1992). Outros estudos identificaram que o gene *N*, responsável pela resistência do fumo ao vírus do mosaico, também é sensível à alta temperatura. Em temperaturas acima de 27°C, não ocorre a reação de hipersensibilidade, permitindo a propagação do patógeno para outros tecidos da planta (WRIGHT et al., 2000).

Para o patossistema trigo - *Puccinia graminis* f. sp. *tritici*, as plantas portadoras do gene *Sr6*, resistente à ferrugem, apresentaram diferenças quando cresceram a 18°C e 27°C. As plantas submetidas a 18°C apresentaram resistência à ferrugem, mas as plantas desenvolvidas em ambiente com temperatura de 27°C foram suscetíveis à doença (MOERSCHBACHER et al., 1989). Em ensaios com sementes de soja, Upchurch e Ramirez (2011) verificaram que a elevação da temperatura aumentou a severidade

de *Cercospora kikuchii* e reduziu a severidade do fungo *Diaporthe phaseolorum*. Isso evidencia que a resposta ao aumento da temperatura dos genes de defesa envolvidos na interação planta-patógeno poderá variar entre as espécies de fungo (Tabela 3).

Tabela 3. Respostas de patossistemas à temperatura.

Hospedeiro	Patógeno	Resposta à temperatura	Referência
<i>Arabidopsis</i>	<i>Pseudomonas syringae</i> pv. tomato	Mais suscetível a 28°C do que a 22°C	Wang et al. (2009)
<i>Brassica napus</i>	<i>Leptosphaeria maculans</i>	Resistência conferida pelo gene <i>Rlm6</i> não é eficaz em temperatura acima de 25°C	Huang et al. (2006)
<i>Glycine max</i>	<i>Diaporthe phaseolorum</i>	Sementes submetidas a 18/22°C, menor colonização e indução do gene de defesa <i>MMP2</i>	Upchurch e Ramirez (2011)
	<i>Cercospora kikuchii</i>	Sementes submetidas a 26/34°C, menor colonização e indução do gene de defesa <i>PR10</i>	Upchurch e Ramirez (2011)
<i>Solanum lycopersicum</i>	Nematoide das galhas	Resistência conferida pelo gene <i>Mi-1</i> é inativo acima de 28°C	Hwang et al. (2000)
	<i>Cladosporium fulvum</i>	Resistência conferida pelos genes <i>CF4</i> e <i>CF9</i> é inativa a 33°C	Jong et al. (2002)
	Vírus do mosaico do tabaco (TMV)	Resistência conferida pelo gene <i>N</i> é eficaz a 22°C e ineficaz a 30°C	Whitham et al. (1996)
<i>Triticum</i>	<i>Puccinia graminis</i> f. sp. <i>tritici</i>	Plantas submetidas a 18°C são resistentes e plantas a 27°C são suscetíveis a ferrugem	Moerschbacher et al. (1989)

No sul da Ásia, a elevação da temperatura noturna provocou o aumento da severidade da helmintosporiose do trigo, doença fúngica causada por *Cochliobolus sativus*, com consequente queda na produção (SHARMA et al., 2007). Do mesmo modo, isolados de *Puccinia striiformis*, agente causal da ferrugem-do-trigo, foram mais agressivos em altas temperaturas (MILUS et al., 2009). Para o arroz, o gene de resistência *Xa7* foi mais efetivo a 29-35°C (tem-

peraturas dia-noite) do que a 21-29°C. Outros genes de resistência a *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae* foram menos eficazes em altas temperaturas (WEBB et al., 2010).

Estas respostas diferenciais irão influenciar as pressões de seleção dos patógenos em diferentes locais, principalmente porque a temperatura oscila anualmente (TRAVERS et al., 2010). Isso pode ser visualizado no patossistema *Brassica napus* - *Leptosphaeria maculans* (cancro-da-haste), pois a severidade desta doença é mais intensa na Austrália, onde as temperaturas são mais elevadas do que na Europa (WEST et al., 2001). Isto acontece porque a resistência da planta, mediada pelo gene *Rlm6*, não é eficaz em temperatura acima de 25°C (HUANG et al., 2006). Estudos como este serão de extrema importância para o manejo integrado e na escolha das cultivares a serem implantadas nas diferentes regiões, pois a quebra de resistência influenciada pelo aumento de temperatura pode inviabilizar a produção em locais que apresentem condições climáticas favoráveis para a diminuição da resistência do hospedeiro. Outro ponto importante é a realização de estudos para o melhoramento e obtenção de cultivares resistentes, considerando-se os países de clima quente (BUTTERWORTH et al., 2010).

