

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

KAREN CHRISTIANE BORA

FAVORABILIDADE CLIMÁTICA DA FERRUGEM DO EUCALIPTO NO ESTADO DO
PARANÁ

CURITIBA
2013

KAREN CHRISTIANE BORA

FAVORABILIDADE CLIMÁTICA DA FERRUGEM DO EUCALIPTO NO ESTADO DO
PARANÁ

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, do Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Celso Garcia Auer

Co-orientadores:

Prof. Dr. Álvaro Figueredo dos Santos

Dr. Marcos Silveira Wrege

CURITIBA
2013

Ficha catalográfica elaborada por Denis Uezu – CRB 1720/PR

Bora, Karen Christiane

Favorabilidade climática da ferrugem do eucalipto no estado do Paraná /
Karen Christiane Bora. – 2013
59 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Celso Garcia Auer

Coorientadores: Prof. Dr. Álvaro Figueredo dos Santos

Dr. Marcos Silveira Wrege

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências
Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Defesa:
Curitiba, 08/03/2013.

Área de concentração: Silvicultura.

1. Fitopatologia - Paraná. 2. Levantamentos ecológicos - Paraná. 3.
Fitossanidade. 4. Fungos fitopatogênicos. 5. Bioclimatologia. 6. Eucalipto –
Doenças e pragas. 7. Teses. I. Auer, Celso Garcia. II. Santos, Álvaro Figueredo
dos. III. Wrege, Marcos Silveira. IV. Universidade Federal do Paraná, Setor de
Ciências Agrárias. V. Título.

CDD – 632.398162

CDU – 634.0.44(816.2)



Universidade Federal do Paraná
Setor de Ciências Agrárias - Centro de Ciências Florestais e da Madeira
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal

PARECER

Defesa nº. 969

A banca examinadora, instituída pelo colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, do Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, após argüir o(a) mestrando(a) *Karen Christiane Bora* em relação ao seu trabalho de dissertação intitulado "**FAVORABILIDADE CLIMÁTICA DA FERRUGEM DO EUCALIPTO NO ESTADO DO PARANÁ**", é de parecer favorável à **APROVAÇÃO** do(a) acadêmico(a), habilitando-o(a) ao título de *Mestre em Engenharia Florestal*, área de concentração em **SILVICULTURA**.

Dr. Luciene Martins Moreira
Pontifícia Universidade Católica do Paraná
Primeiro examinador

Dr. Nilton José Sousa
Universidade Federal do Paraná
Segundo examinador

Dr. Celso Garcia Auer
Universidade Federal do Paraná
Orientador e presidente da banca examinadora



Curitiba, 08 de março de 2013.

Antonio Carlos Batista
Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal
Carlos Roberto Sanquetta
Vice-coordenador do curso

AGRADECIMENTOS

À Deus por todas as minhas conquistas.

Aos meus pais, Alfredo Bora e Maria Aparecida Bora, responsáveis por todas as minhas realizações, incentivo e apoio.

À minha irmã Karoline Regiane Bora que me deu uma sobrinha linda.

Ao meu namorado Emanuel Fabiane, por todo amor, carinho e por toda paciência enquanto escrevia a dissertação.

Ao Professor Doutor Celso Garcia Auer, pela amizade, compreensão, orientação, e toda experiência transmitida nesses anos de convivência.

Ao Professor Doutor Álvaro Figueredo dos Santos, pela amizade, pelas sugestões e pelos conhecimentos transmitidos.

Ao Pesquisador da Embrapa Florestas Doutor Marcos Silveira Wrege, pela ajuda na condução dos mapas.

Aos colegas: Hágata Siqueira Hennipman, Carola Gutfreund, Thaísa Wendhausen Ramos da Silva, Bárbara Eckstein, Paula Rachel Rabelo Correa, Francine Bontorin Silva, Bruno Schultz, Pedro Henrique Riboldi Monteiro, José Antônio Sbravatti Júnior, pela amizade e companheirismo.

Aos funcionários do Laboratório de Patologia Florestal da Embrapa Florestas, Davi Nunes da Veiga e Caroline de Bastos Bühner pela convivência e amizade.

A amiga, Gabriela Scheinpflug Brito pela amizade e auxílio na execução deste trabalho.

Aos professores e funcionários do Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal da UFPR.

Ao programa CAPES-REUNI, pela concessão da bolsa de mestrado.

À Embrapa Florestas, pelo suporte para desenvolvimento do meu projeto.

A todos, que de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

A cultura do eucalipto no estado do Paraná fornece matéria-prima para a produção de celulose, carvão, madeira tratada e de madeira serrada. Dentre as principais doenças fúngicas em eucalipto destaca-se a ferrugem causada por *Puccinia psidii*. O controle desta doença em plantios comerciais utiliza clones resistentes ao patógeno. Outra medida de controle é o zoneamento baseado em dados climáticos favoráveis à ferrugem e efetuar o plantio nas áreas consideradas livres. Assim, o objetivo deste estudo foi desenvolver um zoneamento climático da ferrugem em *Eucalyptus*, no estado do Paraná, com base nas variáveis climáticas favoráveis para a germinação de urediniósporos e infecção por *Puccinia psidii*. Inicialmente, foram coletados dados de ocorrência da ferrugem em eucalipto e outros hospedeiros, nos municípios do estado do Paraná. A partir de estudos epidemiológicos já publicados, foram coletadas as variáveis climáticas favoráveis (temperatura e período de molhamento foliar) aos processos de germinação de urediniósporos de *Puccinia psidii* e da infecção em eucaliptos. Estas informações foram utilizadas em modelos para a geração dos mapas mensais de distribuição da doença, de acordo com os limites bioclimáticos para o desenvolvimento de *Puccinia psidii*. As classificações foram feitas conforme a favorabilidade da região à ocorrência da doença no estado do Paraná: altamente favorável, favorável, pouco favorável e desfavorável. Os mapas gerados foram validados pelo confronto com os pontos de ocorrência da ferrugem no estado do Paraná. Foi possível gerar mapas de distribuição geográfica da ferrugem com base nos dados de molhamento foliar e temperatura favoráveis à germinação e infecção de *Puccinia psidii*. A condição mais favorável para a ocorrência da ferrugem foi no período de molhamento foliar de quatro horas. A estação do ano mais favorável à doença é o verão e a menos favorável é o inverno.

Palavras-chave: Myrtaceae, patologia florestal, zoneamento fitossanitário .

ABSTRACT

The eucalypt cultivation in Parana state, Brazil, has been used to produce pulp, coal and lumber. Among the major fungal diseases in eucalypts, the rust caused by *Puccinia psidii* can be pointed out. The control of this disease in commercial plantations can be achieved using resistant clones against the pathogen. Another control measure is zoning for areas considered free of the disease, based on climatic data favorable to *Puccinia* rust, for planting. Thus, the objective of this study was to develop a climatic zoning for *Eucalyptus* rust, in Parana state, based on climatic variables favorable for urediniospores germination and infection by *Puccinia psidii*. Initially, data were collected on the rust occurrence in eucalypt and other hosts, in the municipalities of the Parana state. From epidemiological studies already published, climatic variables favorable (temperature and duration of leaf wetness) were collected for germination and infection processes of *Puccinia psidii* in eucalypts. The information was utilized for models to produce maps in monthly timescale, according to bioclimatic limits for the development of *Puccinia psidii*. The ratings were made according to the favorability of the region to the occurrence of the disease in Parana state: highly favorable, favorable, few favorable and unfavorable. The generated maps were validated by comparing with the rust occurrence points in Parana state. It was possible to generate geographic distribution maps for rust based on leaf wetness duration and temperature favorable to germination and infection of *Puccinia psidii*. Four hours of leaf wetness duration was considered the most favorable condition for rust. The more favorable season for rust is summer, while winter was less favorable.

Key-words: forest pathology, Myrtaceae, phytosanitary zoning.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- FIGURA 1 – (A): SINTOMA DA FERRUGEM EM MUDA DE *Eucalyptus grandis*; (B), SINTOMA DA FERRUGEM EM ÁRVORE JOVEM DE *Eucalyptus grandis*.17
- FIGURA 2 – FORMAÇÃO DE UREDINIÓSPOROS DE *Puccinia psidii* SOBRE FOLHA DE *Eucalyptus grandis*..... 18
- FIGURA 3 – CICLO DA FERRUGEM DO EUCALIPTO CAUSADA POR *Puccinia psidii*..... 19
- FIGURA 4 – DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA FERRUGEM DAS MIRTÁCEAS NO ESTADO DO PARANÁ...31
- FIGURA 5 – CARACTERIZAÇÃO DAS REGIÕES BIOCLIMÁTICAS DO ESTADO DO PARANÁ.....32
- FIGURA 6 - FAVORABILIDADE CLIMÁTICA DA FERRUGEM DO EUCALIPTO NO ESTADO DO PARANÁ NO PERÍODO DE VERÃO, COM BASE NA GERMINAÇÃO DE UREDINIÓSPOROS DE *Puccinia psidii* E MOLHAMENTO FOLIAR DE QUATRO HORAS (A. DEZEMBRO, B. JANEIRO, C. FEVEREIRO) E SEIS HORAS (D. DEZEMBRO, E. JANEIRO, F. FEVEREIRO).....35
- FIGURA 7 – FAVORABILIDADE CLIMÁTICA DA FERRUGEM DO EUCALIPTO NO ESTADO DO PARANÁ NO PERÍODO DE OUTONO, COM BASE NA GERMINAÇÃO DE UREDINIÓSPOROS DE *Puccinia psidii* E MOLHAMENTO FOLIAR DE QUATRO HORAS (A. MARÇO, B. ABRIL, C. MAIO) E SEIS HORAS (D. MARÇO, E. ABRIL, F. MAIO).....36
- FIGURA 8 – FAVORABILIDADE CLIMÁTICA DA FERRUGEM DO EUCALIPTO NO ESTADO DO PARANÁ NO PERÍODO DE INVERNO, COM BASE NA GERMINAÇÃO DE UREDINIÓSPOROS DE *Puccinia psidii* E MOLHAMENTO FOLIAR DE QUATRO HORAS (A. JUNHO, B. JULHO, C. AGOSTO) E SEIS HORAS (D. JUNHO, E. JULHO, F. AGOSTO)... 37
- FIGURA 9 - FAVORABILIDADE CLIMÁTICA DA FERRUGEM DO EUCALIPTO NO ESTADO DO PARANÁ NO PERÍODO DE PRIMAVERA, COM BASE NA GERMINAÇÃO DE UREDINIÓSPOROS DE *Puccinia psidii* E MOLHAMENTO FOLIAR DE QUATRO HORAS (A. SETEMBRO, B.

OUTUBRO, C. NOVEMBRO) E SEIS HORAS (D. SETEMBRO, E. OUTUBRO, F. NOVEMBRO).....	38
FIGURA 10 – ÁREA OCUPADA (%) PELAS CLASSES DE FAVORABILIDADE À OCORRÊNCIA DA FERRUGEM DO EUCALIPTO (<i>Puccinia psidii</i>) NO ESTADO DO PARANÁ, CONSIDERANDO A GERMINAÇÃO E PERÍODO DE MOLHAMENTO FOLIAR DE 4 HORAS.	39
FIGURA 11 – ÁREA OCUPADA (%) PELAS CLASSES DE FAVORABILIDADE À OCORRÊNCIA DA FERRUGEM DO EUCALIPTO (<i>Puccinia psidii</i>) NO ESTADO DO PARANÁ, CONSIDERANDO A GERMINAÇÃO E PERÍODO DE MOLHAMENTO FOLIAR DE 6 HORAS.	39
FIGURA 12 - FAVORABILIDADE CLIMÁTICA DA FERRUGEM DO EUCALIPTO NO ESTADO DO PARANÁ NO PERÍODO DE VERÃO, COM BASE NA INFECÇÃO DE UREDINIÓSPOROS DE <i>Puccinia psidii</i> E MOLHAMENTO FOLIAR DE QUATRO HORAS (A. DEZEMBRO, B. JANEIRO, C. FEVEREIRO) E SEIS HORAS (D. DEZEMBRO, E. JANEIRO, F. FEVEREIRO).	43
FIGURA 13 - FAVORABILIDADE CLIMÁTICA DA FERRUGEM DO EUCALIPTO NO ESTADO DO PARANÁ NO PERÍODO DE OUTONO, COM BASE NA INFECÇÃO DE UREDINIÓSPOROS DE <i>Puccinia psidii</i> E MOLHAMENTO FOLIAR DE QUATRO HORAS (A. MARÇO, B. ABRIL, C. MAIO) E SEIS HORAS (D. MARÇO, E. ABRIL, F. MAIO).....	44
FIGURA 14 - FAVORABILIDADE CLIMÁTICA DA FERRUGEM DO EUCALIPTO NO ESTADO DO PARANÁ NO PERÍODO DE INVERNO, COM BASE NA INFECÇÃO DE UREDINIÓSPOROS DE <i>Puccinia psidii</i> E MOLHAMENTO FOLIAR DE QUATRO HORAS (A. JUNHO, B. JULHO, C. AGOSTO) E SEIS HORAS (D. JUNHO, E. JULHO, F. AGOSTO)...	45
FIGURA 15 - FAVORABILIDADE CLIMÁTICA DA FERRUGEM DO EUCALIPTO NO ESTADO DO PARANÁ NO PERÍODO DE PRIMAVERA, COM BASE NA INFECÇÃO DE UREDINIÓSPOROS DE <i>Puccinia psidii</i> E MOLHAMENTO FOLIAR DE QUATRO HORAS (A. SETEMBRO, B. OUTUBRO, C. NOVEMBRO) E SEIS HORAS (D. SETEMBRO, E. OUTUBRO, F. NOVEMBRO).....	46
FIGURA 16 – ÁREA OCUPADA (%) PELAS CLASSES DE FAVORABILIDADE À OCORRÊNCIA DA FERRUGEM DO EUCALIPTO (<i>Puccinia psidii</i>) NO ESTADO DO PARANÁ, CONSIDERANDO A INFECÇÃO E PERÍODO DE MOLHAMENTO FOLIAR DE 4 HORAS.....	47

FIGURA 17 – ÁREA OCUPADA (%) PELAS CLASSES DE FAVORABILIDADE À OCORRÊNCIA DA FERRUGEM DO EUCALIPTO (*Puccinia psidii*) NO ESTADO DO PARANÁ, CONSIDERANDO A INFECÇÃO E PERÍODO DE MOLHAMENTO FOLIAR DE 6 HORAS.....47

LISTA DE TABELAS

- TABELA 1 – CLASSES DE FAVORABILIDADE PARA OCORRÊNCIA DA FERRUGEM DO EUCALIPTO EM FUNÇÃO DOS INTERVALOS DE TEMPERATURA MÉDIA E PERÍODO DE MOLHAMENTO FOLIAR CONSIDERANDO A GERMINAÇÃO DE UREDINIÓSPOROS DE *Puccinia psidii*.....26
- TABELA 2 – CLASSES DE FAVORABILIDADE PARA OCORRÊNCIA DA FERRUGEM DO EUCALIPTO EM FUNÇÃO DOS INTERVALOS DE TEMPERATURA MÉDIA E PERÍODO DE MOLHAMENTO FOLIAR CONSIDERANDO A INFECÇÃO DE UREDINIÓSPOROS DE *Puccinia psidii*.....27
- TABELA 3 – LOCALIZAÇÃO DA OCORRÊNCIA DA FERRUGEM CAUSADA POR *Puccinia psidii* EM EUCALIPTO E OUTROS HOSPEDEIROS NO ESTADO DO PARANÁ.....30

LISTA DE APÊNDICES

APÊNDICE 1 - DETERMINAÇÃO DA TEMPERATURA MÉDIA (TM).....	57
APÊNDICE 2 - DETERMINAÇÃO DA TEMPERATURA MÉDIA DAS MÍNIMAS (TMM)	57
APÊNDICE 3 – DISTRIBUIÇÃO MENSAL DE ÁREA DE FAVORABILIDADE (%) DA FERRUGEM DO EUCALIPTO NO ESTADO DO PARANÁ UTILIZANDO A GERMINAÇÃO DE UREDINIÓSPOROS DE <i>Puccinia psidii</i> EM DOIS PERÍODOS DE MOLHAMENTO FOLIAR (4 E 6 HORAS)	58
APÊNDICE 4 – DISTRIBUIÇÃO MENSAL DE ÁREA DE FAVORABILIDADE (%) DA FERRUGEM DO EUCALIPTO NO ESTADO DO PARANÁ UTILIZANDO A INFECÇÃO DE UREDINIÓSPOROS DE <i>Puccinia psidii</i> EM DOIS PERÍODOS DE MOLHAMENTO FOLIAR (4 E 6 HORAS)	59

LISTA DE SIGLAS

ABRAF - Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas

ANA – Agência Nacional de águas

BRACELPA – Associação Brasileira de Celulose e Papel

CRIA – Centro de Referência em Informação Ambiental

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

EMATER – Instituto Paranaense de Assistência Técnica e Extensão Rural

IAPAR – Instituto Agrônômico do Paraná

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVOS	13
2.1 OBJETIVO GERAL	13
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
3.1 IMPORTÂNCIA ECONÔMICA DA FERRUGEM DO EUCALIPTO NO BRASIL .	14
3.2 A FERRUGEM DO EUCALIPTO	15
3.2.1 Aspectos gerais	15
3.2.2 Sintomatologia	17
3.2.3 Ciclo de vida de <i>Puccinia psidii</i>	18
3.2.4 Relação fatores climáticos e distribuição do patógeno	20
3.3. MÉTODOS DE CONTROLE DA FERRUGEM DO EUCALIPTO	22
3.3.1 Controle químico com fungicidas	22
3.3.2. Controle com uso de material genético resistente	22
3.3.3. Mapeamento de áreas de risco e zoneamento da ferrugem do eucalipto	23
4 MATERIAL E MÉTODOS	25
4.1 COLETA DE DADOS SOBRE A OCORRÊNCIA DA FERRUGEM DO EUCALIPTO NO ESTADO DO PARANÁ	25
4.2 ELABORAÇÃO DE MAPAS PARA O ZONEAMENTO CLIMÁTICO DA FERRUGEM DO EUCALIPTO NO ESTADO DO PARANÁ	25
4.3 ELABORAÇÃO DE MAPAS CLIMÁTICOS	27
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
5.1 DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA DA FERRUGEM DO EUCALIPTO NO ESTADO DO PARANÁ	29
5.2 ZONEAMENTO CLIMÁTICO DA FERRUGEM DO EUCALIPTO NO ESTADO DO PARANÁ	33
5.2.1 Zoneamento climático com base na temperatura de germinação de urediniosporos de <i>Puccinia psidii</i>	33
5.2.2 Zoneamento climático com base na temperatura de infecção por <i>Puccinia psidii</i>	41
6 CONCLUSÕES	50
REFERÊNCIAS	51
APÊNDICES	57

1 INTRODUÇÃO

O eucalipto é a espécie florestal mais plantada no Brasil, devido a seu rápido crescimento, capacidade de regeneração após o corte e uso múltiplo de sua madeira (SILVA, 2001). Além da produção de celulose, também é fonte de carvão vegetal para gerar energia e de madeira sólida usada em móveis, pisos, revestimentos e outras aplicações na construção civil (BRACELPA, 2010).

