

AVALIAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E SAZONAL DA FAVORABILIDADE CLIMÁTICA DA FERRUGEM DO MILHO NO BRASIL*

EMÍLIA HAMADA¹, RAQUEL GHINI¹, JOSÉ TADEU DE OLIVEIRA LANA²,
ELIZABETH DE OLIVEIRA³

¹ Pesquisador, Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna-SP, {emilia; raquel}@cnpma.embrapa.br

² Analista, Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna-SP, lana@cnpma.embrapa.br

³ Pesquisador, Embrapa Milho e Sorgo, Sete-Lagoas-MG, beth@cnpms.embrapa.br

RESUMO: Ferramentas de análise espacial em SIG foram utilizadas para avaliar a distribuição espacial de duas doenças do milho no Brasil: ferrugem polissora causada por *Puccinia polysora* e a ferrugem tropical causada por *Physopella zaeae*. A base de dados das variáveis climáticas (temperatura média, umidade relativa e período de molhamento foliar) da normal climatológica de 1961 – 1990 foi obtida e, em seguida, relacionada a um modelo matemático de desenvolvimento da doença (ferrugem polissora) e aos intervalos de clima (ferrugem tropical) a fim de se obter os mapas. A maior incidência de ambas as doenças ocorreu em quase toda a região Norte de janeiro a junho, embora essa região tenha tradicionalmente uma baixa produção de milho. Considerando as maiores regiões produtoras, para ambas as doenças, as áreas favoráveis estão localizadas em parte do Mato Grosso, Tocantins, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, São Paulo, Paraná, e Santa Catarina, variando entre os diferentes meses de janeiro a junho.

PALAVRAS-CHAVE: SIG, ferrugem polissora, ferrugem tropical.

INTRODUÇÃO

O milho é uma das culturas mais antigas do mundo e é cultivada em diversos países, sendo utilizado na alimentação animal e humana, devido às suas boas qualidades nutricionais. A produção mundial de milho em 2007 foi de 784,8 milhões de toneladas e o Brasil alcançou a terceira colocação, com 7% do total, aproximadamente; tendo em destaque os EUA com 42%, seguido da China, com 19% (FAO, 2008). Em área colhida em 2007, o Brasil também se situou em terceiro lugar no mundo, com 13,8 milhões de hectares (FAO, 2008) e na safra 2005/2006, os cinco maiores estados produtores foram Paraná, Minas Gerais, Rio Grande do Sul, São Paulo e Mato Grosso, nesta ordem (CONAB, 2008).

As doenças podem causar sérios prejuízos à produção de uma cultura agrícola. No entanto, a importância de cada doença é variável de ano para ano e de região para região, influenciada principalmente pelas condições climáticas ocorridas durante o desenvolvimento da cultura. As relações entre clima e doenças são tão intensas que são rotineiramente usadas em sistemas de previsão de doenças e manejo de epidemias, pois as flutuações na severidade de doenças são determinadas através dos anos, principalmente, pelas variações climáticas (GHINI, 2005).

Dentre as principais doenças que ocorrem na cultura do milho no Brasil, merecem destaque por sua importância a ferrugem polissora, causada por *Puccinia polysora* e a ferrugem tropical, causada por *Physopella zaeae*. No Brasil, o plantio da safra normal do milho ocorre entre os meses de outubro e dezembro e o milho safrinha entre janeiro e março, com os períodos mais vulneráveis a ambas as doenças ocorrendo de janeiro a março e de abril a junho, respectivamente.

O Sistema de Informações Geográficas (SIG) tem sido aplicado na agricultura para análise espacial de doenças de plantas, como apresentados em Nelson et al. (1994), Orum et al. (1997), Hijmans et al. (2000) e Wu et al. (2005). Mapas de SIG de risco e distribuição de doenças de plantas podem ser criados utilizando diversos métodos e em diferentes escalas espaciais. Nelson et al. (1999) prevêem que mapas de risco de doenças de planta em diversas escalas se tornarão cada vez mais disponíveis e úteis e através de um processo interativo de comparação dos dados espaciais de risco

* Trabalho apresentado, em parte, no XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto.

com a incidência observada, o entendimento dos aspectos espacial e temporal dos processos da doença deverá melhorar junto com nossa habilidade de produzir mapas úteis aos agricultores.