Além disso, a capacidade de sobrevivência em altas temperaturas pode modificar o comportamento da planta hospedeira e dos agentes causadores de doenças por meio da adaptação (GARRETT et al., 2009). Segundo Evans et al., (2008), a capacidade de gerar variações genéticas em resposta às alterações de temperatura permite que os patógenos e/ou plantas se tornem organismos adaptáveis. Desta maneira, o conhecimento sobre as respostas dos genes de defesa em populações de plantas poderá ser de grande importância para determinar o potencial de adaptação das mesmas sobre mudanças na pressão do patógeno diante das alterações na temperatura (GARRETT et al., 2006).

Efeito da temperatura nas interações dos hospedeiros com insetos vetores

A temperatura é o principal fator climático que influencia, de modo geral, artrópodes vetores de doenças de plantas, modificando seu desenvolvimento, sobrevivência, fecundidade, distribuição e abundância. Consideráveis mudanças na distribuição e abundância de insetos-vetores podem ser resultantes de pequenas alterações nas temperaturas médias. O envolvimento de vetores dificulta a previsão dos efeitos das mudanças climáticas sobre a doença, pois os impactos sobre esse grupo de organismos podem alterar significativamente a distribuição geográfica da doença. Este é o caso de diversas viroses, pois as complexas interações entre planta, vírus, vetor e ambiente tornam difícil a realização de previsões para os cenários climáticos futuros (JONES, 2016).

Efeitos das mudanças climáticas sobre as plantas podem trazer consequências para os vetores. Aumentos de temperatura alteram a fisiologia da planta, influenciando a produção de metabólitos secundários e modificando o valor nutricional das folhas aos insetos-vetores. A redução do valor nutricional faz com que o inseto se alimente de maior quantidade de folhas para satisfazer suas necessidades. O aumento da condutância estomática influencia a eficiência fotossintética, alterando a multiplicação de vírus nas células; consequentemente, também altera o movimento sistêmico do vírus e a aquisição pelos vetores. Além disso, aumentos de temperatura também podem alterar a expressão de mecanismos de defesa das plantas contra alguns insetos-vetores (JONES, 2016).

De um lado, aumentos na temperatura média podem aumentar a eficiência da transmissão de vírus de plantas infectadas a plantas saudáveis por vetores. Esse aumento na eficiência de transmissão pode permitir que a doença amplie sua distribuição geográfica para áreas anteriormente muito frias. Por outro lado, as temperaturas podem ser muito altas e ter um efeito negativo na doença (JONES, 2016).

Oliveira et al. (2011) afirmam que deverá ocorrer aumento dos problemas causados pelo *Papaya ringspot virus* (PRSV-p) em mamoeiro. Como o vírus é transmitido por diferentes espécies de pulgão e o aumento da temperatura colabora na redução do ciclo desses insetos, deverá ocorrer aumento da população desses vetores. Entretanto, temperaturas superiores a 30°C poderão apresentar efeito negativo sobre a população do vetor.

Considerações finais

Os patógenos de plantas são responsáveis por reduções de produção e podem colocar em risco a sustentabilidade do agroecossistema. O entendimento das relações entre o efeito da temperatura na severidade da doença, sua distribuição geográfica e temporal, constitui um importante subsídio para o estabelecimento de medidas de controle, permitindo o planejamento das atividades agrícolas e a adoção de medidas de mitigação e adaptação frente aos possíveis impactos. Entretanto, os impactos do aumento da temperatura sobre a ocorrência de doenças de plantas é um assunto complexo, pois requer conhecimentos sobre os efeitos no patógeno na fisiologia da planta hospedeira e, conseqüentemente, na interação patógeno e planta hospedeira. Sendo assim, os estudos precisarão ser intensificados para aprimorar as estratégias de manejo e garantir a sustentabilidade do sistema produtivo.

