
MUDANÇAS CLIMÁTICAS E SEUS POTENCIAIS IMPACTOS SOBRE OS MÉTODOS DE MANEJO DE DOENÇAS DE PLANTA

MORAES, Wanderson Bucker¹
JESUS JUNIOR, Waldir Cintra de²
BELAN, Leônidas Leoni³
PEIXOTO, Leonardo de Azevedo⁴
MORAES, Willian Bucker⁵
CECÍLIO, Roberto Avelino⁶

Recebido em: 2011-02-05

Aprovado em: 2011-04-29

ISSUE DOI: 10.3738/1982.2278.555

RESUMO: As mudanças climáticas poderão alterar o desenvolvimento de doenças de plantas e afetar a eficácia dos principais métodos de manejo. Resultados indicam que as mudanças climáticas provavelmente alterarão a distribuição geográfica de doenças de plantas. Além disso, caso ocorra o deslocamento das áreas de cultivo, novas doenças poderão surgir em determinadas regiões e outras poderão perder ou aumentar sua importância econômica. Estima-se também que as possíveis alterações na fisiologia da interação patógeno-hospedeiro, influenciarão a eficácia do manejo biológico das doenças de planta. Isto possivelmente ocorrerá devido ao efeito das mudanças climáticas tanto sobre a interação patógeno-hospedeiro, bem como sobre a população de organismos presentes no sítio de infecção. Outro importante fator é a redução da eficácia dos produtos químicos empregados no manejo de doenças de plantas. Portanto novas tecnologias e táticas de aplicação de agroquímicos deverão ser empregadas, visando minimizar as possíveis perdas e otimizar o uso destes produtos no manejo de doenças de plantas. Desta forma, a intensificação de pesquisas sobre a relação das mudanças climáticas com manejo de doenças de plantas, poderá elucidar os reais impactos destas complexas alterações que possivelmente ocorrerão no futuro.

Palavras chave: Aquecimento global. Doenças de planta. Controle químico. Controle genético. Controle biológico.

CLIMATE CHANGE AND ITS POTENTIAL IMPACTS ON THE METHODS OF MANAGEMENT OF PLANT DISEASES

SUMMARY: Climate change can alter the development of plant diseases and affect the effectiveness of management main of methods. Results indicate that climate change will likely alter the geographical distribution of plant diseases. Moreover, in case the shift of cultivation areas, new diseases may arise in certain regions and others may lose or increase their economic importance. It is also estimated that the possible changes in the physiology of host-pathogen interaction will influence the effectiveness of the biological management of plant diseases. This might occur due to the effect of climate change on both the host-pathogen interaction as well as on the population of microorganisms used in biological control. Another important factor is reducing the effectiveness of chemical products used in the management of plant diseases. So new technologies and tactics for the application of pesticides should be employed in order to minimize potential losses and optimize the use of these products in the management of plant diseases. This way, the intensification of research on the relationship

¹ Acadêmico de Agronomia da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) e Bolsista de Iniciação Científica do Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq).

² Pós-Doutor em Agronomia pela Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ/USP) Professor Adjunto III da Universidade Federal do Espírito Santo.

³ Mestrando em Produção Vegetal pelo Programa de Pós Graduação em Produção vegetal (PPGPV) do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCA/UFES)

⁴ Acadêmico de Agronomia da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) e Bolsista de Iniciação Científica

⁵ Doutorando em Proteção de Plantas (UNESP-FCA). Universidade Federal do Espírito Santo (UFES)

⁶ Doutorado em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa (2005). Professor adjunto da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES).

of climate change, management of plant diseases may elucidate the actual impact of complex changes that possibly occur in the future.

Keywords: Global warming. Plant diseases. Chemical control. Genetic control. Biological control.

INTRODUÇÃO

O clima da Terra sempre mudou em resposta as mudanças na criosfera, hidrosfera, biosfera e outros fatores atmosféricos (CHAKRABORTY; NEWTON, 2011). No entanto, está amplamente aceito que as atividades humanas estão influenciando cada vez mais as mudanças no clima global (PACHAURI; REISINGER, 2007). O aumento da concentração de gases de efeito estufa na atmosfera tem sido atribuído como uma das principais causas das mudanças climáticas. A concentração atmosférica de dióxido de carbono (CO₂) atingiu níveis significativamente mais elevados quando comparado aos observando nos últimos 650 mil anos (SIEGENTHALER et al., 2005). A taxa de crescimento de CO₂ tem aumentado consideravelmente desde 2000, em comparação as décadas anteriores (CANADELL et al., 2007). Tendências semelhantes foram observadas para o metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), e outros gases-estufa (SPAHNI et al., 2005).

Estima-se que qualquer mudança no clima possa afetar o zoneamento agrícola, métodos de manejo, a produtividade e o progresso de epidemias de doenças de plantas (SMITH; TIRPAK, 1989). Para ocorrência de uma doença é necessário à interação de um hospedeiro suscetível, um patógeno virulento e fatores ambientais favoráveis (AGRIOS, 2005). Portanto, o ambiente é um componente relevante nesta interação, podendo inclusive impedir a ocorrência da doença mesmo na presença de hospedeiro suscetível e patógeno virulento (JESUS JUNIOR et al., 2003). Desta forma, a distribuição espacial das doenças de plantas é extremamente influenciada pelas condições climáticas. Importantes doenças podem se tornar secundárias caso as condições ambientais não sejam favoráveis. Contrariamente, doenças secundárias podem se tornar importantes caso o ambiente seja extremamente favorável (JESUS JUNIOR et al., 2003).

Portanto, as mudanças climáticas constituem uma séria ameaça ao cenário fitossanitário brasileiro, pois poderão promover significativas alterações na ocorrência e severidade das doenças de plantas. Estas alterações climáticas poderão ter efeitos diretos e indiretos, tanto sobre os patógenos quanto sobre as plantas hospedeiras, bem como na interação de ambos (CHAKRABORTY, 2005). Certamente, num futuro próximo, ocorrerão modificações na importância relativa de cada doença de planta (CHAKRABORTY, 2000a). Além disso, poderá haver maior potencial de estabelecimento de patógenos quarentenários em função das

condições climáticas. Portanto, novas doenças poderão surgir em determinadas regiões e outras poderão perder ou aumentar sua importância econômica, principalmente caso ocorra o deslocamento das áreas de cultivo (COAKLEY, 1995). Adicionalmente, a distribuição temporal das doenças também poderá ser afetada pelas mudanças climáticas (CHAKRABORTY, 2005). Contudo, apesar das ameaças das mudanças climáticas sobre a proteção de plantas em um futuro próximo, ainda há poucos relatos sobre este assunto (GARRETT et al., 2006).

Além disso, os métodos de manejo de doenças de plantas, em especial o químico, biológico e genético, poderão ser afetados pelas condições climáticas futuras (ATKINSON, 1993). Os potenciais impactos das mudanças climáticas poderão alterar a dinâmica residual de fungicidas na parte aérea das plantas e a degradação dos produtos químicos poderá ser modificada. A atuação das mudanças climáticas sobre estes fatores poderá ocorrer de duas maneiras. Primeiramente, a mudança na temperatura e precipitação poderá alterar a dinâmica de resíduos de fungicida na parte aérea da cultura (COAKLEY, 1995). Segundo, as mudanças morfológicas ou fisiológicas das plantas em resposta ao aumento de CO₂ poderão afetar a absorção, translocação e metabolismo de fungicidas sistêmicos (COAKLEY, 1995). O controle genético é outro método que possivelmente sofrerá significativas alterações em função das mudanças climáticas. A temperatura poderá ter uma importante repercussão na efetividade dos genes de resistências, embora possa ser um desafio discriminar o efeito de intervalos de temperatura sobre os genes de resistência do hospedeiro versus o efeito da virulência do patógeno (GARRETT et al., 2006).

