

Emprego da tecnologia da informação para simulação de epidemias e zoneamento agroclimático aplicáveis no controle de doenças de plantas

Marcelo Giovanetti Canteri¹; Emerson M. Del Ponte²; Cláudia Vieira Godoy³; Rodrigo Yoiti Tsukahara⁴

Departamento de Agronomia, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Estadual de Londrina, CP:6001, CEP 86051-990, Londrina, PR, e-mail: canteri@uel.br; ²Departamento de Fitossanidade, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, CP:15100, CEP 91540-000, Porto Alegre, RS, e-mail: emerson.delponete@ufrgs.br; ³Embrapa Soja, CEP 86001-970, Londrina, PR, e-mail: godoy@cnpsa.embrapa.br; Fundação ABC para Assistência e Divulgação Técnica Agropecuária. Setor de Agrometeorologia. Rodovia PR 151, km 288, Castro, PR. e-mail: rodrigo@fundacaoabc.org.br.

A modelagem matemática e simulação de epidemias estão entre as primeiras aplicações dos computadores na fitopatologia (Teng & Rouse, 1984). Novas aplicações foram desenvolvidas, tais como agricultura de precisão, bioinformática, sensores automatizados, serviços da Internet, além de redes neuronais, sistemas de suporte a tomada de decisão, data mining, processamento de imagens (Canteri et al., 2004). Estas novas aplicações, na maioria das vezes tem a simulação de epidemias como parte de sua composição. Os mapas de zonas de risco de

epidemias podem ser considerados ferramentas de aplicações da agricultura de precisão, que utilizam modelos matemáticos para avaliar e prever riscos de doenças e auxiliar no manejo de doenças de plantas.

Simulação de Epidemias

Esforços consideráveis têm sido feitos para se desenvolver modelos matemáticos para a simulação do progresso das doenças de plantas. Modelos de fenologia, de dinâmica

populacional e epidemiológica têm sido desenvolvidos para diversas doenças de importância econômica. Entretanto, problemas estão ainda à espera de solução, especialmente quando o objetivo final é de incluir estes modelos em sistemas de suporte à tomada de decisão para uso dos produtores e dos técnicos.

A requeima da batata, causada por *Phytophthora infestans* é uma doença importante e relativamente bem estudada. Não obstante, pesquisas ainda são necessárias para melhorar o manejo da doença. Além da dinâmica populacional e da variabilidade do patógeno, a requeima é altamente dependente das condições ambientais, o que faz a doença altamente variável no espaço e no tempo (Hijmans et al., 2000). Modelos de simulação são usados para integrar o conhecimento epidemiológico sobre *P. infestans* de forma a se compreender a epidemia e melhorar o seu manejo. Os modelos de simulação normalmente têm uma etapa diária do tempo e devem ser claramente distintos de modelos de previsão de doença, os quais são tipicamente empíricos, ou seja, baseado em relações estatísticas entre variáveis observadas em determinada situação, e que podem ser úteis no manejo da doença de forma a determinar o início e os intervalos ótimos para a pulverização de fungicidas, por exemplo. A maioria dos modelos de previsão encontrados na literatura se baseia na previsão de risco de períodos de infecção e não permitem estimativas do progresso da severidade da doença no tempo ou os danos na produção. Tais modelos empíricos apresentam um domínio geográfico limitado de validade, normalmente para os locais onde foram construídos e validados, e dificilmente podem ser adaptados para diferentes níveis de resistência do hospedeiro. Os modelos dinâmicos, ou de simulação podem eventualmente ser usados para a previsão.

Um modelo clássico da aplicação de modelos de simulação de epidemias, com aplicação prática na área de manejo de doenças foi o EPIPRED (Epidemics Predictor), desenvolvido na Holanda. O EPIPRED gera informações específicas para cada situação monitorada. As informações recebidas, referentes a seis doenças de trigo e a duas espécies de pulgões, alimentadas ao modelo, resultam em recomendações aos usuários (Zadoks, 1986).

A informação sobre a dinâmica de populações de microorganismos é geralmente tratada independentemente do crescimento do hospedeiro (Zadoks, 1971), o que faz com que os danos provocados por doenças não sejam medidos adequadamente. Para resolver tal problema, é necessário acoplar os modelos de simulação de doenças aos modelos de simulação do crescimento (Berger, 1989).

O manejo integrado de doenças, por princípio, implica no uso de vários métodos de controle. A decisão sobre a estratégia a ser usada pode levar em conta a previsão da severidade final da doença e as perdas conseqüentes do desenvolvimento da epidemia. No caso do controle químico, estes prognósticos baseiam-se no progresso da doença em relação ao estágio fenológico da cultura como forma de determinar o momento adequado de aplicação, assim como a economicidade da medida de controle.

