

# Metodologia de mapeamento para avaliação de impactos das mudanças climáticas sobre problemas fitossanitários

Emília Hamada e Raquel Ghini

---

## Introdução

As mudanças climáticas potencializam uma ampla gama de riscos, criando novas ameaças aos sistemas naturais e humanos, mas, em alguns casos, também podem promover oportunidades. Discriminar entre riscos e oportunidades somente é possível com a compreensão dos diversos processos físicos e biológicos envolvidos e a avaliação dos impactos potenciais advindos com os novos cenários projetados considerando as mudanças do clima.

Um dos aspectos mais preocupantes dos riscos é que, segundo o Field et al. (2014), eles são distribuídos de forma desigual e são geralmente maiores para pessoas e comunidades desfavorecidas de países em todos os níveis de desenvolvimento, constituindo-se em ameaça fundamental para a segurança alimentar mundial, o desenvolvimento sustentável e a erradicação da pobreza.

Na questão da segurança alimentar e dos sistemas de produção de alimentos, os impactos negativos tendem a ser mais comuns que os positivos (PORTER et al., 2014). Com base em dados observados e muitos estudos, esses autores concluíram que o aquecimento climático tem efeito negativo sobre a produção agrícola, geralmente reduzindo os rendimentos de cereais básicos, tais como trigo, arroz e milho. No entanto, esse efeito difere entre regiões e

latitudes. A elevação da concentração de CO<sub>2</sub>, por outro lado, poderia beneficiar o rendimento das culturas em curto prazo em função do aumento das taxas de fotossíntese, mas existe ainda grande incerteza na magnitude do seu efeito e o significado da interação com outros fatores.

A coevolução das plantas com suas pragas e doenças fez com que, de modo geral, as condições do ambiente que favorecem a planta cultivada também favoreçam os patógenos e as pragas; assim, os organismos tendem a ocorrer em maior frequência em regiões onde as condições do ambiente são favoráveis ao seu desenvolvimento (HAMADA; GHINI, 2015). Deste modo, é muito provável que as mudanças climáticas possam causar modificações adicionais na distribuição geográfica de insetos e patógenos, alterando sua presença em culturas alimentares, em determinadas regiões de cultivo.

Impactos das mudanças climáticas sobre doenças de cultura estão ainda concentradas em relativamente poucas culturas e poucos patógenos (NEWBERY et al., 2016). Ainda há necessidade de desenvolvimento de métodos que quantifiquem as incertezas das projeções, informação fundamental para os planejadores e estrategistas de adaptação à mudança climática.

Neste capítulo é apresentada uma proposta metodológica para a obtenção de mapas de avaliação de impactos das mudanças climáticas sobre problemas fitossanitários com base nas projeções do Quarto Relatório de Avaliação (AR4) do IPCC (PARRY et al., 2007).

## **Considerações sobre variáveis climáticas para o desenvolvimento da base de dados de projeções climáticas e de favorabilidade de problemas fitossanitários**

As variáveis climáticas a serem usadas nos estudos de impacto são definidas em função do objeto de estudo. Consideram-se as características das informações climáticas provenientes dos modelos climáticos e sua resolução espacial e temporal, avaliando as possíveis vantagens e desvantagens/limitações de cada escolha.

Segundo Shaw e Osborne (2011), as projeções de muitas das variáveis necessárias para estimar as mudanças na distribuição dos patógenos são ainda incertas e as ferramentas para prever tais mudanças com base nas correlações ambientais dependem de bons dados primários, que são muitas vezes ausentes, e precisam ser verificados com registros históricos, que até o momento permanecem pobres para quase todos os patossistemas. Além disso, as resoluções espaciais e temporais características dos modelos climáticos globais (MCGs) são difíceis de conciliar com os modelos de doença de planta. Em geral, esses modelos necessitam de “inputs” ou entradas de informações do clima com a mesma alta resolução temporal (horária ou diária) e espacial (parcela de campo) utilizada para sua calibração e parametrização. No entanto, as projeções das mudanças climáticas têm resolução mais baixa e assim há uma incompatibilidade entre as projeções e as análises de alta resolução (GARRETT et al., 2011). Ainda segundo esses autores, embora existam procedimentos que podem ser adotados para contornar essa dificuldade, todos os métodos introduzem incertezas nas avaliações. Esse aumento da incerteza dos cenários de mudanças climáticas na resolução espacial mais fina pode se tornar mais adequado para avaliar a média dos impactos futuros da mudança climática por períodos longos, como 30 anos, do que quando se fazem avaliações com maior resolução temporal.