Em 2011, a área de plantios de *Eucalyptus* totalizou 4.873.952 ha representando crescimento de 2,5 % (119.617 ha) frente ao indicador de 2010 (ABRAF, 2012). O aumento da área plantada de eucalipto foi alavancado pelos investimentos de empresas nacionais do segmento de Papel e Celulose, haja visto que as maiores expansões ocorreram nos estados do Tocantins (37,8 %), Mato Grosso do Sul (25,7 %), Paraná (16,6 %) e Maranhão (9,5 %). Grande parte da produção potencial do eucalipto está concentrada na Região Sudeste (59,3 %), em função do significativo número de empresas de celulose e papel e siderurgia a carvão vegetal existentes nessa região (ABRAF, 2012).

No Paraná, a área ocupada por plantios de *Eucalyptus* é de 188.153 ha, correspondente a 3,9 % do total de plantios desta espécie no Brasil (ABRAF, 2012).

Os plantios florestais, como qualquer cultura, estão sujeitos a uma série de fatores bióticos que, direta ou indiretamente, podem comprometer o desenvolvimento das plantas (FERREIRA, 1989). Dentre os fatores bióticos que contribuem para a baixa produtividade das florestas, as perdas ocasionadas por doenças são de grande importância.

Uma das principais doenças na cultura do eucalipto é a ferrugem (ALFENAS et al, 2009) Sua primeira constatação, no Brasil, foi realizada há 70 anos segundo dados de Ferreira (1989). Contudo, acerca essa doença existem lacunas a respeito da sua distribuição geográfica nas áreas plantadas com eucalipto da região Sul do Brasil.

Para garantir a produtividade e a sustentabilidade dessas plantações florestais, recomenda-se fazer o monitoramento contínuo de pragas e doenças florestais como forma de antecipação de medidas de controle ou mitigatórias. Essas medidas permitem que se estabeleçam estratégias de controle antes que a doença tome proporções epidêmicas (JESUS JUNIOR et al., 2004).

Algumas variáveis climáticas podem ser utilizadas para a modelagem de doenças, principalmente a temperatura, umidade relativa e período de molhamento foliar (RUIZ, 1988; MASSON, 2009). O conhecimento de como os fatores ambientais influencia a epidemiologia das doenças de plantas é uma importante ferramenta para a elaboração das medidas de controle (JESUS JUNIOR et al. 2004). Por este motivo, uma das medidas de controle recomendadas é a elaboração de zoneamentos climáticos de doenças em determinada localidade, estado ou região, para a escolha de áreas menos favoráveis para o plantio de material genético suscetível (MASSON, et al, 2007).

Além disso, existem outras variáveis que podem ser comentadas sobre a ferrugem de distribuição geográfica. Em um estudo sobre as mudanças climáticas globais e a distribuição da ferrugem do eucalipto no Brasil feito por Mafia, Alfenas e Loos (2011), os mapas gerados para os cenários futuros de clima apontam para uma concentração da doença na região Sul do Brasil.

Com base no exposto, justifica-se o presente estudo para a geração de mais informações sobre a ferrugem do eucalipto, bem como estabelecer mapas que auxiliem na recomendação de áreas livres da doença para o seu plantio no estado do Paraná. O zoneamento da ferrugem do eucalipto auxiliará a identificação de áreas favoráveis e desfavoráveis à doença, permitindo a escolha de áreas de plantio de acordo com a suscetibilidade dos materiais genéticos existentes.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Relacionar a distribuição espacial e temporal da ferrugem do eucalipto com variáveis climáticas no estado do Paraná.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Criar um mapa da distribuição geográfica da ferrugem do eucalipto no estado do Paraná;
- Elaborar o zoneamento climático da ferrugem do eucalipto no estado do Paraná;
- Criar mapas de regiões de risco para a ferrugem do eucalipto no estado do Paraná;
- Relacionar o período de molhamento foliar noturno com a ocorrência da ferrugem do eucalipto.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 IMPORTÂNCIA ECONÔMICA DA FERRUGEM DO EUCALIPTO NO BRASIL

Até a década de 70, o eucalipto era considerado uma essência florestal praticamente livre de doenças (FERREIRA, 1989). Todavia, o avanço das áreas reflorestadas para regiões mais quentes e úmidas, o plantio de espécies mais suscetíveis e a utilização repetitiva de uma mesma área para plantio criaram condições favoráveis à ocorrência de doenças. Dentre elas, a ferrugem, causada por *Puccinia psidii* Winter e o cancro, causado por *Crysoporthe cubensis* (Bruner) Gryzenh e M. J. Wingf., foram as mais limitantes no estabelecimento de novos plantios e na condução de brotações de algumas espécies e procedências de *Eucalyptus* (RUIZ et al., 1988; FERREIRA, 1989).

Algumas doenças florestais constatadas a partir de 2000 têm incidido de forma mais grave sobre as principais espécies florestais da região Sul do Brasil. Podem ser mencionadas a armilariose em pínus (AUER; GOMES, 2007), a ferrugem do eucalipto (ALFENAS; FERREIRA, 2008) e a gomose da acácia-negra (SANTOS; LUZ, 2007).

A ferrugem causada por *Puccinia psidii* Winter é uma doença foliar comum em espécies arbóreas nativas da família Myrtaceae que ataca mudas e árvores jovens retardando o crescimento dos indivíduos severamente afetados (AUER et al, 2010).

No Brasil, a ferrugem das mirtáceas constitui um sério problema para várias mirtáceas de valor econômico, destacando-se, a goiabeira e o eucalipto (PIZA; RIBEIRO, 1988; FURTADO, 2006).

Os danos, o ataque às folhas e brotações provoca sua deformação, prejudicando a fotossíntese e induzindo ao enfezamento de árvores. Esses danos levam, por sua vez, à queda na produtividade de plantios nos anos de ataque intenso (FERREIRA, 1989). Por outro lado, as perdas econômicas causados pelo fungo nos plantios de eucalipto podem ser consideráveis, dependendo do local, manejo silvicultural e da espécie/procedência plantada. Existem, poucas informações sobre a quantificação de perdas e o respectivo impacto econômico da

doença sobre os plantios de eucalipto, principalmente pela constante troca dos materiais genéticos plantados.

Demuner e Alfenas (1991) relataram que, em 1986, cerca de 122 hectares foram severamente atacados na região de Teixeira de Freitas, BA, resultando em perdas ao redor de U\$ 73 mil. Segundo Furtado et al (2009), as perdas em produtividade dos plantios de eucalipto podem chegar até a 30 % do incremento anual das árvores.

3.2 A FERRUGEM DO EUCALIPTO

3.2.1 Aspectos gerais

O fungo *P. psidii*, pertence ao filo Basidiomycota, classe Urediniomycetes, família Pucciniaceae e é o agente causal da ferrugem do eucalipto (AUER et. al., 2010).

A ferrugem é uma doença muito comum e severa em plantações de procedências de eucalipto suscetíveis à doença com menos de dois anos de idade, ou até o estágio fenológico B (idade até 2 anos), com 3 e 4 m de altura (FERREIRA, 1989). Depois do corte destas plantações, a ferrugem pode tornar-se ainda importante, afetando severamente as brotações recém-emitidas das cepas, resultando na morte total das brotações. A ferrugem do eucalipto também ocorre nos viveiros, onde é facilmente controlável com fungicidas (FERREIRA, 1989).

Outro fato importante da ferrugem do eucalipto é que, de modo geral, plantas com mais de dois anos ou no estágio fenológico C (árvores adultas) não são mais atacadas pelo patógeno, pelo fato de que a partir dessa idade, ou estágio, os órgãos suscetíveis já se encontram em alturas da planta em que o ambiente é mais ventilado, com menor umidade relativa, ou de difícil acesso aos urediniósporos do patógeno disseminados pelo vento (FERREIRA, 1989).

A primeira constatação de que se tem notícia sobre esta ferrugem, causadora de danos preocupantes, ocorreu em 1973, em plantações de *Eucalyptus grandis* – procedência da África do Sul, com idade aproximada de 1,5 anos, na costa

do estado do Espírito Santo. Na ocasião, os danos mais expressivos ocorreram em um viveiro, onde mais de 400.000 mudas foram rejeitadas para o plantio no campo (FERREIRA, 1983).

De 1979 a 1980, nas regiões do Vale do Rio Doce e Zona da Mata do estado de Minas Gerais, Nordeste do Espírito Santo e Sudeste da Bahia, ocorreram mais de uma dezena de ataques severos da ferrugem do eucalipto afetando *Eucalyptus grandis* (África do Sul) e algumas procedências de *Eucalyptus cloeziana* de origens desconhecidas (FERREIRA, 1989). Desse período, destacam-se os extensos ataques ocorridos nas regiões de Guanhães e Ipatinga em Minas Gerais. Nesse último município, mais de 300 hectares de *E. grandis* (África do Sul), com seis meses de idade, foram eliminados pela doença. Em 1981 e 1982, houve reincidência da doença nessas áreas, todavia, sem a expressão dos anos anteriores, visto que a maior parte dos plantios feitos com material mais suscetível à doença já se encontrava em idade superior a dois anos. (FERREIRA, 1983).

A distribuição geográfica das principais doenças florestais da região Sul do Brasil foi feita para a armilariose em pínus (ROSOT; OLIVEIRA; AUER, 2005), para a gomose da acácia-negra (SANTOS; LUZ, 2007), faltando desenvolver o mesmo tipo de estudo para a ferrugem do eucalipto. O mapeamento da distribuição geográfica de uma dada doença auxilia na elaboração de estratégias de controle regionais, nos programas de fomento florestal (BERGAMIN FILHO et al., 2004; ROSOT; OLIVEIRA; AUER, 2005). Segundo Ferreira (1989), a ferrugem do eucalipto apresenta ampla distribuição no Brasil, ocorrendo de forma importante nas regiões Sudeste e Nordeste do Brasil. Na região Sul, ela pode ser encontrada nos três estados. O fungo também ocorre na América do Sul (Argentina, Colômbia, Equador, Paraguai, Uruguai e Venezuela), na América Central (Costa Rica, Cuba, Dominica, Republica Dominicana, El Salvador, Guatemala, Jamaica, Porto Rico e Trinidad Tobago), na América do Norte (México e Estados Unidos restrito à Flórida e Havaí) e Ásia (Japão) (CROP, 2012). Em 2010, este fungo foi registrado na costa leste da Austrália (MORIN et al., 2013).

3.2.2 Sintomatologia

O fungo coloniza, preferencialmente, as folhas jovens e os terminais de ramos, causando deformações nesses órgãos, a perda de dominância apical e, a, redução de crescimento (KRUGNER; AUER, 2005; FERREIRA, 1983).

Segundo Ferreira (1989), em mudas nos viveiros (FIGURA 1A) e em plantas no campo (FIGURA 1B), o ataque da ferrugem restringe-se aos órgãos tenros das plantas, ou seja, aos primórdios foliares com seus pecíolos e aos terminais de galhos, ramos e haste principal.



FIGURA 1 – (A): SINTOMA DA FERRUGEM EM MUDA DE *Eucalyptus grandis*; (B), SINTOMA DA FERRUGEM EM ÁRVORE JOVEM DE *Eucalyptus grandis*.
FONTE: CELSO GARCIA AUER (2013).

Especialmente nos rebentos foliares, os primeiros indícios de ataque são minúsculas pontuações, levemente salientes, verde-claras ou vermelho-amareladas. Depois de um ou dois dias, essas pontuações se transformam em pústulas de urediniósporos amarelos, que posteriormente aumentam de tamanho. Nos dias que se seguem ao surgimento das primeiras pústulas em um limbo tenro, têm início as infecções secundárias dentro de uma mesma planta, pela disseminação dos urediniósporos por vento ou chuva. Em condições favoráveis à doença, em poucos dias, os órgãos tenros de um terminal de galho ou haste principal ficam totalmente

tomados pela ferrugem, em virtude da interligação das pústulas, provocada pelas infecções secundárias.

Nesse estágio, a ferrugem do eucalipto apresenta sintomatologia inconfundível, dada pela intensa e típica esporulação dos urediniósporos do patógeno, de coloração amarelo-gema-de-ovo, que aparece nos órgãos atacados (FIGURA 2). Os rebentos foliares e seus pecíolos, bem como as partes mais apicais dos galhos e haste principal, que são os órgãos mais suscetíveis à ferrugem, ficam encarquilhados e totalmente tomados pela esporulação mencionada. A esporulação amarelo-gema-de-ovo começa a desaparecer com cerca de uma a duas semanas depois de sua manifestação nos órgãos atacados. Assim, os terminais de galhos e haste principal apresentam áreas hipertrofiadas, verrucosas, com forte coloração ferrugínea (FERREIRA, 1989).



FIGURA 2 – FORMAÇÃO DE UREDINIÓSPOROS DE *Puccinia psidii* SOBRE FOLHA DE *Eucalyptus grandis*.
FONTE: CELSO GARCIA AUER (2013).

3.2.3 Ciclo de vida de *Puccinia psidii*

O fungo inicia seu ciclo a partir do urediniósporo, que atinge uma brotação nova de um clone ou híbrido de espécie suscetível, (FIGURA 3). A penetração de urediniósporos é geralmente direta, através da cutícula e epiderme, mediante a formação de apressório. A colonização do fungo é intercelular, com a formação de haustórios intracelulares. (ALFENAS et al., 2009).

3.2.4 Relação fatores climáticos e distribuição do patógeno

Para ocorrência de uma dada doença é necessária 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., 2004). Desta forma, a distribuição espacial das doenças de plantas é influenciada pelas condições climáticas. Importantes doenças podem se tornar secundárias caso as condições ambientais não sejam favoráveis, contrariamente, doenças secundárias podem se tornar importantes caso o ambiente seja extremamente favorável (JESUS JUNIOR, et al., 2004).

O ambiente influencia todos os estádios de desenvolvimento do patógeno e da planta hospedeira, nas diversas fases do ciclo das relações patógeno-hospedeiro. Cada patossistema tem sua temperatura mínima, ótima e máxima de desenvolvimento. Assim, mudanças na temperatura ambiente podem afetar a incidência e a severidade da doença pela ação direta sobre o metabolismo do patógeno ou pela debilitação fisiológica da planta, predispondo-a à infecção (MAFIA, ALFENAS e LOOS, 2011).

O efeito da temperatura, na estação quente, inibe o patógeno durante o dia, e, à noite, favorece a infecção e esporulação. Na estação fria, durante a noite, a colonização do patógeno é inibida e, durante o dia, ocorre crescimento lento das lesões, o que mantém o desenvolvimento das doenças (VALE et al, 2004).

Em Viçosa-MG, comparando-se os plantios da seca e de inverno, verificaram-se marcantes diferenças nas curvas de progresso de doenças entre ambos os plantios, tanto da mancha angular quanto para a ferrugem do café. No plantio de inverno, a ferrugem foi mais intensa e as temperaturas foram inferiores a 21 °C. Durante o molhamento foliar, predominaram temperaturas inferiores a 16 °C. No plantio da seca, predominou a mancha-angular e as temperaturas foram de 16,1 a 21 °C. O molhamento foliar ocorreu principalmente nas faixas de temperatura entre 16,1 e 21 °C (COELHO et al, 2003).

