

IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS SOBRE O RISCO DE OCORRÊNCIA DA FERRUGEM POLISSORA DO MILHO NO BRASIL

Wanderson Bucker Moraes¹, Leonardo de Azevedo Peixoto¹, Waldir Cintra de Jesus Junior², Willian Bucker Moraes³, Roberto Avelino Cecílio⁴

1. Graduando em Agronomia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCA-UFES), 29500-000, Alegre-ES, Brasil (wandersonbucker@yahoo.com.br)
 2. Professor Doutor do Departamento de Produção Vegetal do CCA-UFES
 3. Doutorando em Proteção de Plantas da Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (FCA-UNESP)
 4. Professor Doutor do Departamento de Engenharia Florestal CCA-UFES
- Data de recebimento: 02/05/2011 - Data de aprovação: 31/05/2011

RESUMO

Um dos prováveis impactos das mudanças climáticas globais sobre a produção vegetal será a alteração da distribuição espaço-temporal das doenças de plantas. A ferrugem polissora (*Puccinia polysora*) é considerada uma das principais doenças da cultura do milho no Brasil. Nesse sentido, este trabalho avaliou os potenciais impactos das mudanças climáticas sobre a distribuição espaço-temporal da *P. polysora* no Brasil. Elaboraram-se mapas do risco climático de ocorrência da *P. polysora* no período atual e futuro. Os cenários futuros empregados foram centrados nas décadas de 2020, 2050 e 2080 (cenários A2 e B2). Estes cenários foram obtidos a partir de seis modelos climáticos globais disponibilizados pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC). Admitindo os cenários futuros preditos pelo IPCC, haverá a redução do risco de ocorrência da *P. polysora* no Brasil, em ambos cenários futuros (A2 e B2). Estima-se também uma tendência da redução do período de maior favorabilidade a doença no decorrer das décadas futuras. Tais previsões são preditas para os períodos (janeiro a março e abril a junho) considerados de maior suscetibilidade da cultura a *P. polysora*. Portanto, as mudanças climáticas poderão modificar a importância relativa da *P. polysora* na cultura do milho no Brasil.

PALAVRAS-CHAVE: *Zea mays*, *Puccinia polysora*, ferrugem polissora, aquecimento global

IMPACTS OF CLIMATE CHANGE ON THE RISK OF OCCURRENCE OF THE SOUTHERN CORN RUST OF THE MAIZE IN BRAZIL

ABSTRACT

One of the likely impacts of global climate change on crop production is changing the spatial-temporal distribution of plant diseases. The southern corn (*Puccinia polysora*) is considered a major disease of maize in Brazil. In this sense, this study evaluated the potential impacts of climate change on spatial-temporal distribution of *P. polysora* in Brazil. Were prepared maps with the favorability of the climate to the occurrence of *P. polysora* in the current period and future. The future scenarios used were centered for the decades of 2020, 2050 and 2080 (scenarios A2 and B2). These scenarios were obtained from six global climate models (GCM's) provided by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Assuming future scenarios

predicted by the IPCC, will reduce the risk of occurrence of *P. polysora* in Brazil, in both future scenarios (A2 and B2). It is estimated also a trend of reduction of the most favorable period of the disease during the future decades. Such predictions are predicted for the periods (January to March and April to June) considered of greater susceptibility to culture *P. polysora*. Therefore, climate change may alter the relative importance of *P. polysora* in corn in Brazil.

KEYWORDS: *Zea mays*, *Puccinia polysora*, global warming

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). É projetado o aumento de 3,4 °C da temperatura do planeta e o incremento de 1250 ppm na concentração de CO₂ até 2095, acompanhado pela maior variabilidade do clima e eventos climáticos extremos (PACHAURI; REISINGER, 2007). Estas alterações climáticas terão diversas influências na produção agrícola e práticas culturais em diferentes partes do mundo (ROOS et al., 2011).

Um dos principais impactos das mudanças climáticas na agricultura será a alteração do desenvolvimento de doenças de plantas. Para ocorrência de uma doença é necessário a 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). Assim, estima-se que as mudanças climáticas terão efeitos diretos e indiretos, tanto sobre as doenças, bem como sobre o hospedeiro e a interação de ambos (CHAKRABORTY, 2005). 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).