Referências

- AGRIOS, G. N. **Plant pathology**. 5. ed. Amsterdam: Elsevier Academic Press, 2005. 922 p.
- AMORIM, L. **Ciclos primário e secundário**. In: BERGAMIN FILHO, A.; KIMATI, H.; AMORIM, L. (Ed.). Manual de fitopatologia: princípios e conceitos. São Paulo: Ceres, 1995. p. 234-245.

ANGELOTTI, F.; MAGALHAES, E.; FERNANDES, H. A.; PEIXOTO, A. R. Severidade do míldio em cultivares de videira em função do aumento da temperatura do ar. 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).

ANGELOTTI, F.; SCAPIN, C. R.; TESSMANN, D. J.; VIDA, J. B.; CANTERI, M. G. The effect of temperature, leaf wetness and light on development of grapevine rust. **Australasian Plant Pathology**, v. 43, n. 1, p. 9-13, 2014.

BROADMEADOW, M. **Climate change: impacts on UK forests**. Edinburgh: Forestry Commission, 2002. 198 p.

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.). **Impacto das mudanças climáticas sobre doenças de importantes culturas no Brasil**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2011. p.145-160.

BUTTERWORTH, M. H.; SEMENOV, M. A.; BARNES, A.; MORAN, D.; WEST, J. S.; FITT, B. D. L. North–South divide: contrasting impacts of climate change on crop yields in Scotland and England. **Journal of the Royal Society Interface**, v. 7, n. 42, p. 123-130, 2010.

CAMPBELL, C. L.; MADDEN, L. V. **Introduction to plant disease epidemiology**. New York: J. Wiley, 1990. 532 p.

CHAPPELKA, A. H.; GRULKE, N. E. Disruption of the 'disease triangle' by chemical and physical environmental change. **Plant Biology**, v. 18, n. S1, p. 5-12, 2016. Special edition.

COELHO FILHO, M. A.; FANCELLI, M.; SILVA, T. S. M. da; SILVA, O. S. M. da; COELHO, E. F. Aquecimento global e aptidão da bananeira no Estado da Bahia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 21., 2010, Natal. **Frutas: saúde, inovação e responsabilidade: anais**. Natal: Sociedade Brasileira de Fruticultura, 2010. 4 p. pdf 2390.

COTA, L. V.; COSTA, R. V. da; CASELA, C. R. Doenças. In: RODRIGUES, J. A. S. (Ed.). **Cultivo do sorgo**. 6. ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2010. (Embrapa Milho e Sorgo. Sistema de Produção, 2).

DALLA PRIA, M.; AMORIM, L.; BERGAMIN FILHO, A. Quantificação de componentes monocíclicos da antracnose do feijoeiro. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, DF, v. 28, n. 4, p. 401-407, 2003 .

DUFAULT, N. S.; WOLF, E. D. de; LIPPS, P. E.; MADDEN, L. V. Role of temperature and moisture in the production and maturation of *Gibberella zeae* perithecia. **Plant Disease**, v. 90, n. 5, p. 637-644, 2006.

ELAD, Y.; PERTOT, H. Climate change impacts on plant pathogens and plant diseases. **Journal of Crop Improvement**, v. 28, n. 1, p. 99-139, 2014.

EVANS, N.; BAIERL, A.; SEMENOV, M. A.; GLADDERS, P.; FITT, B. D. L. Range and severity of plant disease increased by global warming. **Journal of The Royal Society**, v. 5, n. 22, p. 525-531, 2008.

GARRETT, K. A.; DENDY, S. P.; FRANK, E. E.; ROUSE, M. N.; TRAVERS, S.E. Climate change effects on plant disease: genomes to ecosystems. **Annual Review of Phytopathology**, v. 44, p. 489-509, 8 Sept. 2006.

GARRETT, K. A.; NITA, M.; WOLF, E. D. de; GOMEZ, L.; SPARKS, A. H. Plant pathogens as indicators of climate change. In: LETCHER, T. (Ed.). **Climate and Global Change: observed impacts on planet earth**. Amsterdam: Elsevier, 2009. p. 425-437.