No caso da ferrugem da mirtáceas em condições naturais, em Viçosa-MG, os teliósporos têm sido facilmente encontrados, na época mais quente do ano, de

dezembro a março. As pústulas constituídas de uma mistura de teliósporos e urediniósporos, são reconhecidas a olho nu por suas tonalidades mais castanhas, em contraste com as pústulas amarelo-vivas, que contêm apenas urediniósporos. Nessa mesma época, mas com menor frequência do que em jambeiro, os teliósporos de *P. psidii* podem ser encontrados em jabuticabeira, principalmente nas pústulas em folhas, misturadas aos urediniósporos. (FERREIRA, 1989). Ruiz (1988) relatou situação análoga verificada com a ferrugem em *E. cloeziana* no Sudeste da Bahia nos meses mais quentes do ano. Em condições artificiais, em Viçosa-MG, foi obtida abundante produção de teliósporos em plantas de eucalipto, quando inoculadas, na época mais quente do ano, com urediniósporos procedentes de eucalipto ou jambeiro (FERREIRA, 1989).

Ferreira (1983) realizou um experimento em laboratório, para estudar as temperaturas favoráveis à germinação de urediniósporos e teliósporos do fungo *P. psidii*. Os urediniósporos foram coletados de plantas jambeiro e de eucalipto, as quais haviam sido inoculadas com esporos obtidos de mirtáceas nativas, enquanto os teliósporos foram coletados somente de plantas de eucalipto, também inoculadas com esporos coletados em mirtáceas nativas. O autor realizou a incubação em placas de Petri com meio ágar-água, nas temperaturas de 10, 15, 20, 25 e 30 °C, por 12 horas no escuro. Com este trabalho, o autor verificou que as melhores temperaturas para a germinação de urediniósporos foram de 15 e 20 °C, enquanto para a germinação de teliósporos foram as de 20 e 25 °C. Sendo assim, para a germinação, seja de urediniósporos ou teliósporos, a faixa ideal de temperatura estaria entre 15 e 25 °C.

Temperaturas na faixa de 18-25 °C (ótimo = 23 °C), períodos prolongados de molhamento foliar (orvalho noturno ou garoas por períodos superiores a 6 h por 5-7 dias consecutivos) e a existência de órgãos juvenis (folhas jovens e terminais de crescimento) são altamente favoráveis à infecção (RUIZ et al., 1989). Órgãos maduros, ausência de molhamento foliar e temperatura acima de 30 °C ou abaixo de 10 °C desfavorecem à infecção.

Outro aspecto a ser levantado é a possibilidade das temperaturas ótimas de germinação de urediniósporos serem reguladas pelas temperaturas da região de origem dos esporos (AUER et al., 2012). Tal fato decorre da adaptação ecológica do fungo aos diferentes microclimas presentes no Brasil, informação que pode ser

importante na avaliação da capacidade de infecção do fungo em eucalipto e no zoneamento climático.

3.3. MÉTODOS DE CONTROLE DA FERRUGEM DO EUCALIPTO

3.3.1 Controle químico com fungicidas

Em casos de ataque intenso em mudas de eucalipto no viveiro, o controle químico da ferrugem com fungicidas é eficiente (FERREIRA e MILANI, 2002). Em condições de plantios, o controle químico pode ser uma alternativa viável em árvores jovens com idade entre seis meses e um ano de idade (SANTOS e AUER, 2011).

Vários princípios ativos foram recomendados, como: triadimenol, azoxystrobin, mancozeb e oxicloreto de cobre. (ALFENAS et al, 2009). Porém, o contínuo desenvolvimento das indústrias tem colocado novos produtos no mercado que podem ser mais eficientes (SANTOS e AUER, 2011). Assim, torna-se necessário testar os produtos atuais de forma isolada ou em conjunto com outros produtos químicos denominados como indutores de resistência de forma a se aproveitar do efeito sinérgico da aplicação dos dois produtos. Ressalta-se, a dificuldade do controle químico da ferrugem devido à falta de produtos registrados (SANTOS e AUER, 2011).

3.3.2. Controle com uso de material genético resistente

A medida considerada mais adequada ao controle da ferrugem do eucalipto é o plantio de material genético resistente (ALFENAS et al, 2009). Indivíduos resistentes têm sido selecionados em condições de campo e multiplicados por meio da clonagem (macro e micropropagação vegetativa) para formarem jardins clonais, dos quais se retiram brotações e minibrotações para a formação de mudas (ALFENAS et al, 2009). Tais clones selecionados são distribuídos em plantios

multiclonais de modo a controlar a ferrugem e permitir uma descontinuidade espacial contra o patógeno. Mais recentemente, os estudos estão sendo desenvolvidos com a herança gênica no patossistema *Eucalyptus-Puccinia psidii*, o sequenciamento de genes de clones de eucalipto e a busca dos genes de resistência para a inserção em clones de alta produtividade, porém altamente suscetíveis à doença (JUNGHANS et al., 2003; XAVIER et al., 2007; ALVES, 2008; MIRANDA et al., 2012). Esses estudos visam atender a necessidade de grandes indústrias de celulose detentoras de clones produtivos inseridos em seus sistemas de produção, porém altamente suscetíveis.

3.3.3. Mapeamento de áreas de risco e zoneamento da ferrugem do eucalipto

O estabelecimento de relações entre as condições climáticas presentes nas áreas de culturas e a ocorrência de doenças é importante ferramenta decisória para os programas de controle de doenças e de políticas públicas para diminuição de riscos e controle de doenças (VALE et al., 2004). Para tal, faz-se necessária a elaboração de zoneamentos climáticos.

O zoneamento climático pode reunir informações sobre as condições favoráveis à ocorrência de ferrugem e indicar as zonas de risco e classificá-las em baixo, médio ou alto (MASSON et al., 2007). Tal como o mapeamento da distribuição geográfica, o zoneamento de áreas de risco facilita a indicação de espécies ou clones de eucalipto em função de seu grau de suscetibilidade à ferrugem.

Outra necessidade acerca do conhecimento climático e sua relação com a ferrugem do eucalipto é o efeito de mudanças climáticas sobre doenças (VALE et al., 2004; GHINI 2008; HAMADA, 2008), e especialmente na região Sul do Brasil, poderia ajudar a explicar a ocorrência dessa doença de uma forma severa e constante. As mudanças climáticas, além de afetar potencialmente a produtividade, poderão promover alterações significativas na ocorrência e na severidade de doenças que afetam as culturas, o que torna fundamental analisar seus efeitos negativos potenciais, a fim de se adotar medidas de adaptação para evitar prejuízos futuros.

O impacto potencial das mudanças climáticas sobre as doenças do eucalipto poderá levar a uma redução da área favorável ao desenvolvimento da ferrugem no Brasil, com maior ocorrência no Sul, em virtude das condições exigidas pelo patógeno (MAFIA, ALFENAS e LOOS, 2011). Segundo esses autores considerando-se os dados climáticos de 1961 a 1990, a ferrugem está concentrada na maior parte do ano nas regiões Sudeste e Nordeste.

Através do mapeamento das áreas de risco de ocorrência da ferrugem do eucalipto é possível identificar regiões e épocas de maior favorabilidade ao desenvolvimento desta doença. Recentemente, um zoneamento da ferrugem do eucalipto foi elaborado por Silva et al (2013) para o estado de São Paulo visando seleção de *Eucalyptus* para a resistência contra a ferrugem do eucalipto.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 COLETA DE DADOS SOBRE A OCORRÊNCIA DA FERRUGEM DO EUCALIPTO NO ESTADO DO PARANÁ

Os pontos de ocorrência do fungo *P. psidii* e da ferrugem em eucalipto em diferentes localidades dos municípios do estado do Paraná foram obtidos a partir de informações registradas no Laboratório de Patologia Florestal da Embrapa Florestas, do Centro de Diagnóstico Marcos Enrietti (STAMMER & TOMAZ, 1991), fornecidas pelos técnicos da EMATER/PR, de empresas privadas com plantios de eucalipto e possíveis pontos derivados da ocorrência em indivíduos de outras espécies de mirtáceas suscetíveis.

Estes dados de locais com a ferrugem foram georeferenciados com o uso de GPS. No caso de locais sem georeferenciamento de campo, utilizou-se a informação da localização geográfica central do município (CRIA, 2012). Esses dados foram constituídos de latitude, longitude e altitude. O tratamento dos dados e a montagem do mapa de distribuição foram feitos na Embrapa Florestas. Esta atividade foi desenvolvida para uso na validação dos mapas gerados.

4.2 ELABORAÇÃO DE MAPAS PARA O ZONEAMENTO CLIMÁTICO DA FERRUGEM DO EUCALIPTO NO ESTADO DO PARANÁ

O zoneamento climático da ferrugem do eucalipto foi baseado em duas variáveis climáticas importantes: temperatura e período de molhamento foliar. Estas variáveis foram ajustadas a dois parâmetros epidemiológicos conhecidos da doença: a germinação de urediniosporos de *P. psidii* e as condições para a infecção.

As informações referentes à faixa de temperatura para a germinação de urediniosporos de *P. psidii* foram extraídas a partir do trabalho de Ferreira (1983) e Cruz et al. (2009). O primeiro autor verificou que as melhores temperaturas para a germinação de urediniosporos estiveram entre 15 e 20 °C, enquanto que para Cruz

et al. (2009) a germinação ótima esteve entre 20 e 25 °C. Baseado nesses dois trabalhos definiu-se 15 - 25 °C como a faixa ideal de temperatura, em quatro classes distintas como: altamente favorável, favorável, pouco favorável, e desfavorável (TABELA 1).

Os dados referentes à faixa de temperatura para a infecção foram baseados nos trabalhos de Ruiz (1988) e Masson (2007). A partir destes trabalhos, definiu-se 18 – 25 °C como a faixa ideal de temperatura. Também, criaram-se quatro classes distintas como: altamente favorável, favorável, pouco favorável, e desfavorável (TABELA 1).

TABELA 1. CLASSES DE FAVORABILIDADE PARA OCORRÊNCIA DA FERRUGEM DO EUCALIPTO EM FUNÇÃO DOS INTERVALOS DE TEMPERATURA MÉDIA E PERÍODO DE MOLHAMENTO FOLIAR CONSIDERANDO A GERMINAÇÃO DE UREDINIÓSPOROS DE *Puccinia psidii*.

CLASSES DE FAVORABILIDADE	TEMPERATURA MÉDIA (°C)	MOLHAMENTO FOLIAR 4 HORAS	MOLHAMENTO FOLIAR 6 HORAS
Altamente favorável	15 a 25	≥ 4	≥ 6
Favorável	15 a 25	< 4	< 6
Pouco favorável	10 a 15	< 4	< 6
Desfavorável	< 10	*	*

*O período de molhamento foliar não influencia.

FONTE: O autor (2013).

Os dados referentes ao molhamento foliar foram obtidos a partir dos trabalhos realizados por Ruiz (1988) e Masson (2009). Segundo Ruiz (1988), o período de molhamento foliar mínimo necessário para a ocorrência da doença é de seis horas. Segundo estudos feitos por Masson (2009), podem-se verificar altos índices de infecção com 3,14 horas de molhamento foliar. Sendo assim, foram elaborados dois cenários: o primeiro onde o limite para o desenvolvimento do fungo e da doença seria de quatro horas de molhamento foliar, e o segundo com seis horas de molhamento foliar. Com estes dois cenários, fez-se a comparação dos efeitos sobre a distribuição da doença para verificar qual seria o período de molhamento foliar que melhor explicaria a ocorrência da doença no estado do Paraná (TABELA 2).

TABELA 2. CLASSES DE FAVORABILIDADE PARA OCORRÊNCIA DA FERRUGEM DO EUCALIPTO EM FUNÇÃO DOS INTERVALOS DE TEMPERATURA MÉDIA E PERÍODO DE MOLHAMENTO FOLIAR CONSIDERANDO A INFECÇÃO DE UREDINIÓSPOROS DE *Puccinia psidii*.

CLASSES DE FAVORABILIDADE	TEMPERATURA MÉDIA (°C)	MOLHAMENTO FOLIAR 4 HORAS	MOLHAMENTO FOLIAR 6 HORAS
Altamente favorável	18 a 25	≥ 4	≥ 6
Favorável	18 a 25	< 4	< 6
Pouco favorável	15 a 18	< 4	< 6
Desfavorável	< 15	*	*

*O período de molhamento foliar não influencia.

FONTE: O autor (2013).

4.3 ELABORAÇÃO DE MAPAS CLIMÁTICOS

As variáveis climáticas básicas para uso na elaboração dos mapas foram provenientes da rede de estações meteorológicas do IAPAR, do INMET e da ANA. As medidas das variáveis climáticas foram calculadas por meses, a partir dados meteorológicos diários.

Para elaboração dos mapas foi utilizado o Sistema de Informação Geográfica de software (SIG), ARCGIS 10.1, passando pelas etapas de organização e armazenamento das informações em seu banco de dados e posterior análise e elaboração dos mapas. A área de estudo compreendida neste trabalho foi o estado do Paraná, utilizando a escala de 1: 250.000 (WREGE et al, 2011).

Para a obtenção dos dados de temperatura, foi utilizada uma base de dados com valores médios mensais que compreendeu o período de 1976 a 2005 (WREGE et al, 2011). A partir destes dados, foram executadas análises de regressão, tendo como variáveis dependentes as temperaturas médias diárias e a média das mínimas, e como variáveis independentes a altitude, a latitude, e a longitude.

Os dados foram mapeados utilizando-se sistemas de informações geográficas (SIG). A metodologia para o mapeamento das temperaturas foi estabelecida por meio da relação dos dados de temperatura com o modelo digital de altitude (GTOPO30) (USGS, 1999) e, ainda, com a latitude e a longitude, através de

regressão linear, que gerou planos de informação em formato *raster*. Através de operações algébricas entre os planos, foram obtidos mapas de classificação das zonas favoráveis à doença: favorável, pouco favorável e desfavorável.

Para obtenção dos valores de temperatura do ar (°C) utilizou-se de regressão múltipla, onde foi relacionada à temperatura do ar (°C) com o modelo de superfície terrestre (altitude, em metros s.n.m., representada pela δ), os paralelos (latitude, expressa em graus decimais negativos, representada pelo β) e os meridianos (longitude, expressa em graus decimais negativos, representada por χ) expressa na seguinte fórmula (WREGGE et al, 2011):

$$y = \alpha + \beta \text{latitude} + \chi \text{longitude} + \delta \text{altitude}, \quad 1)$$

Onde, y é a temperatura (°C); α é a constante; β é o coeficiente da latitude, χ é o coeficiente da longitude e δ é o coeficiente da altitude. Os valores originais obtidos encontram-se listados nos APÊNDICES 1 e 2.

Para a elaboração dos mapas baseados no período de molhamento foliar noturno, foi utilizada uma base de dados com valores médios mensais que compreendem períodos de tempo variáveis, compreendidos no período de 1961 a 1990. Os dados foram interpolados pelo método da krigagem ordinária no ARCGIS 10.1, para obter mapas na escala de 1: 250.000. Diferentemente da temperatura, o molhamento foliar noturno não apresenta correlação com o relevo. Os mapas foram divididos em duas classes: favorável e desfavorável.

As sobreposições entre os diferentes mapas foram feitas em sistemas de informações geográficas, por meio da intersecção. Para esse fim, primeiramente todos os mapas foram passados para um mesmo formato, todos como vetores.

Com os mapas de temperatura e molhamento foliar prontos, indicando suas respectivas zonas de favorabilidade, realizou-se o cruzamento das informações das diferentes variáveis: (1) temperaturas mínimas médias com molhamento foliar noturno de quatro ou seis horas, para a germinação, e (2) temperaturas médias com molhamento foliar noturno de quatro horas ou seis, para a infecção. Com esses cruzamentos foram criadas quatro diferentes zonas: altamente favorável, favorável, pouco favorável e desfavorável.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA DA FERRUGEM DO EUCALIPTO NO ESTADO DO PARANÁ

A partir da espacialização dos pontos de ocorrência da ferrugem (TABELA 3) pode-se verificar que a doença ocorre em todo o estado do Paraná, concentrando-se nas regiões Leste, Norte e Central (FIGURA 4). Das 33 ocorrências da ferrugem causada por *P. psidii*, 16 são de *Eucalyptus* spp. e 17 são de outras mirtáceas. A região Leste apresentou 12 ocorrências sendo 5 de eucalipto, seguido pela região Norte com 8 ocorrências (4 de eucalipto), e a região Central com 7 ocorrências (5 de eucalipto). Estas regiões correspondem às regiões fitogeográficas com climas submontano e subtropical úmidos na maior parte do ano, que favorecem a germinação dos urediniósporos e a infecção das plantas. As regiões também apresentam maior número de registro de ferrugem por apresentar áreas de cultivo com eucaliptos suscetíveis (*E. grandis* e híbrido *urograndis*) (TABELA 3).

O patógeno foi registrado desde baixas altitudes como 20 m até além de 1000 m (TABELA 3), mostrando grande variação altitudinal em sua distribuição, indicando grande adaptação ecológica a diferentes regiões bioclimáticas (FIGURAS 4 e 5). Talvez, esta maior adaptação explique a ocorrência deste fungo em todas as regiões brasileiras (FERREIRA, 1989).

