

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL**

**WILLIAN BUCKER MORAES**

**MAPEAMENTO DE ÁREAS DE RISCO E IMPACTOS POTENCIAIS  
DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS GLOBAIS PARA OCORRÊNCIA DA  
FERRUGEM DO EUCALIPTO**

**ALEGRE**

**2009**

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

WILLIAN BUCKER MORAES

**MAPEAMENTO DE ÁREAS DE RISCO E IMPACTOS POTENCIAIS  
DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS GLOBAIS PARA OCORRÊNCIA DA  
FERRUGEM DO EUCALIPTO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal, na área de concentração Fitossanidade (Fitopatologia).

Orientador: Prof. Dr. Waldir Cintra de Jesus Junior

**ALEGRE**

**2009**

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)  
(Biblioteca Setorial de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

---

M827m Moraes, Willian Bucker, 1985-  
Mapeamento das áreas de risco e impactos potenciais das mudanças climáticas globais para ocorrência da ferrugem do eucalipto / Willian Bucker Moraes. – 2009.  
60 f. : il.

Orientador: Waldir Cintra de Jesus Junior.  
Co-orientadores: Reginaldo Gonçalves Mafía, Roberto Avelino Cecílio.  
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias.

1. Eucalipto. 2. *Puccinia psidii*. 3. Mudanças climáticas. I. Jesus Junior, Waldir Cintra de. II. Mafía, Reginaldo Gonçalves. III. Cecílio, Roberto Avelino. IV. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias. V. Título.

CDU: 63

---

**WILLIAN BUCKER MORAES**

**MAPEAMENTO DE ÁREAS DE RISCO E IMPACTOS POTENCIAIS  
DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS GLOBAIS PARA OCORRÊNCIA DA  
FERRUGEM DO EUCALIPTO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal, na área de concentração Fitossanidade (Fitopatologia).

Aprovada em 30 de Julho de 2009.

**COMISSÃO EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Waldir Cintra de Jesus Junior  
Universidade Federal do Espírito Santo  
Orientador

---

Prof. Dr. Roberto Avelino Cecílio  
Universidade Federal do Espírito Santo

---

Pesquisador Dr. Reginaldo Gonçalves Mafía  
Aracruz Celulose S.A - ARCEL

---

Prof. Dr. Antonio Fernando de Souza  
Universidade Federal do Espírito Santo

---

Prof. Dr. Francisco Xavier Ribeiro do Vale  
Universidade Federal de Viçosa

## DEDICO

*A Deus,*

*por me dar ombros fortes para superar os desafios*

*Aos meus Pais Antonio e Nelina*

*Aos meus Irmãos Wanderson e Wallisson*

*A minha amada noiva Simone*

*Ao meu avô Ésio (In memoriam) e a minha Tia Maria*

*Ao Professor Waldir pela amizade,  
exemplo de profissionalismo  
e seu imenso apoio para  
concretização deste trabalho.*

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por guiar sempre os meus caminhos e me colocar diante de pessoas tão especiais.

Aos meus pais Antonio José Moraes e Nelina Bucker Moraes, aos meus irmãos Wanderson Bucker Moraes e Wallisson Bucker Moraes, por toda dedicação, apoio, paciência, compreensão e esforço, que possibilitou essa importante conquista e muitas mais que estão por vir. Tenho orgulho de fazer parte desta família.

A todos os meus familiares, em especial ao meu avô Ésio Moraes da Silva (In memoriam) e minha tia Maria Olívia, por toda a torcida pelo meu sucesso.

À minha noiva Simone de Paiva Caetano, pelo amor, amizade, companheirismo, carinho, motivação, torcida e força.

À minha sogra Francisca Rodrigues de Paiva e ao meu sogro Adão Pires Caetano, pelos anos de convivência e por todo incentivo que me deram.

Ao Professor Waldir Cintra de Jesus Junior, pela amizade, confiança e orientação desde o período de graduação, tendo-o como exemplo de profissional e pessoa, ao longo de toda a minha vida.

Ao professor Dr. Roberto Avelino Cecílio, pela co-orientação e ensinamentos, ao pesquisador Dr. Reginaldo Gonçalves Mafia, pela co-orientação, apoio e ensinamentos.

Ao Professor Francisco Xavier Ribeiro do Vale e ao Dr. Antonio Fernando de Souza pela participação na banca e sugestões para melhoria do trabalho.

Ao Centro de Ciências Agrárias e ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal da Universidade Federal do Espírito Santo, por me proporcionar a oportunidade de ingresso em um curso superior e na pós-graduação.

Ao quarteto fantástico, que se manteve unido ao longo de todo esse tempo, meus grandes amigos, por toda amizade e palavras de ânimo: Fernando Carrara Cosmi, Samuel de Assis Silva, Gustavo Soares de Souza e Leonardo Nazário da Silva Santos.

À Aracruz Celulose S.A., pela concessão da bolsa de estudos, financiamento do projeto, disponibilidade das áreas de estudo e todo apoio para a realização deste trabalho.

Aos funcionários da Aracruz Celulose Eduardo Henrique de Freitas Vieira, João Bosco da Silva, Jurandir Floriano Ramos, Jailson Antonio Ciarelli Simoes e Thiago Rizzo Batista, pela amizade e parceria na realização dos trabalhos.

Ao grande amigo Prof. Dr. Giovanni de Oliveira Garcia por me incentivar aos estudos, desde a época da escola agrícola.

Ao Prof. Dr. Sebastião Martins Filho por possibilitar meu primeiro contato com a pesquisa e pela amizade.

A todos que trabalham no laboratório de fitopatologia e, em especial, Ranolfo Valadares Junior, Lilianne Gomes da Silva, Prof. Fábio Ramos Alves, Regina Gonçalves dos Santos Oliveira, pela amizade e apoio.

À Madalena Caetano Capucho de Oliveira por toda compreensão e ajuda, durante o curso do programa de pós-graduação.

A todos que torceram e acreditaram no meu sucesso, muito obrigado.

*“Bem-aventurado o homem que acha sabedoria, e o homem que adquire conhecimento.”*

*(Provérbios 3:13)*

## **BIOGRAFIA**

**Willian Bucker Moraes**, filho de Antonio José Moraes e Nelina Bucker Moraes, nasceu em 02 de janeiro de 1985, na Cidade de Alegre, Estado do Espírito Santo.

Passou sua infância no distrito de Itaici, município de Muniz Freire - ES, onde concluiu o ensino fundamental na Escola Sebastião Costa, saindo em 2000 para continuar os estudos.

Em dezembro de 2002, concluiu o ensino médio e o curso técnico em agropecuária na Escola Agrotécnica Federal de Alegre – ES.

Em maio de 2003, ingressou no curso de Agronomia da Universidade Federal do Espírito Santo, vindo a se graduar em agosto de 2007, recebendo o título de Engenheiro Agrônomo.

Em agosto de 2007, ingressou no Programa de Pós-Graduação ao nível de Mestrado em Produção Vegetal, do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCA – UFES/Alegre - ES), submetendo-se à defesa de dissertação em julho do ano de 2009.

## RESUMO

A ferrugem, causada pelo fungo *Puccinia psidii* Winter, é um das doenças mais importantes para a eucaliptocultura. O patógeno causa doença em minijardim clonal e em plantas novas no campo, principalmente em folhas e em brotações jovens. As condições climáticas favoráveis para infecção deste patógeno em eucalipto incluem temperatura entre 18 a 25 °C, com períodos de pelo menos 6 horas de molhamento foliar, por 5 a 7 dias consecutivos. Considerando a interação entre ambiente e patógeno, o presente trabalho teve como objetivos: (a) mapear áreas de risco ao estabelecimento da ferrugem do eucalipto explorando o princípio de escape espaço-temporal; e (b) avaliar os potenciais impactos das mudanças climáticas globais sobre a distribuição espacial das áreas de risco para ocorrência da ferrugem do eucalipto.

(a) Para o mapeamento das áreas de risco, foi calculado o índice de infecção, a partir da média diária da temperatura máxima e do período de molhamento foliar, sendo a partir deste gerado o índice de risco. Os dados utilizados foram obtidos do banco de dados meteorológicos, das Regionais Aracruz e São Mateus (Espírito Santo) e da Regional Teixeira de Freitas (Bahia), referentes aos anos de 2001 a 2006, totalizando 23 estações meteorológicas. Com base no valor do índice de risco de ocorrência da ferrugem do eucalipto, elaboraram-se mapas de distribuição espaço-temporal da doença, pelos quais foi possível observar que o índice de risco variou em função da área estudada e dos meses do ano. Os meses de maio a novembro apresentaram maior favorabilidade para ocorrência da ferrugem do eucalipto. Sendo assim, os resultados obtidos nesse estudo permitiram trabalhar o princípio de escape espaço-temporal, tornando possível a programação da época de colheita, condução de rebrota e plantio de clones de acordo com o nível de resistência à doença.

(b) Para o estudo dos impactos potenciais das mudanças climáticas globais sobre a distribuição da ferrugem do eucalipto, elaboraram-se mapas mensais das áreas de risco para ocorrência da doença, considerando as condições climáticas atuais, com base em uma série histórica de 1961 a 1990 e os cenários futuros A2 e B2, para as décadas de 2020, 2050 e 2080 disponibilizados pelo Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). As condições climáticas foram classificadas em três categorias, de acordo com o risco potencial de

ocorrência da doença, considerando a temperatura (T) e umidade relativa do ar (UR): i) alto risco ( $18 \leq T \leq 25 \text{ °C}$  e  $UR \geq 90\%$ ); ii) médio risco ( $T < 18$  ou  $T > 25 \text{ °C}$  e  $UR < 90\%$ ;  $T < 18$  ou  $T > 25 \text{ °C}$  e  $UR \geq 90\%$ ); e iii) baixo risco ( $T < 18$  ou  $T > 25 \text{ °C}$  e  $UR < 90\%$ ). Os dados sobre os cenários climáticos futuros foram fornecidos pelo GCM Change Fields. Empregou-se neste trabalho o modelo de simulação Hadley Centre for Climate Prediction and Research (HadCm3), utilizando o software Idrisi 32. Com base nos resultados obtidos observou-se que haverá redução da área favorável para ocorrência da ferrugem do eucalipto, sendo que esta redução será gradativa para as décadas de 2020, 2050 e 2080, sendo mais acentuada no cenário A2 que no B2. Entretanto, é importante ressaltar que extensas áreas ainda continuarão favoráveis ao desenvolvimento da doença, principalmente nos meses mais frios do ano, ou seja, maio a julho. Desta forma, os conhecimentos gerados neste trabalho, aliados com o desenvolvimento de modelos de previsão da doença, podem constituir ferramentas importantes no manejo integrado da ferrugem do eucalipto.

Palavras-chave: *Eucalyptus*, *Puccinia psidii*, áreas de risco, sistema de previsão e alerta, mudanças climáticas globais.

## ABSTRACT

The Rust, caused by the fungus *Puccinia psidii* Winter, is one of the most important diseases to the eucalypt host. The pathogen causes the disease in clonal minigarden and in young plants in the field, mostly in leaves and in young shoots. The favorable climatic conditions to infection of these pathogen in eucalypt include temperature between 18 to 25 °C, with periods of at least 6 hours of leaf wetness for 5 to 7 days. Considering the interaction between environment and pathogen, the present study has as objective : (a) to map risk areas for the establishment of eucalyptus rust by exploiting the principle of space-time escape and (b) evaluate the potential impacts of global climate change on the spatial distribution of areas of risk for the occurrence of eucalyptus rust. (a) For the mapping of risk areas, it was calculated the rate of infection from the average daily maximum temperature and leaf wetness, and from this generated the risk index. The data used were obtained from the meteorological database, of the Regional Aracruz and São Mateus (Espírito Santo) and Regional Teixeira de Freitas (Bahia) for the years 2001 to 2006, a total of 23 weather stations. Based on the value of the index of occurrence risk of the eucalyptus rust, were prepared maps of spatial and temporal distribution of the disease, for which it was observed that the risk index varied according to the studied area and months of the year. The months from May to November were more favorable for the occurrence of eucalyptus rust. Thus, the results obtained in this study allowed the working principle of space-time escape, making it possible to schedule the harvest season, driving regrowth and planting of clones according to the level of resistance to disease. (b) To study the potential impacts of global climate change on the distribution of eucalypt rust, were prepared monthly maps of risk areas for the occurrence of disease, considering the current climatic conditions, based on a historical series from 1961 to 1990 and future scenarios A2 and B2, for the decades 2020, 2050 and 2080 provided by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). The weather conditions were classified into three categories, according to the potential risk of disease occurrence, considering the temperature (T) and relative humidity (RH): i) high risk ( $18 \leq T \leq 25$  °C and  $UR \geq 90\%$ ); ii) medium risk ( $T < 18$  ou  $T > 25$  °C e  $UR < 90\%$ ;  $T < 18$  ou  $T > 25$  °C e  $UR \geq 90\%$ ); and iii) low risk ( $T < 18$  ou  $T > 25$  °C e  $UR <$

90%). Data about the future climate scenarios were provided by the GCM Change Fields. It was used in this work the simulation model Hadley Center for Climate Prediction and Research (HadCM3) using the Idrisi 32. Based on the results obtained observed that there will be reduction in the area favorable for the occurrence of eucalyptus rust, and this reduction will be gradual for the decades of 2020, 2050 and 2080 being more pronounced in scenario A2 than in B2. However, it is important to note that large areas still remain favorable for disease development, especially in the colder months of the year, in other words, from May to July. Thus, the knowledge generated in this work, coupled with the development of predictive models of the disease, can be important tools in the integrated management of eucalyptus rust.

Keywords: *Eucalyptus*, *Puccinia psidii*, risk areas, prevision and alert system, global climate change.