Adicionalmente, estima-se que as mudanças climáticas também influenciarão o controle biológico. Tal fato deve-se a vulnerabilidade das populações de patógenos aplicados no manejo de doenças de plantas, as variações ambientais e aos eventos climáticos extremos (WONG, 2002). Entretanto, prever os efeitos das mudanças climáticas sobre o controle biológico é difícil, dada complexidade e quantidade de interações existentes. No entanto, certamente a vulnerabilidade dos agentes de biocontrole será maior com as mudanças climáticas, uma vez que esse é um dos problemas de aplicabilidade dos antagonistas (GARRETT et al., 2006). Além disso, estratégias de atrasar ou antecipar plantios visando controlar doenças de plantas, poderão torna-se menos confiáveis. Portanto os métodos de manejo de doenças de plantas deverão ser adaptados em função das mudanças climáticas (GARRETT et al., 2006). Nesse sentido, este estudo abordará os potenciais impactos das mudanças climáticas sobre os métodos de manejo de doenças de plantas, com ênfase nas possíveis adaptações e medidas mitigadoras que poderão ser adotadas visando garantir a sustentabilidade da cafeicultura.

AQUECIMENTO GLOBAL

A atmosfera seca da Terra é constituída principalmente por nitrogênio (N_2 ; 78,1% do volume), oxigênio (O_2 ; 20,9% do volume) e argônio (Ar; 0,93% do volume). Estes gases possuem limitada interação com a radiação emitida pelo Sol e não interagem com a radiação infravermelha emitida pela Terra. Entretanto, há uma série de gases traços como dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O) e ozônio (O_3) que absorvem e emitem radiação infravermelha (Figura 1). Estes gases traços, também denominados gases de efeito estufa, ocupam menos que 0,1% do volume da atmosfera e possuem relevante papel no balanço energético da Terra. A atmosfera contém também vapor d'água (H_2O ; aproximadamente 1% do volume), que é também um gás de efeito estufa natural (MACHADO, 2005).

A Terra sempre passou por ciclos naturais de aquecimento e resfriamento, da mesma forma que períodos de intensa atividade geológica. Ocorre que atualmente a atividade industrial está afetando o clima terrestre na sua variação natural. Durante os primeiros cinco anos do século XXI, mapas de anomalias de temperatura em relação ao período de 1961-1990 demonstraram que houve, de modo geral, aquecimento no planeta, porém o aumento de temperatura foi maior nos continentes que nos oceanos, e também nas maiores latitudes do Hemisfério Norte (Figura 1) (IPCC, 2007), o que sugere que a atividade humana desempenha fator determinante no aquecimento (MARENGO; SOARES, 2003).

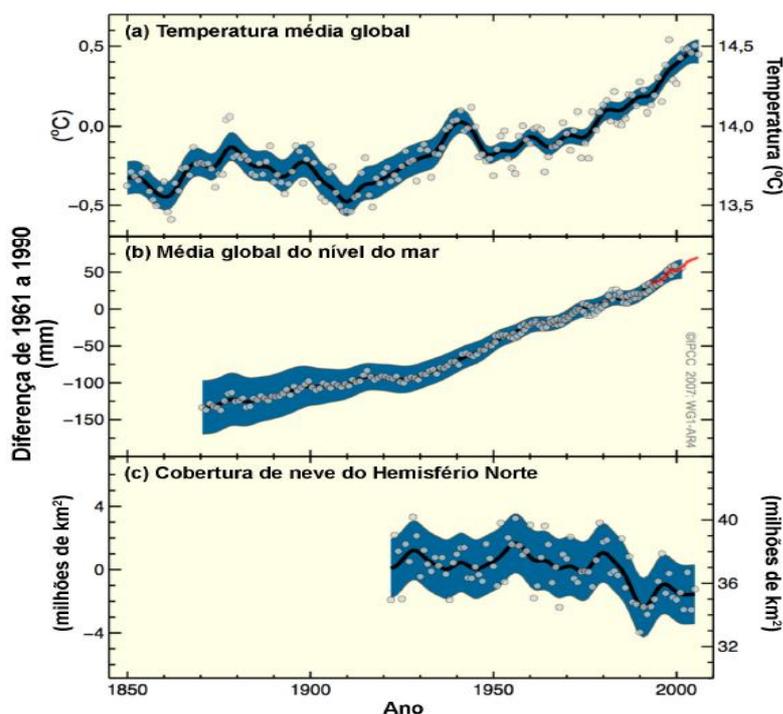


Figura 1. Mudanças observadas na (a) temperatura média global da superfície; (b) média global da elevação do nível do mar a partir de dados de marégrafo (azul) e satélite (vermelho) e (c) cobertura de neve do Hemisfério Norte para março-abril. **Fonte:** IPCC (2007).

Atualmente sabe-se que além da tectônica de placas, o clima é influenciado pela composição química da atmosfera, especialmente pelo teor de gases de efeito estufa. Além deste fato, o clima pode ser mudado pelas alterações na vegetação, intemperismo das rochas, erupções vulcânicas, mudanças na rotação da Terra e variações na incidência da radiação solar, além de outros fatores ainda desconhecidos (JESUS JUNIOR et al., 2007a).

É oportuno lembrar que o efeito estufa é um fenômeno natural, sendo o vapor d'água com 60% de participação, o agente mais ativo do efeito estufa presente em diferentes faixas de absorção da radiação infravermelha (onda longa). Portanto, este colabora de forma preponderante no processo de aquecimento planetário e seu volume na atmosfera, independe da ação humana. Origina-se da radiação solar incidindo sobre as superfícies líquidas e transformando a água do estado líquido para o de vapor. As baixas latitudes (menores que 30°) recebem cinco vezes mais energia solar que aquelas situadas além de 60° e esse calor se concentra nos oceanos (apenas 24% das terras emersas situam-se na zona intertropical), intensificando significativamente a evaporação. A dinâmica geral da atmosfera encarrega-se de distribuir esse vapor por todo o planeta reforçando o efeito de estufa global (CONTI, 2005).

Ocorrências de furacões em áreas não usuais, verões excessivamente quentes no hemisfério norte, estiagens severas em regiões habitualmente úmidas e outros distúrbios de sazonalidade têm sido interpretados pela mídia. Adicionalmente, a comunidade científica de forma mais cautelosamente tem analisado estes fenômenos como produtos da desestabilização climática (CONTI, 2005). Além da ocorrência de eventos extremos, os modelos climáticos futuros preveem alterações significativas do padrão de destruição da precipitação (ROSENZWEIG et al., 2001).

Mapas de anomalias de temperatura em relação ao período de 1951-1980 demonstram que houve, de modo geral, aquecimento no planeta. Além de relatos do aquecimento global, elevação da concentração de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O) na atmosfera, observa-se maior frequência e intensidade de eventos climáticos extremos (Figura 2) (SIEGENTHALER et al., 2005; SPAHNI et al., 2005). Portanto, considerando o cenário de aumento das temperaturas pode-se admitir que nas regiões climaticamente limítrofes, àquelas de delimitação de cultivo adequado de plantas agrícolas, caso ocorra o aumento de temperatura estas regiões poderão torna-se desfavoráveis ao desenvolvimento vegetal (JESUS JUNIOR et al., 2008a). No caso de baixas temperaturas, regiões que atualmente sejam limitantes ao desenvolvimento de culturas suscetíveis a geadas passarão a exibir condições favoráveis ao desenvolvimento das plantas, com o aumento do nível térmico ocasionado pelo aquecimento global. Relatos na literatura evidenciam a tendência de

deslocamento do cultivo de café para a região do Sul do Brasil futuramente (ASSAD et al., 2004).