Estimar danos através de observações visuais de sintomas ou sinais de doenças é extremamente difícil. A severidade dos

sintomas pode ser resultante de diferentes alterações na fisiologia da planta que ocorreram no passado, o que está acontecendo no presente e o que vai acontecer no futuro. Portanto, uma estratégia mais acurada de prever danos seria o emprego da simulação do crescimento da planta por efeito ambiental o qual influencia também no desenvolvimento da doença que vai determinar os danos na produção (Shaw, 1997). Porém, o desenvolvimento de modelos de simulação é mais desafiador e, por ser complexo, pode necessitar de grande esforço para obtenção de dados detalhados e confiáveis para sua validação e aplicação prática. Para as doenças foliares, por exemplo, é razoável supor que a maioria dos efeitos possa ser atribuída aos sintomas visuais e proporcionais à intensidade dos sintomas, suposição que infelizmente não é verdadeira em todos os patossistemas.

Quanto à aplicação prática, os modelos complexos do tipo de simulação do crescimento e desenvolvimento de culturas ligado à ocorrência e o progresso das doenças, podem servir para orientar decisões no manejo desses fatores, incluindo aspectos como a probabilidade de ocorrência, o curso, e o risco de perdas na produção.

A pesquisa sobre impactos de mudanças climáticas globais na produção das culturas, por exemplo, pode se basear em modelos da simulação do crescimento e desenvolvimento de culturas. Entretanto, muitos dos modelos atuais de simulação não esclarecem as perdas por pragas (insetos, doenças, e ervas daninhas), apesar do fato que estas freqüentemente causam reduções substanciais no rendimento das culturas.

Zonamento de áreas de risco de epidemias

Mapas de risco são utilizados na agricultura para definir zoneamento agroclimático, indicando épocas mais favoráveis para o plantio ou regiões e épocas mais favoráveis para ocorrência de geadas. No caso de doenças de plantas, os mapas de zonas de risco acoplados a modelos de simulação ou previsão de epidemias, podem ser úteis para indicar áreas geográficas e épocas mais favoráveis à ocorrência de doenças de plantas.

A atividade agrícola é uma atividade de risco, com muitas incertezas afetando o resultado final. As doenças de plantas além de serem um fator de incerteza por si só, também sofrem a influência de outro fator de incerteza, o clima. Conhecer e avaliar estas incertezas reduz os riscos, propiciando um manejo mais adequado para as doenças, que resulta em um maior retorno econômico e uma menor agressão ao meio ambiente. Como exemplo, há a introdução da ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*) a qual se tornou um dos principais fatores de risco para a safra brasileira de soja. As doenças em plantas são resultantes da interação do triângulo patógeno/hospedeiro/ambiente. No caso da soja, como todas as variedades (hospedeiro) existentes atualmente no país são suscetíveis; sobram assim os outros dois vértices (patógeno e ambiente). O inóculo, ou seja, a presença do patógeno na região e o clima (ambiente) influenciam na ocorrência de epidemias. Se o inóculo já está presente em uma região, pode-se estimar o potencial de risco de epidemias analisando-se somente o clima (ambiente).

Um projeto de monitoramento de riscos climáticos que envolvem fitopatologistas e agrometeorologistas da

Universidade Estadual de Londrina, Embrapa, Iapar, Fundação ABC, Simepar, Universidade Estadual de Ponta Grossa, além da iniciativa privada e outras instituições, têm trabalhado desde a safra 2001/2002, com o apoio do CNPq, Fundação Araucária e FINEP. Um dos resultados do projeto é um sistema de coleta de dados de uma rede de estações meteorológicas automatizadas, o qual os processa e gera mapas geográficos e gráficos da favorabilidade climática para ocorrência de períodos de probabilidade à infecção por patógenos foliares. A rede de estações, presente em todas as regiões do estado, coleta informações de hora em hora sobre a presença de umidade e temperatura, além de outras variáveis meteorológicas. Isto, aliado aos dados de altitude de cada região permite interpolar os resultados e estimar as condições de clima adjacentes às estações.

O sistema utiliza como dados de entrada variáveis meteorológicas, coletadas de hora em hora em mais de 40 estações, distribuídas em todo o estado do Paraná, além das equações de favorabilidade para cada doença de interesse. As condições favoráveis à infecção pelos principais patógenos da parte aérea das culturas agrícolas mais importantes são conhecidas e disponíveis na literatura. A análise de tais dados e consequente geração de equações matemáticas pode-se fazer estimativas regionais da favorabilidade do ambiente para o patógeno infectar as plantas, caso o inóculo do mesmo esteja presente na região.

Os resultados gerados pelo uso dos modelos em sistemas de informações geográficas são mapas georreferenciados de todo o Estado ou mesmo de algumas regiões, que mostram as zonas de maior ou menor probabilidade de ocorrência de infecções pelo patógeno em questão em um determinado período de tempo, seja diário, semanal ou mensal. Alternativamente, o resultado pode ser apresentado na forma de gráficos específicos para cada local.