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO GERAL .....</b>	<b>13</b>
<b>CAPÍTULO 1</b>	
<b>Mapeamento de áreas de risco para ocorrência da ferrugem do eucalipto.....</b>	<b>17</b>
1. INTRODUÇÃO.....	19
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	20
3. RESULTADOS.....	24
4. DISCUSSÃO.....	31
5. CONCLUSÕES.....	33
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	35
<b>CAPÍTULO 2</b>	
<b>Impacto potencial das mudanças climáticas globais na distribuição espacial de áreas de risco para ocorrência da ferrugem do eucalipto.....</b>	<b>37</b>
1. INTRODUÇÃO.....	40
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	41
3. RESULTADOS.....	44
4. DISCUSSÃO.....	51
5. CONCLUSÕES.....	53
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	54

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil é considerado líder mundial em relação a florestas plantadas de eucalipto, tanto em nível de pesquisa, quanto de produção. As áreas de florestas plantadas de eucalipto no Brasil acumularam em 2008 o total estimado de 4.258.704 ha, representado um acréscimo de cerca de 289.000 ha plantados em relação ao total estimado do ano anterior (3.969.711 ha). Os principais estados produtores são Minas Gerais, Bahia, São Paulo, Rio Grande do Sul e Espírito Santo (ABRAF, 2009).

A ferrugem do eucalipto (*Puccinia psidii* Winter) é uma importante doença da cultura, sendo considerado como a mais grave ameaça para plantações de eucalipto no mundo inteiro, podendo causar danos às plantações comerciais em muitos países. Atualmente o patógeno ocorre na América do Sul, América Central, Flórida, Caribe e Hawaii (Coutinho et al., 1998; Booth et al. 2000; Uchida et al. 2006; Glen et al., 2007).

A doença foi relatada pela primeira vez em 1944 em mudas de *Corymbia citriodora* (Hook.) Hill & Johnson, no município de Itaguaí, Rio de Janeiro (Joffily, 1944). Em 1974, cerca de 400.000 mudas de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, procedência África do Sul, foram refugadas na costa do Espírito Santo em decorrência da doença (Ferreira, 1983). Em 1980, constatou-se uma epidemia da doença em mais de 300 hectares de *E. grandis* com seis meses de idade, na região do Vale do Rio Doce, Minas Gerais (Ferreira & Silva, 1982). Desde então, ataques esporádicos, porém severos, foram constatados em viveiros e em plantações de eucaliptos, principalmente nas regiões do Vale do Rio Doce, em Minas Gerais, no Espírito Santo, no Sul da Bahia e em São Paulo (Ferreira, 1989; Camargo et al., 1997).

A ocorrência de temperaturas médias do ar variando entre 18 e 25°C, associadas a períodos noturnos de molhamento foliar (orvalho noturno ou garoas) superiores a 6 horas por 5 a 7 dias consecutivos) e a existência de órgãos juvenis (folhas novas e terminais de crescimento) favorecem a infecção pelo patógeno (Ruiz et al., 1989). O fungo infecta folhas do estágio juvenil de plantas novas ou brotações após o corte das árvores. Além do eucalipto, o patógeno infecta várias outras espécies pertencentes às famílias *Myrtaceae* e *Heteropixidaceae* (Alfenas & Mafia, 2003;

Alfenas et al., 2004; Glen et al., 2007). Em geral quando as plantas atingem cerca de 3 metros de altura, elas se tornam escape à doença, provavelmente por causa da diminuição das condições favoráveis à infecção nas partes jovens suscetíveis (Zauza, 2007).

O aquecimento global provocado pela emissão de gases de efeito estufa é um dos maiores paradigmas científicos da atualidade (Eerola, 2003). De acordo com o IPCC, considerando os efeitos naturais e antropogênicos no ajuste dos dados observados e simulados, a previsão é a de que a temperatura global deverá aumentar entre 1,8°C e 4°C nos próximos 100 anos, tendo a média de 1990 como referência (IPCC, 2007). Com relação aos impactos das mudanças climáticas sobre as doenças de plantas, estes podem se expressar em diferentes aspectos, podendo causar efeitos diretos e indiretos tanto sobre os patógenos quanto sobre as plantas hospedeiras e a interação de ambos, principalmente na distribuição geográfica das doenças, na eficiência dos métodos de controle e nos demais organismos que interagem com a planta (Chakraborty, 2005; Ghini, 2005).

No caso de doenças de plantas, os mapas de zonas de risco, acoplados aos modelos de simulação, podem ser úteis para indicar áreas geográficas ou até mesmo, épocas do ano mais favoráveis à ocorrência de epidemias (Lopes et al., 2008). O uso do Sistema de Informações Geográficas (SIG) permite realizar análises complexas ao integrar informações de diversas fontes e criar bancos de dados georreferenciados. O geoprocessamento, atividade central do SIG, permite estudar mudanças em processos e suas interações, nas dimensões espaço-temporal, e criar documentos cartográficos de alta qualidade, com incertezas estimadas e possibilidade de estabelecer níveis de confiança (Harmon & Anderson, 2003).

Sabe-se que as condições climáticas podem influenciar o desenvolvimento e a suscetibilidade da planta hospedeira, a multiplicação e sobrevivência do patógeno, assim como a interação entre ambos (Jesus Junior et al., 2007; Vale et al., 2004). Sendo assim, este trabalho foi organizado em dois capítulos com os objetivos de: (a) mapear áreas de risco ao estabelecimento da ferrugem do eucalipto explorando o princípio de escape espaço-temporal e (b) avaliar os possíveis impactos das mudanças climáticas globais sobre a distribuição espacial das áreas de risco para ocorrência da ferrugem do eucalipto.

## 2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAF: Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas, 2009. Anuário Estatístico da ABRAF: ano base 2008, Brasília.

ALFENAS, A.C, ZAUZA, E.A.V, MAFIA, R.G, ASSIS, T.F. **Clonagem e Doenças do Eucalipto**. Editora UFV, Viçosa, 2004. 442p.

ALFENAS, A.C., MAFIA, R.G. Controle integrado de doenças em viveiros clonais e aspectos relativos à ferrugem (*Puccinia psidii*) do eucalipto. **Fitopatologia Brasileira**, v. 28, p. 156-163, 2003.

BOOTH, T.H., OLD, K.M, JOVANOVIC, T. A preliminary assessment of high risk areas for *Puccinia psidii* (Eucalyptus rust) in the Neotropics and Australia. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 82, p. 295-301, 2000.

CAMARGO, F.R.A., TAKAHASHI, S.S., FURTADO, E.L., VALLE, C.F., BONINE, C.A.V. Ocorrência e evolução da ferrugem do eucalipto em duas regiões do estado de São Paulo. **Fitopatologia Brasileira**, v. 22, p. 254, 1997.

CHAKRABORTY, S. Potential impact of climate change on plant-pathogen interactions. **Australasian Plant Pathology**, v.34, p.443-448, 2005.

COUTINHO, T.A., WINGFIELD, M.J., ALFENAS, A.C., CROUS, P.W. Eucalyptus rust: a disease with the potential for serious international implications. **Plant Disease**, v. 82, p. 819-925, 1998.

EEROLA, T.T. Mudanças climáticas globais: passado, presente e futuro. Disponível em: [http://www.helsinki.fi/hum/ibero/xaman/articulos/2004\\_01/mudancas\\_climaticas\\_globais.pdf](http://www.helsinki.fi/hum/ibero/xaman/articulos/2004_01/mudancas_climaticas_globais.pdf)>. Acesso em: 20 out. 2007.

FERREIRA, F.A. **Patologia Florestal: principais doenças florestais no Brasil**. Viçosa, MG, SIF. 1989. 570p.

FERREIRA, F.A. Ferrugem do eucalipto. **Revista Árvore**, v. 7, p. 91-109, 1983.

FERREIRA, F.A.; SILVA, A.R. Comportamento de procedências de *Eucalyptus grandis* e de *Eucalyptus saligna* a ferrugem (*Puccinia psidii*). **Fitopatologia Brasileira**, v. 7, p. 23-8, 1982.

GHINI, R. **Mudanças Climáticas Globais e Doenças de Plantas**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 104p. 2005.

GLEN, M., ALFENAS, A.C., ZAUZA, E.A.V., WINGFIELD, M.J., MOHAMMED, C. *Puccinia psidii*: a threat to the Australian environment and economy - a review. **Australasian Plant Pathology**, v. 36, p. 1-6, 2007.

HARMON, J.E.; ANDERSON, S.J. **The design and implementation of geographic information systems**. New Jersey: John Wile & Sons, 2003. 264 p.

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.; VALE, F.X.R.; MORAES, W.B.; ZAMBOLIM, L.; RAMOS, F.A., Critérios epidemiológicos para tomada de decisão no manejo de doenças de plantas. In: Jesus Junior, W.C.; Polanczyk, R.; Pratissoli, D.; Pezzopane, J.E.M.; Santiago, T. (Ed.). **Atualidades em Defesa Fitossanitária**. Editora Suprema Gráfica, Visconde do Rio Branco, 2007. p. 307-326.

JOFFILY, J. Ferrugem do eucalipto. **Bragantia**, v. 4, p. 475-487, 1944.

LOPES, M.V., BARRETO, M., SCALOPPI, E.A.G., BARBOSA, J.C., BRUNINI, O. Mapas de zonas de risco de epidemias e zoneamento agroclimático para o Cancro Cítrico no Estado de São Paulo. **Summa phytopathologica**, v. 34, p. 349-353, 2008.

RUIZ, R.A.R., ALFENAS, A.C., FERREIRA, F.A., VALE, F.X.R. Influência da temperatura, do tempo de molhamento foliar, fotoperíodo e da intensidade de luz sobre a infecção de *Puccinia psidii*, em Eucalipto. **Fitopatologia Brasileira**, v. 14, p. 55-61, 1989.

ZAUZA, E.A.V. **Epidemiologia da ferrugem do eucalipto e resistência genética**. 2007. 79 f. Tese (Doutorado em Fitopatologia). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

VALE, F.X.R.; JESUS JUNIOR, W.C.; ZAMBOLIM, L. **Epidemiologia Aplicada ao Manejo de Doenças de Plantas**. Editora Perfill, Belo Horizonte, 2004. 532p.

UCHIDA, J., ZHONG, S., KILLGORE, E. First report of a rust disease on Ohia caused by *Puccinia psidii* in Hawaii. **Plant Disease**, v. 90, p. 524, 2006.

## CAPÍTULO 1

### Mapeamento de áreas de risco para ocorrência da ferrugem do eucalipto

#### RESUMO

A ferrugem do eucalipto, causada pelo fungo *Puccinia psidii* Winter, é uma das doenças mais importantes para a eucaliptocultura. O patógeno causa doença principalmente em folhas, hastes e em brotações jovens, sob condições de molhamento foliar acima de 6 horas por 5 a 7 dias consecutivos e temperatura na faixa de 18 a 25°C, sendo ótimo 23°C. Considerando a influência das condições climáticas no ciclo de vida do patógeno, o plantio de eucalipto em épocas e em locais desfavoráveis à ocorrência e desenvolvimento do patógeno é uma das possíveis estratégias de manejo integrado da doença. O presente trabalho objetivou mapear áreas de risco de ocorrência para a ferrugem do eucalipto. Para tanto, foi calculado o índice de infecção (II), a partir da média diária da temperatura máxima (T) e da duração do período de molhamento foliar (H), conforme o modelo  $II = -32,263 + 3,699 T + 0,461 H - 0,0018 TH - 0,0903 T^2 - 0,0068 H^2$ . Os dados utilizados foram obtidos do banco de dados meteorológicos, das Regionais Aracruz e São Mateus (Espírito Santo) e da Regional Teixeira de Freitas (Bahia), referentes aos anos de 2001 a 2006, totalizando 23 estações meteorológicas. A partir do índice de infecção, realizou-se o cálculo de um fator de correção, definido como a razão entre o valor 100 e o maior valor interpolado do índice de infecção, para classificar os valores obtidos dentro de uma escala de 0 e 100 pontos de risco, gerando o índice de risco. Com base no valor do índice de risco, elaboraram-se mapas de distribuição espaço-temporal da ocorrência da doença, utilizando o software ArcGis 9.2™. De acordo com os resultados obtidos concluiu-se que os meses de maio a novembro são os mais favoráveis para ocorrência da doença. A metodologia adotada mostrou-se eficiente para o mapeamento do risco de ocorrência da ferrugem do eucalipto, considerando a distribuição espaço-temporal. Desta forma, o mapeamento das áreas e épocas de maior risco de ocorrência, torna-se uma importante ferramenta para tomadas de decisão no manejo integrado da ferrugem do eucalipto.

**Palavras-chaves:** *Eucalyptus*, *Puccinia psidii*, áreas de risco, manejo integrado.

## Mapping of risk areas for the occurrence of eucalyptus rust

### ABSTRACT

Eucalyptus rust caused by *Puccinia psidii* Winter, is one of the most important diseases of Eucalyptus. The pathogen causes disease mainly in leaves, stems and young shoots, under conditions of leaf wetness up to 6 hours for 5 to 7 consecutive days and temperatures from 18 to 25 ° C, with optimum 23 ° C. Considering the influence of climatic conditions in the life cycle of the pathogen, the planting of eucalyptus in times and places unfavorable to the occurrence and development of the pathogen is one of the possible strategies for integrated disease management. This study aimed to map risk areas for the occurrence of eucalyptus rust. Therefore, was calculated the rate of infection (II) from the average daily maximum temperature (T) and duration of leaf wetness (H) as the model  $II = -32.263 + 3.699 T + 0.461 H - TH - 0.0018 T^2 - 0.0903 H^2 - 0.0068 TH$ . The data used were obtained from the meteorological database, of the Regional Aracruz and São Mateus (Espírito Santo) and Regional Teixeira de Freitas (Bahia) for the years 2001 to 2006, a total of 23 weather stations. From the rate of infection was carried out to calculate a correction factor, defined as the ratio between the value 100 and the highest interpolated value of infection rate, to classify the values within a range from 0 to 100 points risk, generating the risk index. Based on the value of risk index, drawn up maps of spatial and temporal distribution of disease occurrence, using the software ArcGIS 9.2™. According to the results it is concluded that the months from May to November are the most favorable for the occurrence of the disease. The adopted methodology was efficient for the mapping of the risk of eucalyptus rust, considering the spatial and temporal distribution. Thus, the mapping of areas and periods of greater risk, becomes an important tool for decision making in the integrated management of eucalyptus rust.