O milho (*Zea mays* L.) é uma das culturas mais importantes à agricultura brasileira. Na safra agrícola de 2009/2010 a área cultivada foi de aproximadamente 12,9 milhões de hectares, com produção total de 56,1 mil toneladas (CONAB, 2011). Entretanto, a expansão das áreas cultivadas e das épocas de plantio do milho no Brasil, assim como a utilização de cultivares precoces com maior potencial de produção, tem contribuído com o aumento da ocorrência de doenças foliares nessa cultura (COSTA et al., 2008). A ferrugem polissora, causada pelo fungo *Puccinia polysora*, é considerada uma das principais doenças da cultura do milho no Brasil. Os fatores ambientais para o desenvolvimento desta doença são temperaturas entre 23 e 28 °C e elevada umidade relativa do ar (CASELA; FERREIRA, 2002). Em condições ambientais favoráveis, essa doença é capaz de reduzir em mais de 50% a produtividade do milho (VON PINHO, 1998). Portanto, dada a importância dos fatores climáticos para o desenvolvimento da *P. polysora*, as mudanças climáticas provavelmente alterarão a importância relativa desta doença na cultura do milho.

Nesse sentido, o conhecimento dos efeitos das mudanças climáticas sobre o risco de ocorrência da *P. polysora* no Brasil servirá como subsídios para enfrentar o futuro cenário fitossanitário desse patossistema. Portanto, este trabalho teve como

objetivo avaliar os impactos das mudanças climáticas sobre o potencial risco de ocorrência da *P. polysora* no Brasil nas décadas futuras, a partir dos cenários climáticos A2 e B2.

MATERIAL E MÉTODOS

Para a elaboração dos mapas atuais do risco de ocorrência da *P. polysora*, empregaram-se dados mensais médios de temperatura e umidade relativa do ar, obtidos do Climate Research Unit (CRU) (NEW et al., 2002). Os dados são referentes às médias históricas destas variáveis no período entre 1961 e 1990, disponíveis no formato matricial (grid) com células de 10' de latitude X 10' de longitude.

Os dados referentes às previsões futuras dos desvios das variáveis temperatura e umidade relativa do ar de cada mês foram obtidos na web site do IPCC (Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas) (IPCC, 2007). Os dados futuros de temperatura foram calculados empregando os desvios previstos por seis diferentes modelos climáticos globais: HadCM3 (Hadley Centre Coupled Model version 3), CSIROmk2 (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization GCM mark 2), CCSR/NIES (Centre for Climate Research Studies Model), ECHAM4 (European Centre Hamburg Model version 4), CGCM2 (Canadian Global Coupled Model version 2) and GFDL-R30 (Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, R-30 resolution model) (IPCC, 2007). Apenas o modelo HadCM3 considerada futuros desvios da umidade relativa do ar. Os outros modelos assumem que esta variável permanecerá constante ou sofrerá pouca variação no futuro. Portanto, os dados futuros de umidade relativa utilizados foram originados somente do modelo HadCM3.

Os cenários futuros selecionados foram A2 e B2, com foco nas décadas de 2020's (período entre 2010 a 2039), 2050's (período entre 2040 a 2069) e 2080's (período entre 2070 a 2099). O cenário A2 descreve um futuro mais heterogêneo, onde a regionalização é dominante. O cenário B2 descreve um futuro no qual a ênfase está em soluções locais para a sustentabilidade econômica, social e ambiental (IPCC, 2001). Portanto, o cenário A2 pode ser considerado mais "pessimista", prevendo maior emissão de gases de efeito estufa. Contrariamente, o cenário B2 é "otimista" em relação às mudanças climáticas, pois levam em consideração adoção de medidas mitigadoras. Os outros cenários futuros existentes (A1 e B1) não foram usados por serem globais e não existir os desvios futuros da temperatura em todos os modelos.

O SIG (Sistema de Informações Geográficas) Idrisi 32 foi utilizado para a elaboração dos mapas. As previsões dos desvios apresentado por cada modelo possuem diferentes resoluções espaciais (HadCM3: 3,75° X 2,50°, CSIROmk2b: 5,62° X 3,21°, CCSR/NIES: 5,62° X 5,62°, ECHAM4: 2,81° X 2,81°, CGCM2: 3,75° X 3,75° e GFDL-R30: 3,70° X 2,20°). Portanto, os desvios dos dados climáticos futuros foram reamostrados utilizando o SIG Idrisi 32 para geração de mapas com resolução espacial de 10' de latitude X 10' de longitude.

Visando à redução da variabilidade da simulação, foram calculados os valores médios dos dados estimados pelos seis modelos para a obtenção dos mapas mensais dos desvios da temperatura média do ar nas décadas futuras. Para tal, utilizou-se a ferramenta de análise espacial (operação aritmética) do SIG Idrisi 32. Tal técnica é denominada de "multimodel ensemble", pois utiliza os valores médios

previstos por cada um dos modelos de circulação geral. Estudos recentes têm verificado que o emprego da técnica “multimodel ensemble” tem reduzido a variação existente nas previsões dos impactos das mudanças climáticas sobre doenças de plantas (JESUS JUNIOR et al., 2008).