Este trabalho teve por objetivo apresentar uma aplicação de SIG na avaliação da distribuição espacial de duas das principais doenças foliares da cultura no milho no Brasil, a ferrugem polissora e a ferrugem tropical.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram considerados neste estudo os meses de janeiro a junho, abrangendo o período considerado mais vulnerável da cultura do milho às ferrugens polissora e tropical na safra normal (janeiro a março) e na safrinha (abril a junho).

Foi utilizado o SIG ArcGIS 9.2, software da ESRI para o desenvolvimento do banco de dados, abrangendo o Brasil. No banco de dados foram incluídas as informações de temperatura média, umidade relativa e período de molhamento foliar. As duas primeiras variáveis climáticas foram obtidas do IPCC (2006), representando informações de médias mensais da normal climatológica de 1961-1990. Essas informações estavam em formato ASCII, como uma matriz de dados, com cada valor indicando a dimensão numérica da variável climática em cada referência geográfica, considerando a resolução espacial de 0,5° X 0,5° latitude e longitude. No SIG os dados foram convertidos do formato vetorial pontos para o formato raster. O período de molhamento foliar foi obtido empregando-se o método proposto por Hamada et al. (2007), a partir de equações matemáticas de ajuste em função da umidade relativa.

Os mapas de severidade da ferrugem polissora foram obtidos aplicando-se o modelo proposto por Godoy et al. (1999). Esse modelo de severidade da doença é o resultado da multiplicação do modelo beta generalizado, que estima o efeito da temperatura, com o modelo logístico, que descreve o efeito da duração do período do molhamento foliar. Desta forma, foram utilizadas as informações mensais de temperatura média e de período de molhamento foliar, obtendo-se mapas de severidade em percentagem de área foliar lesionada. Os intervalos das classes de severidade foram definidos adaptando-se a escala de notas da Agroceres (1994), apud Brandão et al. (2003). Posteriormente, a favorabilidade a essa doença foi definida quando a área foliar afetada foi superior a 25%.

Para a ferrugem tropical, por sua vez, foram utilizados intervalos de condições climáticas favoráveis ao desenvolvimento da doença, com temperatura média entre 22 °C e 34 °C e umidade relativa acima de 80%, conforme Casela et al. (2006). Para esse patossistema não foram encontrados modelos matemáticos ajustados às informações climáticas disponíveis tanto em escala nacional, como em escala temporal de média mensal.

Empregando-se as ferramentas de análise espacial (*Spatial Analyst*) do SIG, com a calculadora de raster, foi executado o modelo matemático da ferrugem polissora, obtendo-se os mapas mensais de severidade. Esses mapas foram então divididos em classes de intervalo de severidade, utilizando-se o comando de reclassificação e depois novamente classificados para se obter os mapas de favorabilidade à doença. Para a ferrugem tropical também foi utilizado o comando da calculadora de raster, porém as suas operações lógicas, obtendo-se os mapas mensais de severidade à doença. Os mapas foram verificados e validados conforme relato na literatura.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A maior incidência da ferrugem polissora no Brasil ocorre em praticamente toda a região Norte de janeiro a junho (Figura 1). Essas áreas tradicionalmente possuem baixa produção de milho, por exemplo, as menores produções de milho na safra 2005/2006 ocorreram na Amazônia e Pará (CONAB, 2008). De janeiro a março, as regiões Centro-Oeste e Sudeste encontram-se em situação intermediária de severidade, diminuindo nos meses subsequentes. O Nordeste de janeiro a junho situa-se com baixa a média severidade, exceto a área litorânea com alta severidade de maio a junho. O Sul encontra-se com baixa a média severidade ao longo dos meses, exceto na área litorânea de Santa Catarina.