Keywords: *Eucalyptus*, *Puccinia psidii*, risk areas, integrated management

## 1. INTRODUÇÃO

No Brasil, as áreas ocupadas com plantios de eucalipto são de aproximadamente 4,2 milhões de hectares, sendo os principais estados produtores Minas Gerais, Bahia, São Paulo, Rio Grande do Sul e Espírito Santo (ABRAF, 2009). Em função das condições edafo-climáticas e do nível tecnológico adotado, o setor florestal brasileiro é um dos mais competitivos do mundo.

Atualmente, as principais doenças do eucalipto são eficientemente controladas pela seleção e pelo plantio de clones de eucalipto resistentes, o que somado ao mapeamento de áreas de risco para ocorrência de doenças de planta, garantem a proteção florestal quanto ao controle de doenças (Mafia, 2008). A ferrugem do eucalipto, causada pelo fungo *Puccinia psidii* Winter, é uma importante doença da cultura, em função dos danos causados e da sua influência sobre o manejo da cultura, podendo afetar, inclusive, a condução de brotação em épocas favoráveis para ocorrência da doença, considerando clones suscetíveis. A predominância de temperaturas do ar, variando entre 18 e 25 °C, associada a períodos com molhamento foliar superiores a 6 horas por 5 a 7 dias consecutivos, bem como a existência de órgãos juvenis, incluindo folhas novas e terminais de crescimento, favorecem as infecções pelo patógeno (Ruiz et al., 1989). O fungo infecta folhas do estágio juvenil de plantas novas ou brotações após o corte das árvores. Além do eucalipto, o patógeno também causa doença em várias outras espécies, pertencentes às famílias *Myrtaceae* e *Heteropixidaceae* (Coutinho et al., 1998; Alfenas & Mafia, 2003; Alfenas et al., 2004; Glen et al., 2007).

O desenvolvimento de doenças em plantas está fortemente ligado ao conhecimento de fatores relacionados ao patógeno, ao hospedeiro e ao ambiente. Cada um desses fatores exerce papel fundamental no desenvolvimento de epidemias e deve ser estudado em particular para o entendimento dos mecanismos que afetam a doença. Entretanto, o ambiente exerce papel preponderante sobre os demais, uma vez que também os influencia. Sabe-se que as condições climáticas podem afetar o desenvolvimento e a suscetibilidade da planta hospedeira, a multiplicação e sobrevivência do patógeno, assim como a interação entre ambos (Jesus Junior et al., 2007; Vale et al., 2004). Sendo assim, o zoneamento de áreas de risco ao

estabelecimento de doenças permite explorar o princípio de escape (Agrios, 2005), sendo possível definir o risco de ocorrência de uma determinada doença em uma região (Vale et al., 2004).

A partir de séries históricas de dados climáticos, obtidos de redes de estações meteorológicas, podem-se elaborar mapas de zonas de risco de epidemias. No caso de doenças de plantas, os mapas de zonas de risco, acoplados aos modelos de simulação, podem ser úteis para indicar áreas geográficas ou até mesmo, épocas do ano mais favoráveis à ocorrência de epidemias (Lopes et al., 2008). O uso do Sistema de Informações Geográficas (SIG) permite realizar análises complexas ao integrar informações de diversas fontes e criar bancos de dados georreferenciados. O geoprocessamento, atividade central do SIG, permite estudar mudanças em processos e suas interações, nas dimensões espaço-temporal, e criar documentos cartográficos de alta qualidade, com incertezas estimadas e possibilidade de estabelecer níveis de confiança (Harmon & Anderson, 2003).

O zoneamento de áreas de risco para ocorrência da ferrugem do eucalipto é um importante passo para o estabelecimento de um plano de manejo integrado para esta doença. Sendo assim, o presente trabalho objetivou mapear áreas de risco de ocorrência da ferrugem do eucalipto, considerando as condições climáticas ideais para o patógeno e o emprego de ferramentas do SIG.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Caracterização das áreas de estudo**

Foram escolhidas três regionais para o mapeamento de risco da ocorrência da ferrugem do eucalipto, com base em avaliações qualitativas sobre ocorrência da

doença (Booth et al., 2000a), a saber: Aracruz e São Mateus no Estado do Espírito Santo e Teixeira de Freitas no Estado da Bahia.

Foram utilizados dados climáticos provenientes de 23 estações meteorológicas (Figura 1), sob responsabilidade da Aracruz Celulose S.A., distribuídas nas Regionais Aracruz (9 estações, abrangendo 176.688,36 ha), São Mateus (8 estações, abrangendo 700.482,78 ha) e Teixeira de Freitas (9 estações, abrangendo 1.033.226,91 ha), referentes ao período compreendido entre os anos de 2001 e 2006.



Fonte: Aracruz Celulose S.A.

**Figura 1** – Localização das estações meteorológicas localizadas nas três regionais de estudo. Cada ponto representa a posição de uma estação meteorológica.

## 2.2 Dados climáticos

Para avaliar a influência dos fatores climáticos sobre a ocorrência da ferrugem do eucalipto foram utilizados dados meteorológicos registrados em 23 estações meteorológicas automatizadas. Os dados climáticos foram coletados em valores horários, os quais foram convertidos em médias diárias e posteriormente em médias mensais. As variáveis climáticas obtidas foram temperatura máxima, temperatura média, temperatura mínima, precipitação e umidade relativa do ar, durante o período de 2001 a 2006. Para o cálculo da duração do período de molhamento foliar total (DPMFT) e duração do período de molhamento foliar contínuo (DPFMC), considerou a média do número de horas por dia para cada mês com umidade relativa do ar igual ou superior a 90%.

## 2.3 Cálculo do índice de infecção

O cálculo do índice de infecção (II) foi realizado a partir dos dados meteorológicos horários que foram convertidos em médias diárias e posteriormente em médias mensais de temperatura máxima (T) e de duração do período de molhamento foliar total (H), onde H é a soma das horas do dia com umidade relativa superior a 90%.

Para realizar o cálculo do índice de infecção foi utilizado o modelo proposto por RUIZ et al. (1989), sendo  $II = -32,263 + 3,699 T + 0,461 H - 0,0018 TH - 0,0903 T^2 - 0,0068 H^2$  ( $R^2 = 0,77$ ), onde T é a média da temperatura máxima (°C) e H é a duração média diária mensal do molhamento foliar (horas).

## 2.4 Elaboração dos mapas de risco

A partir dos cálculos do índice de infecção, com base na equação descrita por RUIZ et al. (1989), elaboraram-se os mapas de distribuição espaço-temporal do risco de ocorrência da ferrugem do eucalipto para as três regiões estudadas.

Os índices de infecção foram gerados para as respectivas estações meteorológicas. Posteriormente, com o auxílio do software ArcGis 9.2™ estabeleceu-se uma relação entre o posicionamento geográfico das estações e os respectivos índices calculados, permitindo a disponibilização dos índices em uma base de dados geográficos. Após esta etapa, realizou-se a interpolação dos dados, com a geração de "layers" com auxílio da extensão Spatial Analyst do ArcGis 9.2™.

A interpolação "Spline" foi empregada para suavizar as estimativas dos índices de infecção e o método "Tension", com peso 5, para manter os valores interpolados mais próximos dos valores de índice de infecção calculados para as diferentes estações meteorológicas, evitando distorções nas estimativas. O número de pontos empregados para executar as interpolações em cada célula do "raster" foi o total de pontos amostrados, ou seja, o número total de estações meteorológicas. A resolução empregada foi de 30 x 30 m.

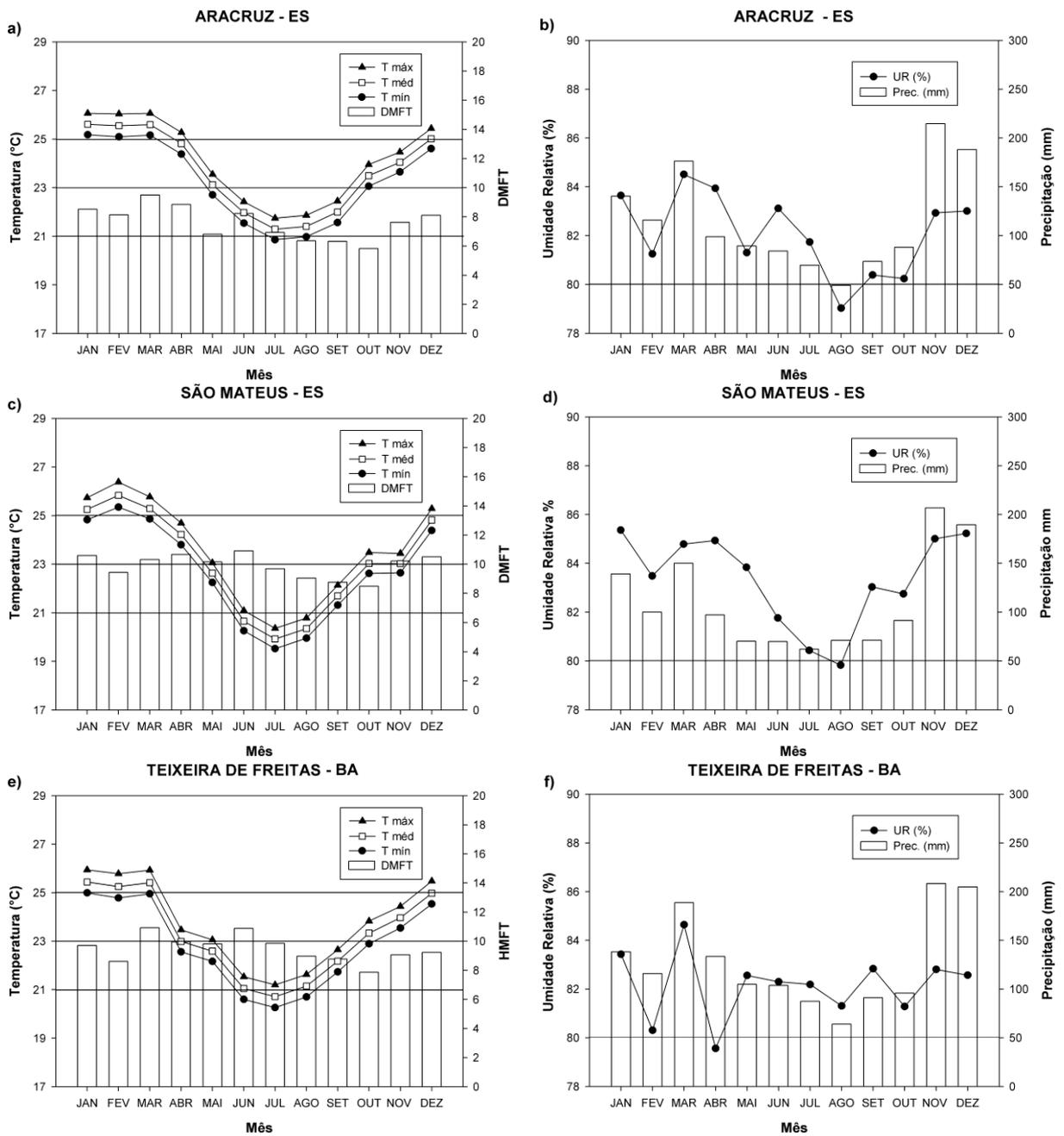
Após a espacialização dos índices de infecção, os "layers" obtidos foram corrigidos somando-se aos dados interpolados o módulo do menor valor obtido, de forma a corrigir os índices de infecção para valores positivos, pois a equação do II gerou valores de menos infinito a mais infinito, dependendo das condições climáticas favoráveis a ocorrência da doença. Posteriormente, para classificar os valores obtidos dentro de uma escala de 0 e 100 pontos de risco, realizou-se o cálculo de um fator de correção (FC), definido como a razão entre o valor 100 e o maior valor interpolado do índice de infecção.

Após esta etapa, multiplicou-se o fator de correção pelos "layers" das três localidades estudadas, com auxílio da extensão Spatial Analyst do ArcGis 9.2™, obtendo os mapas finais das áreas de risco.

### 3. RESULTADOS

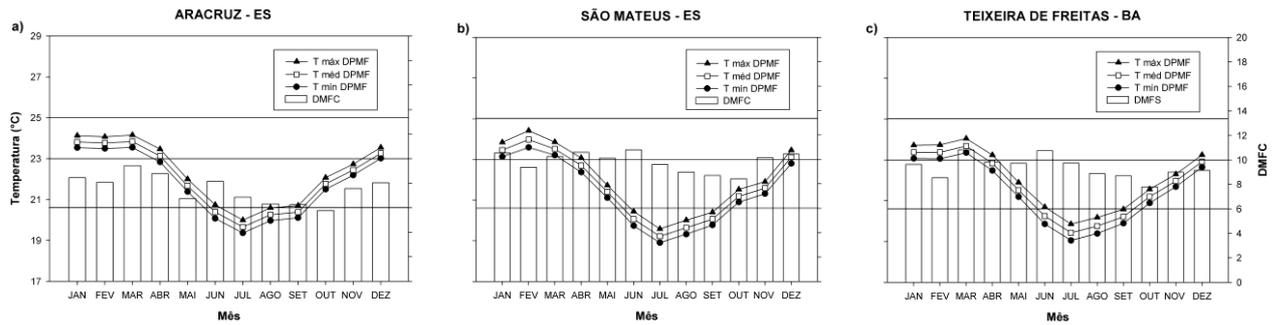
Embora as Regionais Aracruz e São Mateus no Espírito Santo e Teixeira de Freitas na Bahia apresentem semelhanças em relação ao clima, todavia algumas diferenças foram observadas (Figura 2). As temperaturas médias da máxima, média e mínima e da duração do período de molhamento foliar total de todas as estações meteorológicas de cada área em estudo, podem ser observadas nas figuras 2a, 2c e 2e, assim como as médias de umidade relativa e precipitação (Figuras 2b, 2d e 2e). As três Regionais em estudo apresentaram duração do período de molhamento foliar total superior a 6 horas (Figuras 2a, 2c e 2e).