Para obtenção das projeções futuras de temperatura média e umidade relativa do ar, os mapas mensais dos desvios futuros destas variáveis foram somados com os mapas atuais. Esta operação foi realizada através da ferramenta de operação aritmética do SIG Idrisi 32.

Os dados atuais e futuros de umidade relativa do ar foram utilizados para estimar o período de molhamento foliar. Esta variável foi obtida empregando-se o método proposto por HAMADA et al. (2008), a partir de equações matemáticas de ajuste em função da umidade relativa mensal. Com base nos dados de temperatura e molhamento foliar, elaboraram-se os mapas de distribuição espaço-temporal da *P. polysora* no período atual (1961 e 1990) e futuro (2020, 2050 e 2080) em ambos cenários (A2 e B2). Os mapas de risco de ocorrência da ferrugem polissora foram obtidos aplicando-se o modelo proposto por GODOY et al. (1999).

O modelo empregado foi resultante 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. A partir dos dados de severidade da doença estimado foi estabelecido o índice de risco da doença, definido dentro de uma escala variando de 0 a 100%.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este estudo é ilustrado originalmente por 84 mapas, apresentados para a representação do risco climático a *P. polysora* do milho no Brasil, no período atual (média de 1961 a 1990) e futuro (décadas de 2020, 2050 e 2080) em ambos cenários (A2 e B2) (Figuras 1 a 4).

No cenário atual (média de 1961 a 1990), o período de maior favorabilidade a ocorrência da *P. polysora* está compreendida entre os meses de novembro a maio (Figura 1). Este período está compreendido dentro do considerado o mais vulnerável da cultura do milho à ferrugem polissora, tanto na safra normal (janeiro a março) quanto na safrinha (abril a junho). Analisando o risco climático de ocorrência da doença nas principais regiões produtoras de milho, observa-se um alto risco no Norte e Centro-Oeste dos estados do Mato Grosso e Tocantins, Noroeste de Minas Gerais, Sul do Mato Grosso do Sul e em áreas litorâneas de São Paulo, Paraná e Santa Catarina (Figura 1). Estes resultados corroboram com os obtidos por HAMADA et al. (2009), que através da análise de mapas de favorabilidade climática, concluíram que estas regiões são as mais propícias para a ocorrência de epidemias severas da ferrugem polissora.

No decorrer das décadas futuras (2020, 2050 e 2080), haverá uma tendência de redução da favorabilidade climática a *P. polysora* do milho no Brasil, quando comparada as condições atuais (média de 1961 a 1990) (Figura 1). Nos cenários futuros, haverá o predomínio de baixo risco de ocorrência da doença na região Norte, Centro-Oeste, Nordeste e em parte da região Sudestes e Sul do Brasil (Figura 1). Nestes cenários, regiões com risco médio ao desenvolvimento da doença estarão concentradas na região litorânea do Sul e somente em alguns locais do Sudeste do Brasil. A redução da favorabilidade climática ao desenvolvimento da *P. polysora* é predita em ambos cenários climáticos futuros (A2 e B2).