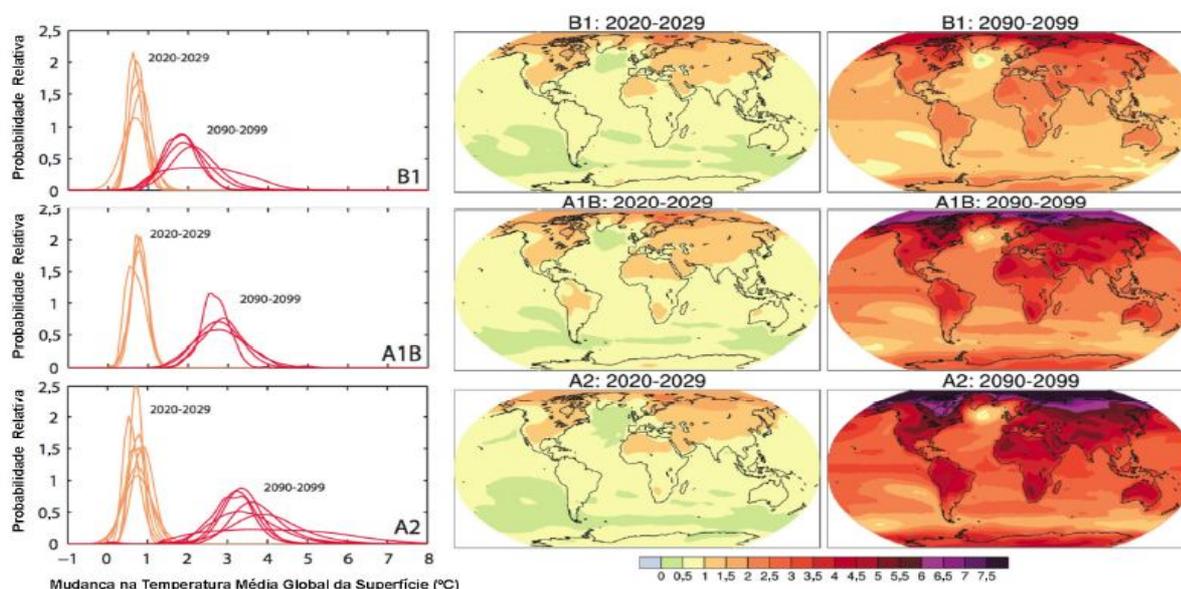


Figura 2. Projeções das mudanças na temperatura da superfície para o início e o final do século XXI, em relação ao período de 1980 a 1999. **Fonte:** IPCC (2007).

IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS EM DOENÇAS DE PLANTAS

Controle químico

O manejo integrado de doenças de plantas possui alguns métodos de controle que atuam contra a infecção pelo patógeno, bem como sua disseminação, sobrevivência e inoculação, visando mantê-lo distante do hospedeiro. Entretanto existem inúmeras doenças em que aplicação dessas medidas torna-se impraticável ou impossível. Nestes casos o uso de produtos químicos para a proteção da planta hospedeira contra o patógeno é a principal medida de controle (ZAMBOLIM et al., 2004).

O clima exerce grande efeito tanto sobre a ocorrência de doenças, bem como na eficácia obtida após a aplicação de um determinado produto químico. O sucesso na utilização de fungicidas no controle de doenças está condicionado a vários fatores, entre estes destacam-se os ambientais: precipitação, período de molhamento foliar, intensidade luminosa, efeito do vento, temperatura e umidade relativa do ar (JESUS JUNIOR et al., 2007b). O modo de ação dos diversos ingredientes ativos, de um modo geral depende pouco dos fatores ambientais. Entretanto outros fatores envolvidos na eficácia dos produtos químicos podem ser afetados, tais como o tempo de exposição, absorção e translocação, cobertura e redistribuição do produto na planta.

As mudanças climáticas globais (MCG) poderão alterar o atual cenário fitossanitário da agricultura (JESUS JUNIOR et al., 2007a). Como consequência, o controle químico deverá

acompanhar a nova realidade. Com relação ao potencial efeito das MCG no controle químico de doenças de plantas, Jesus Junior et al. (2008b) questionaram: “A eficácia dos produtos químicos (agrotóxicos) será a mesma em condições de elevação de temperatura?”. Nesse sentido, é necessária e urgente a realização de trabalhos analisando tais efeitos.

Mudanças na distribuição geográfica dos patógenos nos cenários futuros ocasionarão alterações no consumo de fungicidas em diversas culturas. Qualquer modificação na ocorrência de doenças em uma determinada cultura provoca reflexos imediatos na comercialização dos produtos químicos para o seu controle. Assim, alterações no mercado de agrotóxicos irão ocorrer decorrentes do aparecimento de novas doenças, bem como do aumento ou diminuição da importância de determinado patógeno.

Com base nas estimativas dos modelos climáticos globais futuro, de um modo geral, no Brasil ocorrerá à redução da umidade relativa do ar e da precipitação, e o aumento da temperatura média e radiação solar (HAMADA et al., 2008). A redução da precipitação prevista nos cenários futuros poderá promover a redução da lavagem dos fungicidas, e conseqüentemente o aumento do tempo de exposição do produto, melhorando sua eficácia. Entretanto alterações quanto à duração e a intensidade das chuvas provocarão efeitos diretos no controle químico, comprometendo a eficácia de vários fungicidas (FOWLER e HENNESSY, 1995). Os fungicidas protetores poderão ter sua eficácia reduzida caso ocorra chuvas intensas em período pós-aplicação, devido à lavagem do produto. Por outro lado, a ocorrência de chuvas intensas pode causar a redistribuição dos ingredientes ativo na folha e na planta. Isto aumentará a eficácia dos fungicidas sistêmicos, uma vez que a maioria destes fungicidas são prontamente absorvidos e têm maior resistência ao efeito das chuvas (lavagem) (GHINI, 2008a).

A temperatura e a umidade relativa do ar têm o potencial de ocasionar maiores ou menores níveis de perdas de fungicidas devido à evaporação, pois estes fatores afetam a duração das gotas do produto sobre a planta. Com o aumento da temperatura média e a redução da umidade do ar previstas nos cenários futuros, poderá ocorrer elevadas perdas por evaporação, restringindo ainda mais os horários adequados para a aplicação de produtos químicos durante o dia (JESUS JUNIOR et al., 2008b). A pulverização noturna poderá ser uma alternativa bastante viável para contornar a baixa umidade do ar e as altas temperaturas que ocorrerão durante o dia (JESUS JUNIOR et al., 2008b). Contudo, nesta modalidade de aplicação aqueles produtos que dependem de luz para atuar no interior das plantas podem ser comprometidos. Adicionalmente, adição de óleo ou de outros aditivos antievaporantes à calda e o aumento do diâmetro das gotas, também são alternativas possíveis de serem empregadas para prolongar a "duração das gotas" e diminuir o risco de perdas por evaporação. Quanto

maior o diâmetro das gotas, menor é a superfície de contato com o meio, e conseqüentemente menos acentuada é a evaporação (JESUS JUNIOR et al., 2008b).

O aumento da temperatura média poderá provocar fitoxidez em algumas culturas, devido à aplicação de determinados princípios ativos. Ferrazo et al. (2007) avaliaram o efeito do fungicida piraclostrobina na cultura do mamão em diferentes horários de aplicação. Embora não tenham detectado diferença estatística entre os horários de aplicação (horários quentes e amenos), os autores observaram que a aplicações do fungicida realizadas em horários quentes do dia, provoca maior fitotoxidez quando comparada a aplicações efetuadas em horários amenos, independentemente da dose aplicada (Tabela 1). Esse efeito fitotóxico da aplicação de fungicidas também é comum quando se aplicam produtos à base de enxofre em determinadas culturas, principalmente em função da dose utilizada e do horário de aplicação (JESUS JUNIOR et al., 2008b).

Tabela 1. Efeito da dose e horário de aplicação de determinado fungicida na ocorrência de fitotoxidez em frutos de mamoeiro.

Dose (%)	Horário de aplicação	Fitotoxidez (%)
0,04	Quente	30,6
0,03	Quente	26,3
0,04	Ameno	25,6
0,03	Ameno	19,5
Testemunha	—	0

Fonte: Adaptada de Ferrazo et al. (2007).

Entretanto a efetividade de alguns fumigantes de solo poderá aumentar com a elevação da temperatura. Os fumigantes de solo são mais tóxicos a altas temperaturas. Esse princípio se aplica particularmente a organismos encontrados nos primeiros 30 cm do solo (MUNNECKE; VAN GUNDY, 1979). McKenry e Thomason (1974) demonstraram que o aumento da temperatura de 5 para 25 °C aumentou oito vezes a toxicidade de 1,2- dibromoetano (EDB) e de 4,4 a 4,7 vezes atividade do 1,3-D (1,3-dicloropropeno) ao nematóide *Meloidogyne javanica*. Considerando que Marks et al. (1968) demonstraram que a penetração de EDB não foi afetada pela temperatura, aparentemente o aumento da sua toxicidade com o aumento de temperatura está relacionado ao aumento da atividade metabólica do nematóide. Ashlely et al. (1963) relataram que 25-50% a mais de metil isotiocianato (MIT) foi liberado em solos incubados a 15°C, quando comparado aos solos mantidos a 10°C.