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.

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, n. 3, p. 197-204, 2007.

GHINI, R.; HAMADA, E.; PEDRO JÚNIOR, M. J.; GONÇALVES, R. R. V. Incubation period of *Hemileia vastatrix* in coffee plants in Brazil simulated under climate change. **Summa Phytopathologica**, v. 37, n. 2, p. 85-93, 2011.

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.

GODOY, C. V.; AMORIN, L.; BERGAMIN FILHO, A. Influência da duração do molhamento foliar e da temperatura no desenvolvimento da ferrugem do milho causada por *Puccinia polysora*. **Fitopatologia Brasileira**, v. 24, n. 2, p.160-165, 1999.

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, n. esp., p. 454-470, 2015.

HAMADA, E.; ANGELOTTI, A.; GARRIDO, L. R.; GHINI, R.; CARVALHO, M. C. 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. 6, n. 4, p. 1213-1221, 2011.

HAMADA, E.; GHINI, R.; FERNANDES, J. L.; PEDRO JÚNIOR, M. J.; ROSSI, P. Spatial and temporal variability of leaf wetness duration in the state of São Paulo, Brazil. **Scientia Agricola**, v. 65, n. esp., p. 26-31, 2008a.

HAMADA, E.; GHINI, R.; ROSSI, P.; PEDRO JÚNIOR, M. J.; FERNANDES, J. L. Climatic risk of grape downy mildew (*Plasmopara viticola*) for the State of São Paulo, Brazil. **Scientia Agricola**, v. 65, n. esp., p. 60-64, 2008b.

HUANG, Y. J.; EVANS, N.; LI, Z. Q. Temperature and leaf wetness duration affect phenotypic expression of Rlm6-mediated resistance to *Leptosphaeria maculans* in *Brassica napus*. **New Phytologist**, v. 170, n. 1, p. 129-41, 2006.

HWANG, C. F.; BHAKTA, A. V.; TRUESDELL, G. M.; PUDLO, W. M.; WILLIAMSON, V. M. Evidence for a role of the N terminus and leucine-rich repeat region of the Mi gene product in regulation of localized cell death. **Plant Cell**, v.12, n. 8, p.1319-1329, 2000.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Summary for policymakers. In: STOCKER, T. F.; QIN, D.; PLATTENER, G.-K.; TIGNOR, M. M. B.; ALLEN, S. K.; BOSCHUNG, J.; NAUELS, A.; XIA, Y.; BEX, V.; MIDGLEY, P. M. (Ed.). **Climate change 2013: the physical science basis: contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report Of The Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge: Cambridge University Press, 2013. p. 1-29.

JESUS JUNIOR, W. C.; VALADARES JÚNIOR, R.; CECÍLIO, R. A.; MORAES, W. B.; VALE, F. X. R.; ALVES, F. R.; PAUL, P. A. Worldwide geographical distribution of *Black Sigatoka* for banana: predictions based on climate change models. **Scientia Agricola**, v. 65, n. esp., p. 40-53, 2008.

JESUS JUNIOR, W. C.; CECÍLIO, R. A.; VALADARES JÚNIOR, R.; COSMI, F. C.; MORAES, W. B.; ALVES, F. R.; NEVES, C. I. Aquecimento global e o potencial impacto na cultura e doenças do mamoeiro. In: MARTINS, D. S.; COSTA, A. N.; COSTA, A. F. S. (Ed.). **Papaya Brasil: manejo, qualidade e mercado do mamão**. 3ed. Vitória: Incaper-ES, 2007. v. 1, p. 85-100.

JONES, R. A. C. Future scenarios for plant virus pathogens as climate change progresses. **Advances in Virus Research**, v. 95, p. 87-147, 2016.

JONG, C. F. de; TAKKEN, F. L.; CAI, X.; DE WIT, P. J.; JOOSTEN, M.H. Attenuation of Cf-mediated defense responses at elevated temperatures correlates with a decrease in elicitor-binding sites. **Molecular Plant Microbe Interaction**, v. 15, n. 10, p. 1040-1049, 2002.