A Regional Aracruz apresentou um maior número de meses com média de valores de temperatura máxima, média e mínima próximos a 23°C (Figuras 2a), os quais são considerados ótimos para o desenvolvimento da doença (Ruiz et al., 1989), ao passo que para as Regionais São Mateus e Teixeira de Freitas apresentaram um menor número de meses (Figura 2c e 2e). No que diz respeito à distribuição temporal da ferrugem do eucalipto, verificou-se que os meses de maio a novembro apresentaram melhores condições climáticas para ocorrência da doença, com temperaturas em torno de 18 a 25°C, enquanto que os meses de dezembro a abril apresentaram médias de temperatura superiores a 25°C, as quais são consideradas desfavoráveis à ocorrência da doença.



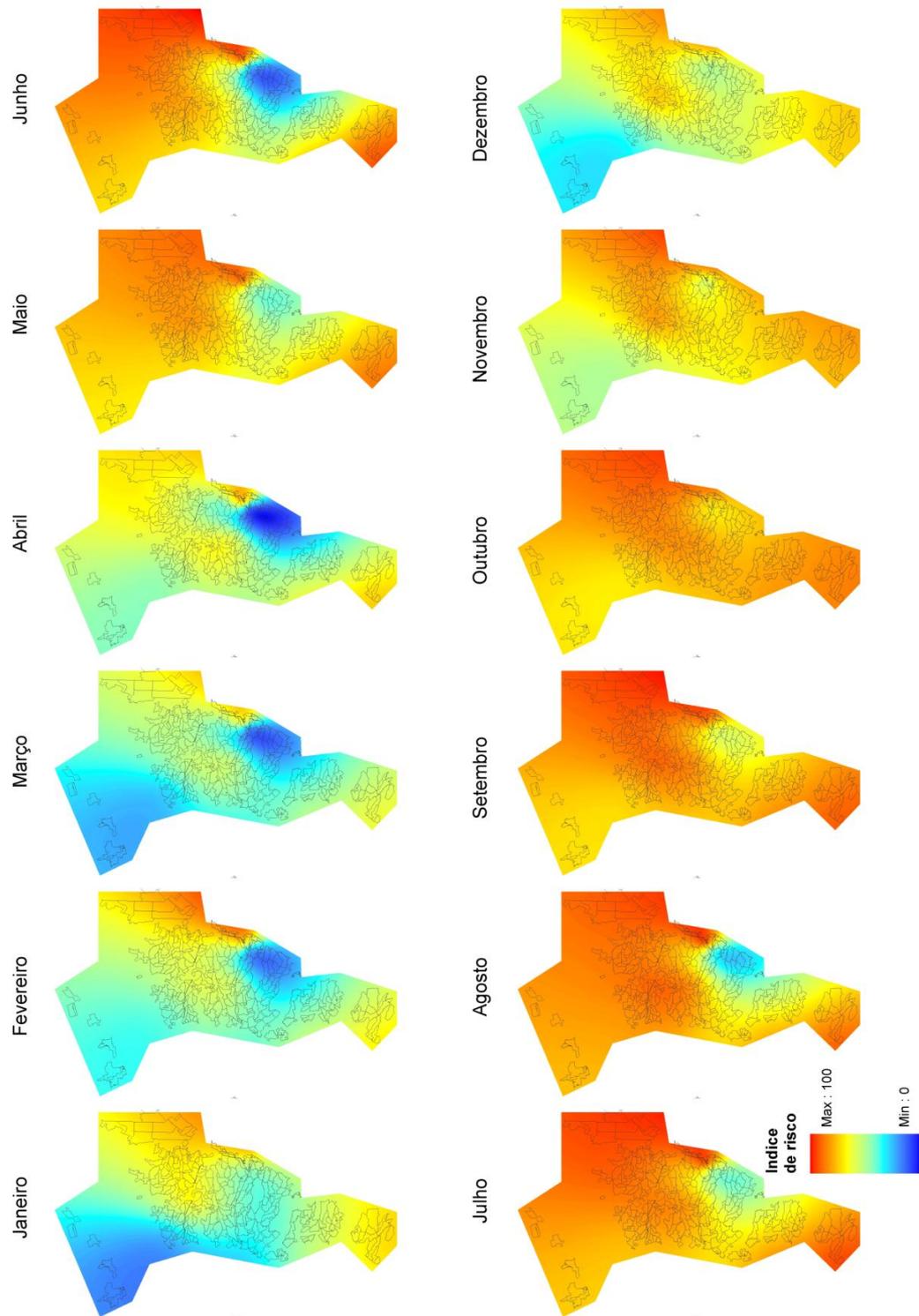
**Figura 2** - Temperaturas médias máxima (T máx), média (T méd) e mínima (T mín) e da duração do período de molhamento foliar total (DPMFT), umidade relativa (UR) e precipitação (Prec.), para as Regionais em estudo.

Em relação ao período de molhamento foliar contínuo, observou-se horas de molhamento foliar superiores a 6 horas, com temperaturas entre 19 a 25 °C, para as três Regionais em estudo (Figura 3a, 3b e 3c).

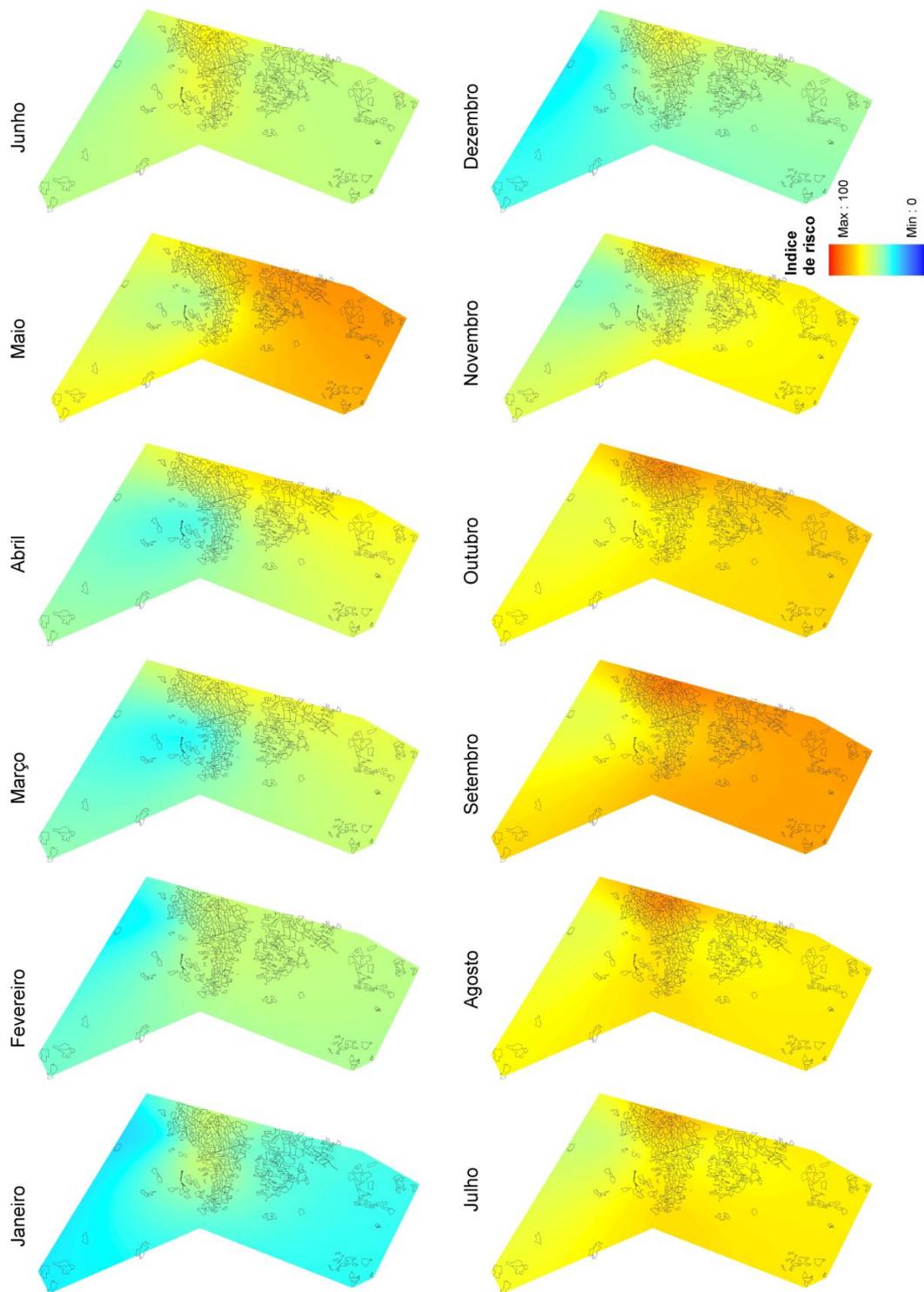


**Figura 3** - Temperaturas médias máxima (T máx), média (T méd) e mínima (T mín) e do número de horas de molhamento foliar contínuo (DPMFC) de todas as estações meteorológicas de cada Regional em estudo, durante o período de molhamento foliar contínuo.

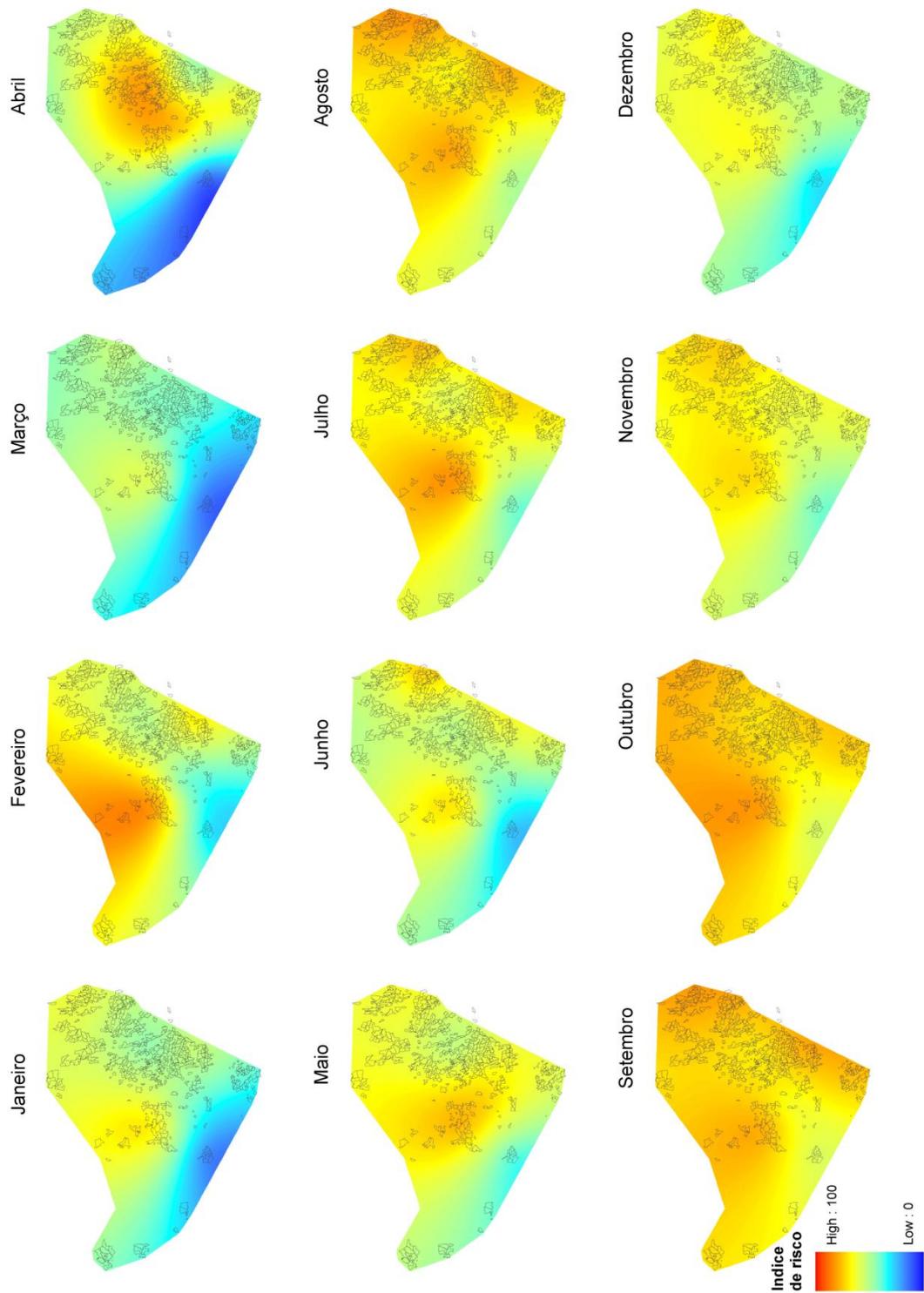
Com base nos resultados da distribuição espaço-temporal da doença para as três Regionais estudadas (Figuras 4, 5 e 6), verificou-se que os meses de maio a novembro apresentaram maior favorabilidade para ocorrência da doença, com porcentagem média geral de 70,24, enquanto que para os meses de dezembro a abril a porcentagem média geral foi de 51,79. O mês de abril apresentou uma faixa de transição da época desfavorável para a época favorável, dado que houve redução nos valores de temperatura, ao passo que, o mês de novembro apresentou uma faixa de transição da época favorável para a época desfavorável a ocorrência da ferrugem do eucalipto, uma vez que houve um aumento da temperatura (Figuras 2a, 2c e 2e).