O aumento da radiação solar pode afetar ação de alguns produtos químicos de forma positiva ou negativa, pois determinados defensivos no interior das plantas podem ser ativados ou inativados (fotólise da molécula), dependendo do seu princípio ativo (JESUS JUNIOR et

al., 2008b). Outra preocupação quanto à radiação solar refere-se à intensidade luminosa, pois a luz do sol sobre o produto recém-aplicado (gotas aderidas) pode causar injúria (efeito "lente de aumento") ou fito toxicidade (em função da concentração do ingrediente ativo) nas folhas (JESUS JUNIOR et al., 2008b). Portanto, com a tendência de aumento da radiação solar previstas pelos modelos de mudanças climáticas, este fator poderá influenciar a eficiência dos produtos químicos empregados no manejo de doenças de plantas.

Além disso, mudanças na temperatura e precipitação poderão modificar a degradação dos produtos e afetar a dinâmica de resíduos na parte aérea das plantas (GHINI, 2008a). A redistribuição dos produtos químicos na folha e na planta ocorre principalmente pela ação do orvalho e dos respingos de chuva. Desta forma a redução da umidade relativa do ar poderá diminuir a redistribuição dos fungicidas protetores, fato importante para garantir uma melhor cobertura da superfície da planta (GHINI, 2008a). Portanto o desenvolvimento de novas formulações será necessário para compensar essas perdas nas próximas décadas.

A aplicação dos produtos também poderá ser afetada devido à ocorrência de ventos fortes, principalmente quando se pensa em deriva. O desenvolvimento e a inclusão de novas tecnologias de aplicação de agroquímicos terão que ser realizadas para acompanhar tais mudanças previstas. Desta forma, tecnologias de aplicação compatíveis com as novas condições previstas nos cenários futuros deverão ser adotadas, visando o aumento da eficácia dos produtos e a redução das perdas no momento da aplicação. Entre as técnicas já existentes, temos a utilização de pulverizadores com cortinas de ar que torna possível a aplicação de fungicidas em culturas anuais, mesmo em condições de vento excessivo (JESUS JUNIOR et al., 2008b). Esta técnica reduz a deriva e permite a deposição das gotas no interior do dossel de culturas com elevado índice de área foliar. Outras máquinas como as aplicadoras de defensivos em culturas perenes, utilizam um mecanismo que gera uma cortina de ar com a finalidade de substituir a atmosfera no interior da copa das plantas por uma nuvem de ar carregada com gotas finas, que passam a cobrir ambas as faces das folhas das plantas (JESUS JUNIOR et al., 2008b). Os pulverizadores eletrostáticos também é uma das tecnologias existentes que busca direcionar as gotas para determinado alvo, reduzindo as perdas ocasionadas por condições de ambiente adversas (JESUS JUNIOR et al., 2008b).

As mudanças climáticas também poderão ter efeitos diretos sobre a planta hospedeira. O desenvolvimento de uma planta é resultante da interação entre o seu genótipo e o ambiente. Assim, as mudanças no clima poderão interferir na morfologia e fisiologia das plantas. Estas alterações provocarão mudanças na absorção, translocação e no metabolismo de fungicidas, alterando assim a eficácia dos produtos químicos (GHINI, 2008a). O aumento de células epidermais, da espessura da camada epicuticular e a maior deposição de ceras, podem

reduzir a absorção dos fungicidas pela planta (BOWES, 1993; WOLFE, 1995). Entretanto o aumento da taxa de fotossíntese e do metabolismo, decorrentes do aumento da temperatura e de CO₂ na atmosfera, poderá resultar em maior velocidade de absorção e maior toxicidade aos organismos alvos (COAKLEY et al., 1999). Edis et al. (1996) relataram que um biótipo resistente da planta daninha *Alopecurus myosuroides* tornou-se mais sensíveis a aplicação de herbicidas, quando cultivada sob elevada concentração de CO₂. Os autores relatam que esse fato ocorreu devido a mudanças na translocação e absorção dos herbicidas. Além disso, outro mecanismo envolvido é a alteração do período de maior suscetibilidade às doenças, que poderá determinar um novo calendário de aplicação.

Portanto o manejo de doenças com a utilização dos fungicidas poderá sofrer profundas alterações com as mudanças climáticas (STRAND et al., 2000). O principal impacto das mudanças climáticas globais sobre o controle químico deverá ser de ordem cultural. O fato de toda a humanidade estar sofrendo as consequências das atividades antrópicas, na exploração do planeta, despertará a conscientização de que tal atividade deve ser rigorosamente realizada de forma sustentável (GHINI et al., 2008a). A sociedade, certamente irá pressionar para o uso de métodos não químicos no controle de doenças de plantas. Entretanto, no cenário futuro o uso de fungicidas consistira em uma das principais alternativa de controle, até que haja alguma estabilização nas alterações ou até o desenvolvimento de outros métodos. A prioridade deverá ser a obtenção de cultivares produtivas adaptadas às novas condições ambientais e resistentes às doenças.

Resistência genética do hospedeiro

O emprego de variedades resistentes no controle genético de doenças de plantas representa um dos mais significativos avanços tecnológicos na agricultura. Este é sem dúvida o método ideal de controle de doenças, do qual podemos ressaltar as seguintes vantagens: baixo custo, fácil utilização pelo produtor, alta eficiência e ecologicamente desejável. Analisando o triângulo das doenças de plantas, o vértice do hospedeiro se torna o centro das atenções tratando-se do controle genético das doenças. Uma planta pode ser resistente a um patógeno pela atuação de mecanismos pré-existentes, ou por mecanismos que são ativados após o contato com o patógeno. Os mecanismos de defesa das plantas podem ser ativados por um estímulo apropriado, seja ele químico climático ou biológico.

A resistência genética de plantas a fitopatógenos é uma característica herdável, determinada por um ou mais genes (AGRIOS, 2005). Na natureza o nível de resistência varia entre plantas altamente suscetíveis a plantas altamente resistentes ou imunes. Neste caso, diferentes variedades de uma cultura com a mesma intensidade de certa doença, podem

apresentar respostas a danos variadas, dependendo do grau de “tolerância” de cada uma delas.

No entanto, vale ressaltar que o hospedeiro está sujeito aos efeitos do ambiente, onde nem sempre é favorável para que as plantas manifestem seus mecanismos de defesa (GHINI et al., 2008b).

Van der Plank (1963) propôs classificar a resistências das plantas a patógenos em duas categorias: vertical e horizontal. A resistência vertical ou “qualitativa” é monogênica, ou seja, condicionado por um ou poucos genes de efeito maior. Esse tipo de resposta depende da interação entre patógeno e hospedeiro. A resistência horizontal, também conhecida como “quantitativa”, em geral é poligênica (genes de efeito menor). Analisando-se pelo número de genes que condiciona cada tipo de resistência, plantas com resistência horizontal têm maior vulnerabilidade aos efeitos das alterações climáticas (AGRIOS, 2005). Tal vulnerabilidade pode ser retratada pela suplantação dessa resistência por determinadas populações de fitopatógenos.

A resistência das plantas ao patógeno poderá tornar mais eficaz devido a mudanças na fisiologia, estado nutricional e disponibilidade de água para a planta. No entanto, a durabilidade desta resistência poderá ser menor devido ao aumento da fecundidade, aumento das gerações dos patógenos por ciclo da cultura e microclima mais adequado para o desenvolvimento da doença. Esses fatores contribuem para uma evolução mais rápida e agressiva dos patógenos (COAKLEY et al., 1999).