JUROSZEK, P.; TIEDEMANN, A. Linking plant disease models to climate change scenarios to project future risks of crop diseases: a review. **Journal of Plant Diseases and Protection**, v. 122, n. 1, p. 3-15, 2015.

KATAN, J. Solar pasteurization of soils for disease control: status and prospects. **Plant Disease**, v. 64, n. 5, p. 450-454, 1980.

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. (Ed.). **Impacto das mudanças climáticas sobre doenças de importantes culturas no Brasil**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2011. p. 130-144.

KOO, T. H.; HONG, S. J.; YUN, S. C. Changes in the aggressiveness and fecundity of hot pepper anthracnose pathogen (*Colletotricum acutatum*) under elevated CO₂ and temperature over 100 infection cycles. **Plant Pathology Journal**, v. 32, n. 3, p. 260-265, 2016.

MAIA, A. J.; SCHWAN-ESTRADA, K. R. F.; FARIA, C. M. D. R.; SANTOS, L. A.; OLIVEIRA, J. B. S.; SANTOS, R. C dos. Produção de esporos e efeito da temperatura e luminosidade sobre germinação e infecção de *Pseudocercospora vitis* em videira. **Summa Phytopathologica**, v. 41, n. 4, p. 287-291, 2015

MAIA, F. G. M.; ARMESTO, C.; ZANCAN, W. L. A.; MAIA, J. B.; ABREU, M. S. Efeito da temperatura no crescimento micelial, produção e germinação de conídios de *Colletotrichum* spp. isolados de mangueira com sintomas de antracnose. **Bioscience Journal**, v. 27, n. 2, p. 205-210, 2011.

MALAMY, J.; HENNIG, J.; KLESSIG, D. F. Temperature-dependent induction of salicylic acid and its conjugates during the resistance response to tobacco mosaic virus infection. **The Plant Cell**, v. 4, n. 3, p. 359-366, 1992.

MANSTRETTA, V.; ROSSI, V. Effects of temperature and moisture on development of *Fusarium graminearum* perithecia in maize stalk residues. **Applied Environmental Microbiology**, v. 82, n. 1, p. 184-191, 2016.

MARCHETTI, M. A.; MELCHING, J. S.; BROMFIELD, K. R. The effects of temperature and dew period on germination and infection by uredospores of *Phakopsora pachyrhizi*. **Phytopathology**, n. 66, n. 4, p. 461-463, 1976.

MARIETTE, N.; ANDRODIAS, A.; MABON, R.; CORBIÈRE, R.; MARQUER, B.; MONTARRY, J.; ANDRIVON, D. Local adaptation to temperature in populations and clonal lineages of the Irish potato famine pathogen *Phytophthora infestans*. **Ecology and Evolution**, v. 6, n. 17, p. 6320-6331, 2016.

MARIN, F.; NASSIF, D. S. P. Mudanças climáticas e a cana-de-açúcar no Brasil: fisiologia, conjuntura e cenário futuro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 2, p. 232-239, 2013.

MAY-DE-MIO, L. L., AMORIM, L. Influência da temperatura e da duração do molhamento foliar nos componentes monicíclicos da ferrugem do álamo. **Summa Phytopathologica**, v. 28, n.1, p. 33-39, 2002.

MILUS, E. A.; KRISTENSEN, K.; HOVMOLLER, M. S. Evidence for increased aggressiveness in a recent widespread strain of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* causing stripe rust of wheat. **Phytopathology**, v. 99, n. 1, p. 89-94, 2009.

MOERSCHBACHER, B. M.; WITTE, U.; KÖNIGS, D.; REISENER, H. J. Changes in the level of enzyme activities involved in lignin biosynthesis during the temperature sensitive resistant response of wheat (*Sr6*) to stem rust (*P6*). **Plant Science**, v. 65, n. 2, p. 183-190, 1989.

MORAES, W. B.; JESUS JUNIOR, W. C.; PEIXOTO, L. A.; AMARAL, L. F.; CECÍLIO, R. A. Impactos das mudanças climáticas sobre a ferrugem da cana-de-açúcar no Brasil estimado por diferentes modelos de circulação geral. **Enciclopédia Biosfera**, v. 7, n. 12, p. 643-655, 2011a.