A ferrugem também foi registrada em locais do estado do Paraná onde se considera a existência de déficit hídrico (FIGURAS 4 e 5), apesar de que este fator pode influenciar negativamente a ocorrência da doença, em alguns meses do ano, por reduzir o período de molhamento foliar noturno. Outro fator que também deve influenciar a distribuição da doença é a condição de baixas temperaturas, principalmente no sul do estado do Paraná, por reduzir ou impedir a germinação dos urediniósporos.

TABELA 3. LOCALIZAÇÃO DA OCORRÊNCIA DA FERRUGEM CAUSADA POR *Puccinia psidii* EM EUCALIPTO E OUTROS HOSPEDEIROS NO ESTADO DO PARANÁ

PONTO DE COLETA	MUNICÍPIO	LATITUDE	LONGITUDE	ALTITUDE (m)	PLANTA HOSPEDEIRA
1	Adrianópolis	-24,66	-48,99	250	<i>Eucalyptus grandis</i> x <i>Eucalyptus urophylla</i>
2	Antonina	-25,43	-48,71	20	<i>Eugenia jambosa</i>
3	Apucarana	-23,55	-51,46	820	<i>Psidium guajava</i>
4	Arapoti	-24,16	-49,83	860	<i>Eucalyptus grandis</i>
5	Campina Grande do Sul	-25,31	-49,06	903	<i>Eucalyptus grandis</i>
6	Campo Mourão	-24,05	-52,38	585	<i>Eucalyptus grandis</i>
7	Cascavel	-24,96	-53,46	781	<i>Eugenia</i> sp.
8	Castro	-24,79	-50,01	999	<i>Eucalyptus grandis</i>
9	Colombo	-25,29	-49,22	1027	<i>Eucalyptus grandis</i>
10	Cornélio Procópio	-23,18	-50,65	676	<i>Psidium guajava</i>
11	Curitiba	-25,43	-49,27	934	<i>Eugenia</i> sp.
12	Francisco Beltrão	-26,08	-53,06	570	<i>Eucalyptus grandis</i>
13	Guarapuava	-25,4	-51,46	1098	<i>Eucalyptus dunnii</i>
14	Imbaú	-24,45	-50,76	940	<i>Eucalyptus grandis</i>
15	Ipiranga	-25,02	-50,58	800	<i>Psidium guajava</i>
16	Irati	-25,47	-50,65	820	<i>Eugenia involucrata</i>
17	Iretama	-24,42	-52,11	595	<i>Eucalyptus grandis</i>
18	Lapa	-25,77	-49,72	908	<i>Myrciaria cauliflora</i>
19	Londrina	-23,31	-51,16	585	<i>Eucalyptus grandis</i>
20	Mandirituba	-25,78	-49,33	925	<i>Eucalyptus dunnii</i>
21	Morretes	-25,48	-48,83	10	<i>Psidium guajava</i>
22	Palotina	-24,28	-53,84	333	<i>Eugenia jambosa</i>
23	Paranavai	-23,07	-52,47	470	<i>Psidium guajava</i>
24	Pato Branco	-26,23	-52,67	761	<i>Psidium guajava</i>
25	Paula Freitas	-26,21	-50,94	748	<i>Eucalyptus grandis</i>
26	Paulo Frontin	-26,04	-50,84	778	<i>Psidium guajava</i>
27	Piraquara	-25,44	-49,06	905	<i>Eugenia</i> sp.
28	Ponta Grossa	-25,1	-50,16	969	<i>Eugenia</i> sp.
29	Prudentópolis	-25,21	-50,98	840	<i>Eucalyptus grandis</i>
30	São José dos Pinhais	-25,53	-49,21	906	<i>Myrciaria cauliflora</i>
31	Sengés	-24,11	-49,46	623	<i>Eucalyptus grandis</i>
32	Tomazina	-23,78	-49,95	541	<i>Eucalyptus grandis</i>
33	Tunas do Paraná/PR	-24,97	-49,09	906	<i>Eucalyptus grandis</i>

FONTE: O autor (2013).

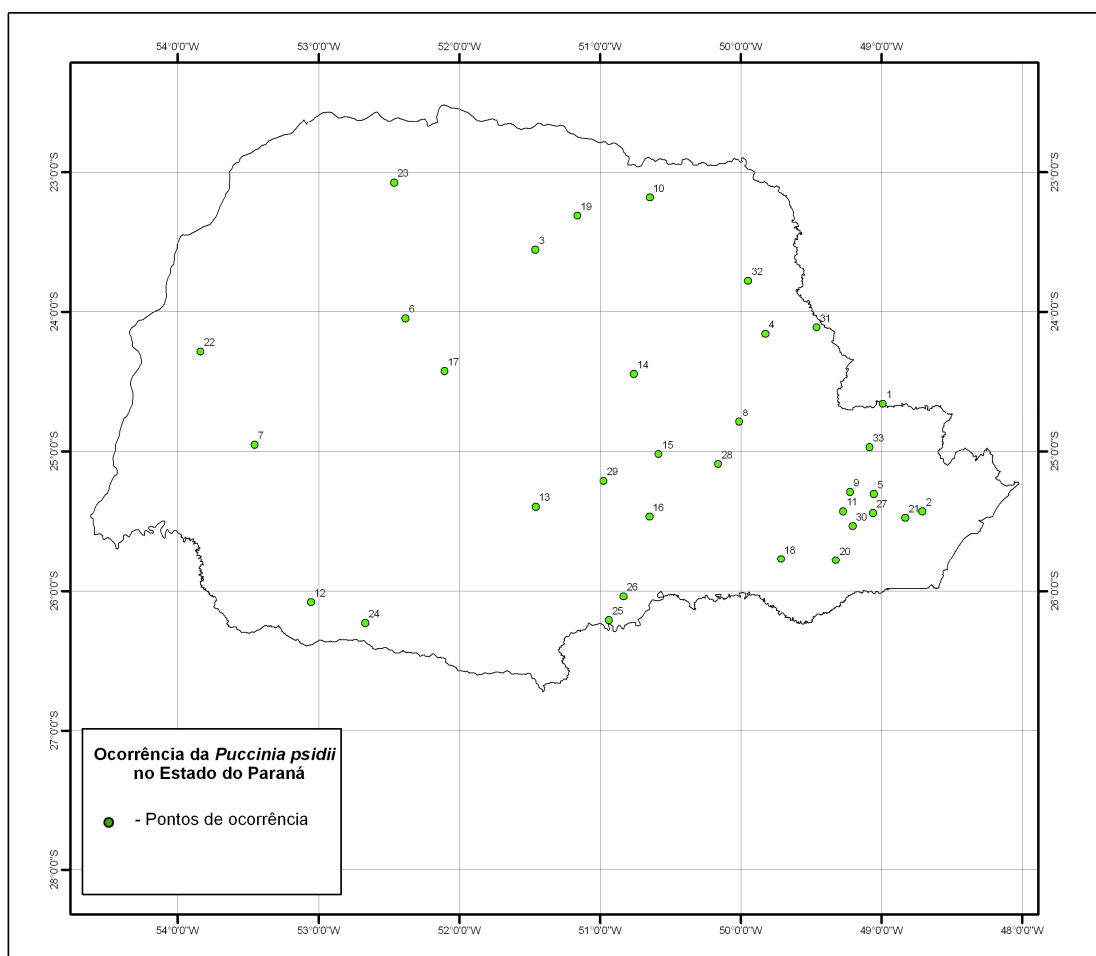
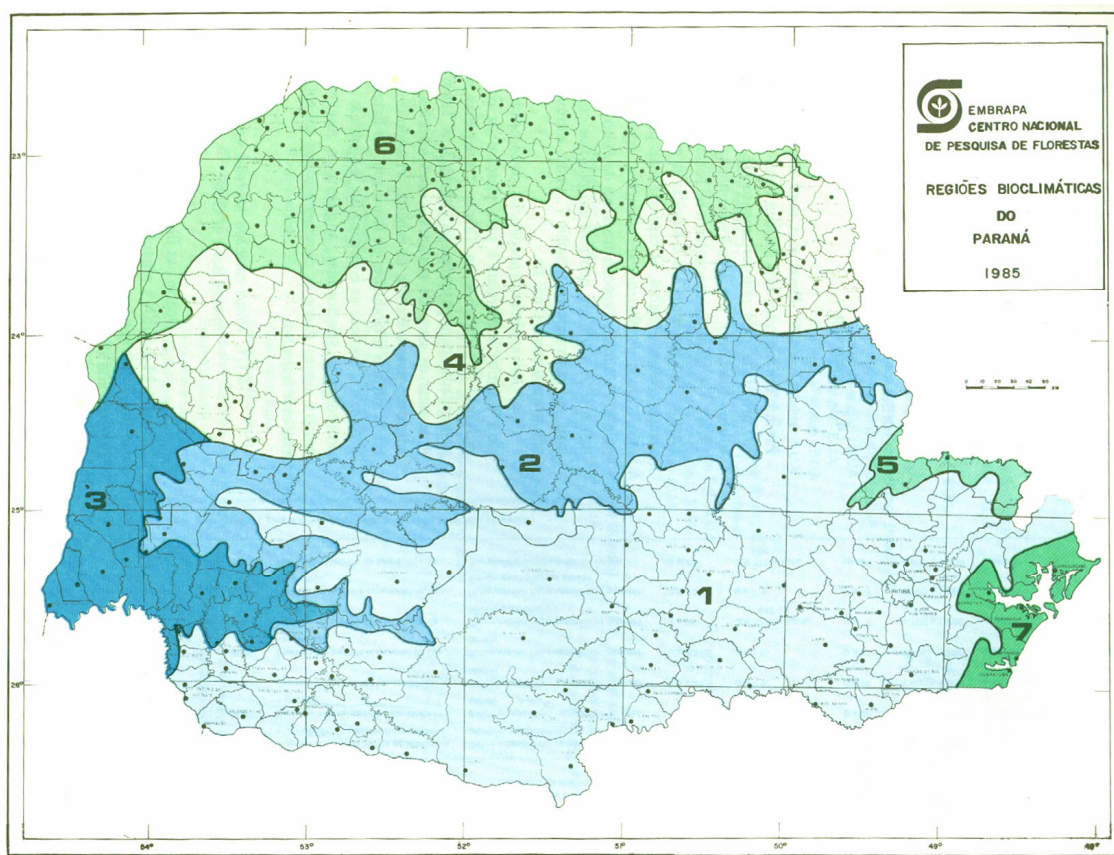


FIGURA 4 - DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA FERRUGEM DAS MIRTÁCEAS NO ESTADO DO PARANÁ.
FONTE: O autor (2013).



REGIÃO	LOCALIZAÇÃO	TIPO DE CLIMA	DEFICIT HÍDRICO (MM)*
1	Centro-Sul	Submontano (Tipo temperado quente) úmido e muito úmido.	Nulo
2	Zonas de transição das regiões 1-3 e 1-4	Submontano (tipo temperado quente) úmido.	Nulo
3	Oeste do planalto de Guarapuava	Submontano (tipo temperado quente) úmido.	Nulo
4	Planalto Norte do Paraná	Submontano (tipo temperado quente) úmido.	0 a 8
5	Vale do Rio da Ribeira	Submontano (tipo temperado quente) úmido e subtropical	Nulo
6	Extremo Norte do Paraná	Submontano (tipo temperado quente) úmido e subtropical úmido.	≤ 20**
7	Litoral	Subtropical úmido e muito úmido.	Nulo

* Segundo Thornthwaite e Mather (1955) para 300 mm de capacidade de retenção de água do solo.

** O valor de 20 mm foi estimado para o extremo noroeste do Paraná.

FIGURA 5. CARACTERIZAÇÃO DAS REGIÕES BIOCLIMÁTICAS DO ESTADO DO PARANÁ. FONTE: CARPANEZZI (1986).

5.2 ZONEAMENTO CLIMÁTICO DA FERRUGEM DO EUCALIPTO NO ESTADO DO PARANÁ

5.2.1 Zoneamento climático com base na temperatura de germinação de urediniósporos de *Puccinia psidii*

Analisando os dois períodos de molhamento foliar noturno considerados nesse estudo, verificou-se que o período de molhamento de quatro horas foi o que apresentou maior favorabilidade para avaliar a ocorrência de ferrugem para o estado do Paraná (FIGURAS 10 e 11). O período noturno de molhamento foliar de quatro horas também permitiu explicar a ocorrência da ferrugem do eucalipto em áreas do Norte do Paraná mesmo com menor precipitação pluviométrica (FIGURAS 4 e 5).

Apesar do período de molhamento foliar de quatro horas ser menor, este tempo é suficiente para a germinação dos urediniósporos. Em um teste de germinação realizado em câmara BOD constatou-se que com duas horas de incubação a 16 °C, inicia-se a germinação (BORA, 2011, dados não publicado)¹.

Com base nos mapas, verifica-se a existência de variação das classes de favorabilidade climática a ocorrência da ferrugem do eucalipto ao longo do ano (FIGURAS 6, 7, 8 e 9).

Os meses compreendidos de outubro a abril (FIGURAS 6A, 6B, 6C, 7A, 7B, 9B e 9C), foram os que apresentaram as condições climáticas mais favoráveis à germinação, sendo que os meses compreendidos de dezembro a março (FIGURAS 6A, 6B, 6C e 7A) foram os que apresentaram um aumento das áreas classificadas como altamente favorável e favorável ao desenvolvimento da ferrugem do eucalipto. A explicação de ocorrer mais ferrugem no verão estaria no fato de que esses são os meses de maior pluviosidade e maior período de molhamento foliar, o que pode favorecer o desenvolvimento da doença.

¹ BORA, K. C. **Curso de Pós-graduação em Engenharia Florestal**. Colombo, 2011. Não publicado

Estes resultados são similares aos obtidos por Moraes et al (2010) acerca da ferrugem da cana-de-açúcar no Brasil, onde observou-se que o período de maior favorabilidade à ferrugem está compreendido entre os meses de novembro a abril.

Já os meses de maio a setembro (FIGURAS 7C, 8A, 8B, 8C e 9A) foram os que apresentaram redução das áreas classificadas como favorável e pouco favorável ao desenvolvimento dessa doença (FIGURAS 10 e 11). Tal fato pode ser atribuído devido a presença de baixas temperaturas e ausência de precipitação que dificultariam a germinação dos urediniósporos.

Estes resultados corroboram com os obtidos por Souza (1980) que verificou um decréscimo na intensidade da doença da ferrugem do café a partir do mês de maio. Independentemente do período de molhamento foliar (quatro ou seis horas), a estação mais favorável à germinação foi o verão e a mais desfavorável foi o inverno. Nesse caso, um dos fatores limitantes no inverno pode ser a baixa temperatura. Embora a precipitação nesses meses do ano seja escassa, ainda ocorre o molhamento foliar, (noite com neblina e sereno), entretanto a baixa temperatura de algumas regiões do estado do Paraná não deve permitir a germinação dos urediniósporos (FIGURA 5).

Estudos realizados por Moraes et al (2011) sobre o desenvolvimento da ferrugem do café no Brasil, mostram que no período compreendido entre maio e setembro ocorre redução no percentual das áreas classificadas como favorável e relativamente favorável. Nesse período ocorrem menor precipitação e período de molhamento foliar que impedem a germinação e infecção por *Hemileia vastatrix*.

No caso do outono (FIGURA 7), a temperatura continua favorável a doença, mas a precipitação é menor, e por isso o período de molhamento foliar de quatro horas foi o que apresentou maior quantidade de área favorável a doença em comparação com o período de molhamento de seis horas.

