



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

RODRIGO YOITI TSUKAHARA

**SISTEMA DE SUPORTE À TOMADA DE DECISÃO PARA
MANEJO FITOSSANITÁRIO NOS CAMPOS GERAIS DO
PARANÁ**

Londrina
2004

RODRIGO YOITI TSUKAHARA

**SISTEMA DE SUPORTE À TOMADA DE DECISÃO PARA O
MANEJO FITOSSANITÁRIO NOS CAMPOS GERAIS DO
PARANÁ**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Agronomia.

Orientadora: Dra. Ana Maria de Arruda Ribeiro

Co-Orientador: PhD. Paulo Henrique Caramori

Londrina
2004

RODRIGO YOITI TSUKAHARA

**SISTEMA DE SUPORTE À TOMADA DE DECISÃO PARA O
MANEJO FITOSSANITÁRIO NOS CAMPOS GERAIS DO
PARANÁ**

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dra. Ana Maria de Arruda Ribeiro
Universidade Estadual de Londrina

Prof. Dr. Marcelo Giovanetti Canteri
Universidade Estadual de Londrina

Prof. Dr. Martin Homechin
Universidade Estadual de Londrina

Pesquisadora PhD. Dalziza de Oliveira
Instituto Agrônômico do Paraná

Pesquisador PhD. Celso Jamil Marur
Instituto Agrônômico do Paraná

Londrina, 30 de Abril de 2004.

DEDICATÓRIA

A Deus;

Aos meus pais Moacir e Keiko;

Aos meus irmãos Fábio e Erick;

À minha noiva Annelise;

Aos amigos;

Aos companheiros de mestrado;

Aos companheiros de trabalho;

Aos companheiros de república;

Às pessoas que de alguma forma
contribuíram para o cumprimento de mais
essa etapa da minha vida pessoal,
científica e profissional.

AGRADECIMENTOS

À minha orientadora Ana Maria de Arruda Ribeiro, pois apesar de todas as dificuldades enfrentadas, sempre esteve disposta a nos auxiliar, sendo indispensável a sua participação neste estudo.

Ao pesquisador e co-orientador Paulo Henrique Caramori pela orientação, confiança e motivação a mim dispensada, exemplo de pessoa e de cientista, além de um verdadeiro amigo.

Ao professor Marcelo Giovanetti Canteri, pela sua dedicação profissional e apoio decisivo para a conclusão deste estudo.

Ao pesquisador Rogério Teixeira de Faria, pela confiança e também pelos auxílios na área de modelagem.

Ao pesquisador Celso Jamil Marur pelos ensinamentos durante a graduação, e incentivo à continuidade na pós-graduação.

Ao programador Miguel Ângelo Clemente, pelo desenvolvimento do software Avaliação de Riscos Climáticos – Módulo Epidemias.

À Fundação ABC para Assistência e Divulgação Técnica Agropecuária pelo incentivo à qualificação profissional, e também aos novos companheiros de trabalho que muito bem me acolheram no seio dessa instituição.

Agradeço à Universidade Estadual de Londrina e ao povo brasileiro que de forma direta ou indireta possibilitaram a minha formação profissional como Engenheiro Agrônomo, assim como a finalização da pós-graduação, na qualidade de Mestre em Agronomia, ênfase em Fitotecnia.

TSUKAHARA, Rodrigo Yoiti. **Sistema de suporte à tomada de decisão para manejo fitossanitário nos campos gerais do Paraná**. 2004. 113f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2004.

RESUMO

A ocorrência de doenças em plantas sofre influência das variáveis meteorológicas. O objetivo deste trabalho foi desenvolver e avaliar um sistema de suporte à tomada de decisão com ênfase no manejo de doenças, através do monitoramento das variáveis ambientais e quantificação dos riscos de ocorrência de epidemias. O sistema de suporte tem como principal componente o software (Arc Epidemic), que utiliza grades regulares de latitude, longitude e altitude, para interpolação das variáveis a serem estudadas. Os dados de entrada foram divididos em agrometeorológicos e fitopatológicos, sendo o primeiro proveniente de uma rede de estações meteorológicas automáticas de superfície, e o segundo caracterizado por funções epidemiológicas de incidência, infecção e desenvolvimento de doenças. Após o processamento das informações, as saídas (índices de favorabilidade climática) podem ser visualizadas na forma de gráficos e mapas georreferenciados, disponibilizados em uma página da web, juntamente com comentários de especialistas. Os índices de favorabilidade climática para ocorrência das principais doenças fúngicas foram atualizados diariamente e semanalmente, de acordo com a época do ano e estágio fenológico da cultura em questão. Para avaliar o sistema proposto, os índices de favorabilidade climática foram calculados para a cultura do trigo, em quatro locais de experimentação por dois anos consecutivos. Os resultados demonstram haver um grande potencial de uso do método proposto para identificação de áreas com maior probabilidade de ocorrência das principais doenças fúngicas no cultivo de trigo nos Campos Gerais do Paraná.

Palavras-chave: Estações meteorológicas automáticas. Monitoramento. Funções epidemiológicas. Suporte a tomada de decisão. Previsão de doenças.

TSUKAHARA, Rodrigo Yoiti. **Sistema de suporte à tomada de decisão para manejo fitossanitário nos campos gerais do Paraná**. 2004. 113f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2004.

ABSTRACT

Climate factors influence the occurrence of plant diseases. The objective of this work was to develop a decision support system for plant disease management and control, through the monitoring of the climatic variations and determine the risk of occurrence of plant diseases epidemics. For the decision support system a software was developed (Arc-Epidemic - Assess Risks Climate of occurrence of plant diseases Epidemics) using a grid of latitude, longitude, and altitude values for interpolation of the studied variables. The input data set was split into agrometeorological and phytopathological, where the first one was obtained from an automated meteorological stations network, and the second one was characterized by equations related to the incidence, infection and development of diseases. After processing the information, the outputs (favourability indexes) can be visualized in graphs and also in georeferenced maps, present on the web, with explanation of personalized information, according to the phenology phase, by crop. For available the precision favourability indexes, utilized as example, a wheat crop, in four experimental area, by two years consecutive, demonstrated potential use to forecast areas with larger probability for occurrence of disease in "Campos Gerais" Area.

Keywords: Automated meteorological stations network. Monitoring. Agrometeorology. Epidemiological equations. Decision support system. Disease forecast.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	09
1.1 REGIÃO DOS CAMPOS GERAIS DO PARANÁ.....	09
1.2 Fundação ABC para Assistência e Divulgação Técnica Agropecuária	10
2 REVISÃO DE LITERRATURA	12
2.1 PRINCIPAIS VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS NA OCORRÊNCIA DE DOENÇAS.....	12
2.1.1 Temperatura	13
2.1.1.1 Modelos epidemiológicos gerados em função da temperatura do ar	14
2.1.1.2 Medidas de temperatura.....	15
2.1.2 Duração do Período de Molhamento	16
2.1.2.1 Modelos epidemiológicos gerados em função do molhamento foliar	17
2.1.2.2 Medidas da duração do período de molhamento	17
2.1.2.3 Estimativa da duração do período de molhamento	18
2.1.3 Interação entre Temperatura e Duração do Período de Molhamento	20
2.2 TIPOS DE SISTEMAS DE PREVISÃO DE EPIDEMIAS	21
2.2.1 Sistemas de Previsão da Infecção	21
2.2.2 Sistemas de Previsão da Doença.....	21
2.3 ESTAÇÕES DE AVISO	23
2.4 USO DE SISTEMAS DE SUPORTE À TOMADA DE DECISÃO	24
3 ARTIGO 1 – Estimativa da duração do período de molhamento por orvalho na cultura do trigo nos Campos Gerais do Paraná	26
RESUMO	26
ABSTRACT.....	28
3.1 Introdução.....	29
3.2 Material e métodos	32
3.3 Resultados e discussão.....	38
3.3.1 Estimativa da DPM através de EMA na área experimental (18:00-12:00)	38
3.3.2 Estimativa da DPM através de EMA na área experimental (13:00-12:00)	42
3.3.3 Estimativa da DPM através de EMA no posto meteorológico (13:00-12:00).....	43
3.4 Conclusões	44
3.5 Referências bibliográficas.....	45