Altos níveis de CO₂ podem impedir a resistência induzida das plantas, fazendo com que as plantas cresçam mais rapidamente (PANGGA et al., 2004). Segundo Ghini (2005), a maior ameaça à resistência genética é a aceleração dos ciclos dos patógenos que com o aumento do CO₂ poderão sofrer alterações em todos os estágios de seu ciclo de vida. Além disso, com o aumento da taxa de CO₂ as plantas também poderão sofrer modificações, tais como: aumento da área foliar e da espessura das folhas, incremento do diâmetro do caule e da eficiência. Essas mudanças podem altear a resistência das plantas a certos patógenos, principalmente a patógenos foliares (PRITCHARD et al, 1999). Chakraborty et al. (2000b) avaliaram o comportamento da antracnose (*Colletotrichum gloeosporioides*) em diferentes cultivares da leguminosa tropical *Stylosanthes scabra*, mantidas em ambientes com diferentes concentrações de CO₂. Em tal estudo, os autores observaram que a redução no crescimento das plantas, devido à antracnose, foi compensada por melhorias no crescimento em condições com elevadas concentrações de CO₂ na cultivar suscetível, mas não na cultivar resistente. A severidade da antracnose na cultivar suscetível foi reduzida em concentrações elevadas de CO₂, porém este gás não houve influenciou o desenvolvimento da doença na cultivar resistente (CHAKRABORTY et al., 2000b). Isto sugere que algumas formas de resistência

podem ser menos eficazes face às mudanças climáticas.

O efeito da elevação da temperatura sob a expressão genética de alguns genes de resistência pode ser considerado um dos pontos fracos do controle genético, dentro do cenário das mudanças climáticas. Assim, o calor e a seca poderão contribuir para a suscetibilidade das plantas a patógenos ou induzir vias de defesa que aumentem sua resistência (MITTLER, 2006). Além disso, temperaturas elevadas aumentam o estresse hídrico na planta que causam sintomas de murchamento, abscisão foliar, mudanças no metabolismo de RNA e na síntese de proteínas, enzimas, isoenzimas e hormônios de crescimento. Estas mudanças afetarão a resistência das plantas aos patógenos, sendo que plantas resistentes a determinado patógeno poderão torna-se susceptíveis (CHRISTIANSEN; LEWIS, 1982). Portanto, o aumento da temperatura poderá influenciar tanto na expressão de genes de resistência pela planta, quanto na expressão de genes de virulência pelo patógeno. Trabalhos realizados por Browder e Eversmeyer (1986) com plantas de trigo e o fungo *Puccinia graminis*, verificaram que o gene de resistência e o gene de virulência responderam de forma diferente com o aumento da temperatura. Em plantas de arroz, o gene que confere resistência a *Xanthomonas* é mais eficaz sob altas temperaturas (WEBB et al., 2010). A resistência de tomateiros (*Solanum Lycopersicon* Mill.) aos nematóides das galhas é condicionada por um gene denominado Mi (GILBERT; MCGUIRE, 1995). Porém, quando a temperatura do solo é superior a 28 °C a expressão genética desse gene é reduzida, e conseqüentemente a resistência das cultivares que o possui (AMMATI et al., 1986). Além do tomateiro, relata-se que outras culturas podem ter sua resistência aos nematóides reduzida quando cultivadas em solo com temperaturas superiores a 28 °C, tais como o feijoeiro, alfafa, batata-doce e pêsego (ALVES; CAMPOS, 2001).

Diante das alterações de temperatura, concentrações de gases na atmosfera e demais fatores climáticos e ambientais, devemos analisar também as alterações na quantidade e na distribuição da precipitação. Estudos sobre a expressão de genes de resistência a patógenos sob estresse hídrico tem sido cada vez mais comuns, permitindo uma melhor compreensão da manifestação de genes e suas interações com a seca e outros fatores estressantes (GARRETT et al, 2006). Apesar das plantas apresentarem mudanças sob o estresse hídrico, os patógenos também apresentam menor taxa de infecção em plantas submetidas a estas condições. Pennypacker et al. (1991) verificaram que plantas de alfafa inoculadas com *Verticillium* apresentaram menos sintomas sob estresse hídrico. Contrariamente, para a maioria dos casos tem verificado que a resistência genética de plantas a patógenos é menor sob estresse hídrico (CHRISTIANSEN; LEWIS, 1982).

Além do aspecto da funcionalidade dos genes de resistência do hospedeiro e da agressividade do patógeno, deve-se considerar a alteração na funcionalidade dos genes dos antagonistas. Portanto, os organismos que possivelmente têm a ação relacionada com a produção de alguma substância poderão sofrer maiores consequências em comparação com aqueles que agem por predação e competição (BETTIOL, 2008). Desta forma, com as mudanças climáticas poderá haver uma pressão de seleção sobre as populações adaptadas das novas condições ambientais.

A expansão das fronteiras agrícolas vem crescendo a cada ano. O melhoramento genético vem lançando inúmeras variedades das diversas culturas adaptadas a esses novos horizontes agrícolas, auxiliando assim a conquista de novos mercados e maiores produtividades. A aparente plasticidade de alguns sistemas agrícolas, além de ajudar a atingir esses objetivos, possibilita minimizar os impactos negativos das mudanças climáticas com a adoção de novas cultivares ou práticas agrícolas (CHAKRABORTY et al., 2000a; GHINI, 2005). Até pouco tempo, o cultivo comercial da macieira era intenso no Sul do Brasil e na Argentina, onde a cultura encontrava condições propícias ao seu desenvolvimento. No entanto, recentemente o Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR) lançou no mercado algumas variedades de maçãs, como as variedades Julieta e Eva que são menos exigentes em horas de frio para completar seu ciclo. Isso possibilitou a expansão da cultura para regiões onde antes na cultivadas, tais como o Vale do Rio São Francisco no Estado da Bahia. Portanto, certamente o cenário de mudanças climáticas irá direcionar os programas de melhoramento genético no sentido de buscar variedades adaptadas às novas condições de clima. Porém, quaisquer que sejam as mudanças climáticas, os patógenos tenderão a acompanhar a distribuição da planta hospedeira (COAKLEY, 1995). No entanto, a velocidade com a qual os patógenos irão se estabelecer nestes novos ecossistemas é em função da possibilidade de dispersão e sobrevivência entre estações do ano ou épocas de cultivo, bem como das mudanças fisiológicas e ecológicas da planta hospedeira.

Controle biológico

Assim como o solo, o filoplano (superfície das folhas) e o rizoplano (superfície das raízes) não são ambientes estéreis. Nessas superfícies, há intensa exsudação de açúcares e outros nutrientes, o que proporciona condições favoráveis ao desenvolvimento de microorganismos (MIZUBUTI; MAFFIA, 2007), sejam estes fitopatógenos e/ou não fitopatógenos (antagonistas). Ambos os tipos de microorganismos utilizam este sítio de infecção, apresentando potencial para limitar o desenvolvimento de doenças e/ou ativar a

resistência do hospedeiro (TEIXEIRA, et al., 2005). Defini-se assim o controle biológico natural e destaca-se a importância da preservação e manutenção do equilíbrio dos ecossistemas, chamando atenção quanto às mudanças climáticas e seu impacto sobre a comunidade microbiana do “ecossistema vegetal”.

O ambiente tem fundamental importância para a relação patógeno-hospedeiro-agentes de controle. Como os macroorganismos, os antagonistas e demais agentes de biocontrole (naturais ou introduzidos) são altamente dependentes dos fatores ambientais. Assim, estes são altamente suscetíveis às alterações climáticas. Estima-se que as mudanças climáticas influenciarão a constituição e o comportamento da comunidade microbiana, ocasionando assim modificações na “saúde” dos órgãos das plantas (COAKLEY et al., 1999).

Mudanças na população microbiana da filosfera e da rizosfera poderão influenciar a doença por um meio natural. Portanto, as mudanças climáticas poderão alterar a composição e dinâmica das comunidades microbianas em ambientes aéreos e do solo (GUNASEKERA et al., 1997; SADOWSKY ; SCHORTEMAYER, 1997). Assim, certamente o controle biológico se tornará ainda mais vulnerável, dada a fragilidade e sensibilidade dos agentes de biocontrole (GARRETT et al., 2006).