**Figura 4** - Distribuição espaço-temporal das áreas de risco de ocorrência da ferrugem do eucalipto para Regional Aracruz-ES.



**Figura 5** - Distribuição espaço-temporal das áreas de risco de ocorrência da ferrugem do eucalipto para Regional São Mateus-ES.



**Figura 6** - Distribuição espaço-temporal das áreas de risco de ocorrência da ferrugem do eucalipto para a Regional Teixeira de Freitas-BA.

De forma geral, observou-se maior favorabilidade de ocorrência da doença na Regional Aracruz. Para esta Regional, a porcentagem dos valores dos índices de risco médio da doença foi de 68,8 (Tabela 1), fato que pode ser explicado pelos altos valores de duração do período de molhamento foliar (superior a 6 horas) e temperaturas máximas próximas a 23 °C, nos meses de maio a novembro, os quais são os mais favoráveis a ocorrência da doença (Figuras 2a e 3a). Vale ressaltar que apesar da maior favorabilidade nessa Regional, algumas áreas podem ser consideradas de escape à doença, com temperaturas superiores a 25°C. Para a Regional São Mateus verificou-se menor índice de risco à ferrugem com porcentagem dos valores dos índices de risco médio de 58,9 (Tabela 1), havendo neste local maior homogeneidade quanto à favorabilidade de ocorrência da doença ao longo do ano (Figura 5). A menor favorabilidade nessa Regional provavelmente pode ser explicada pela ocorrência de poucos meses com temperaturas próximo de 23°C (Figura 2c). Em Teixeira de Freitas, a porcentagem dos valores dos índices de risco médio de foi de 60,33, apesar de apresentar um valor médio de risco\*, foram detectadas tanto áreas com índices de risco da doença próximos a 0 (áreas consideradas escape) quanto a 100%. Tal diferença provavelmente ocorreu em função da localização das áreas dentro da Regional, uma vez que se têm áreas próximas ao litoral e outras mais no interior (Figura 6). Para Aracruz e Teixeira de Freitas, o maior valor médio de risco calculado foi de 83% e 74%, respectivamente, para o mês de setembro, enquanto para São Mateus, o maior valor observado foi 73% para o mês de outubro (Tabela 1).

**Tabela 1** - Índice de risco médio de ocorrência da ferrugem do eucalipto em função da época do ano e do local estudado.

Meses	Índice de Risco (%)*		
	Aracruz	São Mateus	Teixeira de Freitas
JAN	55,34	38,22	49,26
FEV	56,87	51,82	56,77
MAR	48,45	47,04	40,85
ABR	57,18	51,28	56,84
MAI	77,47	62,73	62,15
JUN	73,17	58,59	54,82
JUL	81,72	67,66	66,50
AGO	80,68	71,45	71,55
SET	83,03	74,22	72,79
OUT	79,45	71,37	73,00
NOV	70,19	59,09	63,40
DEZ	61,81	49,11	55,96
<b>MÉDIA</b>	<b>68,78</b>	<b>58,87</b>	<b>60,33</b>

\*Índice de risco  $\leq 55$  = baixo, 56 a 70 = médio e  $\geq 70$  = alto.

#### 4. DISCUSSÃO

Os maiores índices de risco para a distribuição temporal da ferrugem do eucalipto foram encontrados para os meses de maio a novembro, principalmente pelo fato da temperatura permanecer na faixa de 19 a 25 °C, com duração do período de molhamento foliar sempre superior a 6 horas, sendo essas são condições favoráveis à ocorrência da doença (Ruiz et al., 1989). CARVALHO et al. (1994) em observações realizadas a campo para Teixeira de Freitas/BA durante o período de 1987 a 1989, concluiu que para os anos em estudos, os meses de março a novembro apresentaram maior incidência da doença. Da mesma forma, SANTOS (2007) para a região de Luiz Antônio/SP durante o período 2001 a 2004, concluiu que os meses com maior incidência da doença foram de maio a dezembro, principalmente pelas condições de alta umidade relativa e temperatura na faixa de 15 a 25°C.

Para as áreas em estudo a duração do período de molhamento foliar não foi limitante para ocorrência da doença. A Regional Aracruz apresentou o maior número de meses favoráveis com temperaturas próximas a 23°C, considerada ótimo pelo modelo proposto por RUIZ et al. (1989) para o presente patossistema. Este pode explicar a diferença nos valores do índice de risco entre as Regionais em estudo, uma vez que, as Regionais São Mateus e Teixeira de Freitas apresentaram um menor número de meses favoráveis com temperaturas próximas a 23°C. Desta forma para este estudo, o modelo apresentou-se muito útil para a avaliação temporal, porém com algumas limitações para a avaliação espacial em condições de campo.

Considerando as diferenças dos valores do índice de risco dentro de cada área em estudo, observa-se que a localização de cada estação meteorológica demonstra as diferenças climáticas em cada ponto de coleta dos dados, o que pode ser utilizado para explicar as áreas de escape e de maior favorabilidade em um mesmo mês. A densidade de estações meteorológicas e a distância entre elas para cada área, provavelmente influenciou nas interpolações, pois valores da mesma classe podem ter sido atribuídos a grandes extensões, fato que pode ser observado para a Regional São Mateus, sendo resultado semelhante encontrado por SILVA et al. (2007) para o mal das folhas da seringueira.

As três Regionais em estudo possuem grandes áreas com plantios de eucalipto. Com base nos mapas de risco observam-se para essas Regionais áreas livres ou com baixo índice de risco de ocorrência da doença. As áreas de escape à ferrugem do eucalipto para a Regional Aracruz situam-se na região sudeste, ao passo que para São Mateus são encontradas na região central tendendo para o norte e para Teixeira de Freitas observa áreas bem definidas na região sudoeste. Para estas áreas é recomendado o plantio de clones moderadamente suscetíveis, assim como para as áreas de maior favorabilidade o plantio de clones resistentes ou tolerantes. De forma geral, o plantio e a condução de rebrotas devem ser realizados nessas Regionais de agosto a outubro, de modo a evitar condições do hospedeiro (folhas, hastes e brotações jovens) que são favoráveis a infecção do patógeno (Coutinho et al., 1998; Alfenas & Mafia, 2003; Alfenas et al., 2004; Glen et al., 2007) nas épocas mais favoráveis a ocorrência da doença.

Estudos sobre o mapeamento climático mencionam a importância de identificar áreas de alto risco de ocorrência para várias doenças, principalmente no que se diz respeito à introdução de doenças quarentenárias e ao plantio de hospedeiros suscetíveis e moderadamente suscetíveis (Booth et al., 2000 a, Booth et al., 2000 b, Paul et al., 2004, Staden et al., 2004). Grande parte destes estudos utiliza a base de dados do programa CLIMEX e avaliações qualitativas, que é uma alternativa viável para patossistemas que não possuam um modelo específico desenvolvido, porém o uso de modelo específico para patossistemas tem se mostrado mais recomendado (Silva, 2007).

O presente trabalho é pioneiro na utilização do SIG para interpolação e mapeamento de áreas favoráveis à ocorrência da ferrugem do eucalipto, com base no modelo proposto por RUIZ et al. (1989). A técnica de geoprocessamento possibilita análises complexas ao integrar informações de diversas fontes, permitindo estudar a dinâmica espaço-temporal de epidemias de doenças de plantas, o que facilitará as tomadas de decisões, permitindo o plantio e o manejo da cultura, explorando áreas e épocas escapes para ferrugem do eucalipto.

## **5. CONCLUSÕES**

O índice de risco de ocorrência de ferrugem variou em função da área estudada e dos meses do ano. De forma geral, os meses de maio a novembro apresentaram maior favorabilidade para ocorrência da doença nas áreas estudadas;

A Regional Aracruz apresentou maiores valores médios de índices de risco de ocorrência da doença, ao passo que São Mateus e Teixeira de Freitas tiveram índices semelhantes;

As informações contidas nos resultados deste trabalho permitem avaliar de forma espaço-temporal, as áreas e meses ideais para a programação de época de colheita, condução de rebrota e plantio de clones de eucalipto considerando o nível de resistência para esta doença;

A metodologia adotada para o mapeamento do risco de ocorrência da ferrugem do eucalipto, considerando a distribuição espaço-temporal pode ser utilizada em estudos futuros para outras áreas, como uma ferramenta valiosa para tomadas de decisão, o que pode contribuir para um melhor planejamento e manejo da cultura do eucalipto.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAF: Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas, 2009. Anuário Estatístico da ABRAF: ano base 2008, Brasília.
- AGRIOS, G. N. **Plant Pathology**. 6 ed. San Diego: Academic Press, 2005. p. 489-498.
- ALFENAS, A. C, ZAUZA, E. A. V, MAFIA, R. G, ASSIS, T. F. **Clonagem e Doenças do Eucalipto**. Editora UFV, Viçosa, 2004. 442p.
- ALFENAS, A.C., MAFIA, R.G. Controle integrado de doenças em viveiros clonais e aspectos relativos à ferrugem (*Puccinia psidii*) do eucalipto. **Fitopatologia Brasileira**, v. 28, p. 156-163, 2003.
- BOOTH, T.H., OLD, K.M, JOVANOVIĆ, T. A preliminary assessment of high risk areas for *Puccinia psidii* (Eucalyptus rust) in the Neotropics and Australia. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 82, p. 295-301, 2000a.
- BOOTH, T.H., JOVANOVIĆ, T., OLD, K.M., DUDZUNSKI, M.J. Climatic mapping to identify high-risk areas for *Cylindrocladium quinqueseptatum* leaf blight on eucalyptus in mainland South East Asia and around the world. **Environment Pollution**, v. 108, p. 365–372, 2000b.
- CARVALHO, A.O., ALFENAS, A.C., MAFFIA, L.A., CARMO, M.G.F. Avaliação do progresso da ferrugem (*Puccinia psidii*) em brotações de *Eucalyptus cloeziana* no sudeste da Bahia de 1987 a 1989. **Revista Árvore**, v. 18, p. 265-274, 1994.
- COUTINHO, T.A., WINGFIELD, M.J., ALFENAS, A.C., CROUS, P.W. Eucalyptus rust: a disease with the potential for serious international implications. **Plant Disease**, v. 82, p. 819-925, 1998.
- GLEN, M., ALFENAS, A.C., ZAUZA, E.A.V., WINGFIELD, M.J., MOHAMMED, C. *Puccinia psidii*: a threat to the Australian environment and economy - a review. **Australasian Plant Pathology**, v. 36, p. 1-6, 2007.
- HARMON, J.E.; ANDERSON, S.J. **The design and implementation of geographic information systems**. New Jersey: John Wile & Sons, 2003. 264 p.
- JESUS JUNIOR, W.C.; VALE, F.X.R.; MORAES, W.B.; ZAMBOLIM, L.; RAMOS, F.A.. Critérios epidemiológicos para tomada de decisão no manejo de doenças de plantas. In: Jesus Junior, W.C.; Polanczyk, R.; Pratisoli, D.; Pezzopane, J.E.M.; Santiago, T. (Ed.). **Atualidades em Defesa Fitossanitária**. Visconde do Rio Branco: Suprema Gráfica e Editora, 2007. p.307-326.
- JOFFILY, J. Ferrugem do eucalipto. **Bragantia**, v. 4, p. 475-487, 1944.
- LOPES, M.V., BARRETO, M., SCALOPPI, E.A.G., BARBOSA, J.C., BRUNINI, O. Mapas de zonas de risco de epidemias e zoneamento agroclimático para o Cancro

Cítrico no Estado de São Paulo. **Summa phytopathologica**, v. 34, p. 349-353, 2008.

MAFIA, R.G. Manejo integrado de doenças: um bom exemplo florestal. In.: I ENCONTRO BRASILEIRO DE SILVICULTURA. 1, 2008, Curitiba. **Anais...** Curitiba: SBS, 2008. p. 163-182.

PAUL, I., JAARVELD, A.S.V., KORSTENC, L., HATTINGH,V. The potential global geographical distribution of Citrus Black Spot caused by *Guignardia citricarpa* (Kiely): likelihood of disease establishment in the European Union. **Crop Protection**, v. 24, p. 297–308, 2005.

RUIZ, R.A.R., ALFENAS, A.C., FERREIRA, F.A., VALE, F.X.R. DO. Influência da temperatura, do tempo de molhamento foliar, fotoperíodo e da intensidade de luz sobre a infecção de *Puccinia psidii* em eucalipto. **Fitopatologia Brasileira**, v. 14, p. 55-61, 1989.

SANTOS, C.A.G. **Estudos epidemiológicos da ferrugem do eucalipto causado por *Puccinia psidii* em plantios irrigados**. 2006. 75 f. Dissertação (Mestrado em Proteção de Plantas), Programa de Pós-Graduação em Proteção de Plantas, Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP, Botucatu, 2006.

SILVA, L.G.C. **Zoneamento do risco de ocorrência do mal das folhas da seringueira com base em sistemas de informações geográficas**. 2007. 46 f. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia), Programa de Pós-Graduação em Fitopatologia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.

STADEN, V.V., ERASMUS, B.F.N., ROUX, J., WINGFIELD, M.J., JAARSVEL, A.S.V. Modelling the spatial distribution of two important South African plantation forestry pathogens. **Forest Ecology and Management**, v. 187, p. 61–73, 2004.

VALE, F.X.R.; JESUS JUNIOR, W.C.; ZAMBOLIM, L. **Epidemiologia Aplicada ao Manejo de Doenças de Plantas**. Belo Horizonte: Perfill Editora, 2004, 532p.