4 ARTIGO 2– Sistema de suporte à tomada de decisão para o manejo fitossanitário	
nos Campos Gerais do Paraná	60
RESUMO	60
ABSTRACT.....	61
4.1 Introdução.....	62
4.2 Material e métodos	64
4.2.1 Descrição do sistema proposto	64
4.2.1.1 Rede telemétrica de estações meteorológicas automáticas	65
4.2.1.1.1 Transmissão, tratamento, análise e armazenamento de dados.....	67
4.2.1.2 Funções epidemiológicas utilizadas	68
4.2.1.2.1 Relação entre doença e tempo.....	68
4.2.1.2.2 Relação entre doença, temperatura e molhamento foliar.....	69
4.2.1.3 Modelo numérico de terreno.....	71
4.2.1.4 Descrição do software Arc Epidemic	72
4.2.1.4.1 Softwares auxiliares.....	72
4.2.1.4.2 Entradas do software (input).....	74
4.2.1.4.3 Formas de processamento	74
4.2.1.4.4 Saídas do software (output).....	75
4.2.2 Validação do sistema proposto.....	76
4.2.2.1 Rede de ensaios de inverno para validação do sistema proposto	76
4.2.2.2 Variáveis epidemiológicas utilizadas	77
4.3 Resultados e discussão.....	78
4.3.1 Valores de severidade obtidos nas safras de 2002 e 2003.....	78
4.3.2 Favorabilidade climática para ocorrência de oídio no trigo	80
4.3.2.1 Análises pontuais em forma de gráficos.....	80
4.3.2.2 Análises regionais em forma de mapas.....	87
4.3.3 Favorabilidade climática para incidência de ferrugem do trigo.....	92
4.3.3.1 Análises pontuais na forma de gráficos.....	92
4.3.3.2 Análises regionais em forma de mapas.....	98
4.3.4 Sistema de monitoramento via internet	100
4.4 Conclusão.....	102
4.5 Referências Bibliográficas	103
5 CONCLUSÕES GERAIS	109
REFERÊNCIAS	110

1 INTRODUÇÃO

1.1 REGIÃO DOS CAMPOS GERAIS DO PARANÁ

Maack (1968) definiu a região dos Campos Gerais do Paraná como uma zona fitogeográfica natural, com campos limpos, matas de galerias ou capões isolados de floresta ombrófila mista, áreas características de ocorrência do pinheiro araucária. Esta definição integra critérios fitogeográficos e geomorfológicos, que por sua vez expressam a estrutura geológica e natureza das rochas, responsáveis pela formação dos diversos tipos de solo hoje existentes na região.

Recentemente, outras definições têm sido adotadas para os Campos Gerais, atendendo a objetivos e interesses diversos, como a necessidade de uma identificação regional dentro de um Estado com marcante dinâmica territorial nas últimas décadas.

Desta forma, a região dos Campos Gerais do Paraná abrangida no presente estudo está representada pelas áreas de interesse econômico e de atuação direta das Cooperativas Agropecuárias Arapoti, Batavo e Castrolanda (superfície estimada em 22.000 km², localizada entre as latitudes 24 e 26°S e longitudes de 49 a 51° W, com altitude variando entre 800 e 1300 metros acima do nível do mar), e compreende os municípios de Palmeira, Fernandes Pinheiro, Teixeira Soares, Ipiranga, Ponta Grossa, Carambeí, Castro, Tibagi, Piraí do Sul, Telêmaco Borba, Ventania, Arapoti e Jaguariaíva.

Esta região possui grande aptidão agrícola, com expressiva produção de grãos a nível estadual e nacional. As médias de produtividade de soja (3,05t/ha), milho (8,02t/ha), feijão (2,40t/ha) e trigo (3,00t/ha), demonstram o alto nível tecnológico utilizado. Em relação à área agricultável, na safra de verão 2000/01 foram cultivados em torno de 37.000 ha de milho, 91.000 ha de soja, 28.000 ha de feijoeiro e 800 ha de batata, assim como 39.000 ha de trigo, 3.500 ha de triticale, 1.800 ha de cevada, 7.500 ha de aveia branca, 20.500 ha de forrageiras e 84.500 ha de culturas destinadas à cobertura e proteção do solo na safra de inverno 2001.

Essas características fazem dos Campos Gerais um importante produtor de grãos, fator este que tem demandado investigações científicas para o

entendimento da variabilidade espacial e do potencial de intervenções com as tecnologias disponíveis (Molin, 1999). Atualmente, algumas destas investigações concentram-se no desenvolvimento de sistemas de suporte para tomada de decisão, buscando relacionar o monitoramento agrometeorológico ao desenvolvimento de processos epidêmicos em plantas cultivadas na região dos Campos Gerais.

1.2 FUNDAÇÃO ABC PARA ASSISTÊNCIA E DIVULGAÇÃO TÉCNICA AGROPECUÁRIA

Várias são as instituições de pesquisa, universidades e cooperativas agrícolas que vêm somando esforços para avaliar a adoção de sistemas de suporte à tomada de decisão com enfoque no desenvolvimento de processos epidêmicos, visando a redução de custos com aplicação de defensivos agrícolas, e impactos no meio ambiente. Muito questionamento tem sido feito no sentido de compreender os fatores que limitam ou condicionam o desenvolvimento de organismos fitopatogênicos, obrigando a assistência técnica, a fitopatologia, a agrometeorologia, a informática, a engenharia de telecomunicações, e muitas outras áreas de pesquisa a trabalharem juntas para quantificar os benefícios da utilização desse sistema.

Com base nessas limitações, várias ações foram implementadas pela Fundação ABC, em parceria com destacadas instituições de pesquisa como o Instituto Agrônomo do Paraná, a Universidade Estadual de Londrina, Universidade Estadual de Ponta Grossa, e o Instituto Tecnológico SIMEPAR. Estas ações resultaram no desenvolvimento de um sistema de suporte para tomada de decisão, que utiliza variáveis meteorológicas para correlacionar a ocorrência das principais doenças fúngicas relacionadas aos cultivos anuais sobre a região dos Campos Gerais do Paraná.

Desta forma, a presente dissertação teve como objetivo identificar quais as variáveis meteorológicas que mais contribuem para a formação e duração do período de molhamento foliar (DPM) sobre os cultivos de trigo, uma vez que este foi identificado como o principal parâmetro na ocorrência de epidemias. Posteriormente os modelos agrometeorológico e fitopatológico foram acoplados ao sistema de suporte à tomada de decisão, com ênfase no manejo fitossanitário sobre

a região dos Campos Gerais do Paraná. Assim, esta dissertação é apresentada na forma de dois artigos científicos, a saber:

- Artigo 1: Estimativa da duração do período de molhamento por orvalho na cultura do trigo nos Campos Gerais do Paraná.
- Artigo 2: Sistema de suporte à tomada de decisão para manejo fitossanitário nos Campos Gerais do Paraná.

Antecedendo a apresentação dos referidos trabalhos encontra-se uma revisão da literatura, incluindo os principais relatos sobre a influência das variáveis meteorológicas na ocorrência de epidemias, a modelagem e ajuste das funções epidemiológicas, o efeito aditivo da interação das principais variáveis meteorológicas nos processos de infecção, os modelos de previsão de doenças existentes, a utilização de estações meteorológicas adaptadas para manejo fitossanitário, e finalmente, os sistemas de suporte à tomada de decisão que tem apresentado os melhores resultados.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 PRINCIPAIS VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS NA OCORRÊNCIA DE DOENÇAS

A ocorrência de doenças em plantas é resultante de uma complexa interação entre o hospedeiro, patógeno e ambiente físico (Burrage, 1972, 1978). O ambiente físico, representado pelas condições meteorológicas e edáficas, influenciam diretamente o hospedeiro e o patógeno e por muitas vezes seus vetores, sendo necessária a observação contínua dessas condições para um melhor entendimento e quantificação da ocorrência e desenvolvimento de doenças (Sutton et al., 1984).

Entre as variáveis meteorológicas que influenciam a ocorrência de doenças em plantas, podem ser citados como principais a duração do período de molhamento e a temperatura do ar durante o período de molhamento, seguidos da umidade relativa do ar, precipitação pluvial, e vento (Zahler et al., 1991).

De acordo com Reis (1990) após a liberação de esporos pelos corpos frutíferos, a disseminação é efetuada através do vento e da chuva, sendo estes os principais meios de disseminação. Por sua vez, a germinação, penetração e o início da colonização pelo patógeno são governados principalmente pelo molhamento foliar, umidade relativa, e temperatura.

Existem relatos acerca da existência de relações entre a ocorrência de processos epidêmicos com variáveis meteorológicas, afetando a produtividade (Felício et. al., 1988; Bedendo, 1995). Tais constatações evidenciam a importância da identificação e determinação das variáveis atuantes no estabelecimento e desenvolvimento de organismos fitopatogênicos, podendo-se fazer uso desses conhecimentos para prever as épocas de ocorrência da infecção pelo patógeno, e desta forma possibilitar a racionalização no uso de fungicidas e conseqüente redução dos custos da produção (Sentelhas, 1992).

2.1.1 TEMPERATURA

A energia radiante que atinge a superfície terrestre destina-se a alguns processos físicos, e dentre esses, a convecção e a condução são os principais. O primeiro está relacionado ao aquecimento do ar próximo à superfície, e o segundo ao aquecimento do solo (Pereira et al., 2002).

O efeito da temperatura no desenvolvimento de microorganismos é bem estudado, tendo sido detectada a sua influência em todas as fases do ciclo de infecção, desde a germinação dos esporos até a produção de novas unidades de reprodução (Bedendo, 1995).

Para a maioria dos patógenos presentes em regiões tropicais e subtropicais, ela exerce efeito regulatório, modulando o progresso da doença, uma vez que os limites de temperatura aos fitopatógenos raramente ocorrem nos trópicos (Rotem, 1978).

Em estudos realizados com o fungo *Hemilea vastatrix* (Berk et Br.) em cafeeiro no Estado de São Paulo, observou-se que temperaturas elevadas exercem efeito indireto no processo infeccioso, uma vez que ela atua como fator evaporativo, reduzindo assim a duração do período de molhamento foliar (Ortolani, 1973).