MORAES, W. B.; JESUS JUNIOR, W. C.; CECÍLIO, R. A., MAFIA, R. G.; MORAES, W. B.; COSMI, F. C.; VALADARES JUNIOR, R. Impacto potencial das mudanças climáticas globais na distribuição espacial de áreas de risco para ocorrência da ferrugem do eucalipto no Brasil. **Summa Phytopathologica**, v. 40, n. 2, p. 114-122, 2014.

MORAES, W. B.; JESUS JUNIOR, W. C.; PEIXOTO, L. A.; MORAES, W. B.; COSER, S. M.; CECÍLIO, R. A. Impact of climate change on the phoma leaf spot of coffee in Brazil. **Interciência**, v. 37, n. 4, p. 272-278, 2012a.

MORAES, W. B.; JESUS JUNIOR W. C.; PEIXOTO, L. A.; MORAES W. B.; SILVA, L. G.; CECÍLIO, R. A.; ALVES, F. R. An analysis of the risk of cocoa moniliasis occurrence in Brazil as the result of climate change. **Summa Phytopathologica**, v. 38, n. 1, p. 30-35, 2012b.

MORAES, W. B.; PEIXOTO, L. A.; JESUS JUNIOR, W. C.; MORAES, W. B.; SILVA, L. G.; CECÍLIO, R. A. Impactos das mudanças climáticas sobre o risco de ocorrência da ferrugem polissora do milho no Brasil. **Enciclopédia Biosfera**, v. 7, n. 12, p. 1-12, 2011b.

OLIVEIRA, A. A. R.; SANTOS FILHO, H. P.; ANDRADE, E. C.; MEISSNER FILHO, P. E. Impacto potencial das mudanças climáticas sobre as doenças do mamoeiro no Brasil. In: GHINI, R.; HAMADA, E.; BETTIOL, W. (Ed.). **Impacto das mudanças climáticas sobre doenças de importantes culturas no Brasil**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2011. p. 249-262.

PÉREZ GOMEZ, S. G. **Quantificação de parâmetros monocíclicos da ferrugem alaranjada (*Puccinia kuehnii*) em cana-de-açúcar**. 2014. 53 f. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, USP, Piracicaba.

POLTRONIERI, T. P. de S.; AZEVEDO, L. A. S. de; SILVA, D. E. M. da. Efeito da temperatura no crescimento micelial, produção e germinação de conídios de *Colletotrichum gloeosporioides*, isolados de frutos de palmeira juçara (*Euterpe edulis* Mart). **Summa Phytopathologica**, v. 39, n. 4, p. 281-285, 2013.

ROSSI V.; CAFFI T.; GIOSUÈ S.; BUGIANI R. A mechanistic model simulating primary infections of downy mildew in grapevine. **Ecological Modelling**, v. 212, v. 3-4, p. 480-49, 2008.

RUIZ, R. A. R., ALFENAS, A. C., FERREIRA, F. A., VALE, F. X. R. Influência da temperatura, do tempo de molhamento foliar, fotoperíodo e da intensidade de luz sobre a infecção de *Puccinia psidii* em eucalipto. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 14, n. 1, p. 55-61, 1989.

SABBURG, R.; OBANOR, F.; AITEKEN, E.; CHAKRABORTY, S. Changing fitness of a necrotrophic plant pathogen under increasing temperature. **Global Change Biology**, v. 21, n. 8, p. 3126-3137, 2016.

SANGUINO, A. Impacto potencial das mudanças climáticas sobre as doenças da cana-de-açúcar. In: In: GHINI, R.; HAMADA, E. (Ed.). **Mudanças climáticas: impactos sobre doenças de plantas no Brasil**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2008. p. 207-213.

SHARMA, R. C.; DUVEILLER, E.; ORTIZ-FERRARA, G. Progress and challenge towards reducing wheat spot blotch threat in the Eastern Gangetic Plains of South Asia: is climate change already taking its toll? **Field Crops Research**, v. 103, n. 2, p. 109-108, 2007.