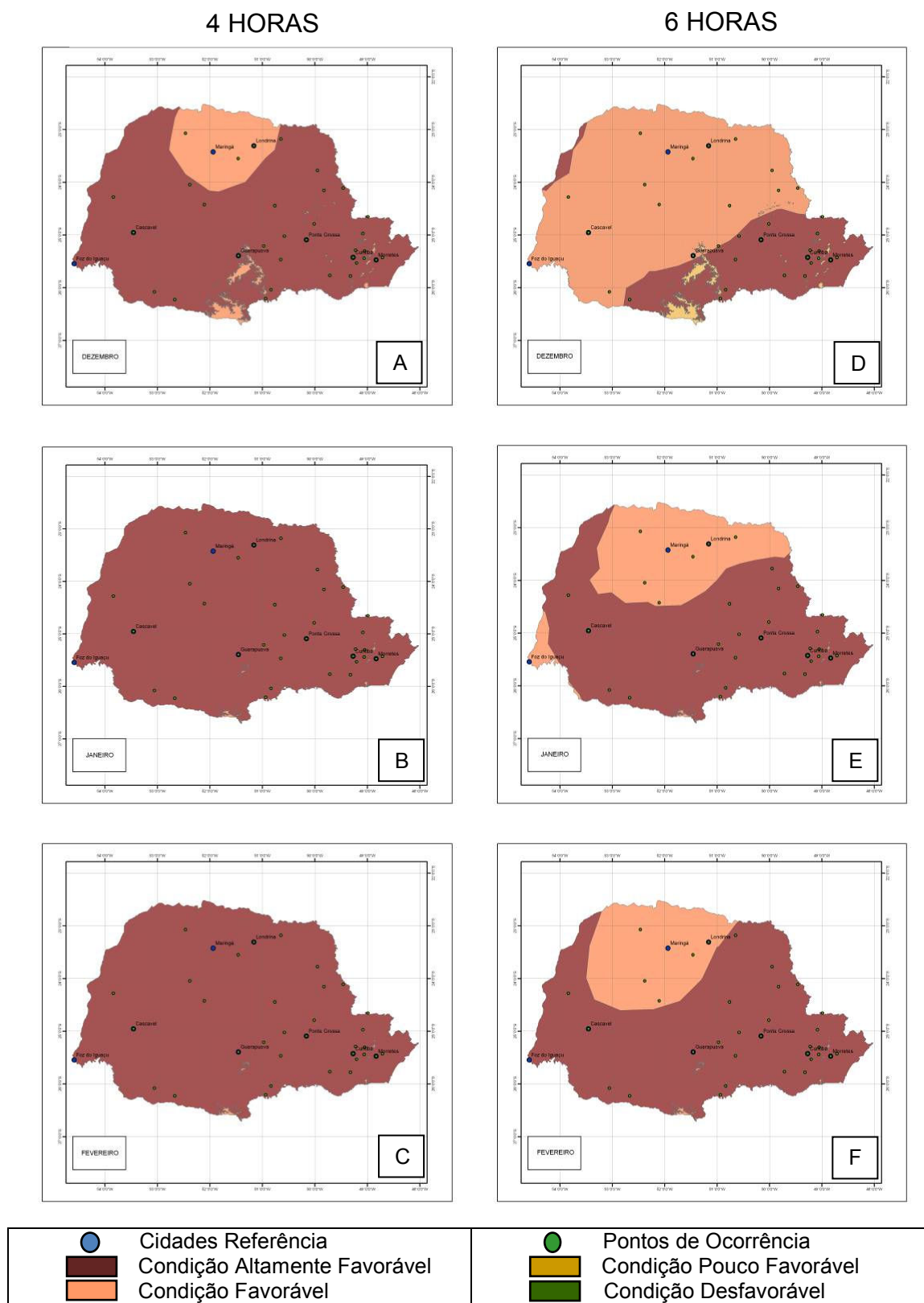


FIGURA 6 – FAVORABILIDADE CLIMÁTICA DA FERRUGEM DO EUCALIPTO NO ESTADO DO PARANÁ NO PERÍODO DE VERÃO, COM BASE NA GERMINAÇÃO DE UREDINIÓSPOROS DE *Puccinia psidii* E MOLHAMENTO FOLIAR DE QUATRO HORAS (A. DEZEMBRO. B. JANEIRO. C. FEVEREIRO) E SEIS HORAS (D. DEZEMBRO. E. JANEIRO. F. FEVEREIRO).

FONTE: O autor (2013).

4 HORAS

6 HORAS

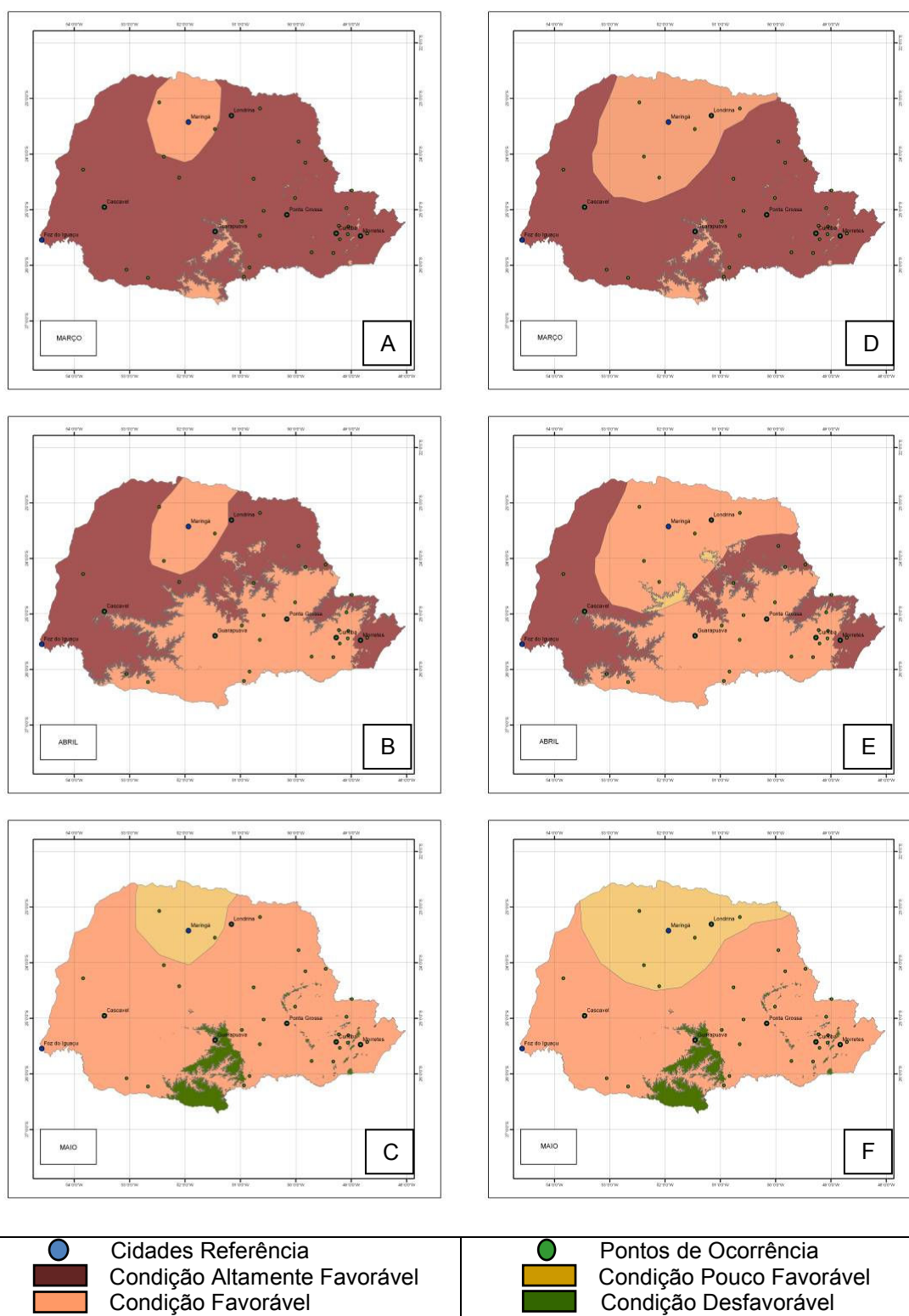


FIGURA 7 – FAVORABILIDADE CLIMÁTICA DA FERRUGEM DO EUCALIPTO NO ESTADO DO PARANÁ NO PERÍODO DE OUTONO, COM BASE NA GERMINAÇÃO DE UREDINIÓSPOROS DE *Puccinia psidii* E MOLHAMENTO FOLIAR DE QUATRO HORAS (A. MARÇO. B. ABRIL. C. MAIO) E SEIS HORAS (D. MARÇO. E. ABRIL. F. MAIO).

FONTE: O autor (2013).

4 HORAS

6 HORAS

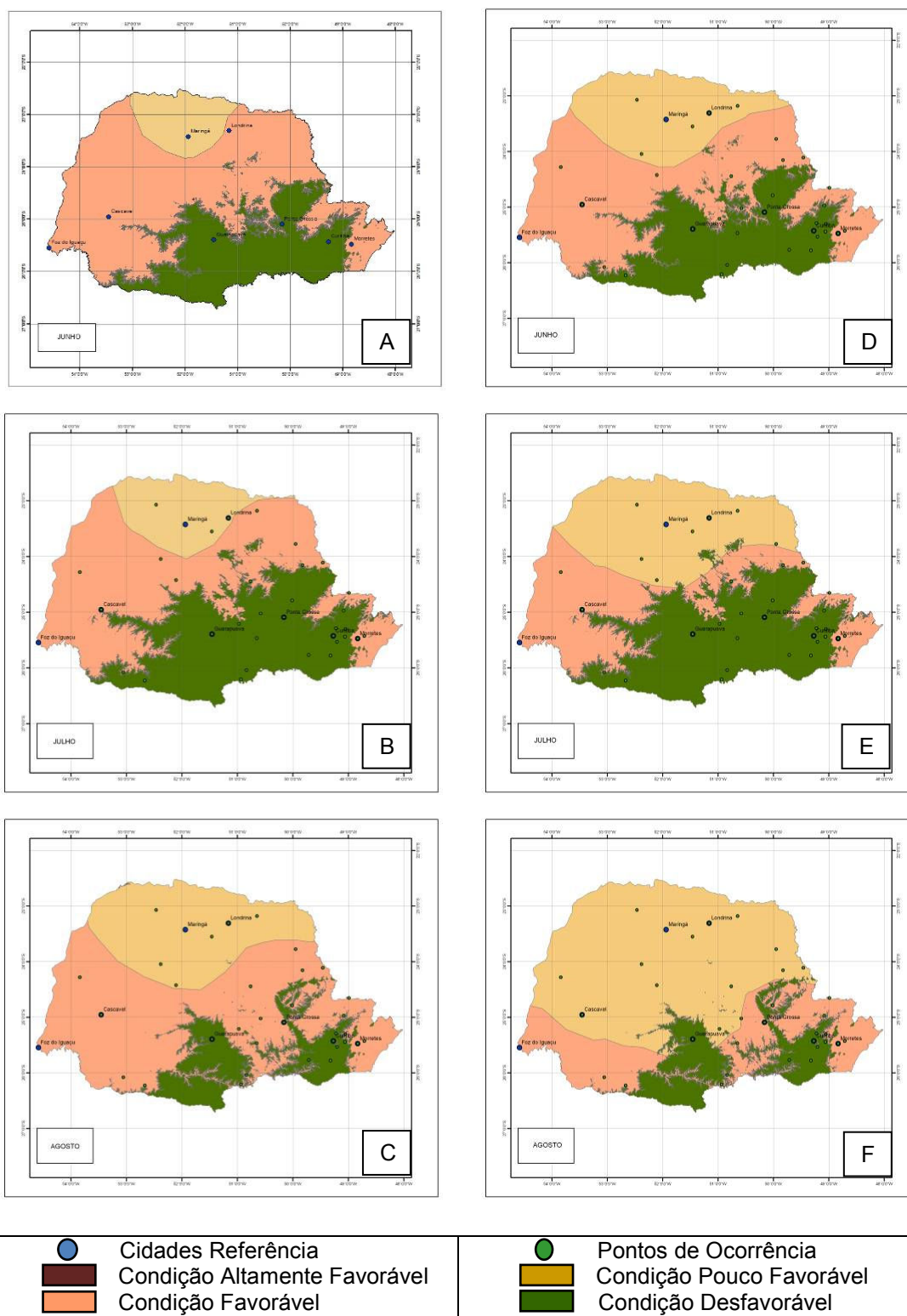


FIGURA 8 – FAVORABILIDADE CLIMÁTICA DA FERRUGEM DO EUCALIPTO NO ESTADO DO PARANÁ NO PERÍODO DE INVERNO, COM BASE NA GERMINAÇÃO DE UREDINIÓSPOROS DE *Puccinia psidii* E MOLHAMENTO FOLIAR DE QUATRO HORAS (A. JUNHO. B. JULHO. C. AGOSTO) E SEIS HORAS (D. JUNHO. E. JULHO. F. AGOSTO).

FONTE: O autor (2013).

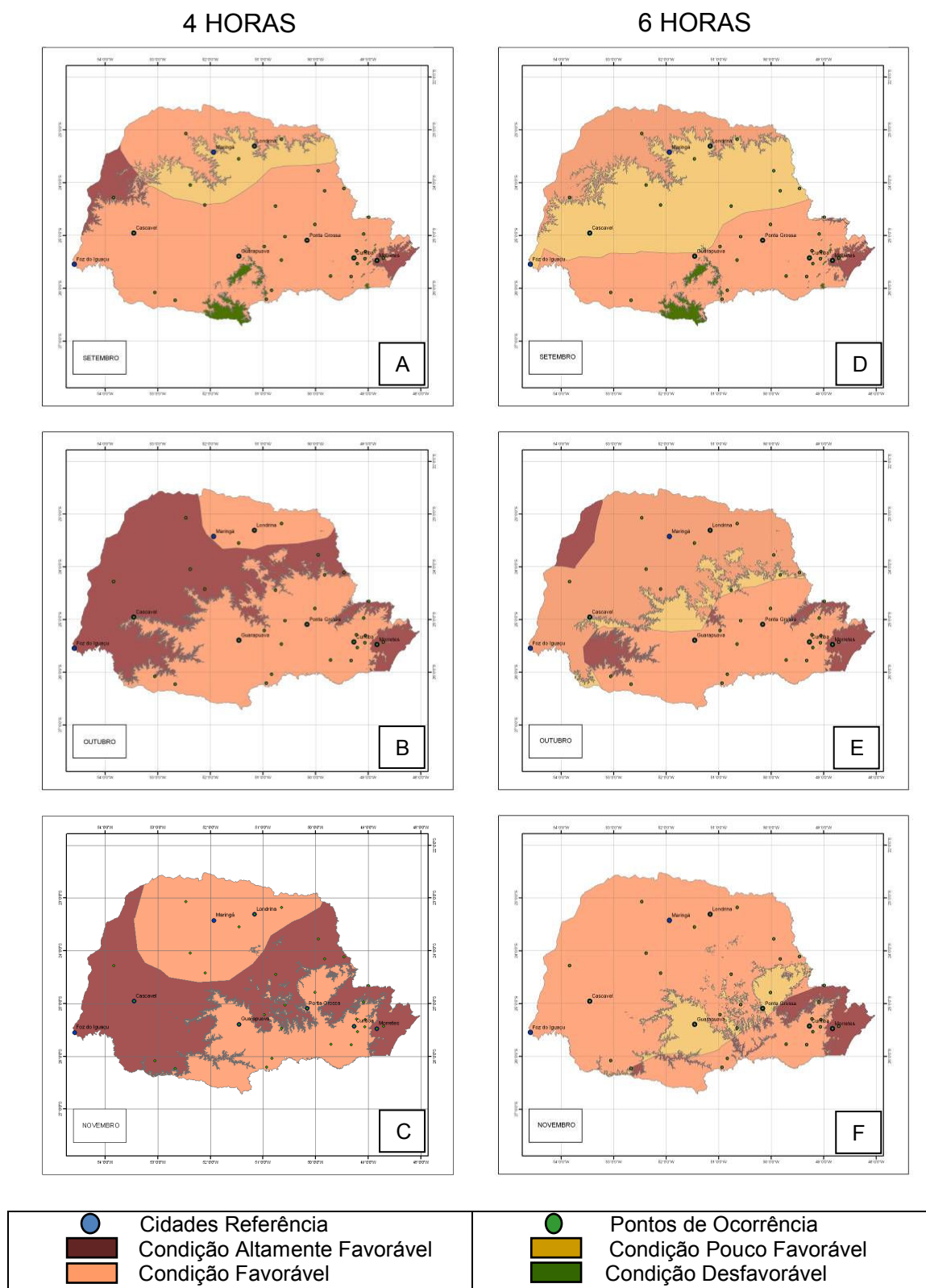


FIGURA 9 – FAVORABILIDADE CLIMÁTICA DA FERRUGEM DO EUCALIPTO NO ESTADO DO PARANÁ NO PERÍODO DE PRIMAVERA, COM BASE NA GERMINAÇÃO DE UREDINIÓSPOROS DE *Puccinia psidii* E MOLHAMENTO FOLIAR DE QUATRO HORAS (A. SETEMBRO. B. OUTUBRO. C. NOVEMBRO) E SEIS HORAS (D. SETEMBRO. E. OUTUBRO. F. NOVEMBRO).

FONTE: O autor (2013).

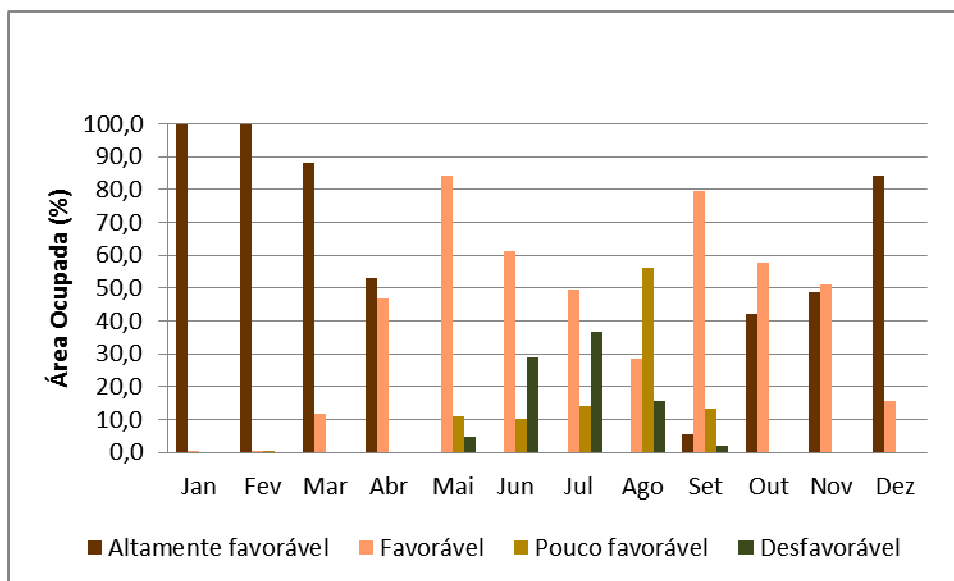


FIGURA 10 – ÁREA OCUPADA (%) PELAS CLASSES DE FAVORABILIDADE À OCORRÊNCIA DA FERRUGEM DO EUCALIPTO (*Puccinia psidii*) NO ESTADO DO PARANÁ, CONSIDERANDO A GERMINAÇÃO E PERÍODO DE MOLHAMENTO FOLIAR DE 4 HORAS.