Bedendo (1995) observou em cultivos de feijão, a redução do período de tempo compreendido entre a inoculação e a formação de esporos com o aumento da temperatura, assim como sua influência sobre a velocidade de produção de esporos e a quantidade de propágulos formados de *Drechslera graminea*.

Para a ferrugem asiática da soja (*Phakopsora pachyrhizi*), Melching et al. (1989) não observaram o desenvolvimento de lesões em plantas de soja após inoculação quando estas foram submetidas a temperaturas inferiores à 9°C e superiores a 28.5°C, juntamente com período de molhamento diário de 16 horas.

Canteri et al. (1999), estudando a ocorrência de mancha angular (*Phaeoisariopsis griseola*) nos cultivares de feijão Rosinha e Carioca, observaram a máxima severidade de infecção na faixa de temperatura entre 21 e 25°C, e o menor período de incubação a 25°C, não tendo sido observado o desenvolvimento de sintomas em temperaturas inferiores a 6°C e superiores a 29°C.

2.1.1.1 MODELOS EPIDEMIOLÓGICOS GERADOS EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA DO AR

De modo geral, os experimentos destinados à avaliação do efeito da temperatura, nas diferentes etapas do processo de infecção, contemplam a inoculação em uma cultivar suscetível com isolado virulento e posterior disposição das plantas inoculadas em câmara de crescimento sob temperatura controlada. As plantas inoculadas são mantidas nessas câmaras sob temperatura constante, até o aparecimento de lesões esporulantes. Os resultados desses experimentos são freqüentemente expressos na forma gráfica, onde a variável independente é a temperatura, e a variável dependente, o componente monocíclico avaliado. Quando as plantas são submetidas a diferentes temperaturas, desde o limite mínimo até o máximo, é possível descrever a influência da temperatura no componente monocíclico por meio de modelos matemáticos, os quais permitem a interpolação dos dados para temperaturas não testadas, desde que localizadas dentro do intervalo estudado (Hau, 1988 apud Godoy, 2000).

Modelos polinomiais freqüentemente são utilizados em função da flexibilidade das curvas, dada pelo grau do polinômio. Funções essas matematicamente simples, mas com pouco significado biológico, sendo o ajuste limitado pelo grau do polinômio utilizado (Godoy, 2000).

Um modelo específico, utilizado nesse tipo de experimento, é a função beta generalizada, descrita como $Y=B_1 \left(\frac{(T-B_2)^{B_3}}{(B_4-T)^{B_5}} \right)$ onde as variáveis Y e T representam o componente monocíclico avaliado e a temperatura respectivamente, e B₁ a B₅ são parâmetros da equação (Hau e Kranz, 1990). Nessa função, B₂ e B₄ representam, respectivamente, as temperaturas mínima e máxima do processo biológico em consideração, e B₃ e B₅, são parâmetros da forma da curva. Essa função apresenta formato de sino, típico de repostas de eventos biológicos a variações de temperatura (Godoy, 2000).

A função beta, similar à beta generalizada, também tem sido utilizada para descrever o efeito da temperatura em taxas de infecção (Vallavieille-Pope et al., 1995), com a desvantagem da temperatura mínima e máxima não serem estimadas pelo modelo, mas fixadas pelo usuário.

2.1.1.2 MEDIDAS DE TEMPERATURA

Para fins meteorológicos e climatológicos, a temperatura do ar é medida sob uma condição de referência (padrão), para que se permita comparação entre diferentes locais. A condição padrão para a medida de temperatura é sobre área plana e gramada, entre 1,5 a 2,0 metros acima da superfície do solo, dentro de um abrigo meteorológico, o qual permita a livre passagem do ar e impeça a incidência direta da radiação solar sobre os termômetros. Estações meteorológicas convencionais normalmente utilizam um abrigo meteorológico de madeira, com paredes tipo venezianas, ao passo que em estações meteorológicas automáticas, os abrigos são menores e constituídos por multiplacas (Pereira et al., 2002).

Para fins fitopatológicos, ainda existem algumas dúvidas sobre o posicionamento dos termômetros em relação ao solo. Geralmente a necessidade de registrar pequenas variações ao nível da cultura resulta no posicionamento dos sensores em condições micrometeorológicas, cujas leituras são válidas somente para determinada condição de solo, cobertura, e aspectos fitotécnicos da cultura.

Soma-se ainda o fato de que os estudos destinados à compreensão dos diferentes fitopatossistemas, que resultam na geração de funções epidemiológicas baseadas na temperatura, normalmente levam em consideração a temperatura do ar retido dentro de câmaras de crescimento, sendo necessário aos pesquisadores, desenvolverem metodologias para validação das condições encontradas em laboratório.

Assim, a aplicação desses modelos epidemiológicos leva como premissa básica o conhecimento do fitopatossistema em questão, e não menos importante o conhecimento dos equipamentos, do posicionamento dos sensores, dos intervalos de leitura, e o custo benefício desse sistema.

2.1.2 DURAÇÃO DO PERÍODO DE MOLHAMENTO

Fisicamente o orvalho é resultante da deposição de gotas de água sobre superfícies, através da condensação direta do vapor d'água do ar, quando estas se resfriam atingindo temperaturas iguais ou menores que a temperatura de ponto de orvalho, devido às perdas radiativas sofridas por estas superfícies (Mota, 1985).

A água formada pelos diversos processos físicos (chuva e orvalho) e depositada sobre as folhas, comumente denominada de orvalho, possui grande relevância no processo de infecção, por ser elemento vital para a germinação de esporos e penetração no hospedeiro (Bedendo, 1995).

Vale e Zambolim (1996), Crowe et al.(1978), afirmam que para a maioria dos patógenos fúngicos, exceto para os agentes causais de oídios, os esporos requerem um período de água livre na superfície foliar para que a infecção seja bem sucedida, sendo esta a variável chave responsável pela ocorrência ou não de doenças.

Estudos sobre o efeito do orvalho depositado sobre as folhas nos processos de infecção mostram que a duração do período de molhamento é mais importante do que a quantidade total de água depositada sobre as folhas em estudos de fitopatossistemas (Burrage, 1972; Van Der Wal, 1978).

A duração do período de molhamento foliar necessária para que ocorra a infecção, bem como a temperatura ideal para este processo, variam entre os diferentes patógenos. Em geral, organismos biotróficos conseguem infectar seu hospedeiro com períodos de molhamento relativamente curtos, ao passo que os hemibiotróficos e necrotróficos, usualmente requerem períodos de molhamento moderados ou longos para infecção (Sutton, 1988).

Alguns estudos demonstram a influência da duração do período de molhamento no desenvolvimento de doenças como ferrugem do trigo (Eversmeyer e Burleigh, 1970), bruzone do trigo (Suzuki, 1975), requeima da batata (MacHardy, 1979), sarna da macieira (Berton e Melzer, 1984), e ferrugem do feijoeiro (Januzzi, 1987).

Melching et al. (1989), avaliaram o efeito da duração do molhamento foliar em plantas de soja sobre o número de lesões formadas por *Pakopsora*

pachyrhizi, e verificaram que períodos inferiores a 6 - 7 horas não desenvolveram lesões nas plantas inoculadas e mantidas em temperatura ideal. O mesmo estudo revelou acréscimos significativos em área lesionada, sob períodos de molhamento entre 16 e 20 horas.

Canteri et al. (1999), observam que o processo de infecção por *Phaeoisariopsis griseola* (mancha angular), *Colletotrichum lindemuthianum* (antracnose) e *Uromyces appendiculatus* (ferrugem), são inibidos em períodos de molhamento inferiores a 6, 5 a 6, e 6 horas, respectivamente.

2.1.2.1 MODELOS EPIDEMIOLÓGICOS GERADOS EM FUNÇÃO DO MOLHAMENTO FOLIAR

A resposta da duração do período de molhamento sobre a severidade é descrita por modelos não-lineares como o logístico, Gompertz, monomolecular e Richard's, os quais assumem as premissas básicas de que a severidade aumenta com a duração do período de molhamento e tende a um limite superior quando o período é prolongado.

Os modelos de resposta para severidade em função do período de molhamento são encontrados na literatura para diferentes patossistemas (Alderman e Lacy, 1983; Lalancette et al., 1988; Carisse e Kushalappa, 1990; Thakur et al., 1991; Evans et al., 1992; Jacome e Schuh, 1992; Pedersen e Morral, 1994; Broome et al., 1995; Duthie, 1997; Webb e Nutter, 1997; todos citados por Godoy, 2000).

2.1.2.2 MEDIDAS DA DURAÇÃO DO PERÍODO DE MOLHAMENTO

Atualmente, ainda não existe um aparelho padrão para registrar o orvalho, embora numerosos instrumentos tenham sido desenvolvidos. Segundo a Comissão da Organização Meteorológica Mundial (Post et al. 1963), os instrumentos e métodos de observação para períodos de molhamento em folhas são divididos em quatro grupos principais, de acordo com o princípio de medida.

Nos postos meteorológicos, geralmente estes equipamentos são posicionados a uma altura aproximada de 10 cm acima do solo coberto com grama.