## Capítulo 2

### Impacto potencial das mudanças climáticas globais na distribuição espacial de áreas de risco para ocorrência da ferrugem do eucalipto no Brasil

#### RESUMO

A ferrugem, causada pelo fungo *Puccinia psidii*, constitui em uma das principais doenças do eucalipto no Brasil. O patógeno causa doença em minijardim clonal e em plantas novas no campo, principalmente em folhas e em brotações juvenis. As condições climáticas favoráveis para infecção deste patógeno em eucalipto incluem temperatura entre 18 a 25 °C, com períodos de pelo menos 6 horas de molhamento foliar, por 5 a 7 dias consecutivos. Considerando a interação entre ambiente e patógeno, o presente trabalho objetivou avaliar o impacto potencial das mudanças climáticas globais sobre a distribuição espacial de áreas de risco para ocorrência da ferrugem do eucalipto, no Brasil. Para isso, elaboraram-se mapas mensais das áreas de risco para ocorrência da doença, considerando as condições climáticas atuais, com base em uma série histórica entre 1961 e 1990 e, os cenários futuros A2 e B2, previstos pelo IPCC. As condições climáticas foram classificadas em três categorias, de acordo com o risco potencial de ocorrência da doença, considerando a temperatura (T) e umidade relativa do ar (UR): i) alto risco ( $18 \leq T \leq 25$  °C e  $UR \geq 90\%$ ); ii) médio risco ( $T < 18$  ou  $T > 25$  °C e  $UR < 90\%$ ;  $T < 18$  ou  $T > 25$  °C e  $UR \geq 90\%$ ); e iii) baixo risco ( $T < 18$  ou  $T > 25$  °C e  $UR < 90\%$ ). Os dados sobre os cenários climáticos futuros foram fornecidos pelo GCM Change Fields. Empregou-se neste trabalho o modelo de simulação Hadley Centre for Climate Prediction and Research (HadCm3), utilizando o software Idrisi 32. Com base nos resultados obtidos foi possível concluir que haverá redução da área favorável para ocorrência da ferrugem do eucalipto, sendo que esta redução será gradativa para as décadas de 2020, 2050 e 2080, sendo mais acentuada no cenário A2 que no B2. Entretanto, é importante ressaltar que extensas áreas ainda continuarão favoráveis ao desenvolvimento da doença, principalmente nos meses mais frios do ano, ou seja, junho e julho. Sendo assim, o zoneamento das áreas e épocas de maior risco de ocorrência, considerando as mudanças climáticas globais, tornam-se importantes

conhecimentos para elaboração de modelos de previsão e de alerta para o manejo integrado da doença.

**Palavras-chaves:** *Eucalyptus*, *Puccinia psidii*, sistema de previsão e alerta, mudanças climáticas globais.

## Potential impact of the climate change on the spatial distribution of the risk areas to eucalyptus rust in Brazil

### ABSTRACT

The rust, caused by *Puccinia psidii*, is the most important disease of the eucalyptus in Brazil. This disease is observed in mini-clonal hedge and eucalyptus younger plants in the field, mainly under juveniles leaves and shoots. The most favorable climate infection of this pathogen in eucalypt to this disease include temperature from 18 to 25 °, and high leaf wetness time, at least 6 hours of leaf wetness for 5 to 7 consecutive days. Despite of the environmental and pathogen interaction, this work aimed to evaluated the potential impact of the global climate change on the spatial areas of risk to occur rust distribution in the Brazil. Maps were drawn every month considering the current climate based on a series between 1961 and 1990 and global climate change in according with IPCC scenarios A2 and B2. The climates conditions were classified in three categories, according with the potential risk, considering temperature (T) and air relative humidity (RH): i) high risk ( $18 \leq T \leq 25$  °C and  $RH \geq 90\%$ ); ii) middle risk ( $T < 18$  ou  $T > 25$  °C and  $RH < 90\%$  or  $T < 18$  ou  $T > 25$  °C and  $RH \geq 90\%$ ); and iii) low risk ( $T < 18$  ou  $T > 25$  °C e  $RH < 90\%$ ). The data about the future sceneries was supplied by GCM Change Fields. This work used the simulation model Hadley Centers for Climate Prediction and Research (HadCm3), using the software Idrisi 32. The results showed that there will be reduction of the favorable area to the eucalyptus rust, and the reduction will be gradual for the decades of 2020, 2050 and 2080 and in a more accentuated way in the scenery A2 than B2. However, it is important to point out that extensive areas will still favorable to the disease development, mainly in the more cool months. The knowledge of the critical zones and periods are important to integral disease management, considering prevision and alert models to rust disease.

**Key-words:** *Eucalyptus*, *Puccinia psidii*, prevision and alert system, global climate change.

## 1. INTRODUÇÃO

O setor florestal brasileiro encontra-se em franco crescimento, que pode ser evidenciado pelo aumento do potencial fabril e pela ampliação e instalação de novas unidades produtivas em diferentes regiões, com prévio aumento da base florestal, principalmente de eucalipto. Segundo dados da Sociedade Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas (ABRAF, 2008), somente os investimentos do setor de celulose e papel, nos últimos 10 anos, foram da ordem de US\$ 12 bilhões. Os projetos já iniciados, ou recém implantados, representam um acréscimo no consumo de madeira da ordem de 10 milhões m<sup>3</sup>/ano. Entre 2005 e 2007, houve um acréscimo de 10,1% na área plantada com eucalipto, o que totalizou, no final de 2008 em aproximadamente 3,750,000 ha de área plantada.

A ferrugem, causada pelo fungo *Puccinia psidii* é, atualmente, uma das doenças mais importantes da eucaliptocultura. A ocorrência de temperaturas médias do ar variando entre 18 e 25°C, associadas a períodos noturnos de molhamento foliar (orvalho noturno ou garoas por períodos superiores a 6 horas por 5 a 7 dias consecutivos) e a existência de órgãos juvenis (folhas novas e terminais de crescimento) favorecem a infecção. O fungo infecta folhas do estágio juvenil de plantas novas ou brotações após o corte das árvores. Além do eucalipto, o patógeno infecta várias outras espécies, pertencentes à família Myrtaceae e Heteropixidaceae (Alfenas & Mafia, 2003; Alfenas et al., 2004; Glen et al., 2007).

Sabe-se que as condições climáticas podem influenciar o desenvolvimento e a suscetibilidade da planta hospedeira, a multiplicação, a sobrevivência e as atividades do patógeno, assim como a interação entre ambos (Bell et al., 1993; Chakraborty, 2005; Coakley, 1995; Manning & Tiedemann, 1995; Ghini, 2005, Jesus Junior et al., 2007, Jesus Junior et al., 2008). Entre as principais consequências das mudanças climáticas sobre as doenças de plantas, merece destaque os seus efeitos potenciais quanto aos danos, distribuição geográfica, eficiência dos métodos de controle e nas interações entre planta, patógeno e demais microrganismos (Atkinson, 1993; Chakraborty et al., 2000; Chakraborty, 2001; Chakraborty, 2005, Jesus Junior et al., 2007, Jesus Junior et al., 2008).

As previsões sobre as mudanças climáticas globais (MCG) têm despertado inúmeras discussões em diferentes segmentos da sociedade, especialmente quanto aos estudos de causa e as previsões de consequências (Ghini & Hamada, 2008). De acordo com as projeções do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2007), acredita-se que até o final do século XXI, o aquecimento médio esperado será da ordem de 1,8 a 4,0 °C. As mudanças climáticas globais constituem uma séria ameaça ao cenário fitossanitário brasileiro, pois podem promover significativas alterações na ocorrência e severidade de doenças de plantas. A análise desses efeitos é fundamental para a adoção de medidas mitigadoras, com a finalidade de evitar prejuízos futuros. Atualmente, preparar-se para proteger do ponto de vista fitossanitário a base territorial florestal, considerando as mudanças climáticas, constitui um dos principais desafios estratégicos da integração entre melhoramento e manejo florestal.

Sendo assim, o presente trabalho objetivou avaliar os possíveis impactos das mudanças climáticas globais sobre a distribuição espacial das áreas de risco para ocorrência da ferrugem do eucalipto no Brasil.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1. Banco de dados climáticos**

Para elaboração dos mapas de distribuição espacial de áreas com diferentes classes de aptidão para o desenvolvimento da ferrugem do eucalipto, empregaram-se dados mensais médios de temperatura e umidade relativa do ar, obtidos do Climate Research Unit (CRU), da University of East Anglia, Inglaterra (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' x 10' de latitude e longitude.

Com relação às projeções futuras de temperatura do ar e umidade relativa do ar, foram utilizadas as previsões obtidas a partir do IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), feitas pelo modelo desenvolvido pelo Hadley Centre for Climate Prediction and Research (HadCm3). Os cenários futuros utilizados foram A2 e B2, centrados nas décadas de 2020 (período entre 2010 e 2039), 2050 (período entre 2040 e 2069) e 2080 (período entre 2070 e 2099) (IPCC, 2007). A2 é o cenário que descreve um mundo futuro muito heterogêneo onde a regionalização é dominante e, B2, é o cenário que descreve um mundo no qual a ênfase está em soluções locais para a sustentabilidade econômica, social e ambiental. Assim, o cenário A2 prevê mudanças climáticas mais acentuadas, em função da maior emissão de gases de efeito estufa, em relação ao cenário B2, conforme apresentado em Hulme & Sheard (1999).

## **2.2. Modelagem e elaboração dos mapas de risco**

O programa computacional de Sistema de Informações Geográficas Idrisi 32® foi utilizado para a elaboração dos mapas. Devido à resolução espacial do modelo disponibilizado pelo IPCC (HadCM3: 3,75° X 2,5°), os dados foram reamostrados, utilizando a ferramenta resampled (Idrisi 32®), de forma a terem a resolução espacial final de 10' X 10' de latitude e longitude. Para cada mês foram gerados mapas contendo os dados de temperatura e umidade relativa do ar, considerando a situação climática atual e as previsões para as décadas de 2020, 2050 e 2080, nos cenários A2 e B2.

A partir dos mapas de temperatura e de umidade relativa do ar média, para o período atual e para os cenários futuros A2 e B2 (2020, 2050 e 2080), foram elaborados mapas mensais de distribuição de áreas de risco para ocorrência da doença, utilizando classes definidas com base em dados epidemiológicos sobre os

efeitos da temperatura e umidade relativa do ar no desenvolvimento da ferrugem do eucalipto (Tabela 1) (Alfenas et al., 2004; Coutinho et al., 1998; Ferreira, 1989; Ruiz et al., 1989).

**Tabela 1-** Risco de ocorrência da ferrugem do eucalipto, considerando as condições climáticas ideais para a infecção de *Puccinia psidii*.

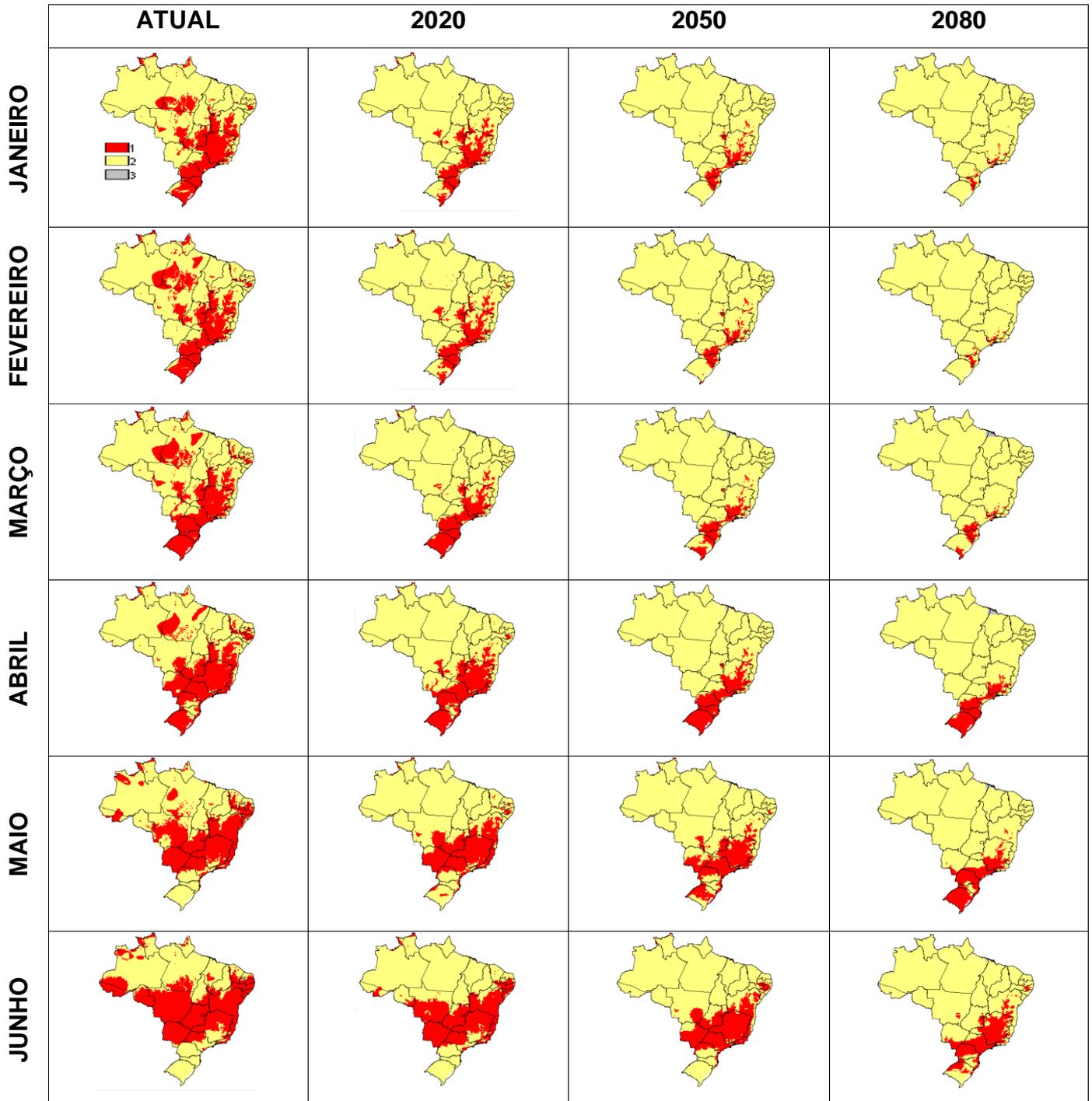
Classe de Favorabilidade	Risco	Descrição	Temperatura (°C)	Umidade Relativa do ar (%)
1	Alto	Favorável	18 - 25	≥ 90
2	Médio	Relativamente Favorável	18 - 25	< 90
2	Médio	Relativamente Favorável	< 18 ou > 25	≥ 90
3	Baixo	Desfavorável	< 18 ou > 25	< 90

### 2.3. Cálculo do percentual de área nas classes de risco

O programa computacional de Sistema de Informações Geográficas Idrisi 32® foi utilizado para o cálculo do percentual de áreas nas classes de risco. A partir dos mapas mensais de distribuição de áreas de risco para ocorrência da doença, utilizando a ferramenta Gys Analysis- Database Query - AREA (Idrisi 32®), objetivou-se as áreas para cada classe de risco em hectares, transformando-as em seguida para percentagem. Para cada mês, foram gerados valores em percentagem para cada classe de risco, considerando a situação climática atual e as previsões para as décadas de 2020, 2050 e 2080, nos cenários A2 e B2.