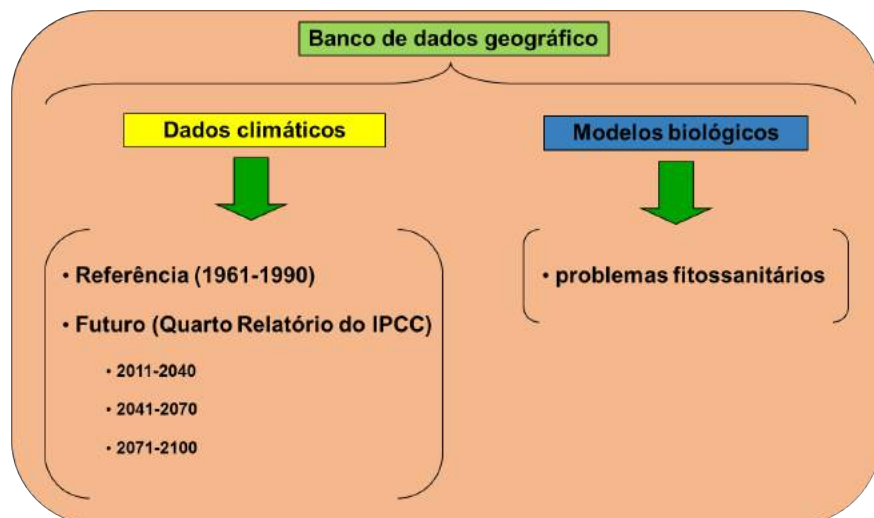
Como consequência das mudanças climáticas, estão previstas alterações em numerosos atributos dos ambientes abiótico e biótico, por exemplo, na temperatura, nos níveis de CO<sub>2</sub> atmosférico, nos níveis de nutrientes do solo e na diversidade de espécies e os impactos dessas alterações provavelmente serão dependentes das espécies e da localização (ALEXANDER, 2010). Desta forma, é importante observar que o conjunto de cenários de emissão e suas respectivas projeções dos modelos representam os níveis de emissão de gases de efeito estufa e, portanto, possíveis interações entre os atributos dos ambientes abiótico e biótico deverão ser consideradas como efeitos aditivos.

Também deve-se considerar que os “inputs” ou informações climáticas de entrada (projeções dos MCGs) que descrevem o fenômeno/tema do objetivo de estudo, em particular, deverão combinar com as características de resolução espacial e temporal dos mapas dos cenários do clima futuro elaborados a partir dos MCGs adotados (um ou vários).