Amador (1987), ao comparar medidas microclimáticas realizadas através de três diferentes tipos de equipamentos para determinar a duração do período de molhamento, com observações visuais de orvalho, concluiu que o registrador Lufft (termohigrógrafo com uma terceira pena adaptada a um sensor elétrico, conectado no tambor da relojoaria) foi o que apresentou menores erros 9,7%(grupo IV), sendo estes erros inferiores aos erros médios apresentados pelo aspergígrafo 17,5% (grupo I) e pelo orvalhógrafo 34%(grupo III).

Além da acuracidade, outro fator a ser levado em consideração na escolha do equipamento adequado é o tempo de resposta do elemento sensor, devido ao fato de que o ponto de formação do orvalho é atingido rapidamente (Amador,1987).

Os sensores do grupo IV geralmente são utilizados em estações meteorológicas automáticas por permitirem o registro contínuo e armazenamento de dados, sendo a medida do elemento sensor realizada através da variação da resistência elétrica conferida pela presença ou ausência de água em sua superfície, inclinada a 20° do plano horizontal, conforme Gillespie e Kidd (1978); Lau et al., (2000).

Monteiro (2002), após avaliar a acurácia de dois sensores de resistência elétrica mantidos sob as mesmas condições microclimáticas, concluiu que os registros obtidos em ambos os sensores eram extremamente incoerentes. O mesmo autor afirma ainda que, após a pintura dos mesmos com uma camada de tinta látex branca, os registros obtidos apresentaram variações menores, porém ainda continuaram apresentando diferenças de um sensor para o outro, e inconstância ao longo do tempo.

2.1.2.3 ESTIMATIVA DA DURAÇÃO DO PERÍODO DE MOLHAMENTO

As dificuldades de medição do período de molhamento através de aparelhos registradores levaram ao emprego crescente de dados de estações meteorológicas padrões em modelos de estimativa da duração do período de

molhamento, através de regressões lineares simples e múltiplas, para uso em programas de manejo de doenças em plantas.

Crowe et al. (1978), utilizaram dados de uma estação meteorológica padrão para a estimativa da duração do período de molhamento na cultura do trigo. Desenvolveram equações de regressão múltipla, envolvendo variáveis como umidade relativa do ar, velocidade do vento e temperatura mínima, obtendo acurácia de 71%, a qual foi elevada para 85% com a inclusão da umidade do solo. Esses resultados foram contestados por Getz (1979), uma vez que o padrão de medida da duração do período de molhamento utilizado pelos autores foi o número de horas de umidade relativa maior ou igual a 90% obtido em registrador tipo Taylor, ambos não aconselháveis como padrão devido aos erros que apresentam.

A estimativa da duração do período de molhamento através da simples soma do número de horas com umidade relativa do ar maior ou igual a 90%, obtida em termohigrógrafo localizado no posto meteorológico, 1,5 metros acima do plano horizontal não apresenta resultados confiáveis (Sentelhas, 1992 e Amador, 1987).

Amador (1987), através de regressão linear simples, desenvolveu uma equação para estimativa do período de molhamento para a cultura do feijoeiro tendo como base parâmetros observados no posto meteorológico. Assim o molhamento foi estimado em função do número de horas com umidade relativa do ar maior ou igual a 90%, alcançando um valor de $R^2 = 0,55$ a 1% de probabilidade. Acréscimos dos registros de velocidade do vento e temperatura mínima não melhoraram o desempenho das equações.

Sentelhas (1992), avaliou o molhamento na cultura do trigo através de medidas obtidas em posto meteorológico padrão, e obteve valores de $R^2=0,34$, a 5% de probabilidade, quando realizou regressões lineares simples entre a duração do período de molhamento visual e o número de horas com umidade relativa do ar maior ou igual a 90%. Quando foram utilizados os registros obtidos no dossel da cultura (microclima), o coeficiente de determinação (R^2) aumentou para 0,89.

2.1.3 INTERAÇÃO ENTRE TEMPERATURA E DURAÇÃO DO PERÍODO DE MOLHAMENTO

Apesar da temperatura ser um fator menos limitante do que a umidade no desenvolvimento de doenças (Pedro Jr., 1989), o efeito aditivo desta combinação irá condicionar o sucesso ou insucesso do processo infeccioso, uma vez que o ambiente é um complexo o qual inclui diferentes fatores, que devem estar limitados entre condições mínimas e máximas necessárias para o desenvolvimento das doenças (Eversmeyer e Burleigh, 1970).

Gasparotto (1988), observou a influência do binômio temperatura e duração do período de molhamento na infecção de *Microciclus ulei* em seringueira, e concluiu que são necessárias pelo menos 6 horas de molhamento foliar a 24°C para ocorrer a infecção. A 20°C foram necessárias 8 horas de molhamento, e a 16°C não houve manifestação da doença, sendo a combinação 24°C com 16 horas de molhamento a que proporcionou a maior infecção.

Liebster e Eimern (1959) apud Amador (1987), estudaram a sarna da macieira (*Venturia inaequalis*) e verificaram que a duração do período de molhamento mínimo para uma infecção leve, com temperaturas médias entre 16°C e 24°C, é de 9 horas. Para uma infecção moderada, nas mesmas temperaturas, é de 12 horas, e para uma infecção severa, a duração do molhamento é de 18 a 19 horas.

Hosford et al. (1987), estudaram a helmintosporiose do trigo onde verificaram que a infecção só ocorria sob determinadas combinações de temperatura e molhamento. Sob temperatura de 10°C, foram necessárias 12 horas de molhamento, a 20°C o molhamento necessário foi de 24 horas, enquanto que a 30°C o molhamento foi de 48 horas.

Melching et al. (1989), ao determinar a ocorrência da ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*) em plantas de soja, verificaram que o ápice se expressa em condições de temperatura entre 16 e 26,5°C, sob período de molhamento igual ou superior a 12 horas.

2.2 TIPOS DE SISTEMAS DE PREVISÃO DE EPIDEMIAS

O benefício potencial dos modelos matemáticos para previsão de epidemias depende do conhecimento de alguns fatores, além dos citados anteriormente, como o objetivo da previsão, os princípios epidemiológicos da previsão de doenças, e de exemplos de previsões que tenham obtido sucesso (Fry e Fohner, 1985).

De acordo com Krauze e Massie (1975), os sistemas de previsão de epidemias têm sido divididos em duas categorias, sendo a primeira a que emprega modelos numéricos de previsão de tempo para antecipação do período de infecção do patógeno no hospedeiro, e a segunda através de técnicas de monitoramento, ou seja, quando a doença já manifestou sintomas.

2.2.1 SISTEMAS DE PREVISÃO DA INFECÇÃO

Os sistemas que prevêm os períodos de infecção têm de calcular, com alguns dias de antecedência, a ocorrência de condições biológicas e meteorológicas favoráveis ao aparecimento da mesma.

Apesar de conhecida para muitas doenças, a previsão é sempre difícil, devido à grande interação entre os diversos parâmetros meteorológicos e biológicos. Desta forma, ainda é pouco provável que a previsão destas condições com alguns dias de antecedência seja aprimorada.

2.2.2 SISTEMAS DE PREVISÃO DA DOENÇA

Os sintomas são a própria expressão da doença, uma vez que a infecção precede o seu desenvolvimento. A maioria dos sistemas de previsão de doenças pressupõe a ocorrência dos sintomas, os quais são previstos através do

monitoramento dos fatores ambientais fundamentais à infecção do hospedeiro por um organismo causal.

Após a ocorrência de períodos meteorológicos favoráveis ao processo de infecção, a subsequente expressão dos sintomas baseia-se na premissa de que as condições favoráveis à colonização irão ocorrer de acordo com o monitoramento.

Alguns sistemas de previsão consideram a densidade de inóculo ou a intensidade da doença presente num dado tempo, ou estágio de desenvolvimento da planta. Outros se baseiam no fato de que sempre há suficiente densidade de inóculo disponível quando a cultura está presente.

Exemplos práticos são citados para o controle preventivo de doenças, bem como os parâmetros utilizados para a tomada de decisão por Pereira et al. (2002), conforme descritos a seguir.

O sistema de previsão desenvolvido por Mills (1944), para o controle da sarna da maçã (*Venturia inaequalis*), leva em consideração a temperatura média no período noturno, a duração do período de molhamento, e a presença de ascosporos, compilados em uma tabela (Pereira et al., 2002, p.364).

O controle preventivo da podridão da batatinha (*Phytophthora infestans*) é muito utilizado na Inglaterra e Holanda. Os fatores ambientais avaliados são temperatura, duração do período de molhamento e também a chuva, que são utilizados como valores de entrada em tabelas específicas, porém de fácil manuseio (Pereira et al., 2002, p.366).

Para o míldio do feijoeiro (*Phytophthora phaseoli*) a pulverização é recomendada sempre que houver dois dias seguidos com temperatura média menor do que 26°C, e temperatura mínima maior que 7°C (Pereira et al., 2002, p.367).