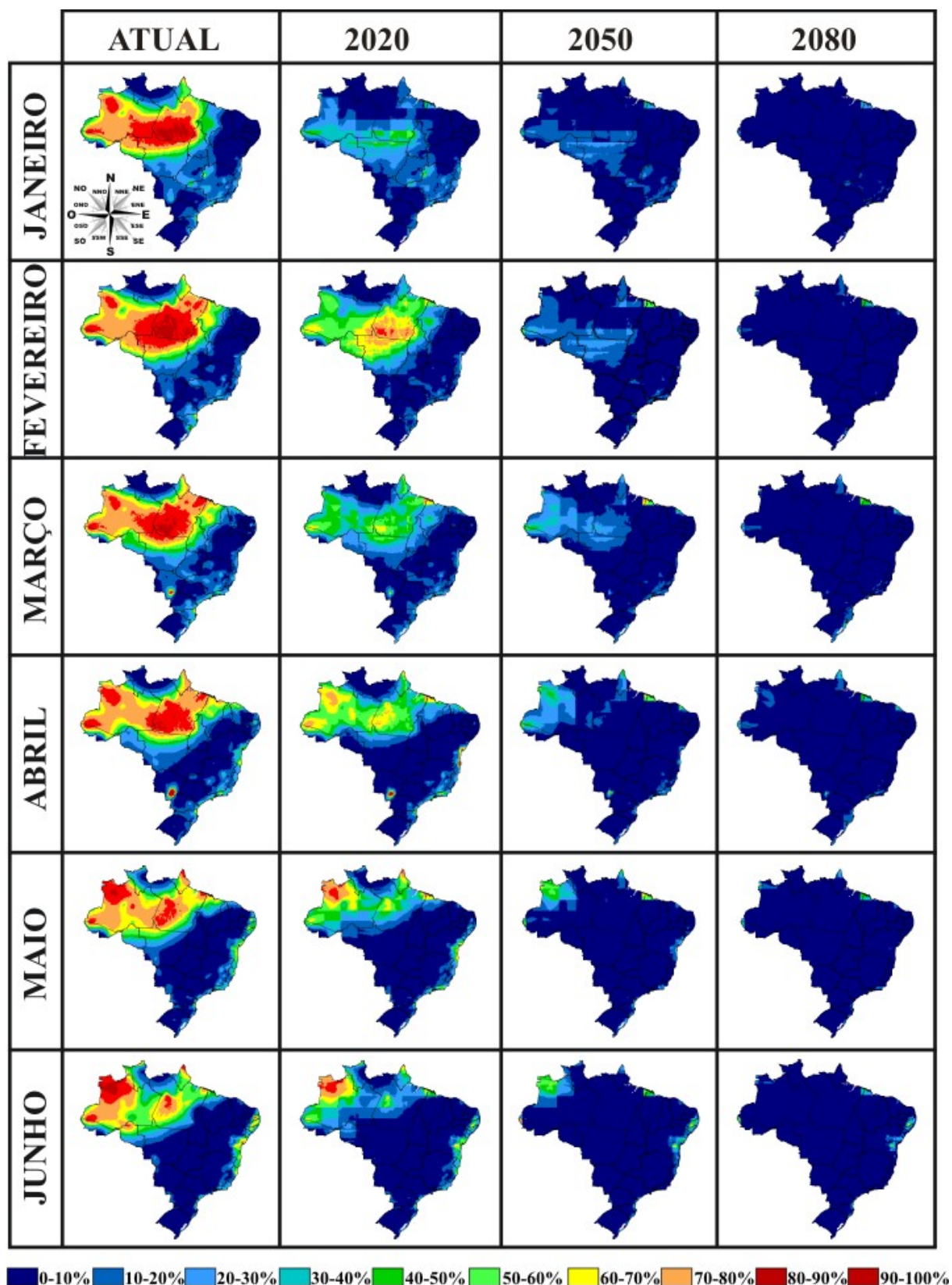