Aplicação para mapeamento de risco da ferrugem asiática

Mapas de zonas de risco podem ser utilizados para análise histórica da ocorrência de epidemias, para análise da possível distribuição geográfica de uma nova doença, e desde que utilizados adequadamente, podem servir como base de sistemas de alerta. Também podem ser utilizados para simular efeitos de eventos extremos de clima, como por exemplo, o fenômeno El Niño, na ocorrência de epidemias.

Para situações de doenças novas como a ferrugem asiática, modelos matemáticos só podem ser validados após vários anos de observação da doença. A análise dos mapas para doenças já há bastante tempo estabelecidas, como antracnose em feijoeiro e ferrugem em trigo demonstrou resultados condizentes com a variação regional da severidade observada em campo. A determinação de regiões geográficas de condições mais favoráveis para ocorrência da ferrugem asiática da soja no estado do Paraná foi estimada através de modelos matemáticos de infecção que permitiram gerar mapas de risco de infecção, com dados meteorológicos históricos coletados desde 1999. Os mapas permitiram interpretar que o clima na região noroeste do Paraná, no período de 6 anos, tendia a ser menos favorável para ocorrência da ferrugem. Também se observou, uma faixa norte/

sul de maior favorabilidade à infecção, iniciando na divisa com o estado de São Paulo (Ourinhos), envolvendo Londrina, Ponta Grossa, indo até União da Vitória, na divisa com Santa Catarina. A região de Cascavel/Toledo aparecia com níveis intermediários de favorabilidade.

Na validação, feita de forma qualitativa e visual através da comparação dos mapas de ocorrência de ferrugem nas últimas cinco safras, desde 2002 até 2006, indicou acerto para a maioria das regiões, exceto para a região centro/sul do estado do Paraná. Para tentar entender o por que da falta de correlação entre as estimativas do modelo e a realidade utilizou-se de simulação matemática e conhecimento epidemiológico em abordagem sistêmica (Bergamin Filho & Amorim, 1996). Vale lembrar que os mapas foram gerados com base em modelos de infecção, que representam apenas uma das etapas do ciclo da doença. A região sul do estado do Paraná apresenta altitudes elevadas, acima de 800 metros o que propiciava noites com temperaturas mais amenas que as regiões de menor altitude no Estado e, conseqüentemente, com maior duração do orvalho, que o modelo considera como maior favorabilidade a infecção devido a temperatura na região não ter tanta influência marcante no processo de infecção (Marchetti et al. 1976). No entanto, dados da literatura indicam que o período latente, uma fase pós-infecção que vai até a esporulação do patógeno, é dependente apenas da temperatura, ou seja, temperaturas menos favoráveis aumentam o tempo para que o patógeno apresente sintomas e complete o seu ciclo, o que no caso considerado se relaciona às temperaturas mais baixas na região de maior altitude.

Simulações de progresso da doença utilizando-se o modelo de Berger et al. (1995) adaptado, com variações no período latente de 8, 10 ou 12 dias indicaram que a severidade final da doença obtida foi 95%, 28% e 9%, respectivamente, para um mesmo período de tempo de simulação da epidemia. Apesar de não terem sido utilizados dados de temperatura observada para se estimar o período latente real, pode-se inferir que a mesma altitude elevada que favorece o processo de infecção em função do maior número de horas de molhamento por orvalho, devido as mais baixas temperaturas, desfavorece o processo pós-infecção em função do menor tempo com temperaturas favoráveis. Apesar de não terem sido usados dados reais de temperatura, o modelo indicou que maiores períodos latentes, advindos de menores temperaturas, acarretam em menor número de ciclos da doença e consequente menor severidade da doença. O paradoxo foi que os mapas estavam corretos para o objetivo de estimar períodos infectivos com modelos que consideram as variáveis temperatura e molhamento foliar somente, porém interpretar seus resultados de forma a dizer que tais regiões seriam mais favoráveis à epidemias, foi incorreto. Esse é um tipo de probabilidade de erro de modelos de previsão que estimam apenas uma etapa do ciclo, no caso a infecção, para doenças em que ainda não se tem completo domínio de sua epidemiologia e, assim, das principais variáveis que são chave para prever a severidade final das epidemias. Outro problema comum em modelos de previsão é que nem sempre os dados que serviram como bases a modelos matemáticos obtidos em condições controladas retratam as condições de campo.