### **Metodologia de elaboração de mapas de impactos das mudanças climáticas sobre problemas fitossanitários**

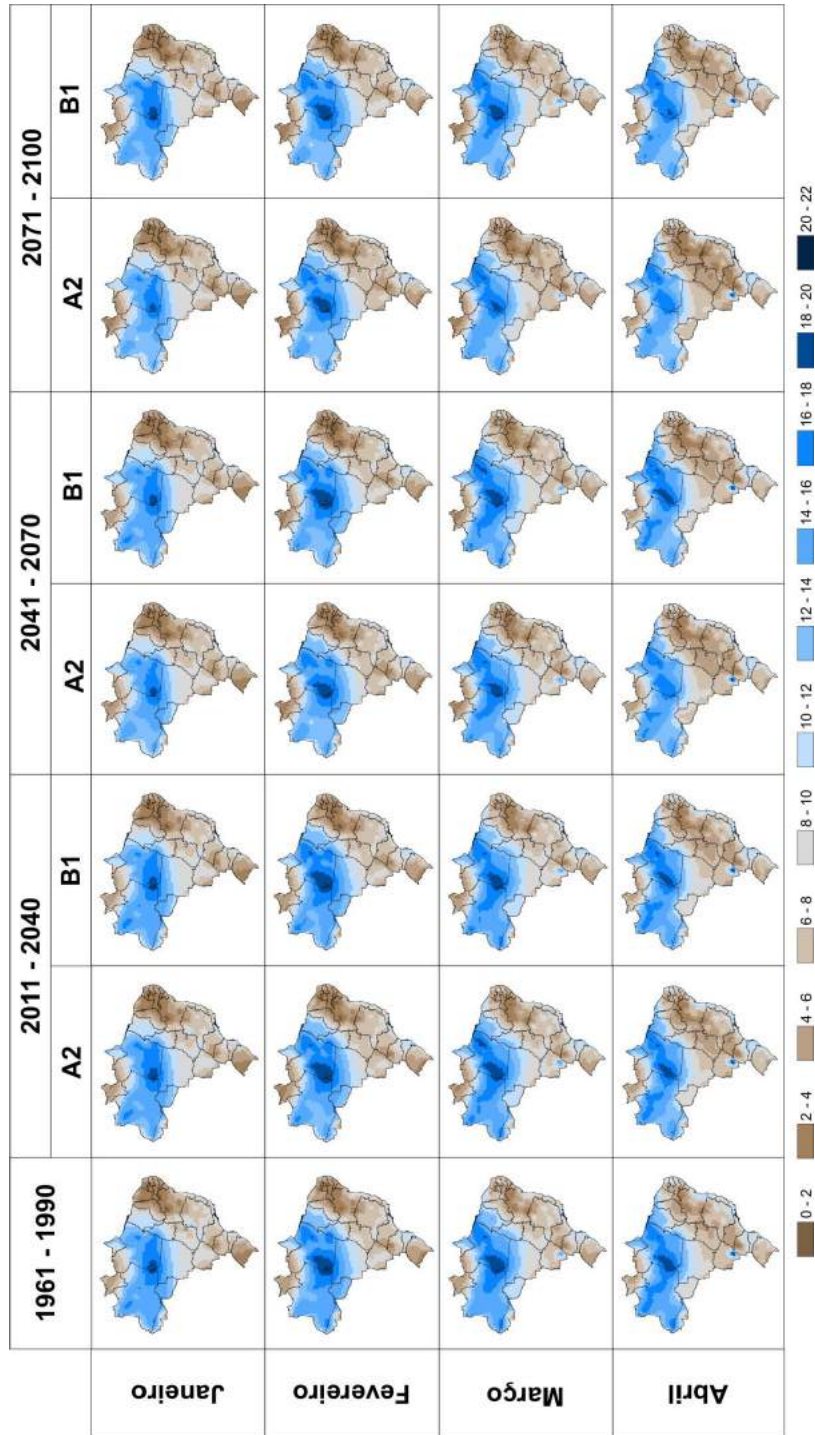
A distribuição geográfica dos patógenos é resultante da distribuição e suscetibilidade do hospedeiro, manejo da cultura, presença de vetor e outros organismos relacionados com as pragas e as doenças, e a favorabilidade do ambiente. Esta proposta metodológica considera as projeções das variáveis climáticas (Figura 1) dos MCGs do Quarto Relatório de Avaliação (AR4) do IPCC (PARRY et al., 2007) para o Brasil ao longo do século 20 e para o período de referência de 1961-1990. As variáveis utilizadas foram: médias mensais de temperatura média do ar (°C), precipitação pluvial média diária (mm dia<sup>-1</sup>), temperatura máxima

do ar (°C), temperatura mínima do ar (°C) e umidade relativa do ar (%). Mais detalhes acerca desses dados estão apresentados no Capítulo 2.