FONTE: O autor (2013).

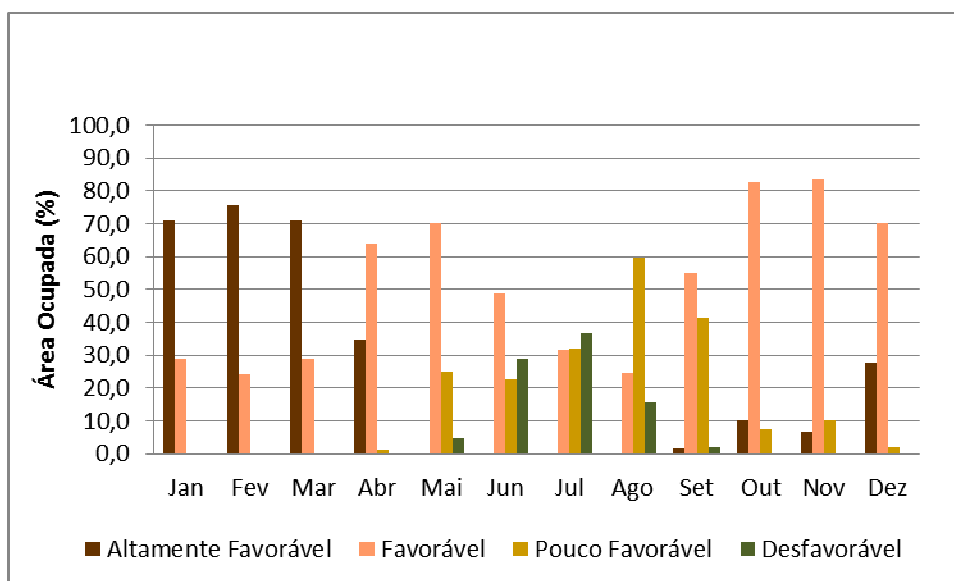


FIGURA 11 – ÁREA OCUPADA (%) PELAS CLASSES DE FAVORABILIDADE À OCORRÊNCIA DA FERRUGEM DO EUCALIPTO (*Puccinia psidii*) NO ESTADO DO PARANÁ CONSIDERANDO A GERMINAÇÃO E PERÍODO DE MOLHAMENTO FOLIAR DE 6 HORAS.

FONTE: O autor (2013).

Analisando-se os percentuais mensais de área de distribuição no estado do Paraná (FIGURAS 10 e 11), para a germinação de esporos em cada um dos cenários de favorabilidade, verificou-se que com relação à condição altamente favorável houve um maior percentual de área com 4 horas de molhamento foliar. No

caso da condição favorável, houve um maior percentual de área quando se utilizou 6 horas de molhamento foliar.

Com relação à condição pouco favorável, verificou-se ser maior com 6 horas de molhamento foliar, quando comparada com 4 horas. No caso da condição desfavorável, os percentuais de área são similares tanto para 4 como 6 horas de molhamento foliar (FIGURAS 10 e 11).

5.2.2 Zoneamento climático com base na temperatura de infecção por *Puccinia psidii*

Os meses em que a temperatura apresentou maior favorabilidade à ferrugem com base na infecção por *P. psidii* também foram de outubro a abril (FIGURAS 12A, 12B, 12C, 13A, 13B, 15B e 15C), com molhamento foliar de quatro horas, quando comparado com os dados da germinação. Os meses em que as temperaturas começaram a se tornar desfavoráveis também foram de maio a setembro (FIGURAS 13C, 14A, 14B, 14C e 15A).

Com base nos mapas, verificou-se também que o melhor período de molhamento foliar para a infecção de *P. psidii* foi de quatro horas. Independentemente do período de molhamento foliar (quatro ou seis horas), a estação mais favorável à infecção foi o verão e a mais desfavorável à infecção foi o inverno, tal como observado para a germinação.

Um aspecto importante a ser lembrado é acerca da necessidade de órgãos juvenis (folhas e brotações) suscetíveis à infecção relatados por Ruiz et al. (1989). Estes órgãos juvenis estão presentes em árvores de eucalipto, com até 2 anos de idade, principalmente no verão, nas localidades mais frias da região Sul do Brasil. No inverno, ocorre a parada no crescimento do eucalipto e da produção de brotações e conseqüentemente não se verificam tecidos suscetíveis à ferrugem. Isto explicaria a redução nas condições favoráveis à ferrugem principalmente no inverno, apesar de haver molhamento foliar noturno.

Ruiz (1988) estudou a ferrugem em mudas de *Eucalyptus grandis* procedentes da África do Sul, e *Syzygium jambos*, devido à sua suscetibilidade à ferrugem. O isolado de *P. psidii* utilizado nesses ensaios foi obtido de folhas de *Eucalyptus cloeziana*, infectado naturalmente, no município de Teixeira de Freitas, BA. As mudas, após inoculadas, foram submetidas às temperaturas de 10, 15, 20, 25 e 30 °C e aos tempos de água livre de 6, 12, 24, 36 e 48 horas no escuro. Após estes períodos de câmara úmida, as mudas passaram para câmara de crescimento, a 21 °C (± 1 °C), 60 a 80 % UR e 12 horas de fotoperíodo, até a avaliação dos resultados. Os maiores índices de infecção foram a 20 e a 25 °C, e o número de soros aumentou conforme aumentou o tempo de água livre na superfície foliar. Porém, a 20 °C com 6 horas de água livre produziu um número de soros

considerado favorável à infecção. Essas condições favoráveis descritas por Ruiz (1988) podem ser encontradas principalmente no período de verão, na região Sul do Brasil.

Nas observações em campo, feitas por Ruiz (1988) no município de Teixeira de Freitas, BA, os picos de infecção da ferrugem ocorreram em uma época do ano em que as médias das temperaturas mínimas variaram de 17 a 20 °C, e a média das máximas entre 25 e 28 °C. Apesar da diferença regional com o estado do Paraná existe similaridade dessas temperaturas favoráveis com as encontradas no período de verão na região Sul.

Masson (2009) analisou a ferrugem do eucalipto em áreas localizadas no extremo Sul do estado da Bahia, por meio de dados climáticos diários, de temperatura e período de molhamento foliar, do ano de 2008, nas áreas de plantio comercial da empresa. Através de avaliações de incidência e severidade, o autor determinou um Índice de infecção de ferrugem diário, visando uma análise comparativa entre doença x clima (região) x clone. Os índices foram obtidos diariamente e consolidados em valores médios mensais para cada região de plantio. O material usado referia-se a clones de *Eucalyptus grandis* e híbridos de *E. grandis* x *E. urophylla*, denominado popularmente como “urograndis”. O autor observou que em uma das áreas avaliadas, no mês de julho foi registrada uma média de molhamento foliar de 3,73 horas e uma média de temperatura máxima de 22,61 °C, onde a infecção continuou sendo alta. Em outra área, também no mês de julho, foi registrada uma média de molhamento foliar de 3,14 e uma temperatura média máxima de 25,34 °C, onde também a infecção manteve-se em altos níveis. Desta forma, pode-se inferir que períodos de molhamento foliar próximos de 4 horas e temperaturas na faixa de 22 a 25 °C também são considerados favoráveis à infecção por *P. psidii*.

No presente estudo, quando se comparam os mapas de infecção de quatro e seis horas de molhamento foliar, nota-se que as regiões com maior percentual de área apresentam áreas mais favoráveis à infecção no período de molhamento foliar de quatro horas (FIGURAS 16 a 17).

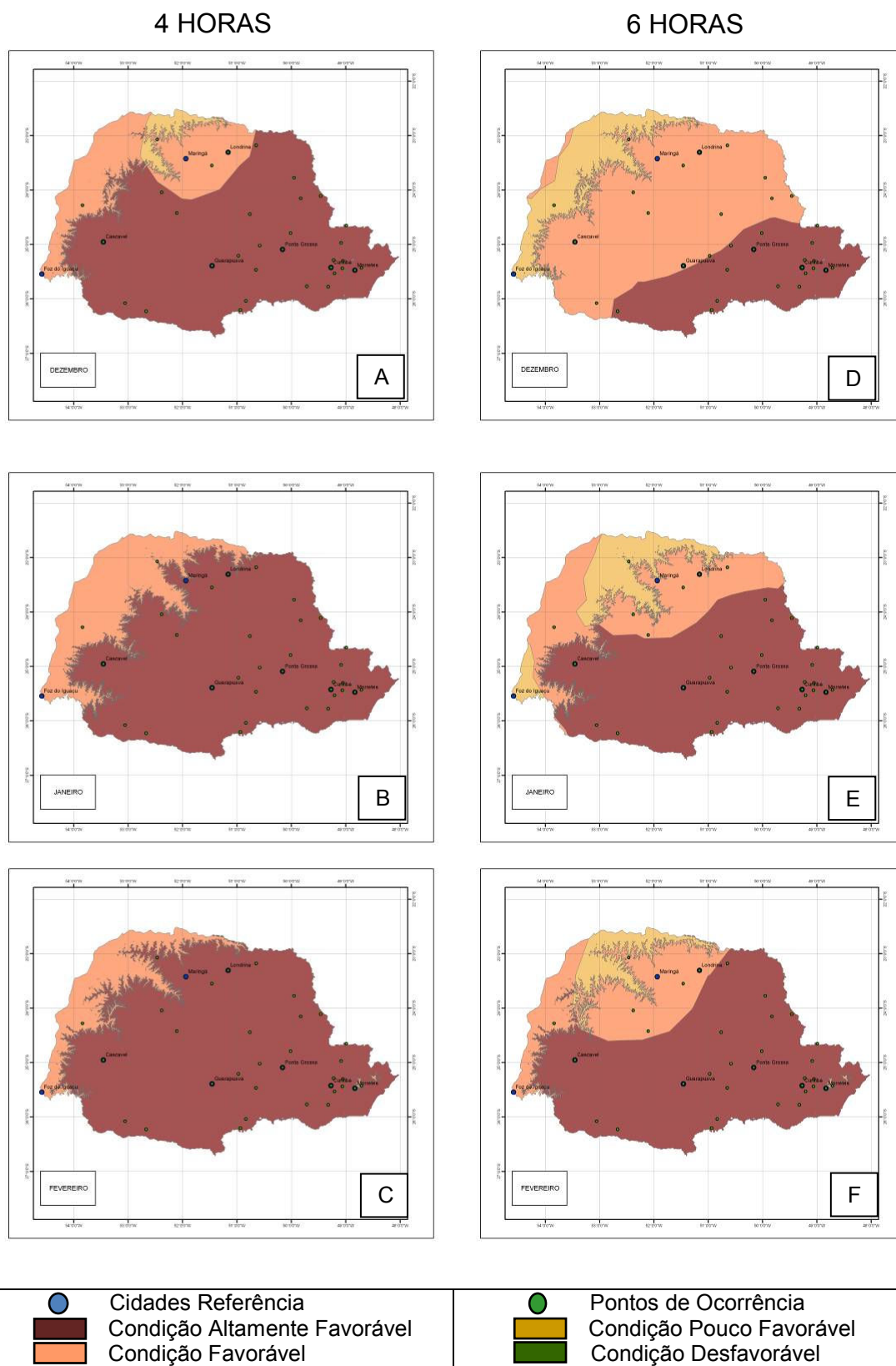


FIGURA 12 – FAVORABILIDADE CLIMÁTICA DA FERRUGEM DO EUCALIPTO NO ESTADO DO PARANÁ NO PERÍODO DE VERÃO, COM BASE NA INFECÇÃO DE UREDINIÓSPOROS DE *Puccinia psidii* E MOLHAMENTO FOLIAR DE QUATRO HORAS (A. DEZEMBRO. B. JANEIRO. C. FEVEREIRO) E SEIS HORAS (D. DEZEMBRO. E. JANEIRO. F. FEVEREIRO)

FONTE: O autor (2013).

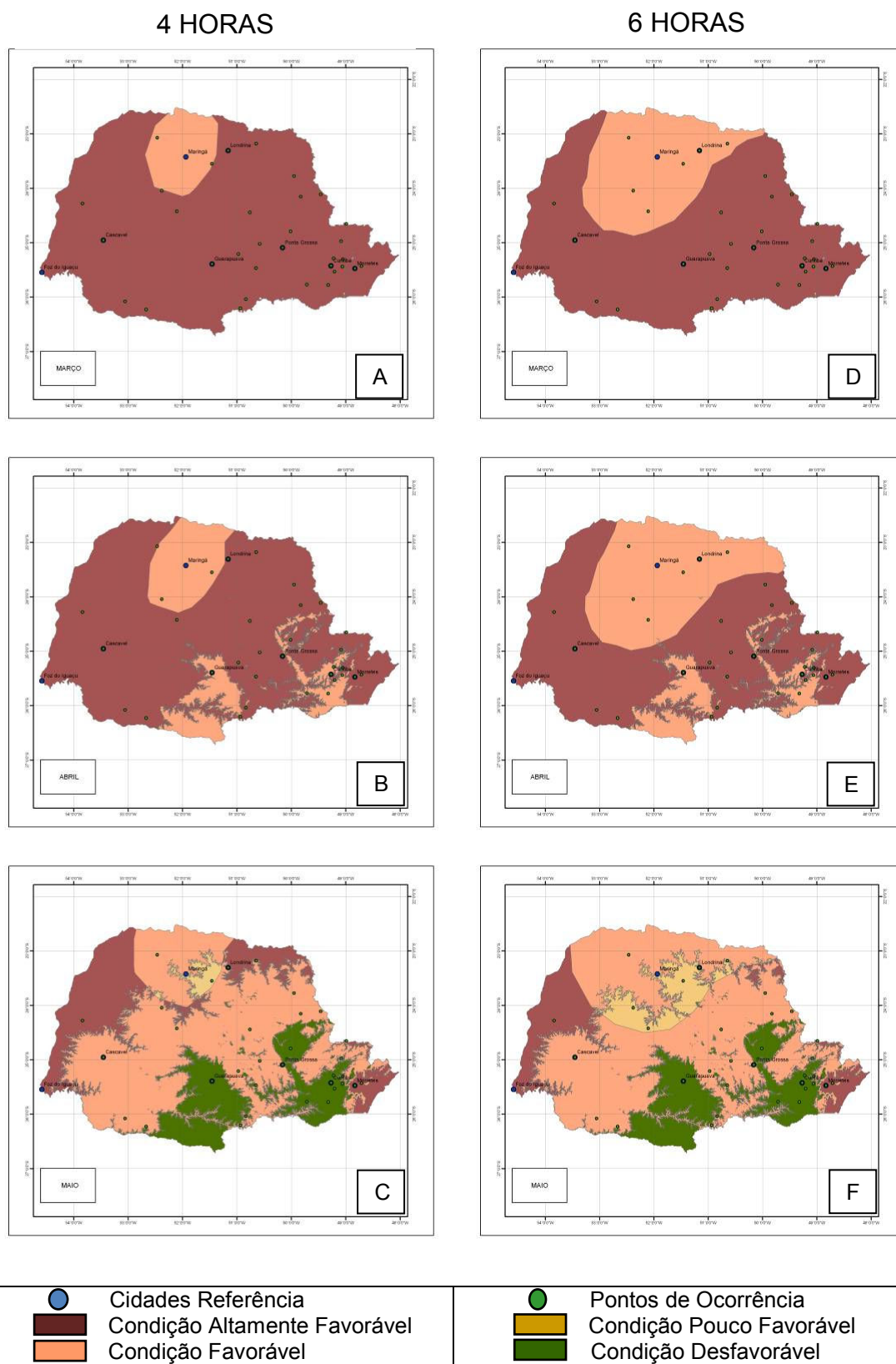


FIGURA 13 – FAVORABILIDADE CLIMÁTICA DA FERRUGEM DO EUCALIPTO NO ESTADO DO PARANÁ NO PERÍODO DE OUTONO, COM BASE NA INFECÇÃO DE UREDINIÓSPOROS DE *Puccinia psidii* E MOLHAMENTO FOLIAR DE QUATRO HORAS (A. MARÇO. B. ABRIL. C. MAIO) E SEIS HORAS (D. MARÇO. E. ABRIL. F. MAIO).

FONTE: O autor (2013).