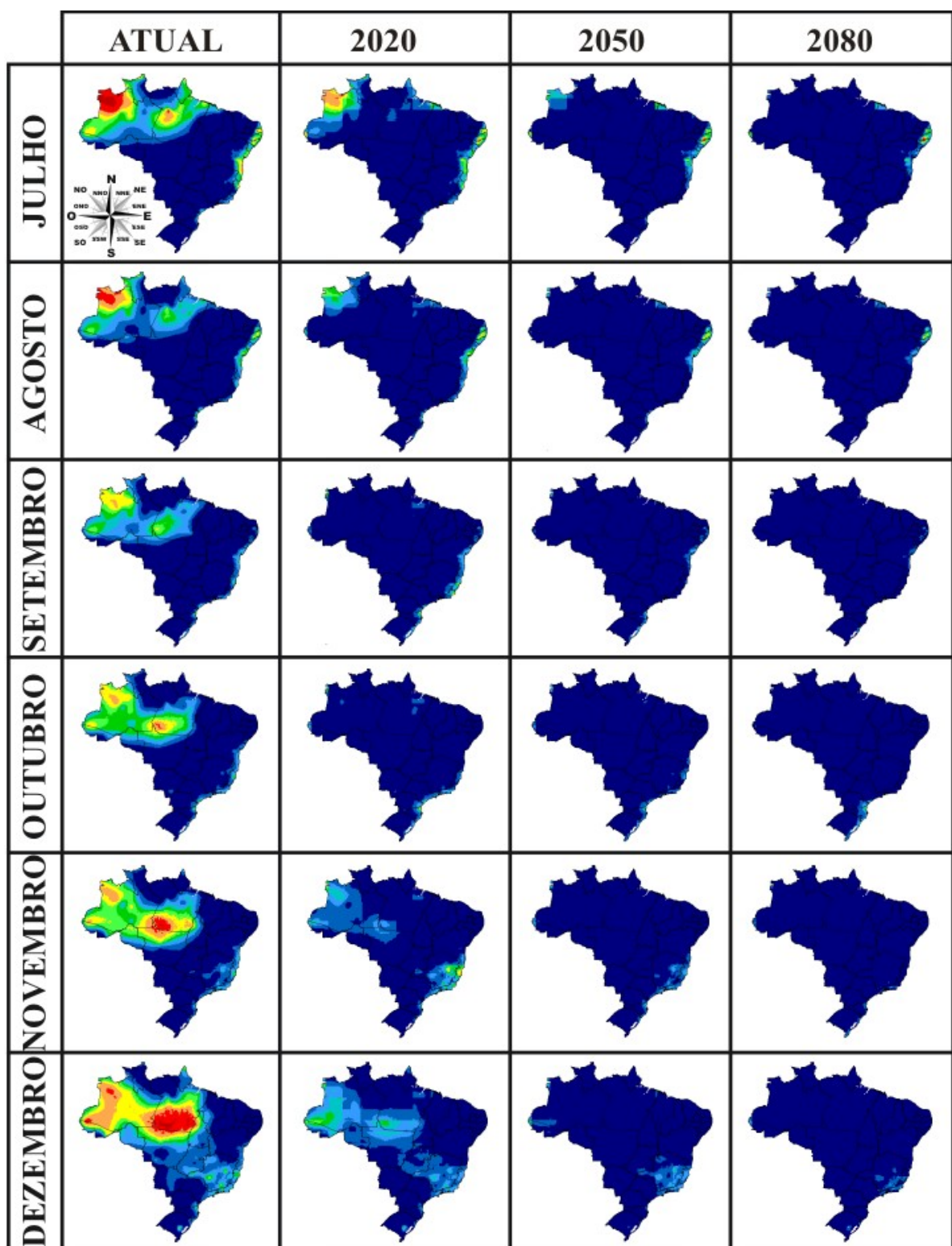