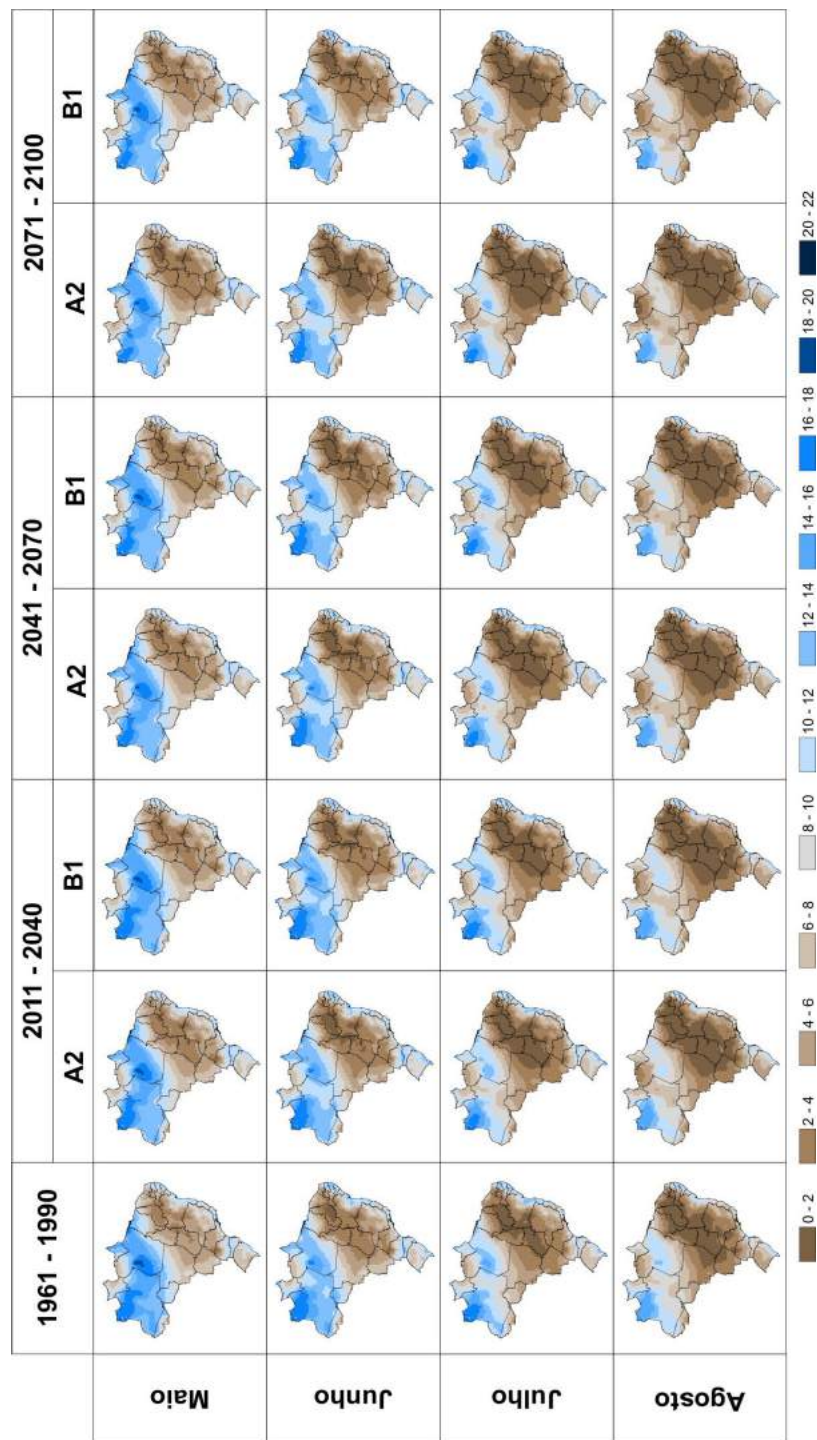


**Figura 1.** Componentes do banco de dados geográfico que vincula dados climáticos e modelos biológicos de problemas fitossanitários.