O aumento das taxas de CO₂ atmosférico não deverá interferir os microrganismos do solo, pois estes estão expostos a concentrações 10 a 15 vezes maiores que a concentração na atmosfera (COAKLEY et al, 1999). Percy et al. (2002) verificaram que o aumento da concentração de CO₂ na atmosfera não interferiu na severidade da ferrugem (*Melampsora* sp.) em uma área com predominância de *Populus tremuloides*. Estes mesmo autores relatam que apenas a mistura de CO₂ e O₃ aumentou consideravelmente a severidade da doença. Tal fato pode ter agravado devido à redução da abundância de inimigos naturais (antagonistas) na presença de uma atmosfera com elevado teor de O₃. Rezacová et al. (2005) verificaram que *Chlonostachys rosea*, um importante agente de controle biológico de *Botrytis* spp., e *Metarrhizium anisopliae*, ambos amplamente utilizados no controle de insetos-pragas, mostraram-se associados com a cultura do trevo em ambientes com alta concentrações de CO₂. Diante disso, os autores sugerem que tais condições ambientais propiciem o crescimento populacional dessas espécies de fungos, e conseqüentemente a menor intensidade de diversas doenças e pragas agrícolas. Essas e outras alterações nas condições ambientais deixam evidente que o equilíbrio dos ecossistemas poderá ser alterado e no longo do tempo tenderá a um novo equilíbrio. O controle biológico, seja ele natural ou introduzido, sofrerá interferências. No entanto, estas provavelmente não serão apenas prejudiciais, mas poderão ser também benéficas ou até mesmo neutras. Além disso, vale ressaltar que as alterações climáticas discutidas nessa revisão não se limitam apenas à temperatura, gases de efeito estufa

precipitação, mas sim um sistema complexo de interações entre os diferentes constituintes ambientais.

Mudanças na temperatura podem ter efeitos não lineares sob a interação de hospedeiro, patógeno e agente de controle biológico. O aumento da temperatura poderá diminuir a densidade populacional dos agentes de controle biológico presente no solo, favorecendo assim o desenvolvimento das populações dos patógenos (GREVSTAD, 1999; WONG et al., 2002). Trilch et al. (1996) verificaram que a elevação da temperatura de 17 para 22 °C aumentou a reprodução de pulgões (*Sitobion avenae*) em 10% em plantas de trigo. Entretanto a atividade predatória da joaninha (*Coccinella septempunctata*) aumentou em 250% (TRILCH et al., 1996). Alves; Campos (2003) estudaram o efeito de altas temperaturas na eficácia do antagonismo de fungos (*Arthrobotrys conoides*, *Duddingtonia flagrans*, *Paecilomyces lilacinus*, *Paecilomyces variotii*, *Monacrosporium doedycoides*) e um isolado de rizobactéria sobre *M. javanica* e *M. incognita* raça 3 em tomateiro. Segundo estes autores, em solos aquecidos houve um aumento do desenvolvimento populacional de *M. javanica* e de *M. incognita* raça 3, não permitindo assim que os fungos antagonistas tivesse tempo para parasitar os nematóides.

Em se tratando de controle de doenças de plantas, ao contrário do que ocorre na maioria das vezes, não se pode deixar de levar em consideração as comunidades de microrganismos da rizosfera e filosfera. Como descrito anteriormente, estes são os principais agente do controle biológico de doenças de plantas, em especial no controle biológico natural. Com base nessas populações de microrganismos são feitas referências, por exemplo, sobre a qualidade dos solos. Todos sofrem influência das mudanças de temperatura, gases e regimes de chuva. Logo toda e qualquer alteração climática que altere a qualidade dos solos, provocará alteração na supressividade deste às doenças de plantas.

Em um país de clima tropical assim como o Brasil, sabe-se que atividade microbiológica é mais intensa no processo de decomposição da matéria orgânica em relação aos países de clima temperados. Como consequência deste processo, a disponibilização de nutrientes presentes no material orgânico favorece a nutrição das plantas e conseqüentemente uma melhor reação desta aos patógenos. Outro benefício à comunidade de plantas e à supressividade dos solos é a liberação de substâncias fungitóxicas a determinados patógenos (BETTIOL; GHINI, 2009). Um exemplo clássico, bastante conhecido e discutido sobre controle biológico de patógenos de solo é o controle de *Phytophthora sp.* em abacateiros através da elevação do teor de matéria orgânica no solo. Tal controle é baseado no princípio da manutenção do equilíbrio, tanto químico quanto biológico do solo, incluindo a ação de micro artrópodes (colembolos), fungos e bactérias. Desta forma, um possível aumento da

temperatura ocasionará uma decomposição mais acelerada da matéria orgânica, bem como alterações no equilíbrio dos microrganismos (BETTIOL; GHINI, 2009). Portanto, o aporte de material orgânico deverá ser incrementado para suprir a demanda e estabilizar o equilíbrio do ecossistema (BETTIOL; GHINI, 2009).

Neste contexto, os sistemas de cultivo orgânicos, em contrastes com os sistemas convencionais, desfrutam de suas complexas interações de ocorrência natural para o controle de fitopatógenos. Nestes sistemas, dão-se ênfase ao manejo das relações de antibiose, competição, predação e parasitismo. No entanto, devido à complexidade das interações envolvidas num sistema orgânico, mantendo um equilíbrio natural do ecossistema, talvez possa ser este o modelo agrícola que possa se sustentar melhor perante as possíveis alterações climáticas (BETTIOL; GHINI, 2009). Esses sistemas alternativos de cultivo com elevada complexidade, porém sustentáveis, requerem estudos mais detalhados sobre a estrutura e o funcionamento dos agroecossistemas, com atenção especial à biodiversidade funcional diante dos cenários de mudanças climáticas (BETTIOL; GHINI, 2009).

Inúmeras expectativas quanto às consequências das mudanças climáticas são encontradas na literatura. Siqueira et al. (2001) levanta a hipótese de que poderá ocorrer uma maior acidificação dos solos. Nestes ambientes altamente dinâmicos, os microrganismos presente, desenvolvem de forma dependente desta dinâmica, como por exemplo, as variações de pH influenciadas pela decomposição da matéria orgânica e práticas agrícolas como adubações e calagem. Entre os agentes de biocontrole existentes naturalmente no solo destacamos os actinomicetos. Estes, assim como os demais são dependentes de pH, onde qualquer alteração que reduza a atividade desses microrganismos, levará a um aumento na intensidade de doenças causadas por *Fusarium* spp. (BETTIOL; GHINI, 2009).

Da mesma forma como o rizoplane, o filoplane é habitado por uma grande diversidade de microrganismos. Estes são importantes para o equilíbrio desse ambiente, pois estão relacionados com produção de hormônios de crescimento e fitoalexinas, competição com fitopatógenos, fixação de nitrogênio, degradação de substâncias presentes no filoplane, entre outras (BETTIOL, 2008). As populações destes microrganismos, são alterados constantemente, seja por fatores da própria planta (espécie, idade, exsudatos foliares), da ação antrópica (tratos culturais) e fatores ambientais (temperatura, umidade relativa do ar, concentrações de CO₂, radiação, estações do ano).

Assim como as plantas, os patógenos e toda a comunidade microbiana são influenciados pelo ambiente. Portanto o controle biológico da filosfera também é influenciado pelo microclima da superfície das plantas (BETTIOL; GHINI, 2009). Dessa forma, são mais evidentes as indicações de que as mudanças climáticas influenciarão de forma mais acentuada

o controle biológico da parte aérea, onde os agentes de biocontrole ficam diretamente expostos às intempéries ambientais. O aumento nas concentrações de CO₂ e demais poluentes da atmosfera, poderão causar alterações nos sítios de atuação desses microrganismos, assim como na disponibilidade de nutrientes no filoplano e receptividade aos agentes de biocontrole. Saunders (1971) apud Bettiol; Ghini (2009) já descrevia desde 1970 os efeitos deletérios dos poluentes sobre a população de microrganismos presentes no filoplano, quando os problemas com poluentes ainda estavam num grau consideravelmente menor do que os atuais. Segundo o autor, os efeitos dos poluentes são similares aos efeitos de alguns agrotóxicos, alterando a composição da microbiota por eliminação de membros sensíveis da comunidade. Tais afirmações corroboram com as realizadas por Valarini et al. (2006). Estes autores verificaram que discos de folhas de Ipê (*Tabebuia ipe*) coletados próximas à centros urbanos apresentaram um número reduzido de colônias de leveduras, quando comparadas com as folhas originárias de regiões rurais. Atualmente, relata-se o papel das leveduras no controle de fitopatógenos da parte aérea em áreas agrícolas, principalmente por competição.