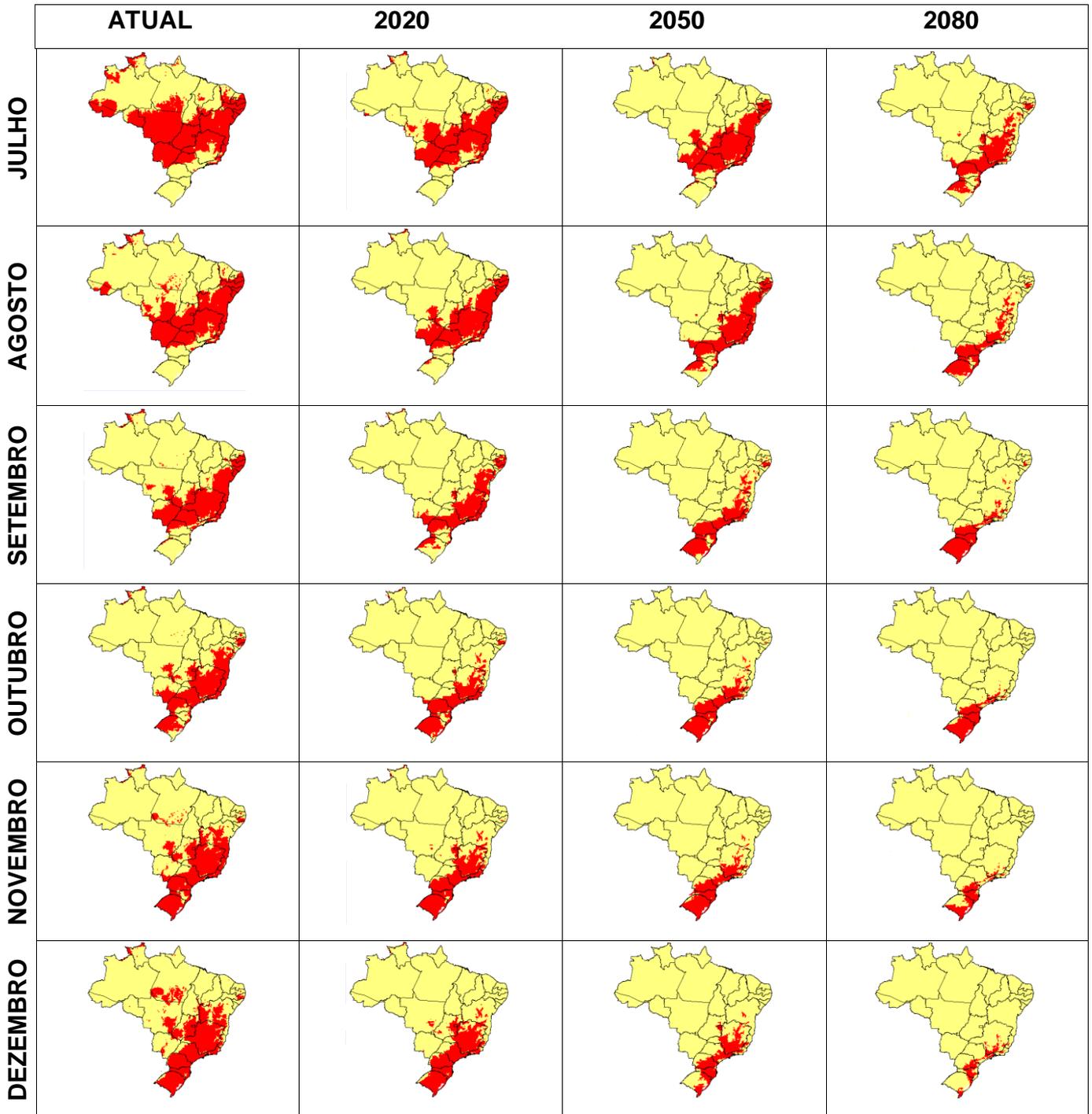
### 3. RESULTADOS

Foram obtidos 96 mapas (Figuras 1 a 4), contendo as distribuições espaciais potenciais de áreas de risco de ocorrência da ferrugem, em escala mensal, nas condições climáticas atuais e futuras (2020, 2050 e 2080) para os dois cenários. Os mapas de áreas de risco à ferrugem do eucalipto confeccionados para os cenários futuros indicam que, de um modo geral, haverá redução da área favorável ao desenvolvimento da doença para o país, em relação ao clima atual, tanto para o cenário A2 (Figuras 1 e 2) quanto para o B2 (Figuras 3 e 4). Tal redução está projetada tanto para o período de maior favorabilidade à doença (meses de abril a agosto; para os cenários A2 e B2, respectivamente), assim como para o período menos favorável (meses de setembro a março; para os cenários A2 e B2, respectivamente).



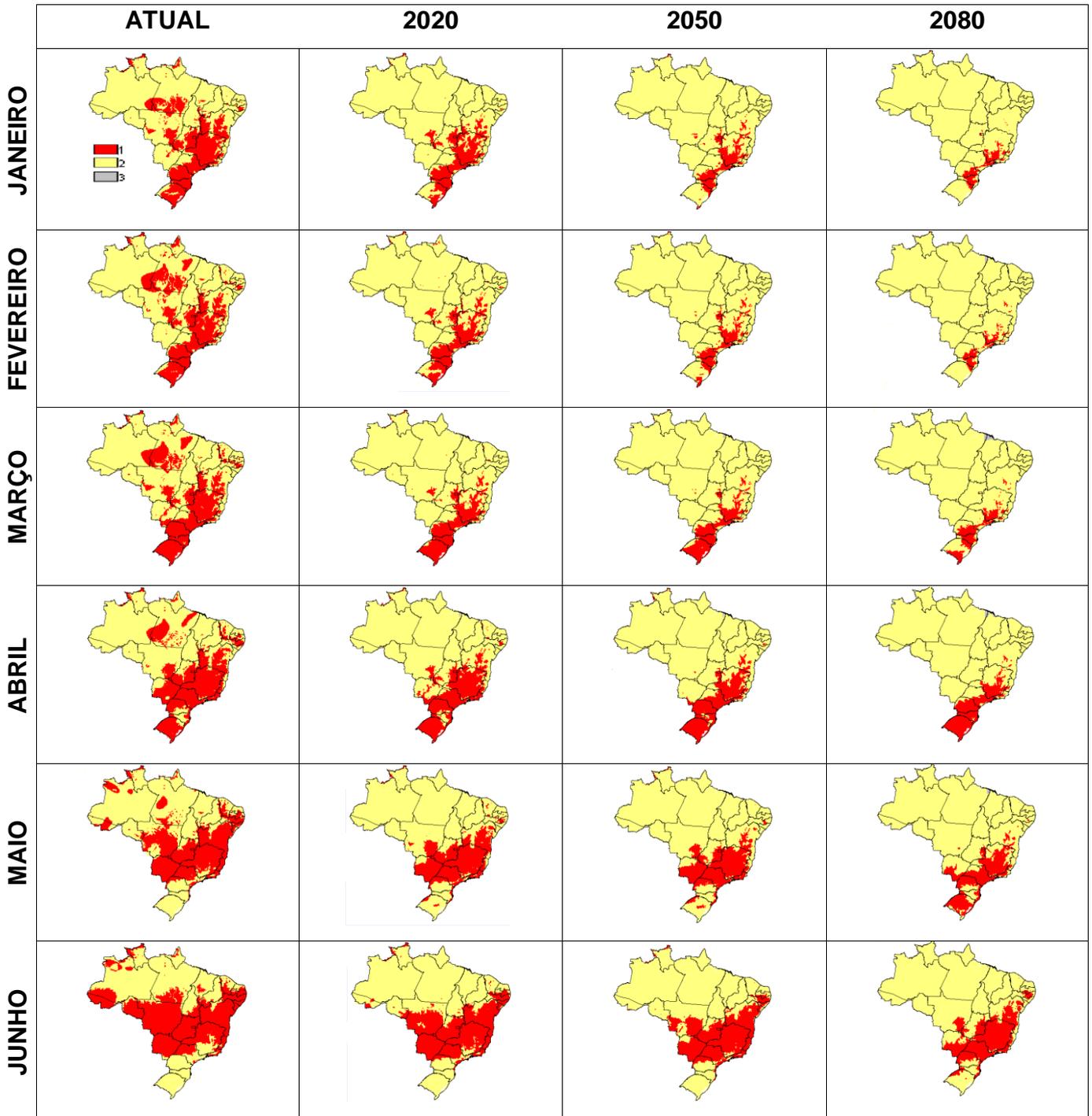
1-Vermelho = Alto, 2-Amarelo = Médio, 3-Cinza = Baixo

**Figura 1-** Distribuição das áreas de risco de ocorrência da ferrugem do eucalipto, para os meses de janeiro a junho, no período atual (média de 1961 a 1990) e futuro (2020, 2050 e 2080) para o cenário A2.



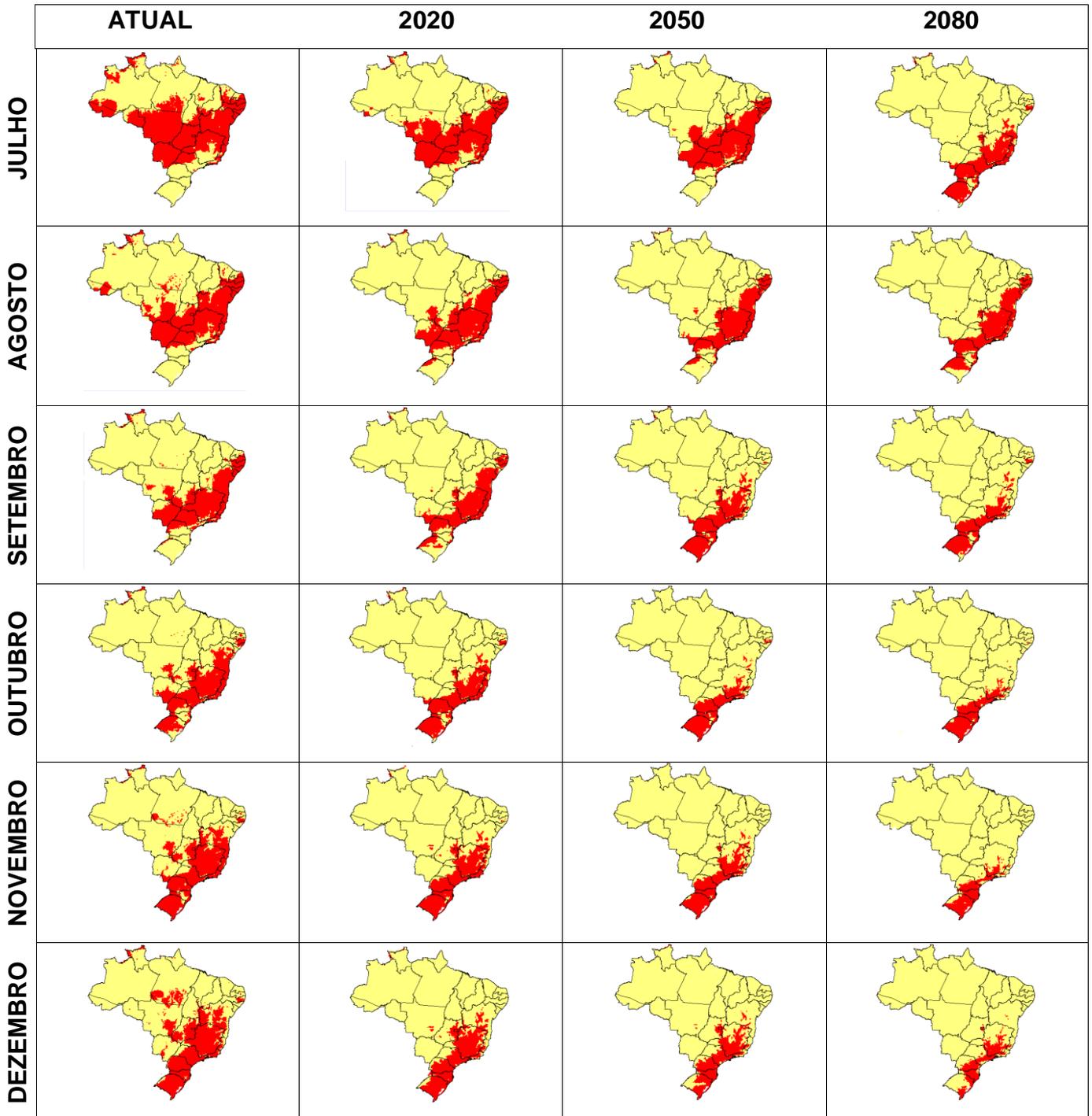
1-Vermelho = Alto, 2-Amarelo = Médio, 3-Cinza = Baixo

**Figura 2** - Distribuição das áreas de risco de ocorrência da ferrugem do eucalipto, para os meses de julho a dezembro, no período atual (média de 1961 a 1990) e futuro (2020, 2050 e 2080) para o cenário A2.