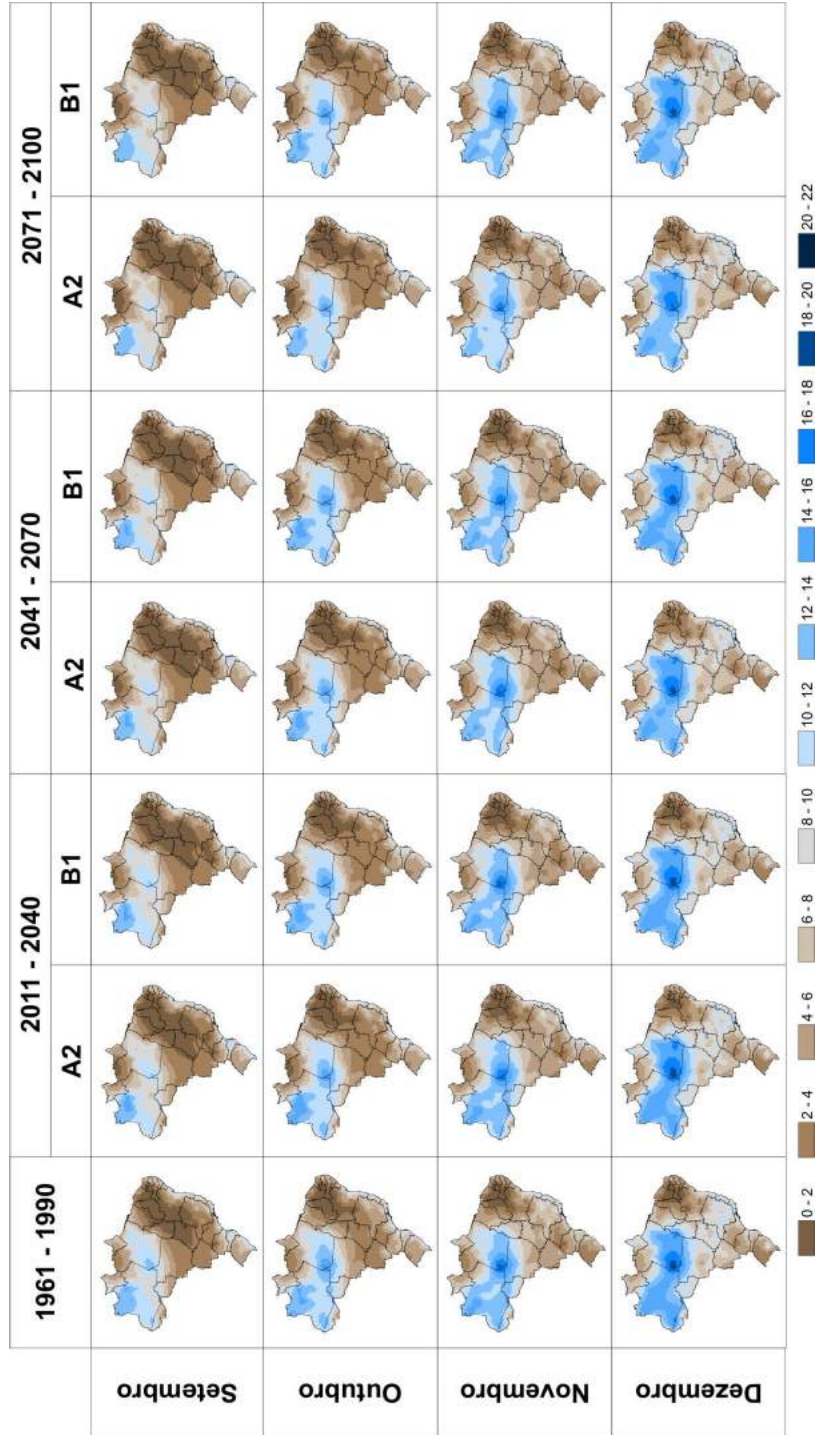
No estudo do efeito das mudanças climáticas sobre a distribuição geográfica de doenças de plantas, uma informação particularmente importante é a duração do período de molhamento foliar. Esta não é considerada uma variável tipicamente climática, mas foi inserida na base de dados climáticos e em função de sua importância está apresentada nas Figuras 2, 3 e 4. O período de duração de molhamento foliar (horas dia<sup>-1</sup>) foi estimado em função da umidade relativa (HAMADA et al., 2008b), com exemplo de aplicação para o míldio da videira por Hamada et al. (2008a).



**Figura 2.** Período de molhamento (horas dia<sup>-1</sup>) de janeiro a abril para o clima observado de referência de 1961-1990 e o clima projetado de 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100, cenários A2 e B1.



**Figura 3.** Período de molhamento (horas dia<sup>-1</sup>) de maio a agosto para o clima observado de referência de 1961-1990 e o clima projetado de 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100, cenários A2 e B1.



**Figura 4.** Período de molhamento (horas dia<sup>-1</sup>) de setembro a dezembro para o clima observado de referência de 1961-1990 e o clima projetado de 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100, cenários A2 e B1.