FIGURA 1. Efeito das mudanças climáticas sobre a distribuição espaço-temporal das áreas de risco de ocorrência da ferrugem polissora do milho no Brasil, predita para os meses de janeiro a junho nas décadas futuras (2020, 2050 e 2080) no cenário A2.



0-10% 10-20% 20-30% 30-40% 40-50% 50-60% 60-70% 70-80% 80-90% 90-100%

FIGURA 2. Efeito das mudanças climáticas sobre a distribuição espaço-temporal das áreas de risco de ocorrência da ferrugem polissora do milho no Brasil, predita para os meses de julho a agosto nas décadas futuras (2020, 2050 e 2080) no cenário A2.

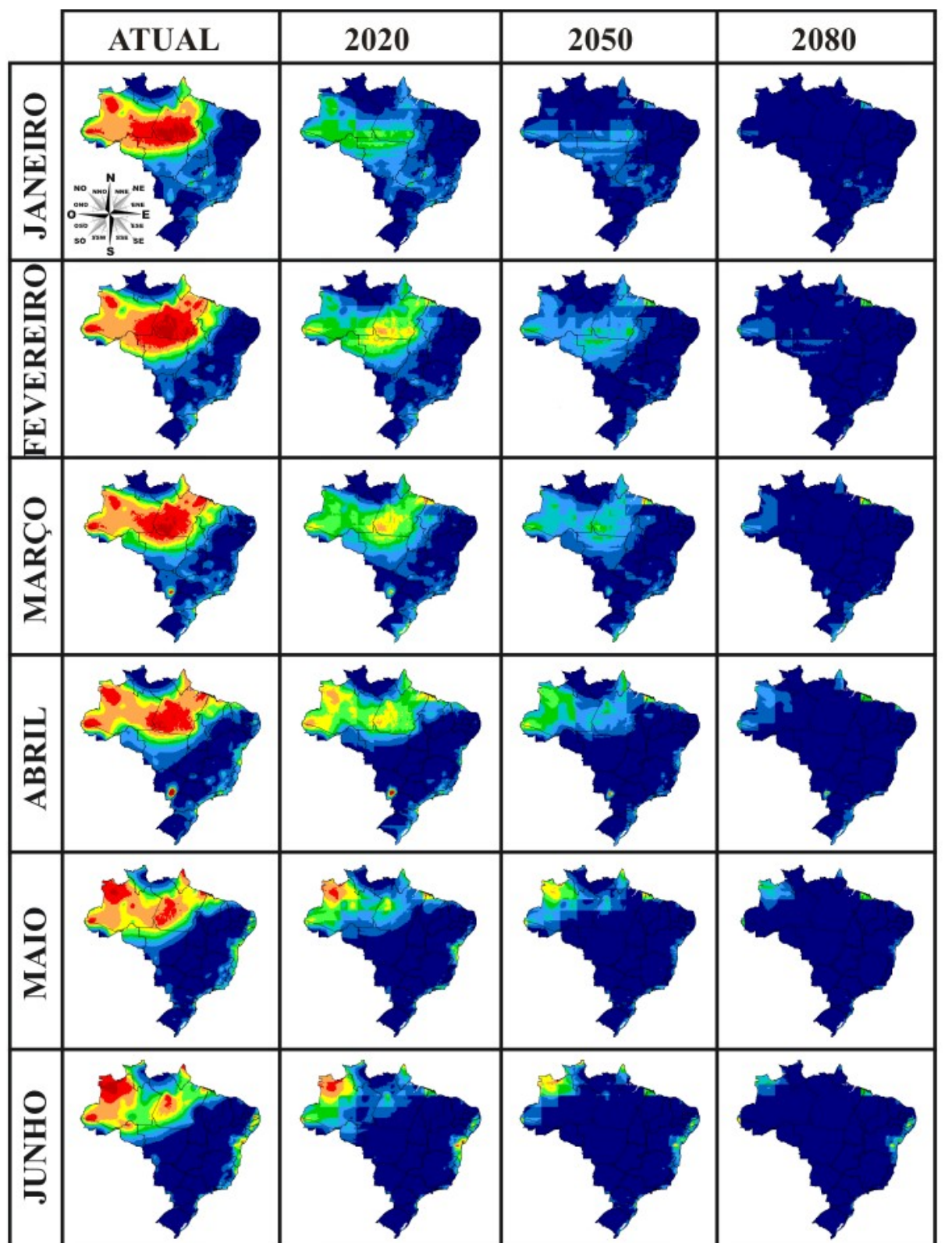


FIGURA 3. Efeito das mudanças climáticas sobre a distribuição espaço-temporal das áreas de risco de ocorrência da ferrugem polissora do milho no Brasil, predita para os meses de janeiro a junho nas décadas futuras (2020, 2050 e 2080) no cenário B2.