1-Vermelho = Alto, 2-Amarelo = Médio, 3-Cinza = Baixo

**Figura 3** - Distribuição das áreas de risco de ocorrência da ferrugem do eucalipto, para os meses de janeiro a junho, no período atual (média de 1961 a 1990) e futuro (2020, 2050 e 2080) para o cenário B2.



1-Vermelho = Alto, 2-Amarelo = Médio, 3-Cinza = Baixo

**Figura 4** - Distribuição das áreas de risco de ocorrência da ferrugem do eucalipto, para os meses de julho a dezembro, no período atual (média de 1961 a 1990) e futuro (2020, 2050 e 2080) para o cenário B2.

De forma geral, observou-se maior redução das áreas de risco da doença para o cenário A2 que para o B2, para as simulações baseadas no modelo HadCM3 (Tabela 2). O cenário A2 prevê maiores reduções de umidade que o cenário B2, resultando em condições menos favoráveis à ferrugem do eucalipto. Além disso, a redução da área favorável à doença é gradativa nas três décadas estudadas para os dois cenários, isto é, a cada década a área favorável sofre reduções. Por exemplo, no período considerado atual, para os meses de abril a agosto, em média, a área favorável à ferrugem do eucalipto corresponde a 35,77 % do território nacional e, para os meses de setembro a março, a 27,53 %. Em 2020, para o cenário A2, a área média será de 26,53 % e 18,27 %; para 2050 será de 21,01 % e 12,06 % e para 2080 será de 15,81 % e 8,52 %, respectivamente.

Os intervalos utilizados para caracterizar as classes de favorabilidade para a ferrugem do eucalipto teve como base as condições ótimas do ambiente para ocorrência da doença, sendo presença de água livre (umidade acima de 90%), escuro, e temperaturas entre 18 e 25 ° C, permitindo a germinação dos urediniósporos sobre a superfície foliar (Alfenas et al., 2004; Coutinho et al., 1998; Ferreira, 1989; Piza & Ribeiro, 1989; Ruiz et al., 1989). No Brasil, essas condições ambientais favoráveis ocorrem nos meses de abril a agosto, sendo que as maiores intensidades da ferrugem foram registradas durante este período (Ruiz et al., 1989, Ruiz et al., 1989a). No entanto, períodos favoráveis para infecção podem variar de ano para ano e de acordo com a região geográfica.



#### 4. DISCUSSÃO

De forma geral, com base nos resultados do presente trabalho verifica-se uma redução do percentual das áreas classificadas como alto risco para ocorrência da ferrugem do eucalipto (classe 1) e um aumento das áreas de médio e baixo risco (classes 2 e 3) (Tabela 2), considerando os cenários A2 (Figuras 1 e 2) e B2 (Figuras 3 e 4). Todavia, no cenário A2, onde espera-se maior redução da média de umidade relativa do ar e maior acréscimo na temperatura média, ocorre, potencialmente, maior redução do risco de ocorrência da doença, isto é, menor parcela do território enquadrada na classe 1. Outros autores também mostraram mudanças na distribuição geográfica das classes de favorabilidade para outros patossistemas em projeções futuras, como por exemplo Carter et al. (1996) para fitopatógenos na Finlândia, Boag et al. (1991) para o estudo do efeito das mudanças climáticas em nematóides fitopatogênicos, (*Xiphinema* e *Longidorus*) na Europa, Brasier & Scott (1994) e Brasier et al. (1996) para a ocorrência de *Phytophthora cinnamomi* Rands em carvalho (*Quercus* spp.) no continente europeu, Ghini et al. (2007) e Jesus Junior et al. (2008) para a sigatoka-negra da Bananeira.

Com relação à distribuição espacial, vale ressaltar que extensas áreas, particularmente nos Estados da Bahia, Espírito Santo, Minas Gerais, São Paulo e nos Estados do Sul do país, onde estão concentradas a maioria das áreas com plantios de eucalipto (ABRAF, 2008), mesmo considerando o aquecimento global esperado, ainda continuarão favoráveis para o desenvolvimento da doença, principalmente nos meses de inverno, o que deve implicar na necessidade de adoção de medidas de controle como: evasão, condução das rebrotas nas épocas desfavoráveis a doença, plantios de clones resistentes nas áreas mais favoráveis, entre outras, sendo possível racionalizar todas as estratégias de manejo desde que as mesmas sejam implementadas em momento adequado, levando em consideração cada componente do triângulo de doença (patógeno, hospedeiro e ambiente).

A metodologia adotada neste estudo permitiu avaliar o efeito potencial das mudanças climáticas, para as condições atuais e futuras, mapeando as áreas de risco, considerando o tempo e o espaço, a qual foi empregada em estudos prévios

sobre a interação entre mudanças climáticas e doenças de plantas (Ghini, 2005; Hamada et al., 2006; Ghini et al., 2007; Jesus Junior et al., 2007; Jesus Junior et al., 2008, Moraes et al. 2008). Vale ressaltar, que este tipo de análise teve por base apenas as condições climáticas para o desenvolvimento da doença, não levando em consideração a evolução tanto do patógeno quanto do hospedeiro, que provavelmente ocorrerão ao longo dos anos.

Os meses mais frios (abril, maio, junho, julho e agosto), são considerados mais favoráveis para o desenvolvimento da doença nas condições climáticas atuais e permanecem favoráveis para as projeções futuras. Por outro lado, meses que apresentaram temperaturas mais altas (novembro, dezembro e janeiro) ficarão cada vez mais desfavoráveis a ferrugem do eucalipto, por causa dos aumentos da temperatura e diminuição da umidade relativa. Os dados apresentados neste trabalho mostraram que a classe 2 (Médio risco) de favorabilidade tende a aumentar em função da diminuição da umidade relativa que pode aumentar o período de incubação e o período latente (menor número de ciclos do patógeno por ano). Mesmo assim, a doença terá grande importância principalmente nos principais estados produtores de eucalipto.

Com relação ao potencial efeito das MCG na cultura do eucalipto, de um modo geral, mesmo com as mudanças climáticas previstas nos dois cenários (A2 e B2) e nos três períodos (2020, 2050 e 2080), supõe-se que a cultura não sofrerá grandes alterações, dado que a amplitude de crescimento do eucalipto se enquadra dentro dos valores das mudanças. O que poderá ocorrer é que algumas áreas se tornarão mais aptas ao cultivo que outras, fato que poderá propiciar o surgimento e/ou maior desenvolvimento de algumas novas regiões de plantio.

## 5. CONCLUSÕES

A metodologia adotada mostrou-se eficiente para o mapeamento do risco de ocorrência da ferrugem do eucalipto, considerando a distribuição espacial e temporal;

Considerando os cenários previstos de mudanças climáticas, potencialmente, espera-se uma redução do percentual de áreas favoráveis e um aumento das áreas de médio risco para ocorrência da ferrugem do eucalipto;

As áreas com maior atividade florestal com eucalipto, mesmo considerando o aquecimento global, o qual tende a desfavorecer a ocorrência da doença, ainda continuarão favoráveis para epidemias da doença; e

Os conhecimentos gerados, aliado com o desenvolvimento de modelos de previsão da doença, podem constituir ferramentas importantes no manejo integrado da ferrugem do eucalipto.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAF: Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas, 2008. Anuário Estatístico da ABRAF: ano base 2007, Brasília.

ALFENAS, A.C., MAFIA, R.G. Controle integrado de doenças em viveiros clonais e aspectos relativos à ferrugem (*Puccinia psidii*) do eucalipto. **Fitopatologia Brasileira**, v. 28, p. 156-163, 2003.

ALFENAS, A. C, ZAUZA, E. A. V, MAFIA, R. G, ASSIS, T. F. **Clonagem e Doenças do Eucalipto**. Editora UFV, Viçosa, 2004. 442p.

ATKINSON, D. **Global climate change: its implication for crop protection**. British Crop Protection Council Monograph No. 56. BCPC, Surrey, UK, 1993.

BELL, J.N.B., MCNEILL, S., HOULDEN, G., BROWN, V.C., MANSFIELD, P.J. Atmospheric change: effect on plant pests and diseases. **Parasitology**, v. 106, p. 11-24, 1993.

BOAG, B., CRAWFORD, J.W., NEILSON, R. The effect of potential climatic changes on the geographical distribution of the plant parasitic nematodes *Xiphinema* and *Longidorus* in Europe. **Nematologica**, v. 37, p. 312-323, 1991.

BRASIER, C.M., DREYER, E., AUSSENAC, G. *Phytophthora cinnamomi* and oak decline in southern Europe. Environmental constraints including climate change. **Annales des Sciences Forestieres**, v. 53, p. 347-358, 1996.

BRASIER, C.M., SCOTT, J.K. European oak declines and global warming: a theoretical assessment with special reference to the activity of *Phytophthora cinnamomi*. **Bulletin OEPP/EPPO Bulletin**, v. 24, p. 221-232, 1994.

CARTER, T.R., SAARIKKO, R.A., NIEMI, K.J. Assessing the risks and uncertainties of regional crop potential under a changing climate in Finland. **Agricultural and Food Science in Finland**, v. 5, p. 329-350, 1996.

CHAKRABORTY, S. Effects of climate change, in: WALLER, J.M.L., WALLER, S.J. (Eds.), **Plant pathologist's pocketbook**. Wallingford: CAB International, 2001. p. 203-207.

CHAKRABORTY, S. Potential impact of climate change on plant-pathogen interactions. **Australasian Plant Pathology**, v. 34, p. 443-448, 2005.

CHAKRABORTY, S., TIEDEMANN, A.V., TENG, P.S. Climate change: potential impact on plant diseases. **Environmental Pollution**, v.108, p. 317-326, 2000.

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

COUTINHO, T.A., WINGFIELD, M.J., ALFENAS, A.C., CROUS, P.W. Eucalyptus rust: a disease with the potential for serious international implications. **Plant Disease**, v. 82, p. 819-925, 1998.

FERREIRA, F.A. **Patologia Florestal**: principais doenças florestais no Brasil. Viçosa, MG, SIF. 1989. 570p.

GHINI, R., 2005. **Mudanças Climáticas Globais e Doenças de Plantas**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2005. 104p.

GHINI, R., HAMADA, E. **Mudanças climáticas**: impactos sobre doenças de plantas no Brasil. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2008. 332p.

GHINI, R., HAMADA, E., GONÇALVES, R.R.V., GASPAROTTO, L., PEREIRA, J.C. Análise de risco das mudanças climáticas globais sobre a sigatoka-negra da bananeira no Brasil. **Fitopatologia Brasileira**, v. 32, p. 197-204, 2007.

GLEN, M., ALFENAS, A.C., ZAUZA, E.A.V., WINGFIELD, M.J., MOHAMMED, C., 2007. *Puccinia psidii*: a threat to the Australian environment and economy - a review. **Australasian Plant Pathology**, v. 36, p. 1-6.

HAMADA, E., GHINI, R., GONÇALVES, R.R.V. Efeito da mudança climática sobre problemas fitossanitários de plantas: metodologia de elaboração de mapas. **Engenharia Ambiental**, v. 3, p. 73-85, 2006.

HULME, M.; SHEARD, N. **Cenários de alterações climáticas para o Brasil**. Norwich: Climate Research Unit, 1999. 6 p.

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., CECILIO, R.A., VALADARES JUNIOR, R., COSMI, F.C., MORAES, W.B., ALVES, F.R., NEVES, C.I. Aquecimento global e o potencial impacto na cultura e doenças do mamoeiro. In: Costa, A.N., Costa, A.F.S. **Congresso Brasileiro de Fruticultura Tropical**. Vitória: INCAPER, 2007. p. 1-36.

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, p. 40-53, 2008.

MANNING, W.J., TIEDMANN, A.V. Climate change: potential effects of increased atmospheric carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), ozone (O<sub>3</sub>), and Ultraviolet-B (UV-B) radiation on plant diseases. **Environmental Pollution**, v. 88, p. 219-245, 1995.

MORAES, W.B.; COSMI, F. C.; JESUS JUNIOR, W.C.; MAFIA, R.G.; CECILIO, R.A.; BATISTA, T.R. ; VALADARES JUNIOR, R. ; MORAES, W.B. The potential effect of climatic changes on the geographical distribution of eucalyptus rust disease in Brazil. **IV World Congress of Agronomists and Professionals in Agronomy**, 1, p. 1-4, 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, p. 1-25, 2002.

PIZA, S.M.T., RIBEIRO, I.J., A. Influência da temperatura, tipo de água e período de incubação sobre a germinação de uredosporos de *Puccinia psidii*. **Summa Phytopathologica**, v. 15, p. 222-226, 1989.

RUIZ, R.A.R., ALFENAS, A.C., FERREIRA, F.A., VALE, F.X.R. DO. Influência da temperatura, do tempo de molhamento foliar, fotoperíodo e da intensidade de luz sobre a infecção de *Puccinia psidii* em eucalipto. **Fitopatologia Brasileira**, v. 14, p. 55-61, 1989.

RUIZ, R. A. R, ALFENAS, A. C., MAFFIA, L. A., e BARBOSA, M. M. Progresso da ferrugem do eucalipto, causada por *Puccinia psidii*, em condições de campo. **Fitopatologia Brasileira**, v.14, p. 73-81, 1989a.

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)