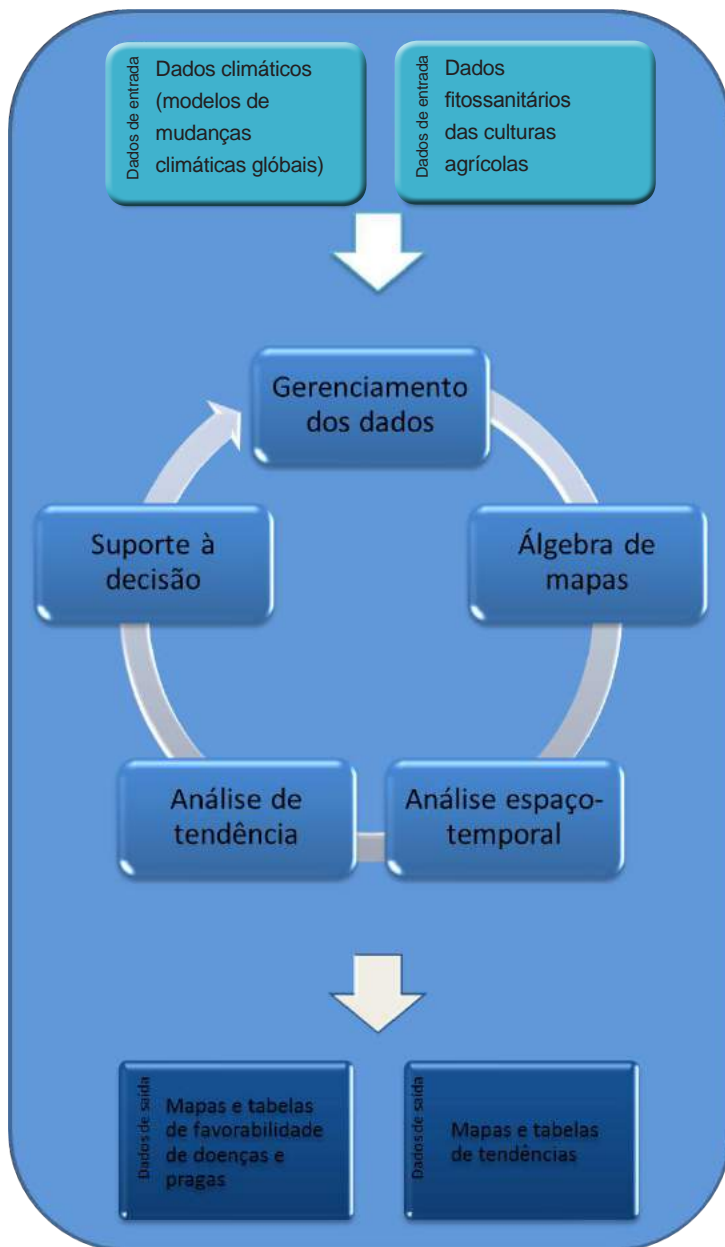
Além dos dados climáticos consideram-se também as informações do problema fitossanitário (Figura 1), a partir de modelagem biológica, seja por meio de modelos matemáticos de desenvolvimento ou de equações de lógica matemática, utilizando intervalos de variáveis climáticas, mais facilmente disponíveis na literatura, relacionando informações climáticas denominadas de variáveis preditoras com um parâmetro relacionado à praga ou doença como a variável resposta, que podem ser a severidade da doença, o número de ciclos, o número de gerações ou a favorabilidade de ocorrência, entre outros. A utilização desses modelos/equações é uma escolha vantajosa, uma vez que as mudanças climáticas ocorrem de forma lenta e variável, dificultando o estudo de seus efeitos diretamente (GARRETT et al., 2006). Desta forma, a aplicação de características climáticas quantificadas nesses modelos permite prever o sucesso do organismo em outros locais com climas semelhantes em que o organismo não foi ainda introduzido, ou onde é esperado que o clima se altere, tornando-o semelhante ao clima local de referência do organismo.