No caso da antracnose dos ramos, folhas e cachos (*Sphaceloma ampelinum*), e das manchas foliares causadas por *Isariopsis clavispora*, em videira Niagara rosada, Pedro Jr et al. (1999) sugerem um sistema pluviométrico para a previsão de épocas de pulverização, que consiste em pulverizações sempre após a ocorrência de chuvas acumuladas de 20mm, devendo-se respeitar a carência de 7 a 10 dias para iniciar de novo o monitoramento. Esse sistema possibilitou redução média de 40% no número de aplicações sem afetar a produtividade, na região de Jundiaí, SP (Pereira et al., 2002, p.368).

As experiências relatadas demonstram as vantagens da utilização de sistemas de previsão de doenças baseados no monitoramento das variáveis ambientais, sendo estas mais evidentes em culturas de grande valor econômico agregado, onde os tratamentos químicos são programados em esquema de calendário fixo, estágio fenológico, ou porcentagem de severidade.

2.3 ESTAÇÕES DE AVISO

Uma estação de aviso compreende um sistema de monitoramento e/ou previsão de ocorrência de determinada doença em uma cultura, tendo como base dados provenientes de estação agrometeorológica convencional ou automática, e estudos epidemiológicos, de acordo com as curvas de progresso da doença.

Tais sistemas buscam determinar o momento mais adequado para aplicação das medidas de controle fitossanitário, em determinada área ou região, concorrendo diretamente para racionalização do uso de defensivos, e conseqüente preservação do meio ambiente (Pereira et.al, 2002).

As estações de aviso são compostas por diversas combinações de sensores, operadas manual ou automaticamente, onde o dimensionamento dos equipamentos deve obedecer aos princípios básicos compreendidos pela epidemiologia do organismo fitopatogênico em questão.

Outro fator importante se refere ao tempo de resposta, ou seja, quanto tempo este sistema gasta para que as informações possam ser processadas, interpretadas, e a recomendação seja repassada ao usuário final. Desta forma, os componentes deste sistema de aviso fitossanitário irão variar de acordo com a eficiência de cada operação agrícola, o tamanho da propriedade, e o tempo hábil para a tomada de decisão.

Segundo Berton e Melzer (1984), as estações de aviso localizadas na principal região produtora de maçã em Santa Catarina são compostas por um termohigrógrafo do tipo "Lufft" de rotação semanal, dentro de abrigo meteorológico situado a 1,5 metro acima do plano horizontal, um sensor de resistência elétrica instalado ao lado de uma macieira, e um coletor de esporos tipo "Burkard",

necessitando de recursos humanos para manutenção dos equipamentos e identificação dos ascosporos semanalmente.

2.4 USO DE SISTEMAS DE SUPORTE À TOMADA DE DECISÃO

Juntamente com outros setores da economia nacional, o setor agropecuário atualmente vem passando por um processo transitório, após ter alcançado elevados níveis de mecanização e automatização nas últimas décadas, denominado processo de informatização. Estas transições têm forçado produtores rurais e assistentes técnicos a se atualizarem, na busca por novos conhecimentos e conceitos, quebrando o velho paradigma do produtor rural brasileiro.

Entretando, uma das limitações para a adoção dessas novas tecnologias é a falta de informações seguras, para que o produtor ou seu assistente técnico possa tomar as melhores decisões, revolucionando o modo de pensar e de gerenciar suas propriedades.

Os freqüentes avanços no campo da informática abriram novas oportunidades para o conhecimento, atendendo a uma necessidade crescente de atualização pessoal e profissional. A constante busca pelo bem estar levou ao desenvolvimento do World Wide Web (www), trazendo as vantagens da internet, com acesso às informações em nível mundial, em intervalos de tempo cada vez menores.

Acompanhando este avanço tecnológico, cresce exponencialmente o número de “web sites” que fornecem diferentes informações ao setor agrícola, que são disponibilizadas na internet na forma de páginas em HTML. Entretanto, os usuários enfrentam problemas para localização de fontes relevantes desta informação, as quais muitas vezes não apresentam confiabilidade e muito menos qualidade (Jensen et al., 2000).

Para a tomada de decisões precisas e corretas, o produtor necessita acesso periódico aos resultados de pesquisa, e que os mesmos abranjam a sua área de interesse. Freqüentemente, esta tarefa de selecionar fontes, combinar e analisar as informações disponíveis exige auxílio de especialistas de cada área, em conjunto com assistentes técnicos locais.

Essa situação pode ser resolvida através da criação de um diretório para consultas, a exemplo do AGRONET finlandês (www.agronet.fi) e do DAINET alemão (www.dainet.de), os quais selecionam serviços de informação seguros, oriundos de organizações independentes, mas realizados dentro do mesmo “web site” (Jensen et al., 2000).

Assim, é crescente a demanda pelo uso de computadores pessoais ou sistemas em rede, para fornecer as informações seguras e necessárias à tomada de decisão. Desta forma, modelos numéricos e sistemas de suporte à tomada de decisão, podem ser executados por especialistas em um servidor central, e este servidor deve transmitir efetivamente o conhecimento científico gerado nas instituições de pesquisa para os usuários finais, habilitando-os para a tomada de decisão, de forma eficiente e segura.

O potencial de uso da internet para aconselhar o usuário final em tempo real, processando e distribuindo dados de modelos foi descrito por Jensen et al., (2000). O conceito de cooperação da informação baseada na “web” foi lançado, combinando informações de diferentes formas (modelos, dados, textos e gráficos).

Desta forma, o presente estudo tem como objetivo a geração de um sistema de suporte à tomada de decisão para controle fitossanitário, através de índices de favorabilidade climática para ocorrência de processos epidêmicos na região dos Campos Gerais do Paraná, tendo como premissa o processamento das informações fornecidas pela rede de estações meteorológicas com transmissão automática, juntamente com modelos numéricos de terreno e modelos epidemiológicos, disponibilizados na forma de “web site”.

3 ARTIGO 1 – Estimativa da duração do período de molhamento por orvalho na cultura do trigo nos Campos Gerais do Paraná

RESUMO

Um dos maiores problemas que afeta a produtividade do trigo na região dos Campos Gerais do Paraná é a ocorrência de doenças, que são fortemente influenciadas pelas condições climáticas locais, com destaque para a temperatura e a água livre sobre a superfície foliar. Atualmente existem diversos equipamentos e sensores que medem o orvalho, porém não há um método padronizado ou sensor que possibilite registrar o orvalho e sua duração com níveis de confiabilidade aceitáveis. Considerando que o orvalho é dificilmente medido em estações meteorológicas convencionais, e que sua duração é de grande importância para o estudo de sistemas de monitoramento e prevenção de doenças, o objetivo do presente trabalho foi determinar as variáveis meteorológicas que afetam significativamente a estimativa do período de molhamento na cultura do trigo, para as condições locais dos Campos Gerais do Paraná. Para isso, foi realizado um ensaio em uma área semeada com trigo cv. BRS 208 no Campo Demonstrativo e Experimental da Fundação ABC - Fazenda Capão do Cipó, em Castro – PR, durante a safra de inverno de 2003. Foram realizadas avaliações visuais da duração do período de molhamento por orvalho (DPM), em 24 plantas (repetições), utilizando a escala desenvolvida por Heldwein e Krzysch (1997) adaptada para as condições locais. Instalou-se também uma estação agrometeorológica automática na área, a fim de se correlacionar as variáveis meteorológicas com a DPM. Os resultados indicaram a necessidade de se comporem modelos que levem em conta a temperatura, a umidade do ar e a velocidade do vento para que se obtenham boas estimativas da

DPM. Equações que utilizam apenas uma variável na predição da DPM não apresentaram resultados satisfatórios, sendo a sua utilização não recomendável.

Palavras-chave: duração do período de molhamento, modelos de estimativa, trigo, umidade relativa, temperatura, velocidade do vento.

Estimation of leaf wetness by dew in a wheat crop in Campos Gerais of Paraná, Southern Brazil

ABSTRACT

One of the main constraints to wheat production in the region of Campos Gerais of Paraná, southern Brazil (24° 51'S and 49° 56' W), is the occurrence of diseases severely affected by local climatic conditions, with emphasis on temperature and deposition of free water over the leaves. Nowadays there are several equipment and sensors to monitor dew, but there is a lack of standard for the available sensors. Considering that dew is very seldom measured in conventional weather stations, and that its duration is crucial for the prevention of diseases, the objective of this paper was to estimate the wetness duration for wheat at local conditions, aiming at establishing the meteorological variables that are significant. Therefore, a field trial was carried out at an experimental area of Fundação ABC in Castro-PR, Brazil, during the winter season of 2003. Visual observations of dew were acquired and correlated to meteorological variables collected with an automated station. The results indicated the need of considering several variables that account for variations in temperature, humidity and wind speed to obtain good estimates of wetness duration. Equations that use only one meteorological variable to estimate wetness duration gave poor results and their use is not advised.

Key words: wetness duration, wheat, modeling, relative humidity, temperature, wind speed.

3.1. INTRODUÇÃO

A cultura do trigo sempre mereceu destaque mundial, pois se trata de um dos cereais mais importantes no fornecimento de carboidratos essenciais à dieta humana. Seu cultivo abrange praticamente todas as regiões do mundo, sendo as maiores produtividades observadas entre as latitudes 20° e 55° nos hemisfério Norte e Sul.