Com o avanço no conhecimento da epidemiologia da

doença, principalmente através da observação da doença nas condições de campo após vários anos sob condições variáveis de clima, podem melhorar os modelos usados em sistemas de mapeamento de risco para se ter resultados mais acurados e úteis para avaliação e previsão de risco desta doença. Um trabalho publicado recentemente através da análise de dados de 34 epidemias observadas no Brasil, permitiu concluir ser a chuva uma importante variável para determinar a severidade final das epidemias de ferrugem asiática, muito mais importante que a temperatura, e com potencial para previsão de níveis de epidemias (Del Ponte et al., 2006). Os modelos com base na chuva apresentaram alguma tendência leve de sobre estimar a severidade em locais na região sul do Brasil, como o centro sul do Paraná, o que pode se relacionar a uma combinação de menor frequência e quantidade chuva com temperaturas mais baixas na ocasião, conforme foi demonstrado com a simulação comentada anteriormente.

Os fatos expostos anteriormente justificam o uso de critérios rigorosos para escolha e avaliação dos modelos e interpretação dos mapas de risco gerados. Deve-se relembrar que não é apenas o clima que determina a ocorrência da doença, mas sim a presença do inóculo. Em muitas situações, um modelo de previsão pode indicar alto risco em situações de ausência e baixa concentração do inóculo, o que certamente afetará o nível final de severidade da doença. Em locais onde o inverno apresenta temperaturas mais baixas é possível que a quantidade de inóculo disponível no início da estação seja mais baixa, levando ao atraso da epidemia e conseqüente baixa severidade final.

É importante ter em mente que Mapas de Zona de Risco são uma ferramenta a mais, direcionada principalmente para a avaliação de condições climáticas favoráveis à ocorrência de epidemias. Eles fornecem subsídios para a tomada de decisão para o controle de doenças juntamente com outras informações, como o monitoramento dos focos da doença. Modelos de previsão e simulação nunca serão perfeitos e dificilmente levarão em conta todas as variáveis que influenciam no processo, no entanto, desde que continuamente testados, avaliados e reajustados à luz de novos conhecimentos, pode fornecer importantes informações para o manejo de risco de epidemias. As incertezas no clima e na estimativa das variáveis

meteorológicas usadas nos modelos não devem ser menosprezadas. Atualmente, além dos mapas de favorabilidade climática, o sistema de previsão de risco climático à ferrugem asiática tem sido utilizado juntamente com mapas de detecção da doença, e está disponível na Internet website da Fundação ABC (<http://sid.fundacaoabc.org.br/>).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Bergamin Filho, A.; Amorim, L. **Doenças de plantas tropicais: epidemiologia e controle econômico**. São Paulo: Ceres, 1996. 299 p.
2. Berger, R.D. Description and application of some general models for plant disease epidemics. **Plant disease epidemiology**. New York: McGraw-Hill Publishing Company, 1989, v.2, p.125-149.
3. Berger, R.D.; Hau, B.; Weber, G.E.; Bacchi, L.M.A.; Bergamin Filho, A.; Amorim, L. A simulation model to describe epidemics of rust of Phaseolus beans I. Development of the model and sensitivity analysis. **Phytopathology**, St. Paul, v.85, n.6, p.715-721, 1995.
4. Canteri, M.G.; Godoy, C.V.; Del Ponte, E.M.; Fernandes, J.M.C.; Pavan, W. Aplicações da computação na fitopatologia. **Revisão Anual de Patologia de Plantas**. v.12, p.243-285, 2004.
5. Del Ponte, E.M.; Godoy, C.V.; LI, Xun, Yang, X.B.. Predicting severity of Asian soybean rust with empirical rainfall models. **Phytopathology**, St. Paul, v. 96, n. 7, p. 797-803, 2006.
6. Hijmans, R.J.; Forbes, G.A.; Walker, T.S. Estimating the global severity of potato late blight with GIS-linked disease forecast models. **Plant Pathology**, London, v.49, p.697-705, 2000.
7. Marchetti, M.A.; Melching, J.S.; Bromfield, K.R. The effects of temperature and dew period on germination and infection by urediospores of *Phakopsora pachyrhizi*. **Phytopathology**, v.66, p.461-463, 1976.
8. Shaw, R. Yield loss estimation. In: Leonard, J.; Franel, D.A.N. **Exercises in Plant Disease Epidemiology**. St. Paul: APS Press, 1997, 143p.
9. Teng, P.S., Rouse, D.I. Understanding computers: applications in plant pathology. **Plant Disease**, St. Paul, v.68, n.6, p.539-543, 1984.
10. Zadoks, J.C. Systems analysis and the dynamics of epidemics. **Phytopathology**, St. Paul, v.61, p.600-610, 1971.
11. Zadoks, J.C. EPIPRE, a computer-based decision support system for pest and disease control in wheat: its development and implementation in Europe. In: Leonard, K.J.; Fry, W.E. **Plant disease epidemiology: genetics, resistance and management**. v.2, p.3-29, 1986.