Esse banco de dados geográfico, vinculando dados climáticos e modelos biológicos, constitui a entrada de dados na proposta de análise integrada com ferramentas de geoprocessamento (Figura 5). Essas ferramentas, por meio da análise integrada dos dados de projeções de mudanças climáticas e de problemas fitossanitários, permitem um maior entendimento da interação desses dois sistemas climáticos e biológicos no espaço e no tempo. Basicamente, o processo de análise integrada proposto (Figura 5) é subdividido em três etapas: entrada, gerência e análise e saída de dados. A entrada de dados compreende as funções de coleta e pré-processamento de informações climáticas, incluindo os projetados de MCGs (PARRY et al., 2007) e de dados fitossanitários das culturas agrícolas, como fontes bibliográficas e de experimentação. Nessa etapa os dados são preparados para iniciar a montagem do banco de dados georreferenciado. A gerência e a análise contemplam a organização dos dados de forma a permitir a

sua recuperação, atualização e edição, e as funções analíticas para a manipulação dos dados, incluindo as ferramentas de álgebra de mapas, de análises espaço-temporal e de tendência e de métodos de suporte à decisão. A saída mostra as informações de interesse da base de dados em forma de mapas e tabelas de favorabilidade de doenças e pragas e de tendências.

Esta proposta metodológica enquadra-se na categoria de previsões específicas de distribuição geográfica de pragas e doenças que, segundo Shaw e Osborne (2011), é um dos métodos de estudos de laboratório das relações ambiente-patógeno, baseadas em modelos provavelmente mais comuns para identificar para onde os MCGs preveem possíveis deslocamentos de nichos. Essas informações são deduzidas a partir de informações de literatura ou de desenvolvimento de pragas e doenças relativamente simples e em projeções dos MCGs, tanto em escala regional ou menor. Como exemplos desse tipo de método estão as avaliações realizadas por Ghini et al. (2007, 2008) e Salinari et al. (2006), os dois últimos utilizando a metodologia aqui proposta. Estas aplicações podem ser consideradas como as primeiras aproximações, pois em muitos casos outros fatores como alteração no desenvolvimento das plantas, metabolismo e morfologia, que podem influenciar a interação patógeno-hospedeiro, idealmente deveriam ser considerados e incorporados a esses resultados.

Juroszek e Tiedemann (2015) resumiram e avaliaram estudos de simulação de risco de doença, onde modelos de doença de cultura foram vinculados às projeções de clima, derivadas de um ou de vários MCGs. Ao todo foram analisados 70 estudos, referentes a 35 doenças de planta em 15 diferentes culturas agrícolas, com 40% dos estudos com risco de doença projetado permanecendo sem alteração (sete casos) ou se reduzindo (22 casos) no futuro. Os autores sugerem que as projeções das dinâmicas e faixas futuras do patógeno/doença deveriam incluir vários fatores climáticos e vários estádios de ciclo de vida do patógeno/doença para serem mais confiáveis.



**Figura 5.** Processo de análise integrada com ferramentas de geoprocessamento para estudo dos impactos das mudanças climáticas sobre problemas fitossanitários.

Uma abordagem baseada em um sistema completo foi apresentada por Evans et al. (2008) que, por sua vez, aplicaram um modelo de doença desenvolvido empiricamente, a partir de dados de 40 experimentos de campo, coletados ao longo de 15 anos e executando o modelo preditivo sob condições climáticas alteradas, cujas informações necessárias de entrada foram obtidas por “downscaling” ou aumento da resolução temporal das previsões dos MCGs utilizando geradores estocásticos do clima. Essa abordagem metodológica, no entanto, não é de fácil e ampla aplicação para todos os patógenos e existe a incerteza de que um processo bem conhecido em escala regional para uma localidade específica não possa ser generalizado para outros locais e em escalas menores.

Assim, Garrett et al. (2011), em função da complexidade e dos muitos fatores a serem considerados, propuseram um quadro para a análise da complexidade dos efeitos das mudanças climáticas mediados por doença de planta, indicando que na prática pode ser necessário expandir os modelos para incluir mais componentes, identificando aqueles que são mais importantes e sumarizar tais modelos para incluir um nível ótimo de complexidade para o planejamento e a priorização da pesquisa.

### **Considerações finais**

A metodologia proposta de mapeamento para avaliação de impactos das mudanças climáticas sobre problemas fitossanitários, utilizando a análise integrada de dados climáticos e modelos biológicos, com subsídios do geoprocessamento, constitui-se relativamente simples e com potencial para a proposição geral de táticas de controle e estratégias de adaptação. Há significativa economia de tempo e recursos em relação aos métodos mais complexos, mas apresenta limitações de conflito de escala e ausência de quantificação de incertezas.