No Brasil as principais áreas produtoras deste cereal se concentram nas regiões Sul e Sudeste, devido principalmente às condições climáticas e tecnológicas necessárias para sua produção econômica, sendo representada pelos estados do Rio Grande do Sul, Paraná e São Paulo. Estes estados são hoje responsáveis por cerca de 91% da produção nacional, representando aproximadamente 2,6 milhões de toneladas.

Segundo estimativas da CONAB (2003), houve um acréscimo em área cultivada com trigo de aproximadamente 12% em relação à área brasileira cultivada em 2002. No entanto, este aumento da ordem de 2,3 milhões de hectares corresponde a apenas 15,1% do total das áreas aptas ao cultivo deste cereal. Entre os fatores que interferem negativamente no aumento da área plantada no Brasil podem ser citados os altos custos de produção e os danos causados pela ocorrência de eventos climáticos adversos.

Em um levantamento realizado pela Embrapa Trigo durante a safra de 2003 no Rio Grande do Sul, os itens de maior oneração no custo total de produção foram os fertilizantes de base e cobertura (24,75%), sementes (15,46%) e defensivos agrícolas (10%) (De Mori e Ferreira Filho, 2003).

Considerando que o custo total de produção no Paraná não se diferencia expressivamente dos custos estimados pela Embrapa Trigo, e que o

manejo conservacionista priorizando a manutenção da palha sobre o solo intensifica a ocorrência de processos epidêmicos, o tratamento fitossanitário em sistemas de plantio direto se torna indispensável para a obtenção de produtividades econômicas.

Segundo Barros (1988), as doenças mais comuns que ocorrem na cultura do trigo são a ferrugem do colmo (*Puccinia graminis*) e a da folha (*Puccinia recôndita*), consideradas importantes pela frequência e intensidade de ocorrência na região sul do país. Outras doenças como a helmintosporiose (*Cochiobolus sativus*), septoriose (*Septoria nodorum*), oídio (*Erysiphe graminis*), giberela (*Gibberela zae*) e mais recentemente a brusone (*Pyricularia sp.*), chegam a causar maiores danos que as ferrugens quando as condições meteorológicas são altamente favoráveis.

Felício et al. (1988) fizeram relatos a respeito da elevada porcentagem de ocorrência destas doenças fúngicas em anos extremamente chuvosos ou onde a irrigação por aspersão tem sido empregada, fazendo com que sejam intensificados os controles à base de produtos químicos e elevando os custos de produção da cultura.

Estas constatações evidenciam a importância da identificação e determinação dos parâmetros climáticos que condicionam o estabelecimento e desenvolvimento das doenças em trigo, permitindo dessa forma a previsão da época de ocorrência de infecções por patógenos, possibilitando a racionalização do uso de fungicidas e a redução dos custos da produção (Sentelhas, 1992).

Entre os diversos parâmetros climáticos possíveis de serem medidos ou estimados, pode-se afirmar que o orvalho (ou a duração do período de molhamento) é o que mais se correlaciona com o início dos processos infecciosos na cultura do trigo, visto que a maioria dos esporos de fungos foliares patogênicos

necessita de um filme d'água sobre as folhas, por um determinado tempo, para que possam germinar e penetrar no hospedeiro, ocasionando o processo infeccioso.

Amador (1987) descreve vários aparelhos registradores da duração do período de orvalho e seus diferentes mecanismos de funcionamento, porém revela que ainda não é utilizado no Brasil um método padronizado para o seu registro.

Segundo Miranda et al. (2000) os mecanismos mais utilizados para a medida da duração do período de molhamento são os sensores mecânicos, representados pelo aspergígrafo e orvalhógrafo, além dos sensores eletrônicos, que tentam simular uma folha e/ou fruto específico.

Monteiro (2002) observou a crescente demanda por estes sensores para determinação do molhamento, destacando-se os que detectam a mudança de resistência ou impedância em função do molhamento do sensor, porém o mesmo afirma que estes sensores de aquisição automática de dados demonstram grandes divergências nas determinações da DPM, mesmo em curtos intervalos de tempo.

Outro aspecto importante na duração do molhamento é citado por Sutton et al. (1984) e Monteiro (2002), onde afirmam que a quantidade e a duração do orvalho sobre as folhas de uma planta não dependem somente das condições meteorológicas locais, mas também da estrutura da planta, estágio fenológico, posição e geometria da folha, além de suas propriedades térmicas, dificultando ainda mais o registro deste parâmetro em estações meteorológicas convencionais.

Uma vez que o orvalho é dificilmente medido em estações meteorológicas, e sendo a duração do período de molhamento (DPM) das folhas de grande importância para o estudo da relação patógeno – hospedeiro, torna-se importante a estimativa da DPM para cada localidade, a fim de se compreender a

dinâmica e evolução de epidemias em escala regional, objetivando o uso racional de defensivos agrícolas, com redução dos custos de produção e também dos impactos ambientais.

Sendo assim, este estudo teve como objetivos: 1) estimar a duração do período de molhamento com base em avaliações visuais e no monitoramento de elementos meteorológicos em campo de produção de trigo coletados em uma estação agrometeorológica automática padrão; 2) determinar as relações de dependência entre o número de horas com umidade relativa do ar acima de um determinado valor e a duração do período de molhamento, com vistas à geração de sistemas de monitoramento de processos epidêmicos sobre esta cultura na região de Castro – PR, Brasil.

3.2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Campo Demonstrativo e Experimental de Castro, Fazenda Capão do Cipó, município de Castro - PR, coordenadas LAT 24°51'40"S e LONG 49°56'01"W e a 1044 m de altitude, durante a safra de inverno de 2003. A área total utilizada no presente estudo foi de 5000 m², sendo que dentro desta, demarcou-se uma sub-área de 20 x 50m, para as avaliações da duração do período de molhamento.

Segundo a classificação de Köppen, a região apresenta predominância do tipo climático Cfb, cujas características são temperatura média do mês mais frio inferior a 18°C e temperatura do mês mais quente inferior a 22°C, não existindo estação seca definida (Caviglione et al., 2000). As condições climáticas são representadas pela figura 3.1, onde os dados observados na EMA posicionada no posto meteorológico foram confrontados com as normais climatológicas.

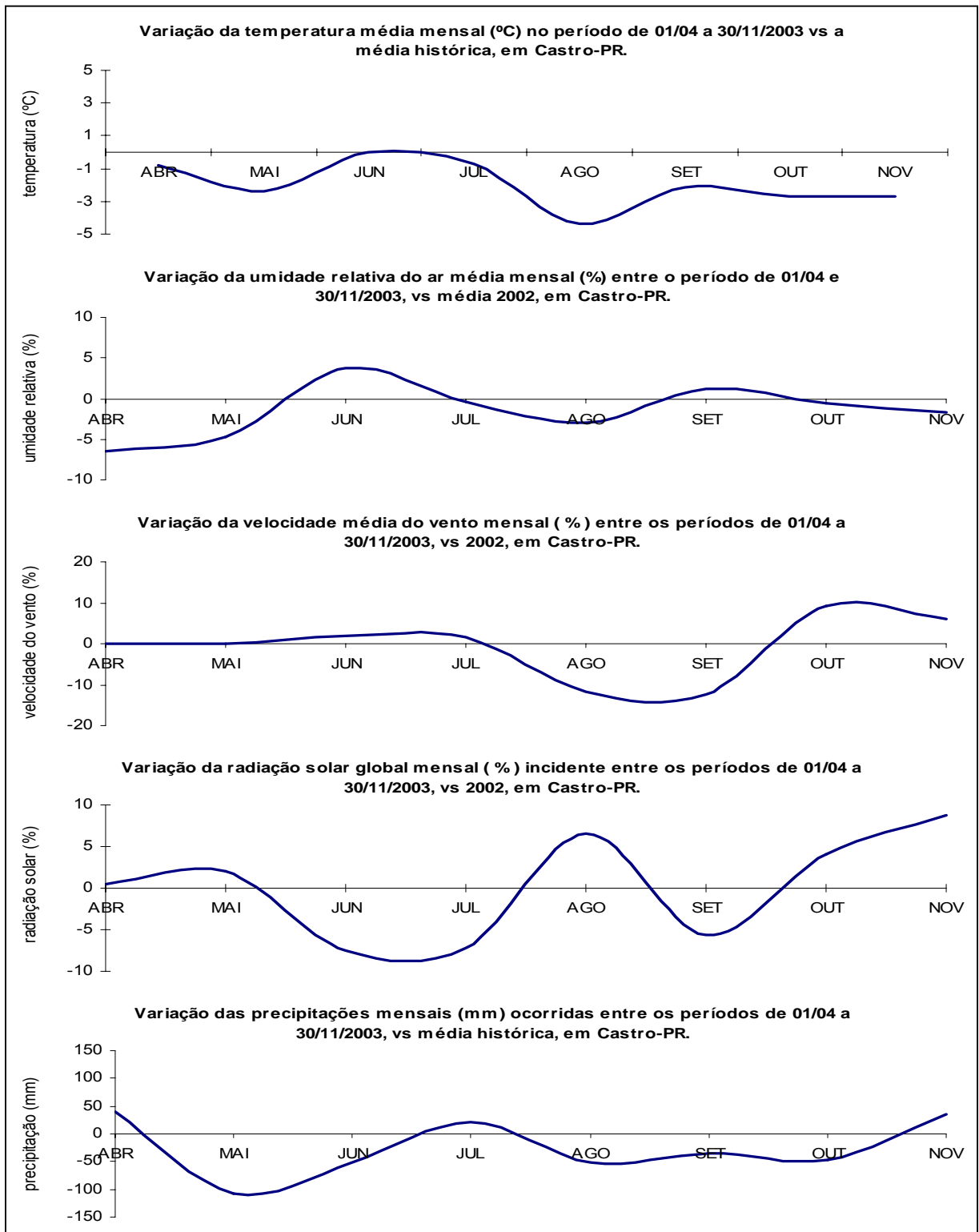


Figura 3.1 – Variação das condições climáticas observadas em Castro-PR.