De forma mais simplificada, considerando as maiores áreas produtoras, os mapas de favorabilidade da ferrugem polissora (Figura 2) indicam que as áreas mais propícias à doença

localizam-se ao norte e centro de Mato Grosso e de Tocantins de janeiro a março, período suscetível para a safra normal e diminuindo de abril a junho, na safrinha. O noroeste de Minas Gerais é mais propício à doença em janeiro, o sul de Mato Grosso do Sul em março e abril e as faixas próximas ao litoral de São Paulo, Paraná e Santa Catarina. Os resultados são concordantes com Casela et al. (2006) que observaram que nas grandes regiões produtoras, a ferrugem polissora encontra-se distribuída no Centro-Oeste, noroeste de Minas Gerais, São Paulo e parte do Paraná.

A ferrugem tropical (Figura 3) teve comportamento de distribuição espacial semelhante ao observado para a ferrugem polissora (Figura 2), apresentando favorabilidade em boa parte da região Norte de janeiro a junho. Considerando as principais regiões produtoras, no Centro-Oeste foi observada favorabilidade à doença em Mato Grosso e parte de Mato Grosso do Sul, Tocantins e Goiás nos meses suscetíveis da safra normal, diminuindo a área abrangida de abril a junho para a safrinha. Já no Sudeste, a favorabilidade foi observada em parte de Minas Gerais e área litorânea de São Paulo, Paraná e Santa Catarina no período suscetível da safra normal. Os resultados foram concordantes com Casela et al. (2006), que observaram que a doença se encontra distribuída no Centro-Oeste e no Sudeste.

O emprego da tecnologia de SIG em estudo de doenças de planta envolve necessariamente o conhecimento de uma equipe multidisciplinar das áreas de geoprocessamento e de fitopatologia. O método empregado neste estudo relaciona informações climáticas, que estão organizadas em banco de dados de SIG, com desenvolvimento de patógenos da cultura do milho, por meio de um modelo matemático (ferrugem polissora) e intervalos climáticos (ferrugem tropical), a fim de se obter mapas e possibilitar a análise espacial.

Existem diversos métodos de obtenção de mapas em SIG de distribuição de doenças de planta e de risco de doenças de planta, porém cada método deve considerar as especificidades de sua aplicação, sob os aspectos teórico, prático e do usuário. Usualmente, as principais considerações em SIG estão relacionadas com a disponibilidade de dados confiáveis e precisos e aspectos da escala espacial e temporal.

Especificamente para o método empregado neste estudo, um grande desafio é a adaptação dos modelos, pois embora os modelos de simulação representem uma boa ferramenta, a maioria é desenvolvida para patógenos específicos e é válida somente para a cultura e cultivar para a qual foi desenvolvida. Além disso, nem sempre são disponíveis modelos que empreguem parâmetros climáticos de fácil acesso, registrados sistematicamente em estações meteorológicas, possibilitando seu emprego em escala regional ou nacional, mas apenas localmente. Uma possível alternativa é a utilização de intervalos climáticos favoráveis ao desenvolvimento do patógenos, geralmente mais acessíveis na literatura, porém com resultados mais qualitativos, do que quantitativos. Também é importante ter-se em mente as limitações de utilizar modelos ou intervalos climáticos de desenvolvimento do patógeno que, em geral, são desenvolvidos ou descritos de forma a interpretar processos biológicos que ocorrem em escalas diárias ou até mesmo horárias. Neste sentido, é necessário adequar-se a disponibilidade dos dados confiáveis e precisos de forma a disponibilizar a informação útil ao usuário, em tempo para a tomada de decisão.