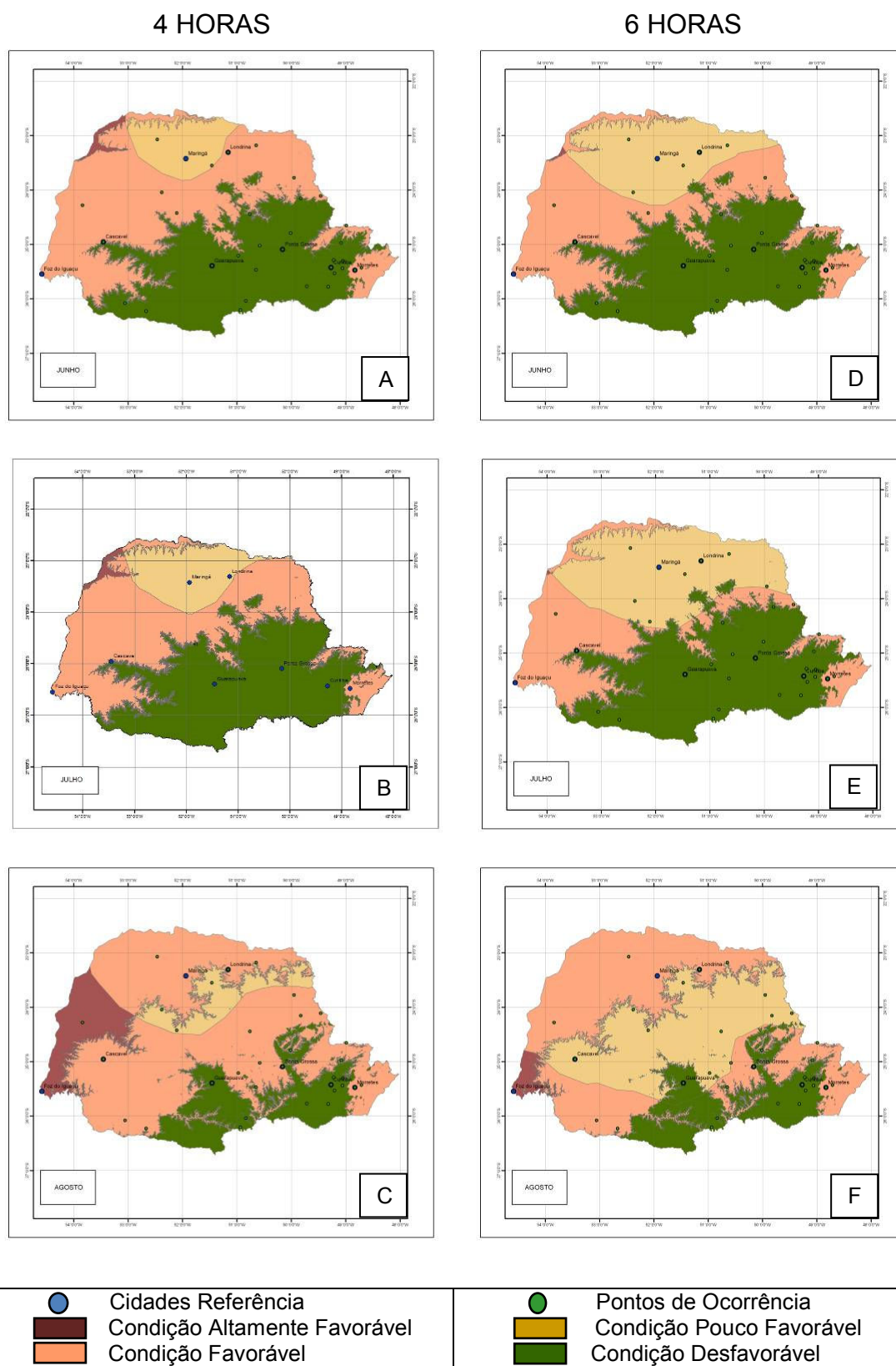


FIGURA 14 – FAVORABILIDADE CLIMÁTICA DA FERRUGEM DO EUCALIPTO NO ESTADO DO PARANÁ NO PERÍODO DE INVERNO, COM BASE NA INFECÇÃO DE UREDINIÓSPOROS DE *Puccinia psidii* E MOLHAMENTO FOLIAR DE QUATRO HORAS (A. JUNHO. B. JULHO. C. AGOSTO) E SEIS HORAS (D. JUNHO. E. JULHO. F. AGOSTO).

FONTE: O autor (2013).

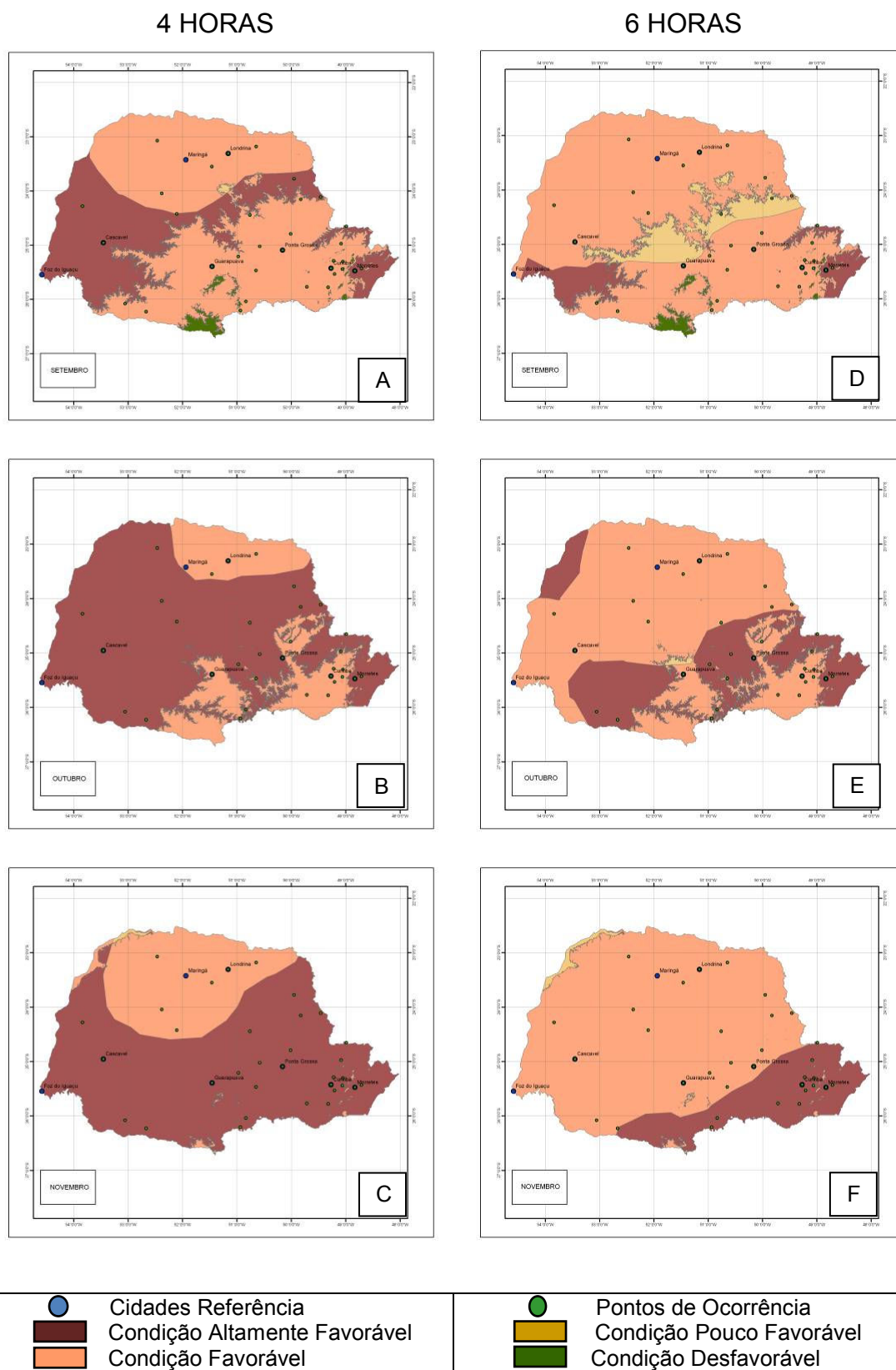


FIGURA 15 – FAVORABILIDADE CLIMÁTICA DA FERRUGEM DO EUCALIPTO NO ESTADO DO PARANÁ NO PERÍODO DE PRIMAVERA, COM BASE NA INFECÇÃO DE UREDINIÓSPOROS DE *Puccinia psidii* E MOLHAMENTO FOLIAR DE QUATRO HORAS (A. SETEMBRO. B. OUTUBRO. C. NOVEMBRO) E SEIS HORAS (D. SETEMBRO. E. OUTUBRO. F. NOVEMBRO).

FONTE: O autor (2013).

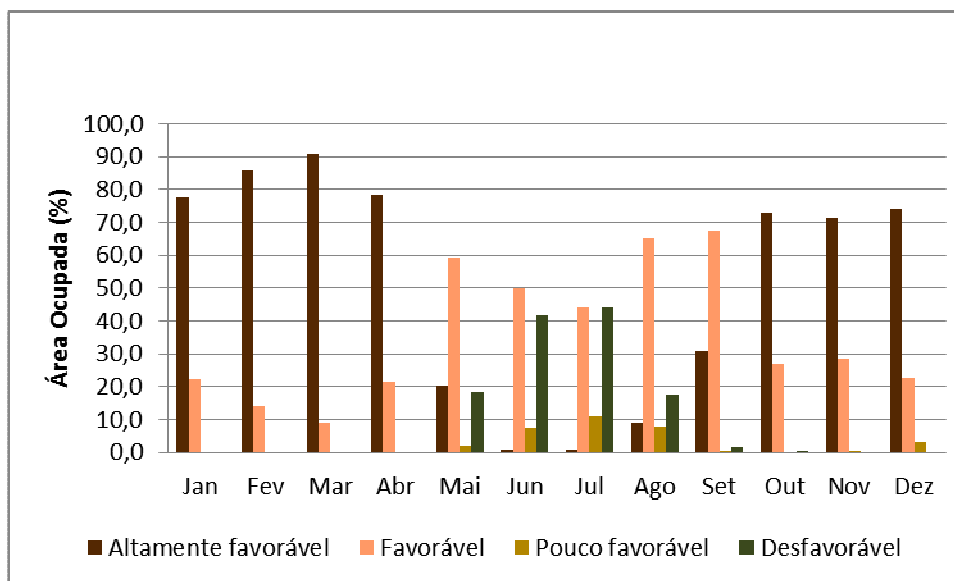


FIGURA 16 – ÁREA OCUPADA (%) PELAS CLASSES DE FAVORABILIDADE À OCORRÊNCIA DA FERRUGEM DO EUCALIPTO (*Puccinia psidii*) NO ESTADO DO PARANÁ CONSIDERANDO A INFECÇÃO E PERÍODO DE MOLHAMENTO FOLIAR DE 4 HORAS.

FONTE: O autor (2013).

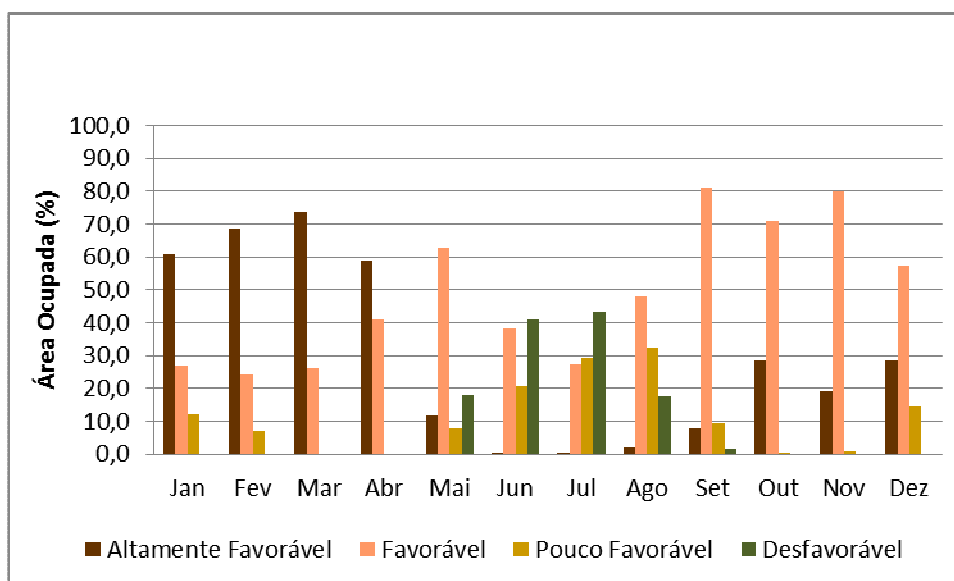


FIGURA 17 – ÁREA OCUPADA (%) PELAS CLASSES DE FAVORABILIDADE À OCORRÊNCIA DA FERRUGEM DO EUCALIPTO (*Puccinia psidii*) NO ESTADO DO PARANÁ CONSIDERANDO A INFECÇÃO E PERÍODO DE MOLHAMENTO FOLIAR DE 6 HORAS.

FONTE: O autor (2013).

Visualizando a área (%) de distribuição no estado do Paraná (FIGURAS 16 e 17), para a infecção em cada um dos cenários de favorabilidade, verifica-se que com relação à condição muito favorável houve um maior percentual de área quando se

usou 4 horas de molhamento foliar. No caso da condição favorável, também houve um maior percentual de área quando se utilizou 6 horas de molhamento foliar.

Com relação à condição pouco favorável, verifica-se ser maior com 6 horas de molhamento foliar, quando comparada com 4 horas, enquanto que a condição desfavorável, os percentuais de área são similares tanto para 4 como 6 horas de molhamento (FIGURAS 16 e 17).

Analisando os parâmetros germinação e infecção, nota-se que a germinação apresentou mais áreas favoráveis à doença aos dois períodos de molhamento foliar, quando comparado com a infecção (FIGURAS 14, 15, 16 e 17). Todas as fontes de umidade podem facilitar a germinação e penetração de patógenos, uma vez que esses processos não requerem longos períodos de umidade e são poucos influenciados pela luminosidade (VALE et al, 2004). O fungo *P. psidii* necessita de umidade sobre as folhas e brotações em condições noturnas (sem luminosidade) para que os uredinósporos germinem e possam penetrar na planta hospedeira (FERREIRA, 1989) e esta umidade na forma de água livre pode ser de origem por precipitação pluviométrica ou por orvalho e neblina noturnos. Como a germinação é o primeiro passo para se iniciar o processo infeccioso se não houver condições favoráveis para tal (temperatura e molhamento foliar), a ferrugem não se desenvolve.

Contudo, considerando todo o ciclo da ferrugem do eucalipto (FERREIRA, 1989), para que a doença ocorra é necessário que haja condições climáticas favoráveis à germinação e infecção, bem como a presença de tecidos foliares jovens (RUIZ et al., 1989). Assim sendo, é provável que a utilização do parâmetro infecção seja mais adequada por pressupor a existência das condições ambientais favoráveis e a presença de tecidos suscetíveis na planta hospedeira. O uso do parâmetro germinação seria adequado para uso da análise do efeito da temperatura na ocorrência de doenças cujos patógenos ainda não foram estudados.

Para o uso futuro do zoneamento para controle dessa doença, recomenda-se o uso de variáveis climáticas relacionadas com a infecção e, se possível, um mapeamento das espécies de eucalipto comercialmente plantadas. As espécies de eucalipto comportam-se diferentemente quanto à resistência genética ao fungo *P. psidii* (FERREIRA, 1989), além de comportarem-se diferentemente quanto à fenologia na produção de tecidos jovens suscetíveis ao longo do ano, fator

importante para a infecção. O cruzamento dessas informações poderá auxiliar na indicação de áreas de plantio de acordo com os materiais genéticos existentes.

6 CONCLUSÕES

- Foi possível elaborar mapas de distribuição geográfica da ferrugem do eucalipto no estado do Paraná, com base em germinação e infecção de *Puccinia psidii* e as variáveis temperatura e período molhamento foliar;
- O período de molhamento foliar que melhor se relacionou à ocorrência da ferrugem foi quatro horas;
- A estação do ano mais favorável à ocorrência da ferrugem no estado do Paraná foi o verão;
- A estação do ano menos favorável à ocorrência da ferrugem no estado do Paraná foi o inverno.

REFERÊNCIAS

- ABRAF. **Anuário Estatístico da ABRAF 2012**, ano base 2011. Brasília 2012, 150p.
- AGRIOS, G.N. Plant pathology. Burlington: Elsevier Academic, 2005. 922pp.
- ALFENAS, A.C.; FERREIRA, E.M. Emerging diseases in *Eucalyptus* plantations. **Tropical Plant Pathology**, Lavras, v.33, suplemento, p.25-28, 2008.
- ALFENAS, A.C.; ZAUZA, E.A.V.; MAFIA, R.G.; ASSIS, T.F. de. **Clonagem e doenças do eucalipto**. Viçosa, MG: UFV. 2009. 500 p.
- AUER, C.G.; GOMES, N.S.B. **Armilariose em *Pinus elliottii* var. *elliottii*: etiologia, determinação de danos e medidas de controle nos estados de Santa Catarina e Paraná**. Colombo: Embrapa Florestas, 2007. (Embrapa Florestas. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 34). 1 CD-ROM.
- AUER, C. G.; SANTOS, A.F. dos. BORA, K.C.; **A ferrugem do eucalipto na região Sul do Brasil**. Colombo: Embrapa Florestas, 2010. (Embrapa Florestas. Comunicado Técnico, 252).
- AUER, C. G.; BRITO, G. S; SANTOS, A. F. dos; WREGGE, M. S. **Influência da temperatura e procedência sobre a germinação de urediniósporos de *Puccinia psidii***. In: WORKSHOP SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS E PROBLEMAS FITOSSANITÁRIOS, 2012, Jaguariúna. Anais... Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2012. 1 CD-ROM. 6 p.
- ALVES, A. A. **Herança e mapeamento genético da resistência à ferrugem (*Puccinia psidii*) em cruzamentos interespecíficos de *Eucalyptus***. 58f. Viçosa. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2008.
- BERGAMIN FILHO, A.; HAU, B.; AMORIM, L.; JESUS JUNIOR, W.C. de. Análise espacial de epidemias. In: VALE F.X.R.do; JESUS JUNIOR, W.C. de; ZAMBOLIM, L. (Ed.) **Epidemiologia aplicada ao manejo de doenças de plantas**. Horizonte: Editora Perfil, 2004, cap. 5, p.193-240.
- BRACELPA. **Florestas plantadas - Eucalipto**. 2010. Disponível em: <<http://www.bracelpa.org.br/bra2/?q=node/136>>. Acesso em: 13/07/2012.