O solo predominante na área do experimento está classificado como Latossolo Bruno distrófico, de textura argilosa, com relevo leve e vegetação de campo subtropical (EMBRAPA SOLOS, 1999).

Utilizou-se neste estudo o cultivar BRS 208, que apresenta ciclo médio com duração de 114 a 150 dias da emergência à maturação, por possuir resistência moderada ao acamamento e a algumas doenças foliares como helmintosporiose, oídio e ferrugem.

Um dia antes do plantio, as sementes foram tratadas com imidacloprid (Gaúcho[®], 50 mL/100 kg). O plantio foi feito mecanicamente mediante espaçamento entre linhas de 0,17m e densidade populacional de 68 sementes por metro linear, sob palhada de soja, no dia 25/06/03. Na adubação de base, foram utilizados 400 kg/ha do fertilizante NPK (10:30:20) e 185 kg/ha de uréia em adubação de cobertura realizada no dia 09/07/03.

Foram realizadas duas aplicações com herbicidas glifosate e 2-4 D éster, nas datas de 20/05/03 e 12/06/03. Em 30/07/03 procederam-se as pulverizações com herbicidas pós-emergentes metsulfuron-methyl, 2-4 D éster e óleo mineral parafínico e posteriormente, uma pulverização com fungicida Fenpropimorph.

Após alcançar o estágio fenológico 3 (afilhos formados) da escala de crescimento desenvolvida por Feekes (1940), foram selecionadas 24 plantas, distribuídas homoganeamente dentro da parcela para avaliação da duração do período de molhamento visual (DPMV). Para esta avaliação visual, utilizou-se a escala proposta por Heldwein e Krzysch (1997) e posteriormente modificada, visando ajustá-la aos aspectos relacionados à morfologia da cultura do trigo. Para proceder à observação, utilizou-se lanterna e lupa de 20x de aumento, para permitir

melhor visualização da formação das primeiras gotículas do orvalho. A escala desenvolvida baseou-se em doze níveis, sendo seis para a observação do início da formação do orvalho e seis para o final, através dos seguintes valores numéricos e respectivos critérios de observação:

✓ Escala visual para avaliar o início do molhamento por orvalho

1.0 – folha seca, sem indício algum de formação de orvalho;

1.2 – nuance da cor da folha na sua face adaxial, visualizada facilmente quando a folha é observada no sentido longitudinal;

1.5 – início da formação do orvalho, aspecto aveludado fino e sem brilho, gotículas em menos de 50% da superfície da folha;

2.0 – confirmação da formação do orvalho, aspecto aveludado, porém brilhante, gotículas em até próximo de 50% da superfície da folha.

2.5 – gotículas proeminentes de fácil visualização em mais de 50% da folha, início de formação de gotas de orvalho na ponta das folhas;

3.0 – molhamento em mais de 50% da superfície da folha, apresentando formação de filme contínuo de água com diâmetro de gotas $> 1\text{mm}$.

✓ Escala visual utilizada para avaliar o final do molhamento por orvalho foi:

3.0 – molhamento em mais de 50% da superfície da folha, apresentando filme contínuo de água com diâmetro de gotas $> 1\text{mm}$.

2.5 – gotas de orvalho em torno de 50% da superfície foliar, com diâmetro $< 1\text{mm}$;

2.0 – gotas de orvalho sobre 50 a 20% da superfície da folha;

1.8 – gotas isoladas de orvalho sobre 20 a 10% da superfície da folha;

1.5 – final do molhamento, menos de 10% da folha coberta com algumas gotas isoladas;

1.0 – ausência completa de molhamento.

Foram efetuadas observações visuais do início e fim de duração do período de molhamento (DPM) por orvalho na cultura do trigo, durante o período de 10 de agosto a 15 de outubro de 2003, num total de 14 observações. Estas observações foram realizadas a cada 30 minutos, utilizando a escala visual proposta acima, repetida nas mesmas 24 plantas, demarcadas no início do experimento.

O critério de avaliação foi semelhante ao usado por Pedro Jr (1980), Amador (1987) e Sentelhas (1992), baseando-se na observação visual da presença (início) ou da secagem (fim) do orvalho em cerca de 60% das folhas situadas no terço superior da cultura. Para a determinação do início de formação do orvalho, considerou-se como molhadas ou com presença do orvalho, as plantas que alcançaram o valor 1.5 na avaliação visual. Para o final do molhamento, adotou-se também o valor 1.5, considerando que a planta estivesse seca. A duração do período de molhamento foi obtida com o somatório do número de horas em que as plantas foram consideradas molhadas, ou seja, com presença de orvalho na superfície foliar. Na seqüência, calculou-se a média e o desvio padrão de todas as repetições de cada observação dos valores de duração do período de molhamento visual (DPMV), e posterior submissão destes valores à análise estatística.

Na área experimental instalou-se uma estação agrometeorológica automática (EMA) Squitter™, de acordo com a figura 3.2.2, composta de pluviômetro modelo Texas (Campbel Scientific™), anemômetro a 2m de altura do solo (Young™), termohigrômetro a 1,7m de altura do solo e barômetro, acoplados em datalogger, programado para realizar leituras a cada 10 segundos e registrar as informações em intervalos de 5 minutos. Entre as variáveis medidas, monitoraram-se no experimento os dados médios de: umidade relativa média do ar (%), umidade relativa mínima do ar (%), umidade relativa máxima do ar (%), temperatura média do

ar ($^{\circ}\text{C}$), temperatura mínima do ar ($^{\circ}\text{C}$), temperatura máxima do ar ($^{\circ}\text{C}$), velocidade média do vento (m/s), velocidade mínima do vento (m/s), velocidade máxima do vento (m/s), pressão atmosférica local (kPa), assim como os valores totais de precipitação (mm) convertidos posteriormente para intervalos de 30 minutos, entre as 18:00 e 12:00, devido ao período preferencial de formação do orvalho.

Posteriormente os mesmos dados foram cotados para o período compreendido entre as 13:00 e 12:00 para efeito comparativo. Desta forma, foram calculadas as médias de todas as variáveis meteorológicas citadas acima, acrescidos dos valores absolutos (maiores e menores valores das variáveis temperatura, umidade e vento observados no período), assim como as estimativas da evapotranspiração pelo método de Penman-Monteih (Allen et al., 1998), e temperatura do ponto de orvalho, objetivando a determinação das relações de dependência entre as variáveis climáticas e a DPM, através de estudos de regressão.

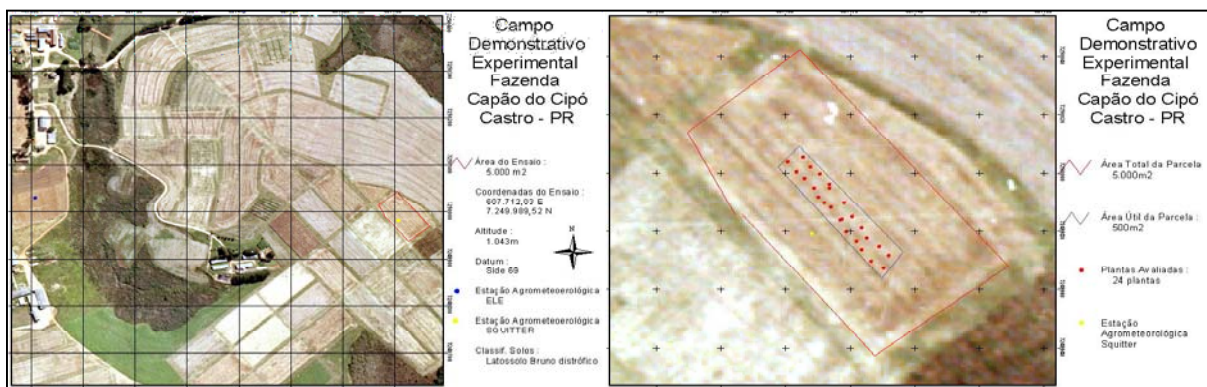


Figura 3.2 – Posicionamento das estações agrometeorológicas automáticas na Fazenda Capão do Cipó e croqui da área experimental.