Portanto admitindo as mudanças climáticas futuras, estas provavelmente atuaram sobre os microrganismos, patogênicos ou antagonistas, e conseqüentemente irão influenciar o controle biológico natural, podendo inclusive comprometê-los. Entretanto, com base no nível de conhecimento atual, ainda é empírico realizar qualquer previsão sobre os reais impactos das mudanças climáticas sobre este microrganismo, uma vez que estas poderão ser positivas, negativas ou neutras. Contrariamente, levando em consideração o controle biológico “introduzido”, os principais microrganismos empregados são as bactérias do gênero *Bacillus*, dos fungos do gênero *Trichoderma* e *Chlonostachys rósea*. Estes grupos de microrganismos apresentam diversos isolados que se desenvolvem em uma ampla faixa de temperatura. Logo, esses seriam exemplos de microrganismos que provavelmente sofrerão pouca influência da possível elevação de temperatura. No entanto, precisam ser consideradas as alterações como um todo e as interações entre elas, as plantas, os patógenos e os microrganismos de biocontrole dentro de cada ecossistema.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo do impacto potencial das mudanças climáticas sobre algum aspecto específico deve levar em consideração inúmeros fatores, sobretudo aqueles relacionados à incerteza das previsões. Nesse sentido, na análise do potencial impacto das mudanças climáticas sobre as doenças de plantas e particularmente sobre os métodos de manejo, não se pode esquecer que tanto o patógeno quanto a planta hospedeira poderão evoluir, dado que o processo é lento.

Portanto, adaptações deverão acontecer e precisam ser consideradas antes que conclusões precipitadas e equivocadas sejam apontadas como certas. Adicionalmente, a grande quantidade e complexidade das interações envolvendo as doenças de plantas e os métodos de manejos dificultam realizações de previsões exatas sobre este tipo de fenômeno. Dentre estes, os possíveis impactos das mudanças climáticas sobre o controle biológico é ainda mais difícil de ser realizado, uma vez que tanto o patógeno, hospedeiro e populações de antagonistas sofrerão influencia destes fatores climáticos. Além disso, mais estudos sobre a genética de populações e genes que regulam a resistência de plantas será essencial para determinar o potencial das mudanças climáticas sobre a pressão de seleção de patógenos adaptados as condições climáticas futuras. Por fim, novas tecnologias deverão ser empregadas tanto na fabricação de novos produtos químicos, bem como no desenvolvimento de métodos de aplicação dos produtos fitossanitários, visando reduzir perdas e otimizar o uso destas substâncias.

REFERÊNCIAS

- AGRIOS, G.N. **Plant pathology**. Burlington, MA: Elsevier Academic, 2005. 922p.
- ALVES, F.R.; CAMPOS, V.P. Efeito do aquecimento do solo na resistência de plantas a *Meloidogyne javanica* e *M. incognita* raça 3. **Nematologia Brasileira**, v.25, n.2, p.153-162, 2001.
- ALVES, F.R.; CAMPOS, V.P. Efeitos da temperatura sobre a atividade de fungos no controle biológico de *Meloidogyne javanica* e *M. incognita* raça 3. **Ciência e Agrotecnologia**, v.27, n.1, p.91-97, 2003.
- AMMATI, M.; THOMASON, I.J.; MCKINNEY, H.E. Retention of resistance to *Meloidogyne incognita* in *Lycopersicon* genotypes at high soil temperature. **Journal of Nematology**, v.18, n.4, p.491-495, 1986.
- ASHLEY, M.G.; LEIGH, B.L.; LLOYD, L.S. The action of metham-sodium in soft. II. Factors affecting the removal of methyl isothiocyanate residues. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.14, p.153-161, 1963.
- ASSAD, E.D. et al. Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, n.11, p.1057-1064, 2004.
- ATKINSON, D. Global climate change: its implication for crop protection. **British Crop Protection Council Monograph**, n. 56. Surrey, UK: BCPC, 1993.
- BETTIOL, W. Impacto potencial das mudanças climáticas sobre o controle biológico de doenças de plantas. In. GHINI, R.; HAMADA, E. (Eds). **Mudanças Climáticas: Impacto sobre doenças de plantas no Brasil**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, p.300-321. 2008.

- BETTIOL, W.; GHINI, R. Impacto das mudanças climáticas sobre o controle biológico de doenças de plantas. In: BETTIOL, W.; MORANDI, M.A.B. (Eds). **Biocontrole de doenças de plantas: uso e perspectivas**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, p.29-48. 2009.
- BOWES, G. Facing the inevitable: plants and increasing atmospheric CO₂. **Annual Review Plant Physiology**, v.44, p.309–320, 1993.
- BROWDER, L.E.; EVERSMEYER, M.G. Interactions of temperature and time with some *Puccinia recondita: Triticum* corresponding gene pairs. **Phytopathology**, v.76, p.1286–88, 1986.
- CANADELL, J.G. et al. Contributions to accelerating atmospheric CO₂ growth from economic activity, carbon intensity, and efficiency of natural sinks. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v.104, p.1866-18870, 2007.
- CHAKRABORTY, S.; TIEDEMANN, A.V.; TENG, P.S. Climate change: potencial impact on plant diseases. **Environmental Pollution**, v.108, p.317-326. 2000a.
- CHAKRABORTY, S. et al. Production and dispersal of *Colletotrichum gloeosporioides* spores on *Stylosanthes scabra* under elevated CO₂. **Environmental Pollution**, v.108, 2000b.
- CHAKRABORTY, S. Potential impact of climate change on plant-pathogen interactions. **Australasian Plant Pathology**, v.34, p.443-448, 2005.
- CHAKRABORTY, S.; NEWTON, A.C. Climate change, plant diseases and food security: an overview. **Plant Pathology**, v.60, n.1, p.2-14, 2011.
- CHRISTIANSEN, M.N.; LEWIS, C.F. **Breeding plants for less favorable environments**. New York: Wiley. 1982.
- COAKLEY, S.M. Biospheric change: will it matter in plant pathology? **Canadian Journal of Plant Pathology**, v.17, p.147-153, 1995.
- COAKLEY, S.M.; SCHERM, H.; CHAKRABORTY, S. Climate change and plant disease management. **Annual Review Phytopathology**, v.37, p.399-426, 1999.
- CONTI, J.B. Considerações sobre as mudanças climáticas globais. **Revista do Departamento de Geografia**, n.16, p. 70-75, 2005.
- EDIS, D.; HULL, M.R.; COBB, A.H.; SANDERS-MILLS, G.E. A study of herbicide action and resistance at elevated levels of carbon dioxide. **Annals of Applied Biology**, v.45, p.205-10, 1996.
- FERRAÇO, M. et al. Avaliação do fungicida comet (piraclostrobina) na cultura do mamão em relação ao manejo quanto ao volume de calda e temperatura na aplicação. In: MARTINS, D.; COSTA, A.N.; COSTA, A.F.S. **Papaya Brazil - manejo, qualidade e mercado do mamão**, p.483-486, 2007.
- FOWLER, A.M.; HENNESSY, K.J. Potential impacts of global warming on the frequency and magnitude of heavy precipitation. **Natural Hazards**, v.11, p.283–303, 1995.

GARRETT, K.A. et al. Climate change effects on plant disease: Genomes to ecosystems. **Annual Review of Phytopathology**, v.44, p.489-509. 2006.

GHINI, R. **Mudanças climáticas globais e doenças de plantas**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente. 2005. 104p.

GHINI, R. Impacto potencial das mudanças climáticas sobre o controle químico de doenças de plantas. In: GHINI, R.; HAMADA, E. (Org.). **Mudanças climáticas: impactos sobre doenças de plantas no Brasil**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008a, p. 323-331.

GHINI, R.; HAMADA, E.; BETTIOL, W. Climate change and plant diseases. **Scientia Agricola**, v.65, p.98-107, 2008b.

GILBERT, J.C.; McGUIRE, D.C. Inheritance of resistance to severe root-knot from *Meloidogyne incognita* in commercial type tomatoes. **American Society for Horticultural Science**, v.68, p.437-442, 1995.