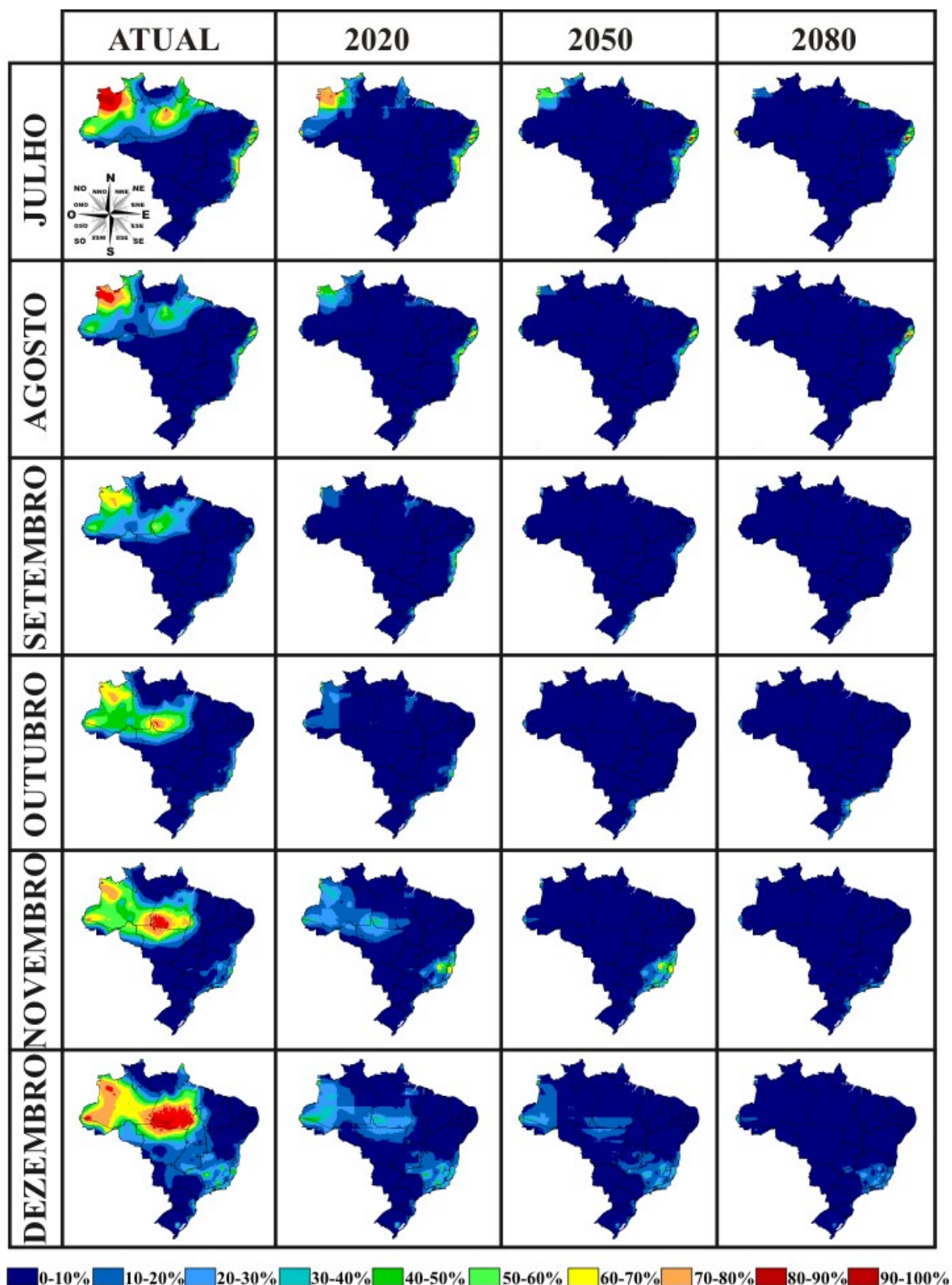


FIGURA 4. Efeito das mudanças climáticas sobre a distribuição espaço-temporal das áreas de risco de ocorrência da ferrugem polissora do milho no Brasil, predita para os meses de julho a agosto nas décadas futuras (2020, 2050 e 2080) no cenário B2.

O principal motivo do baixo risco de ocorrência da *P. polysora* no Brasil previsto para as décadas futuras deve-se a acentuada redução da umidade relativa do ar predita pelo modelo HadCM3 (IPCC, 2007). Contudo, estas conclusões não impedem que ocorram epidemias severas da doença em determinadas áreas com clima específico e diferente da média. Além disso, em condições de campo, epidemias de *P. polysora* são mais influenciadas por diferenças nos regimes de temperaturas, uma vez que o período de molhamento para se estabelecer a infecção é mínimo (2 a 4 horas) (GODOY et al., 1999). A duração do período de molhamento foliar pode ser vista como fator para que se estabeleça o processo infeccioso, enquanto a temperatura determina a rapidez e a extensão da infecção (GODOY et al., 1999). Portanto, em regiões que neste estudo apresentam baixo risco de ocorrência da *P. polysora*, poderá haver surtos epidêmicos da doença, nos locais onde a temperatura média esteja dentro do intervalo considerado favorável a doença (20 a 25 °C) e que ocorra a formação de orvalho durante a noite.

É importante salientar que neste estudo foram consideradas apenas as condições de favorabilidade climática a ocorrência da doença. Entretanto, a alteração de um determinado fator climático pode ter efeitos positivos em uma das partes do triângulo da doença e negativos em outra (CHAKRABORTY, 2005). Além disso, os efeitos podem ser também contrários nas diversas fases do ciclo de vida do patógeno (COAKLEY, 1995). Adicionalmente, tanto o patógeno quanto o hospedeiro poderão sofrer alterações com as mudanças climáticas, modificando assim os resultados dessa discussão.

Este patógeno produz estruturas reprodutivas denominadas teliósporos, de ocorrência rara na natureza, e os uredinósporos, sendo que ambos são considerados inóculos primário e secundário da doença (COSTA et al., 2010). Os teliósporos são estruturas de resistência formadas quando as condições ambientais encontram-se desfavoráveis a ocorrência do patógeno. Portanto, com tendência da redução da favorabilidade climática a *P. polysora* nos cenários futuros, provavelmente aumentará a formação deste tipo de estrutura reprodutiva. Consequentemente, os teliósporos passariam a ser a principal fonte de inóculo para ocorrência de epidemias da ferrugem polissora, possibilitando assim a ocorrência desta doença em algumas regiões. Além disso, a produção destas estruturas é realizada de forma sexuada (AGRIOS, 2005). Portanto, isto poderá intensificar a reprodução deste patógeno via reprodução sexuada. Assim, haverá uma maior variabilidade genética do patógeno e consequentemente o aumento da probabilidade da seleção de linhagens adaptadas as condições ambientais futuras, bem como a ocorrência de mutações genéticas. Outra possibilidade é a seleção de raças fisiológicas, entre as existentes, adaptadas as futuras condições ambientais. Estudos realizados com isolados de *P. polysora* de diferentes áreas indicam a ocorrência de diversas raças fisiológicas desse patógeno nas condições brasileiras (GALVÃO & MIRANDA, 2004).