Um melhor entendimento do funcionamento dos processos abióticos e bióticos envolvidos conduz ao aumento na confiabilidade das conclusões, o que poderia ser obtido com a utilização de modelos biológicos ajustados à resolução das projeções dos MCGs. A questão é que modelos de pragas e doenças foram inicialmente obtidos em experimentos com condições controladas ou desenvolvidas para sistemas de previsão, requerendo muitas vezes informações climáticas diárias e até horárias, incompatíveis com os dados de projeções dos MCGs. Assim, é necessária a obtenção de mais resultados experimentais, que possibilitem o desenvolvimento e aperfeiçoamento desses modelos acoplados planta-patógeno, ajustados à escala das informações disponibilizadas pelos MCGs. Também o progresso (diminuição das incertezas) das projeções dos MCGs melhoraria a capacidade de avaliar os impactos futuros.

## Referências

- ALEXANDER, H. M. Disease in natural plant populations, communities, and ecosystems: insights into ecological and evolutionary processes. **Plant Disease**, v. 94, n. 5, p. 492-503, 2010.
- 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 Interface**, v. 5, n. 22, p. 525-531, 2008.
- FIELD, C. B.; BARROS, V. R.; D.J. DOKKEN, D. J.; MACH, K. J.; MASTRANDREA, M. D.; BILIR, T.E.; CHATTERJEE, M.; EBI, K. L.; ESTRADA, Y. O.; GENOVA, R. C.; GIRMA, B.; KISSEL, E.S.; LEVY, A. N.; MACCRACKEN, S.; MASTRANDREA, P. R.; WHITE, L.L. (Ed.) **Climate Change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability: summary for policymakers. Part A: global and sectoral aspects. Working Group II contribution to the Fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.** Cambridge: Cambridge University Press, 2014. 34 p.
- 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.; FORBER, G. A.; SAVARY, S. et al. Complexity in climate-change impacts: an analytical framework for effects mediated by plant disease. **Plant Pathology**, v. 60, n. 1, p. 15–30, 2011.

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.; 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.

HAMADA, E.; GHINI, R. Mudanças climáticas e seus impactos sobre a distribuição de pragas agrícolas. In: SUGAYAMA, R. L.; LOPES-DA-SILVA, M.; SILVA, S. X. B.; RIBEIRO, L. C.; RANGEL, L. E. P. (Ed.). **Defesa vegetal: fundamentos, ferramentas, políticas e perspectivas**. Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Defesa Agropecuária, 2015. p. 433-447.

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.; GONÇALVES, R. R. V.; MARENGO, J. A.; GHINI, R. Cenários climáticos futuros para o Brasil. In: GHINI, R. HAMADA, E. (Ed.). **Mudanças climáticas: impactos sobre doenças de plantas no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Informação tecnológica, 2008b. p. 25-73.

JUROSZEK, P.; TIEDEMANN, A. von. 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.

NEWBERY, F.; QI, A.; FITT, B. D. L. Modelling impacts of climate change on arable crop diseases: progress, challenges and applications. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 32, p. 101-109, Aug. 2016.

PARRY, M. L.; CANZIANI, O. E.; PALUTIKOF, J. P.; LINDEN, P. J. van der; HANSON, C. E. (Ed.). **Climate change 2007: impacts, adaptation and vulnerability: contribution of working group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge: Cambridge University Press, 2007. 976 p.

PORTER, J. R.; XIE, L.; CHALLINOR, A. J.; COCHRANE, K.; HOWDEN, S. M.; IQBAL, M. M.; LOBELL, D. B.; TRAVASSO, M. I. Food security and food production systems. In: IPCC. **Climate change 2014**: impacts, adaptation, and vulnerability. Part A: global and sectoral aspects. Contribution of working group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2014. p. 485-533.

SALINARI, F.; GIOSUE, S.; TUBIELLO, F. N.; RETTORI, A.; ROSSI, V.; SPANNA, F.; ROSENZWEIG, C.; GULLINO, M. L. Downy mildew (*Plasmopara viticola*) epidemics on grapevine under climate change. **Global Change Biology**, v. 12, n. 7, p. 1299-1307, 2006.

SHAW, M. W.; OSBORNE, T. M. Geographic distribution of plant pathogens in response to climate change. **Plant Pathology**, v. 60, n. 1, p. 31-43, 2011.