GREVSTAD, F.S. Factors influencing the chance of population establishment: implications for release strategies in biocontrol. **Ecological Applications**, v.9, p.1439-47, 1999.

GUNASEKERA, T.S.; PAUL, N.D.; AYRES, P.G. Responses of phylloplane yeasts to UV-B (290–320 nm) radiation: interspecific differences in sensitivity. **Mycological Research**, v.101, p.779–85, 1997.

HAMADA, E. et al. Cenários climáticos futuros para o Brasil. In: GHINI, R.; HAMADA, E. (Org.). **Mudanças climáticas: impactos sobre doenças de plantas no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008, v.1, p.25-73.

IPCC. **Climate change 2007: the physical science basis: summary for policymakers**. Geneva: IPCC, 2007. 18p. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/SPM2feb07.pdf>>. Acesso em: 10 jun. 2007.

JESUS JUNIOR, W.C. et al. Sistemas de auxílio à tomada de decisão no manejo de doenças de plantas. **Revisão Anual de Patologia de Plantas**, v.11, p.133-193, 2003.

JESUS JUNIOR, W.C. et al. Aquecimento global e o potencial impacto na cultura e doenças do mamoeiro. In: MARTINS, D.; COSTA, A.N.; COSTA, A.F.S. **Papaya Brazil – manejo, qualidade e mercado do mamão**. Vitória: Incaper, 2007a, p.83-100.

JESUS JUNIOR, W.C. et al. Clima como fator determinante no manejo de doenças de hortaliças. In: ZAMBOLIM, L. et al. (Org.). **Manejo integrado de doenças e pragas em hortaliças**. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2007b, p.1-76.

JESUS JUNIOR, W.C. et al. Aquecimento global e o potencial impacto na agricultura. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 20. **Anais...** Vitória: Incaper, 2008a, p.1-36.

JESUS JUNIOR, W. C. et al. Efeito do clima na eficiência dos fungicidas empregados no manejo de doenças de plantas. In: ZAMBOLIM, L. et al. (Org.). **Produtos fitossanitários: fungicidas, inseticidas, acaricidas e herbicidas**. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2008b, p.27-76.

MACHADO, P.L.O.A. Carbono do solo e a mitigação da mudança climática global. **Química Nova**, v.28, n.2, p.329-334, 2005.

MARENGO, J.A.; SOARES, W.R. Impacto das modificações da mudança climática: Síntese do Terceiro Relatório do IPCC 2001. Condições climáticas e recursos hídricos no Norte do Brasil. **Chapter 6 in Clima e Recursos Hídricos 9**. Associação Brasileira de Recursos Hídricos/FBMC-ANA. Porto Alegre, p.209-233, 2003.

MARKS, C.R.; THOMASON, I.J.; CASTRO, C.E. Dynamics of the permeation of nematodes by water, nematicides and other substances. **Experimental Parasitology**, v.22, p.321-337, 1968.

MCKENRY, M.V.; THOMASON, I.J. 1,3-Dichloropropene and 1 dibromoethane compounds: I. Movement and fate as affected by various conditions in several soils. II. Organism-dosage- response studies in laboratory with several nematode species. **Hilgardia**, v.42, p.393-438, 1974.

MITTLER, R. Abiotic stress, the field environment and stress combination. **Trends in Plant Science**, v.11, p.15–19, 2006.

MIZUBUTI, E.S.G.; MAFFIA, L.A. **Introdução à Fitopatologia**. Viçosa: UFV, 2007. 190p.

MUNNECKE, D.E.; LUDWIG, R.A.; SAMPSON, R.E. The fungicidal activity of methyl bromide. **Canadian Journal of Botany**, v.37, p.51-58, 1959.

PACHAURI, R.K.; REISINGER, A. **Climate Change 2007: Synthesis Report**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, Switzerland: IPCC, 2007. 104p.

PANGGA, I.B.; CHAKRABORTY, S.; YATES, D. Canopy size and induced resistance in *Stylosanthes scabra* determine anthracnose severity at high CO₂. **Phytopathology**, v.94, p.221–227, 2004.

PENNYPACKER, B.W.; LEATH, K.T.; HILL, R.R.J. Impact of drought stress on the expression of resistance to *Verticillium albo-atrum* in alfalfa. **Phytopathology**, v.81, p.1014–1024, 1991.

PERCY, K.E. et al. Altered performance of forest pests under atmospheres enriched by CO₂ and O₃. **Nature**, v.420, p.403-407, 2002.

PRITCHARD, S.G. et al. Elevated CO₂ and plant structure: a review. **Global Change Biology**, v.5, p.807–837, 1999.

REZACOVÁ, V. et al. Saprobic microfungi under *Lolium perenne* and *Trifolium repens* at different fertilization intensities and elevated atmospheric CO₂ concentration. **Global Change Biology**, v.11, p.224-230, 2005.

ROSENZWEIG, C. et al. Climate change and extreme weather events. **Global Change; Human Health**, v.2, p.90-104, 2001.

SADOWSKY, M.J.; SCHORTEMAYER, M. Soil microbial responses to increased concentrations of atmospheric CO₂. **Global Change Biology**, v.3, p.217–224, 1997.

- SIEGENTHALER, U. et al. Stable carbon cycle-climate relationship during the late pleistocene. **Science**, v.310, p.1313-1317, 2005.
- SIQUEIRA, O.J.W.; SALLES, L.A.B.; FERNANDES, J.M. Efeitos potenciais das mudanças climáticas na agricultura brasileira e estratégias adaptativas para algumas culturas. In: LIMA, M.A.; CABRAL, O.M.R.; MIGUEZ, J.D.G. (Eds.) **Mudanças climáticas globais e a agropecuária brasileira**. Jaguariúna: Embrapa Meio ambiente, p.33-63. 2001.
- SMITH, J.B.; TIRPAK, D. **The potential effects of global climate change on the United States**. Washington: Environmental Protection Agency, 1989. 401p.
- SPAHNI, R. et al. Atmospheric methane and nitrous oxide of the late pleistocene from Antarctic ice cores. **Science**, v.310, p.1317-1321, 2005.
- STRAND, J.F. Some agrometeorological aspects of pest and disease management for the 21st century. **Agricultural and Foreste Meteorology**, v.103, p.73-82, 2000.
- TEIXEIRA, D.A. et al. Evidências de indução de resistência sistêmica à ferrugem do eucalipto mediada por rizobactérias promotoras do crescimento de plantas. **Fitopatologia Brasileira**, v.30, p.350-356, 2005.
- TRILTSCH, H.; FREIER, B.; ROSSBERG, D. Temperatur—Schlussfaktor für Nutzlingsleistungen im Winterweizen? **Mitt. Biology Bundesanst. Land Forstwirtschaft**, v.321, p.321-447, 1996.
- VALARINI, G.; MELO, I.S.; VALARINI, M.J. Utilização de leveduras habitantes de superfície de folha como bioindicador de poluição do ar. In: SIMPÓSIO MINEIRO DE ENGENHARIA AMBIENTAL, 2., 2006, Viçosa. **Anais...** Viçosa: UFV, 2006.
- VAN der PLANK, J.E. **Plant diseases: epidemics and control**. New York: Academic Press, 1963.
- VAN DIJK, H. Degradation of 1,3-dichloropropenes in the soil. **Agro-Ecosystems**, v. 1, p.193-204, 1974.
- WEBB, K.M. et al. A benefit of high temperature: increased effectiveness of a rice bacterial blight disease resistance gene. **New Phytologist**, v.185, p.568–576, 2010.
- WOLFE, D.W. Physiological and growth responses to atmospheric carbon dioxide concentration. In: PESSARAKLI, M. **Handbook of Plant and Crop Physiology**. New York: Dekker, 1995. p.223-242.
- WONG, P.T.W.; MEAD, J.A.; CROFT, M.C. Effect of temperature, moisture, soil type and *Trichoderma* species on the survival of *Fusarium pseudograminearum* in wheat straw. **Australian Plant Pathology**, v.31, p.253–257, 2002.
- ZAMBOLIM, L. et al. Manejo Integrado - medidas de controle. In: VALE, F.X.R. et al. **Epidemiologia aplicada ao manejo de doenças de plantas**. Belo Horizonte: Perfil Editora, 2004, v.1, p. 455-526.