Genes de resistência do tipo quantitativa a *P. polysora* em milho, tem sido identificados nesta cultura através de mapeamento genético (HOLLAND et al., 1998; BRUNELLI et al., 2002). Esses genes são desejáveis do ponto de vista do melhoramento por serem mais estáveis frente a variações genéticas do patógeno. Entretanto, este tipo de resistência é afetado por variações ambientais (van der

PLANK, 1984). Embora, atualmente cultivares de milho com um nível satisfatório de resistência quantitativa a *P. polysora* não estejam disponíveis, as possíveis alterações climáticas futuras poderão exercer influência sobre resistência genética das cultivares. Torna-se necessário a realização de uma complexa análise deste patossistema, visando identificar os impactos reais das mudanças climáticas sobre a ocorrência da *P. polysora* do milho no Brasil.

CONCLUSÕES

Considerando os cenários climáticos futuros traçados pelo IPCC, haverá uma tendência de redução do risco climático de ocorrência da *P. polysora* do milho no Brasil. Esta redução ocorrerá ao longo das décadas futuras, sendo predita em ambos cenários futuros (A2 e B2). Apesar disso, algumas regiões ainda apresentaram potencial risco climático à ocorrência desta doença, principalmente em locais onde haja a formação de orvalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRIOS, G.N. **Plant pathology**. Burlington: Elsevier Academic, 2005. 922pp.

BRUNELLI, K.R.; SILVA, H.P.; CAMARGO, L.E.A. Mapeamento de genes de resistência quantitativa a Puccinia polysora em milho. **Fitopatologia Brasileira**, v.27, p.134-140, 2002.

CASELA, C. R.; FERREIRA, A. S. Variability in isolates of *Puccinia polysora* in Brazil. **Fitopatologia Brasileira**, v.27, p.414-416, 2002.

CHAKRABORTY, S. Potential impact of climate change on plant-pathogen interactions. **Australasian Plant Pathology**, v.34, n.4, 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.

COAKLEY, S.M. Biospheric change: will it matter in plant pathology? **Canadian Journal of Plant Pathology**, v.17, p.147-153, 1995.

COSTA, F.M.; BARRETO1, M.; KOSHIKUMO, É.S.M.; ALMEIDA, F.A. Progresso da ferrugem tropical do milho (*Zea mays* L.), sob diferentes tratamentos fungicidas. **Summa Phytopathologica**, v.34, n.3, p.248-252, 2008.

COSTA, R.V.; COTA, L.V.; SILVA, D.D.; PARREIRA, D.F.; ROCHA, L.M.P.; GUIMARÃES, L.J.M.; GUIMARÃES, P.E.; PARENTONI, S.N.; MACHADO, J.R.A. Epidemias Severas da Ferrugem Polissora do Milho na Região Sul do Brasil na Safra 2009/2010. **Circular Técnico**, v.138, p.1-6, 2010.

CONAB. **12º Levantamento de Grãos Set/2010**. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/7e05515f8222082610088f5a2376c6af.pdf>>. Acesso em: 13 Marc. 2011.

GALVÃO, J.C.C.; MIRANDA, G.V. **Tecnologias de Produção do Milho**. Viçosa: Editora UFV, 2004. 366p.

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. Spatial and temporal variability of leaf wetness duration in the State of São Paulo, Brazil. **Scientia Agricola**, v.65, n.spe, 2008.

HAMADA, E.; GHINI, R.; LANA, J.T.O.; OLIVEIRA, E. Aplicação de sistemas de informações geográficas na análise espacial de doenças do milho no Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. p.3883-3889.

HOLLAND, J.B.; UHR, D.V.; JEFFERS, D.; GOODMAN, M.M. Inheritance of resistance to southern corn rust in tropical-by-cornbelt maize populations. **Theoretical and Applied Genetics**, v.96, p.232-241, 1998.

IPCC. **Climate Change 2001**: synthesis report. Cambridge: Cambridge University Press, 398p. 2001.

IPCC. **IPCC SRES climate scenarios**: the IPCC data distribution centre. 2007. Disponível em: <http://www.ipcc-data.org/sres/gcm_data.html>. Acesso em: 10 Fev. 2009.

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

NEW, M.; LISTER, D.; HULME, M.; MAKIN, I. A high-resolution data set of surface climate over global land areas. **Climate Research**, v.21, n.1, p.1-25, 2002.

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.

ROOS, J.; HOPKINS, R.; KVARNHEDEN, A.; DIXELIUS, C. The impact of global warming on plant diseases and insect vectors in Sweden. **European Journal of Plant Pathology**, v.129, n.1, p.9-19, 2011.

van der PLANK, J.E. **Disease resistance in plants**. Orlando: Academic Press, 1984. 194p.

VON PINHO, R. G. **Metodologia de avaliação, quantificação de danos e controle genético da resistência a *Puccinia polysora* Underw. e *Physopella zeae* (Mains) Cummins e Ramachar na cultura do milho.** 1998. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.