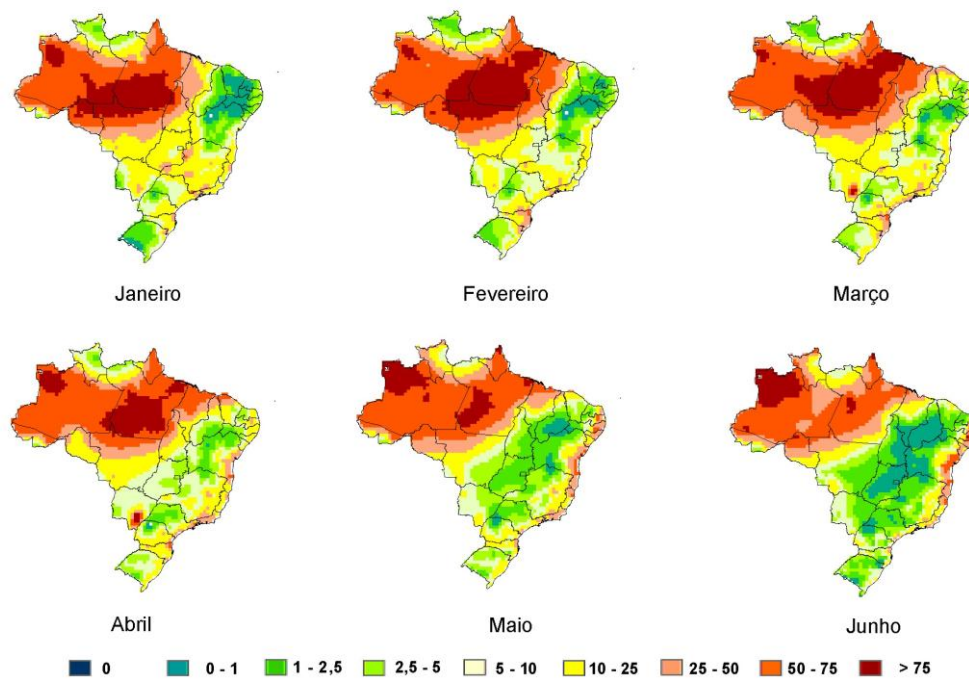


FIGURA 1. Severidade da ferrugem polissora, causada por *Puccinia polysora*, em percentagem de área foliar lesionada.