SHAW, M. W.; OSBORNE, T. M. Geographic distribution of plant pathogens in response to climate change. **Plant Pathology**, v. 60, n. esp., p. 31-43, 2011.

SIGATOKA negra de bananas e plátanos. In: BENNETT, R. S.; ARNESON, P. A. The plant health instructor. St. Paul: American Phytopathological Society, 2003. Disponível em: <<https://www.apsnet.org/edcenter/intropp/lessons/fungi/ascomycetes/Pages/BlackSigatokaPort.aspx>>. Acesso em: 23 jun. 2017.

TESSMANN, D. J. **Epidemiologia da ferrugem (*Puccinia psidii* Winter) do jambeiro e estudos sobre a germinação dos seus urediniósporos**. 1992. 111 f. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) – Universidade de Brasília, Brasília.

TOOLEY, P. W.; BROWNING, M.; BERNER, D. Recovery of *Phytophthora ramorum* following exposure to temperature extremes. **Plant Disease**, v. 92, n. 3, p. 431-437, 2008.

TRAVERS, S. E.; TANG, Z.; CARAGEA, D.; GARRETT, K. A.; HULBERT, S. H.; LEACH, J. E.; BAI, J.; SALEH, A.; KNAPP, A. K.; FAY, P. A.; NIPPERT, J.; SCHNABLE, P. S.; SMITH, M. D. Variation in gene expression of *Andropogon gerardii* in response to altered environmental conditions associated with climate change. **Journal of Ecology**, v. 98, n. 2, p. 374-383, 2010.

UPCHURCH, R. G.; RAMIREZ, M. E. Effects of temperature during soybean seed development on defense-related gene expression and fungal pathogen accumulation. **Biotechnology Letters**, v. 33, n. 2, p. 2397-2404, 2011.

VALE, F. X. R.; ZAMBOLIM, L.; JESUS JUNIOR, W. V. Efeito da temperatura no período latente de *Hemileia vastatrix* BERK & BR., agente causal da ferrugem do café. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 1. 2000, Poços de Caldas. **Resumos expandidos...** Brasília, DF: Embrapa Café: Minasplan, 2000.

WANG, Y.; BAO, Z.; ZHU, Y.; HUA, J. Analysis of temperature modulation of plant defense against biotrophic microbes. **Molecular Plant-Microbe Interactions**, v. 22, n. 5, p. 498-506, 2009.

WEBB, D. H., NUTTER, F. W. Effects of leaf wetness duration and temperature on infection efficiency, latent period, and rate of pustule appearance of rust in alfalfa. **Phytopathology**, v. 87, n. 9, p. 946-950, 1997.

WEBB, K. M.; ONA, I.; BAI, J.; GARRETT, K. A.; MEW, T.; VERA CRUZ, C. M.; LEACH, J. E. A benefit of high temperature: increased effectiveness of a rice bacterial blight disease resistance gene. **New Phytologist**, v. 185, n. 2, p. 568-576, 2010.

WEST, J. S.; KHARBANDA, P. D.; BARBETTI, M. J.; FITT, B. D. L. Epidemiology and management of *Leptosphaeria maculans* (Phoma stem canker) on oilseed rape in Australia, Canada and Europe. **Plant Pathology**, v. 50, n. 1, p.10-27, 2001.

WHITHAM, S.; MCCORMICK, S.; BAKER, B. The N gene of tobacco confers resistance to tobacco mosaic virus in transgenic tomato. **Proceedings of the National Academy Sciences**, v. 93, n. 16, p. 8776-8781, 1996.

WREGE, M. S.; SOUSA, V. A.; FRITZSONS, E.; SOARES, M. T. S.; AGUIAR, A. V. Predicting current and future geographical distribution of *Araucaria* in Brazil for fundamental niche modeling. **Environment and Ecology Research**, v. 4, n. 5, p. 269-279, 2016.

WRIGHT, K. M.; DUNCAN, G. H.; PRADEL, K. S.; CARR, F.; WOOD, S.; OPARKA, K. J.; CRUZ, S.S. Analysis of the N gene hypersensitive response induced by a fluorescently tagged tobacco mosaic virus. **Plant Physiology**, v. 123, n. 4, p.1375-1385, 2000.