CARPANEZZI, A. A. (Coord.). **Zoneamento ecológico para plantios florestais no Estado do Paraná**. Brasília, DF: EMBRAPA-DDT; Curitiba: EMBRAPA-CNPf, 1986. 89 p. (EMBRAPA-CNPf. Documentos, 17).

COELHO, R.R.; VALE, F.X.R.; JESUS JUNIOR, W.C.; PAUL, P.A.; ZAMBOLIM, L.; BARRETO, R.W. **Determinação das condições climáticas que favorecem o desenvolvimento da ferrugem e da mancha angular do feijoeiro**. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. Fitopatologia Brasileira. Vol.28, p. 508-514, 2003.

CRIA. **Centro de referência em informação ambiental**. Disponível em: <http://smlink.cria.org.br/geoloc>. Acesso em 14 de novembro de 2012.

CROP. Protection compendium: datasheet: ***Puccinia psidii***. Disponível em: <http://www.cabi.org/cpc/?compid=1&dsid=45846&loadmodule=datasheet&page=868&site=161>. Acesso em: 14 de novembro de 2012.

CRUZ, K. R. de O. da; SANTOS, A. F. dos; AUER, C. G. **Efeito de diferentes temperaturas na germinação de urediniosporos de *Puccinia psidii***. In: EVENTO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA EMBRAPA FLORESTAS, 8., 2009, Colombo. Anais. Colombo: Embrapa Florestas, 2009. 1 CD-ROM. (Embrapa Florestas. Documentos, 186). EVINCI. Resumo.

DEMUNER, N. L.; ALFENAS, A. C. Fungicidas sistêmicos para controle da ferrugem causada por *Puccinia psidii* em *Eucalyptus cloeziana*. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, DF, v. 16, n. 3, p. 174 - 7, 1991.

FERREIRA, FA. Ferrugem do eucalipto, **Revista Árvore**, Viçosa, v.7, n.2, p, 104, 1983.

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

FERREIRA, F. A.; MILANI, D. **Diagnose visual e controle de doenças abióticas e bióticas do eucalipto no Brasil**. Mogi Guaçu: International Paper, 2002. 98p.

FIGUEREDO, M. B.; COUTINHO, L. N.; HENNEN, J. F. **Estudos para determinação do ciclo vital de *Puccinia psidii* Winter**. VII Congresso Paulista de Fitopatologia. UNESP. Botucatu, SP, resumo nº 32. 1984.

FURTADO, E. L. Ecologia de *Puccinia psidii* e impacto na produção de eucalipto no Brasil. **Fitopatologia Brasileira**, v. 31, Supl., p. 49-52. 2006.

FURTADO, E. L.; DIAS, D. C.; OHTO, C. T.; ROSA, D. D. **Doenças do eucalipto no Brasil**. Botucatu, 2009. 74p.

GHINI, R.; HAMADA, E. **Mudanças climáticas**: impactos sobre doenças de plantas no Brasil. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 331p. 2008.

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, special issue, p.26-31, 2008.

JESUS JUNIOR, W.C.; BERGAMIN FILHO, A.; VALE F.X.R.; AMORIM, L. Tomada de decisão no manejo de doenças de plantas. In: VALE F.X.R.; JESUS JUNIOR, W.C.; ZAMBOLIM, L. **Epidemiologia aplicada ao manejo de plantas**. Belo Horizonte: Editora Perfil, 2004. cap. 10, p. 367-404.

JUNGHANS, D. T. ; ALFENAS, A. C. ; BROMMONSCHENKEL, S. H. ; ODA, S.; MELLO, E. J. ; GRATTAPAGLIA, D. Resistance to rust (*Puccinia psidii* Winter) in *Eucalyptus*: mode of inheritance and mapping of a major gene with RAPD markers. **Theoretical And Applied Genetics**, v. 108, p. 175-180, 2003.

KRUGNER, T. L.; AUER, C. G. Doenças dos eucaliptos. In: KIMATI, H.; AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L. E. A. **Manual de fitopatologia**; doenças das plantas cultivadas. São Paulo: Agronômica Ceres, 4. ed, v. 2, p. 319-332, 2005.

MAFIA, R. G.; ALFENAS A. C.; LOOS. R. A.; Impacto potencial das mudanças climáticas sobre doenças na eucaliptocultura no Brasil. In: GHINI, R.; HAMADA, E.; BETTIOL, W. **Impactos das mudanças climáticas sobre doenças de importantes culturas no Brasil**. Jaguariúna, SP: Embrapa Meio Ambiente. 2011. Cap. 12. P. 213-225.

MASSON, M. V.; OHTO, C. T.; FURTADO, E. L.; SILVA, S. A. Zoneamento climático do eucalipto no Estado de São Paulo visando o controle da ferrugem. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v. 33, suplemento, p. 67, 2007.

MASSON, M. V. **Ferrugem do eucalipto: planejamento evasivo, estimativa de dano e análise da viabilidade do controle químico**. 167f. Botucatu. Dissertação

(Mestrado em Agronomia - Proteção de plantas), Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Faculdade de Ciências Agrônômicas. Botucatu, 2009.

MIRANDA, A. C.; MORAES, M. L. T.; TAMBARUSSI, E. V.; FURTADO, E. L.; MORI, E. S.; SILVA, P. H. M.; SEBBENN, A. M. Heritability for resistance to *Puccinia psidii* Winter rust in *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden in Southwestern Brazil. *Tree Genetics & Genomes*, p. 1-9, november 2012.

MORAES, W. B.; JESUS JUNIOR, W. C. de; PEIXOTO, L. A. de; MORAES, W. B.; COESER, S. M.; CECÍLIO, R. A. **Influência das mudanças climáticas globais sobre a distribuição espaço-temporal da ferrugem da cana-de-açúcar no Brasil.** CBMET 2010. Disponível em: [http: <http://www.cbmet2010.com/anais/artigos/567_66306.pdf>](http://www.cbmet2010.com/anais/artigos/567_66306.pdf). Acesso em 05 de dezembro de 2012.

MORAES, W. B.; PEIXOTO, L. A. de; JESUS JUNIOR, W. C. de; MORAES, W. B.; CECÍLIO, R. A. **Zoneamento das áreas de favorabilidade climática de ocorrência da ferrugem do cafeeiro no Brasil.** CBMET. 2011. Disponível em: [http: <http://www.conhecer.org.br/enciclop/2011a/agrarias/zoneamento%20das.pdf>](http://www.conhecer.org.br/enciclop/2011a/agrarias/zoneamento%20das.pdf) . Acesso em: 05 de dezembro de 2012.

MORIN, L., AVEYARD, R., LIDBETTER, J. R., WILSON, P.G. Investigating the host-range of the rust fungus *Puccinia psidii* sensu lato across tribes of the family Myrtaceae present in Australia. **Plos One** v. 7, n. 4. Disponível em : <http://www.plosone.org/article/fetchObject.action?uri=info%3Adoi%2F10.1371%2Fjournal.pone.0035434&representation=PDF> Acesso em: 10 de Junho de 2013.

PIZA, S. M.; RIBEIRO, I. J. A. Influência da luz e da temperatura na germinação de uredosporos de *Puccinia psidii*. **Bragantia**, Campinas, v. 47, p. 75-78. 1988.

ROSOT, M. A. D.; OLIVEIRA, Y. M. M. de; AUER, C. G. Mapeamento de focos de armilariose em plantações florestais na região sul do Brasil. In: I Seminário sobre a armilariose em *Pinus* spp., 2005, Curitiba. **Documentos**. Colombo: Embrapa Florestas, 2005. V.108. p. 37-50.

RUIZ, R. A. R., ALFENAS, A. C., FERREIRA, F. A. & VALE, F. X. R. Influência da temperatura, do tempo de molhamento foliar, do fotoperíodo e da intensidade de luz sobre a infecção de *Puccinia psidii* em eucalipto. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v.14, n. 6, p. 55-61, 1989.

RUIZ, R. A. R. **Epidemiologia e controle químico da ferrugem (*puccinia psidii* Winter) do eucalipto.** 108f. Viçosa – Minas Gerais. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 1988.

SANTOS, A. F. dos; AUER, C. G. Controle químico da ferrugem do eucalipto em plantios jovens. Colombo: Embrapa Florestas, 2011. 3 p. (Embrapa Florestas. Comunicado técnico, 274).

SANTOS, A. F. dos.; LUZ, E.D.M.N. A gomose da acácia-negra no Brasil. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v. 33, n. 2, p. 113-118. 2007.

SILVA, J. DE C. A madeira do futuro. **Revista da madeira, edição especial – Eucalipto a madeira do futuro**, Curitiba, p. 04, setembro. 2001.

SILVA, P. H.M.; MIRANDA, A. C.; MORAES, M. L.T.; FURTADO, E. L.; STAPE, J. L.; ALVARES, C. A.; a, SENTELHAS, P. C.; MORI, E. S.; SEBBENN, A. M. Selecting for rust (*Puccinia psidii*) resistance in *Eucalyptus grandis* in São Paulo State, Brazil. **Forest Ecology and Management** v. 303, p. 91–97. 2013.

SOUZA, S. M. C. **Importância da chuva e da temperatura do ar na incidência da ferrugem (*Hemileia vastatrix* Berk. E Br.) em cafeeiros, de três localidades do estado de Minas Gerais**. 50 f. Minas Gerais. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia), Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, 1980.

STAMMER, E. E.; TOMAZ, R. **Ocorrência de fungos e bactérias fitopatogênicas no Estado do Paraná**. Curitiba: Secretaria do Estado da Agricultura e do Abastecimento/DEFIS/Centro de Diagnóstico Marcos Enrietti. 1991. 91p.

USGS. **United States geological survey** - Survey National Mapping Division. Global 30 Arc Second Elevation Data. 1999. Disponível em: <<http://edcwww.cr.usgs.gov/landdac/gtopo30/gtopo30.html>>. Acesso em: 10 de setembro de 2012.

VALE, F.X.R. do; ZAMBOLIM, L.; COSTA, L.C.; LIBERATO, J.R.; DIAS, A.P.S.. Influência do clima no desenvolvimento de doenças de plantas. In: VALE, F.X.R.do; JESUS JUNIOR, W.C. de; ZAMBOLIM, L. (Ed.) **Epidemiologia aplicada ao manejo de doenças de plantas**. Belo Horizonte: Editora Perfil, 2004, cap. 2, p.47-87.

WREGGE, M. S.; STEINMETZ, S; GARRASTAZU, M. C.; REISSER JR, C. ; ALMEIDA, I. R de; HERTER, F. G.; CARAMORI, P. H.; RADIN, B.; MATZENAUER, R; BRAGA, H. J. ; PRESTES, S. D. ; CUNHA, G. R. da; MALUF, J. R. T. PANDOLFO, C. **Atlas Climático da Região Sul do Brasil**: Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. 1. ed. Pelotas: Embrapa Clima Temperado ; Colombo: Embrapa Florestas; 2011. 333p.

XAVIER, A.A.; SANFUENTES, E.; JUNGHANS, D.T.; ALFENAS, A.C. Resistência de *Eucalyptus globulus* e *Eucalyptus nitens* à ferrugem (*Puccinia psidii*). **Revista Árvore**. Viçosa, v. 31, n. 4, p.731-735, 2007.

APÊNDICES

APÊNDICE 1. DETERMINAÇÃO DA TEMPERATURA MÉDIA (TM)

Coef.	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
α	16,238	23,240	24,723	29,912	31,630	31,814	30,177	27,266	27,848	23,232	21,167	15,576
β	0,402	0,396	0,499	0,676	0,581	0,692	0,742	0,801	0,934	0,781	0,681	0,511
χ	-0,388	-0,244	-0,251	-0,194	-0,047	-0,062	-0,115	-0,227	-0,315	-0,366	-0,387	-0,439
δ	-0,005	-0,005	-0,005	-0,005	-0,005	-0,004	-0,004	-0,004	-0,004	-0,004	-0,004	-0,004
R^2	0,827	0,812	0,797	0,754	0,762	0,788	0,803	0,791	0,771	0,812	0,806	0,679

$$TM = \alpha + \beta \times \text{latitude} + \chi \times \text{longitude} + \delta \times \text{altitude}$$

APÊNDICE 2. DETERMINAÇÃO DA TEMPERATURA MÉDIA DAS MÍNIMAS (TMM)

Coef.	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
α	25,890	30,540	32,116	34,034	32,203	30,579	27,657	27,028	32,558	29,583	28,733	25,324
β	0,470	0,462	0,512	0,644	0,671	0,698	0,680	0,708	0,776	0,735	0,683	0,585
χ	-0,152	-0,056	-0,032	-0,014	-0,005	-0,009	-0,046	-0,094	-0,052	-0,132	-0,154	-0,201
δ	-0,005	-0,005	-0,005	-0,005	-0,005	-0,004	-0,004	-0,004	-0,004	-0,005	-0,005	-0,005
R^2	0,825	0,820	0,823	0,780	0,734	0,717	0,687	0,680	0,806	0,814	0,822	0,815

$$TMM = \alpha + \beta \times \text{latitude} + \chi \times \text{longitude} + \delta \times \text{altitude}$$

APÊNDICE 3. DISTRIBUIÇÃO MENSAL DE ÁREA DE FAVORABILIDADE (%) À FERRUGEM DO EUCALIPTO NO ESTADO DO PARANÁ UTILIZANDO A GERMINAÇÃO DE UREDINIÓSPOROS DE *Puccinia psidii* EM DOIS PERÍODOS DE MOLHAMENTO FOLIAR (4 E 6 HORAS).

4 horas	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Altamente favorável	99,8	99,8	88,3	53,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,3	42,2	49,0	84,3
Favorável	0,2	0,2	11,7	47,0	84,3	61,2	49,4	28,4	79,5	57,8	51,0	15,7
Pouco favorável	0,0	0,0	0,0	0,0	10,8	10,1	13,9	56,0	13,2	0,0	0,0	0,0
Desfavorável	0,0	0,0	0,0	0	4,9	28,7	36,7	15,6	2,0	0,0	0,0	0,0
6 horas	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Altamente Favorável	71,1	75,7	71,1	34,8	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	10,0	6,5	27,6
Favorável	28,9	24,3	28,9	64,0	70,2	48,8	31,4	24,7	55,1	82,6	83,4	70,4
Pouco Favorável	0,0	0,0	0,0	1,1	25,0	22,5	31,9	59,8	41,4	7,5	10,1	2,0
Desfavorável	0,0	0,0	0,0	0,0	4,9	28,7	36,7	15,5	2,0	0,0	0,0	0,0

FONTE: O autor (2013).

APÊNDICE 4. DISTRIBUIÇÃO MENSAL DE ÁREA DE FAVORABILIDADE (%) À FERRUGEM DO EUCALIPTO NO ESTADO DO PARANÁ UTILIZANDO A INFECÇÃO DE UREDINIÓSPOROS DE *Puccinia psidii* EM DOIS PERÍODOS DE MOLHAMENTO FOLIAR (4 E 6 HORAS).

4 horas	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Altamente favorável	77,6	85,9	91,0	78,4	20,5	0,8	0,9	9,1	31,0	72,9	71,3	74,2
Favorável	22,4	14,1	9,0	21,6	59,4	49,9	44,0	65,3	67,3	27,1	28,4	22,6
Pouco favorável	0,0	0,0	0,0	0,0	1,9	7,4	10,9	8,0	0,2	0,0	0,3	3,1
Desfavorável	0,0	0,0	0,00	0,00	18,2	41,9	44,2	17,6	1,5	0,0	0,0	0,0
6 horas	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Altamente Favorável	60,9	68,8	73,8	59,1	11,7	0,1	0,0	1,8	7,9	28,6	19,1	28,5
Favorável	27,0	24,3	26,2	40,9	62,8	38,1	27,3	48,2	81,3	71,0	80,0	57,2
Pouco Favorável	12,1	6,9	0,00	0,00	7,6	20,7	29,4	32,5	9,3	0,4	1,0	14,3
Desfavorável	0,0	0,00	0,00	0,00	17,8	41,1	43,3	17,6	1,5	0,0	0,0	0,0

FONTE: O autor (2013).