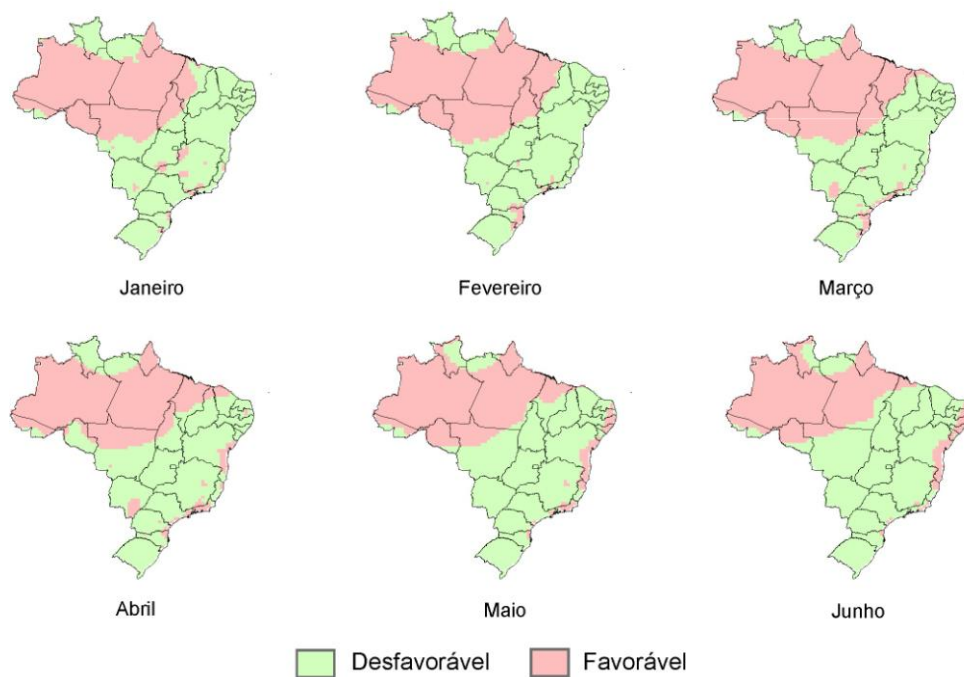


FIGURA 2. Favorabilidade climática à incidência da ferrugem polissora, causada por *Puccinia polysora*.

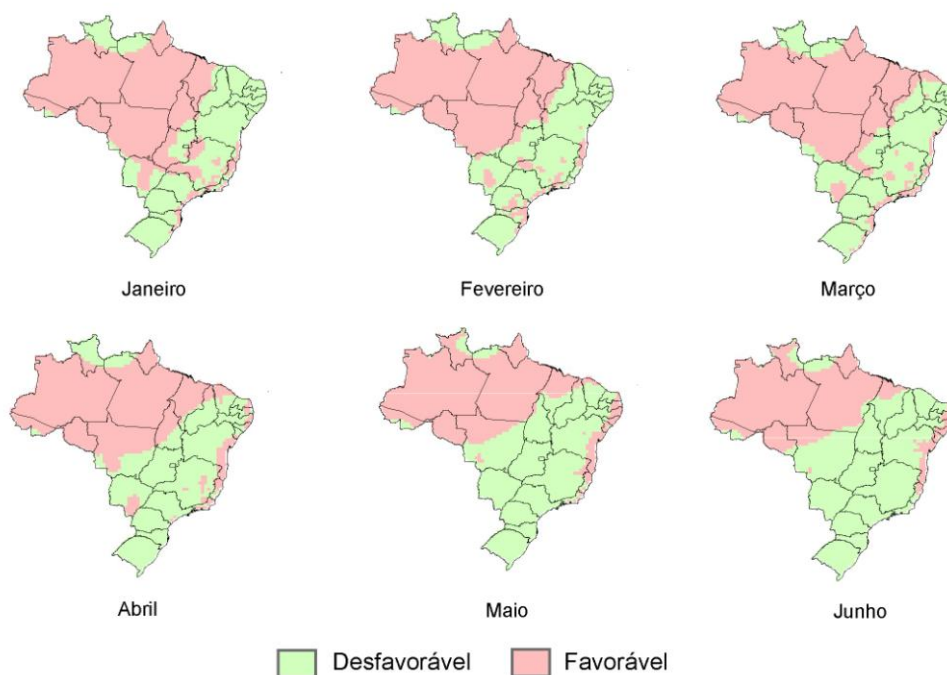


FIGURA 3. Favorabilidade climática à incidência da ferrugem tropical, causada por *Physopella zae*.

CONCLUSÕES

A aplicação de SIG na análise espacial de doenças de milho envolve necessariamente o conhecimento de uma equipe multidisciplinar das áreas de geoprocessamento e de fitopatologia. O método relacionando informações climáticas, que estão organizadas em banco de dados de SIG, com desenvolvimento de patógenos da cultura do milho, por meio de um modelo matemático (ferrugem polissora) e intervalos climáticos (ferrugem tropical), permitiu a obtenção de mapas e a análise da distribuição espacial, com resultados satisfatórios. Um grande desafio do método é a escolha de modelos ou intervalos climáticos favoráveis ao desenvolvimento do patógeno adequados à escala espacial ou temporal para a aplicação desejada.

A maior incidência das doenças no Brasil ocorre em praticamente toda a região Norte de janeiro a junho, porém essas áreas tradicionalmente possuem baixa produção de milho. Considerando as grandes regiões produtoras, as áreas favoráveis para a ferrugem polissora localizam-se ao norte e centro de Mato Grosso e de Tocantins, ao noroeste de Minas Gerais, ao sul de Mato Grosso do Sul e áreas litorâneas de São Paulo, Paraná e Santa Catarina, variando ao longo dos meses de janeiro a junho. Para a ferrugem tropical as áreas favoráveis localizam-se no Mato Grosso, parte de Mato Grosso do Sul, Tocantins e Goiás, parte de Minas Gerais e área litorânea de São Paulo, Paraná e Santa Catarina, variando ao longo dos meses.

A importância do mapeamento das doenças nas diferentes regiões produtoras de milho é a possibilidade de recomendação de plantio de cultivares mais resistentes nas regiões mais favoráveis.

AGRADECIMENTOS

Ao Paulo Rossi pelo auxílio na organização dos dados e à Miriane de M. Fávoro e ao Danilo C. Zinader pelo auxílio na checagem dos modelos.

À Embrapa pelo apoio financeiro.

À Empresa Imagem pela utilização do software ArcGIS por meio da Campanha Universitária.

REFERÊNCIAS

BRANDÃO, A.M; JULISTTI, F.C.; BRITO, C.H.; GOMES, L.S.; VALE, F.X.R.; HAMAWAKI, O.T. Fungicidas e épocas de aplicação no controle da ferrugem comum (*Puccinia sorghi* Schw.) em diferentes híbridos de milho. **Bioscience Journal**, v. 19, p. 43-52, 2003.

CASELA, C.R.; FERREIRA, A.S.; PINTO, N.F.J.A. **Doenças na cultura do milho**. Sete Lagoas, MG: Embrapa Milho e Sorgo, 2006. 14 p. (Circular Técnica, 83). On-line. Disponível em: <http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/publica/2006/circular/Circ_83.pdf>. Acesso em: 13 nov. 2008.

CONAB. **Safras-Grãos**: Série histórica - milho total (1 e 2 safras). Disponível em: <www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/MilhoTotalSerieHist.xls>. Acesso em: 13 nov. 2008.

FAO. **FAOSTAT**: ProdSTAT - Crops. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx#ancor>>. Acesso em: 12 nov. 2008.

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

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

HAMADA, E.; GHINI, R.; FERNANDES, J.L.; PEDRO JÚNIOR, M.J.; ROSSI, P. Estimativa de duração do período de molhamento foliar no estado de São Paulo In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia (CBAgro), 15., 2007, Aracaju, SE. **Anais...** Piracicaba: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 2007. p.1-5. CD-ROM.

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**, v. 49, p. 697-705, 2000.

IPCC. **IPCC SRES climate scenarios**: the IPCC Data Distribution Centre. Disponível em: <http://www.ipcc-data.org/sres/gcm_data.htm>. Acesso em: 26 abr. 2006.

NELSON, M.R.; ORUM, T.V.; JAIME-GARCIA, R.; NADEEM, A. Applications of geographic information systems and geostatistics in plant disease epidemiology and management. **Plant Disease**, v. 83, p.308-319, 1999.

NELSON, M.R.; FELIX-GASTELUM, R.; ORUM, T.V.; STOWELL, L.J.; MYERS, D.E. Geographic information systems and geostatistics in the design and validation of regional plant virus management programs. **Phytopathology**, v. 84, p. 898-905, 1994.

ORUM, T.V.; BIGELOW, D.M.; NELSON, M.R.; HOWELL, D.R.; COTTY, P.J. Spatial and temporal patterns of *Aspergillus flavus* strain composition and propagule density in Yuma County, Arizona. **Plant Disease**, v. 81, p. 911-916, 1997.

WU, B.M.; SUBBARAO, K.V.; VAN BRUGGEN, A.H.C. Analyses of the relationships between lettuce downy mildew and weather variables using geographic information system techniques. **Plant Disease**, v. 89, p. 90-96, 2005.