Com o mesmo objetivo, foram utilizados registros de outra estação agrometeorológica automática (ELETM), figura 3.2, instalada a 800m na direção oeste do experimento, de acordo com normas da Organização Meteorológica

Mundial (OMM), para avaliar o efeito das condições medidas em posto meteorológico, sobre a estimativa da duração do período de molhamento visual. A referida estação era composta de sensores de temperatura e umidade relativa do ar, direção e velocidade do vento, radiação solar global e precipitação, com registros a cada 15 segundos, armazenamento horário dos valores médios dos sensores citados acima. Os dados foram cotados para períodos de 24 horas, iniciando as 13:00 e finalizando as 12:00 horas do dia posterior, objetivando a representatividade do fenômeno de formação do orvalho, e a facilidade de processamento da plataforma de coleta de dados.

Posteriormente, correlacionou-se através de regressões lineares simples e múltiplas, a duração do período de molhamento visual (DPMV) com os elementos de clima obtidos nas duas estações agrometeorológicas SQUITTER™ e ELE™, assim como valores estimados de temperatura do ponto de orvalho e evapotranspiração potencial, de modo a se determinar equações de estimativa da DPM para a cultura do trigo, na região dos Campos Gerais do Paraná.

3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.3.1. ESTIMATIVA DA DPM ATRAVÉS DE EMA NA ÁREA EXPERIMENTAL (18:00-12:00)

Na Tabela 3.1 são apresentados os valores da duração do período de molhamento obtidos pelo critério visual (DPMV), os dados meteorológicos monitorados na estação automática Squitter™, e os valores estimados de temperatura do ponto de orvalho e evapotranspiração potencial. Estes valores foram submetidos a análises de correlação de Pearson, e também a regressões lineares

simples e múltiplas utilizando os métodos de seleção de variáveis independentes Stepwise, Backward e Forward, através do programa SAS System, versão 6.12.

Desta forma, os dados referentes à tabela 3.1 foram submetidos inicialmente a uma análise de correlação utilizando o coeficiente de Pearson (r) e sua probabilidade de significância, a fim de se verificar quais das 18 variáveis mais se correlacionariam com a DPMV (Tabela 3.2), através de uma associação linear. Verifica-se que a média da velocidade máxima do vento e a pressão atmosférica média foram as variáveis meteorológicas que obtiveram os maiores coeficientes de correlação (-0,47 e 0,42) e as menores probabilidades de significância, respectivamente. Outras variáveis como a velocidade média do vento ($r = -0,36$), a temperatura mínima absoluta ($r = -0,14$) e o número de horas com umidade relativa do ar maior ou igual a 95% ($r = 0,11$) também demonstraram coeficientes satisfatórios.

O desempenho destas variáveis meteorológicas na estimativa do período de molhamento obedeceu a mesma tendência encontrada por Crowe et al. (1978), onde através da utilização de registros de velocidade média do vento, média das temperaturas mínimas e cobertura de nuvens, obtidas em condições semelhantes, obtiveram coeficientes de correlação iguais a -0,24, -0,02 e 0,02, respectivamente. A variabilidade dos valores dos coeficientes de correlação (r) indica a necessidade de estudos localizados para a utilização destas estimativas.

Em relação ao coeficiente de determinação (R^2) calculado pela análise de regressão linear simples entre a DPMV e as variáveis meteorológicas, este apresentou o mesmo comportamento quando comparado ao coeficiente de Pearson (Tabela 3.3). A média da velocidade máxima do vento (equação 1) obteve o maior coeficiente de determinação ($R^2=0,22$), o menor erro padrão da estimativa, e o

maior valor da estatística F. Por outro lado, as equações de regressão linear simples entre o NHUR $\geq 70, 75, 80, 85, 90$ e 95% e a DPMV estiveram associadas a valores de coeficientes de determinação insatisfatórios (menores que 0,0133), podendo se fazer a mesma inferência ao erro padrão da estimativa (SEE) e ao valor da estatística F, considerando-se o nível de confiança de 95%.

Entretanto Sentelhas (1992) na cultura do trigo e Amador (1987) em cultivo de feijão realizaram análises de regressões lineares simples e obtiveram bons coeficientes de determinação ($R^2=0,94$ e $R^2=0,69$ respectivamente) quando correlacionaram o NHUR $\geq 85\%$ e NHUR $\geq 90\%$ com a duração do período de molhamento visual, através de medidas tomadas com termohigrógrafo da marca R. FUEES posicionado dentro da cultura.

Resultados semelhantes foram obtidos por Crowe et al. (1978), que correlacionaram os valores da DPM medida pelo aparelho registrador de orvalho Taylor, com o NHUR $\geq 90\%$ medido em termohigrógrafo posicionado dentro da cultura do trigo, obtendo coeficiente de determinação de 0,60. Trabalhando com sensores medidores da duração do período de molhamento, Getz (1979) comenta que o registrador Taylor usado pelos autores é insensível a depósitos leves de orvalho, gerando erros que excedem uma hora na duração do orvalho.

Tsukahara (2004), utilizando termohigrômetros acoplados a datalogger e posicionados a alturas de 0,5 e 1,7m em relação ao plano horizontal, sobre a cultura da soja, verificou melhor desempenho das equações de estimativa da DPM quando utilizou os dados de umidade relativa do ar tomados ao dossel da cultura. Porém quando o autor comparou o desempenho das equações baseadas na temperatura, constatou o comportamento inverso, ou seja, a medida de temperatura tomada no dossel da cultura ofereceu menores coeficientes de determinação.

Desta forma, a utilização de equações de regressão lineares simples para a estimativa do período de molhamento deve ter como premissa básica o conhecimento da posição dos aparelhos medidores ou dos sensores em relação ao solo, uma vez que a diferença entre os níveis de leitura dos parâmetros meteorológicos pode gerar erros significativos na estimativa da DPM.

Analisando as regressões lineares múltiplas pelo método de seleção de variáveis independentes Backward (representadas pelas equações 7, 8, 9 e 10), os maiores valores dos coeficientes de determinação (R^2) e da estatística F (Tabela 3.4) permitiram constatar que os elementos meteorológicos que melhor se correlacionaram com a DPM, através dos dados obtidos em estação agrometeorológica automática (EMA), foram o número de horas com umidade relativa média do ar maior ou igual a 85% ($NHUR \geq 85\%$), umidade relativa média, temperatura do ponto de orvalho, temperatura mínima do ar, velocidade máxima do vento, pressão atmosférica local e evapotranspiração potencial (equação 7). As equações 8, 9 e 10, apesar de apresentarem valores de R^2 maiores, revelaram que o acréscimo de outras variáveis no modelo não resultou em aumento significativo do coeficiente de determinação, bem como da significância estatística do valor de F, corroborando os resultados obtidos por Sentelhas (1993) com a cultura do trigo e por Amador (1987) para a cultura do feijão.

Utilizando-se outro método de seleção de variáveis independentes Stepwise (representado pelas equações 1, 2, 3, 4, 5 e 6), verificou-se que a melhor relação de dependência entre a DPMV e os elementos meteorológicos monitorados é representada pela equação 5, dado os valores do coeficiente de determinação (R^2) e da estatística F. As demais equações geradas por este método apresentaram

valores de R^2 menores, com mesmo nível de significância, com exceção da equação 6, que demonstrou R^2 maior, mas com redução do nível de significância de F.

3.3.2. ESTIMATIVA DA DPM ATRAVÉS DE EMA NA ÁREA EXPERIMENTAL (13:00-12:00)

Os mesmos dados armazenados a cada intervalo de 5 minutos no datalogger da estação agrometeorológica Squitter™, foram cotados agora para o período compreendido entre as 13:00 e 12:00 horas do dia posterior, conforme tabela 3.5, e submetidos à análise estatística.

Os resultados da análise de correlação, expresso pelo coeficiente de Pearson foram confrontados com os dados obtidos entre as 18:00 e 12:00 horas, e apresentados na tabela 3.6. Observamos que os coeficientes de correlação foram maiores quando os dados foram cotados entre as 13 e 12 horas, indicando uma tendência de melhor representatividade do fenômeno de formação e secamento do orvalho quando utilizamos dados mais representativos das condições ocorridas em um período de 24 horas.

Análises de regressão linear simples são apresentadas na tabela 3.7, onde observamos maiores coeficientes de determinação e estatística F, assim como os menores valores do erro padrão da estimativa, representados pelas análises realizadas com os dados cotados para o período das 13:00 as 12:00 horas, quando comparados para o período cotado entre as 18:00 e 12:00 horas.

A análise de regressão linear múltipla (Tabela 3.8) também apresentou a mesma tendência observada nas regressões com apenas uma variável independente, quando comparados à tabela 3.3. Estes resultados demonstram uma melhor representatividade da duração do período de molhamento visual quando

utilizamos os dados cotados para o período entre as 13:00 e as 12:00 horas, o qual facilita também a programação da plataforma de coleta de dados.

3.3.3. ESTIMATIVA DA DPM ATRAVÉS DE EMA NO POSTO METEOROLÓGICO (13:00-12:00)

Os dados observados na estação agrometeorológica ELE™ instalada no posto meteorológico (Figura 3.2), foram cotados para o período compreendido entre as 13:00 e 12:00 horas (Tabela 3.9), e submetidos à análise estatística, de acordo com a metodologia citada anteriormente.

Os resultados obtidos através de regressão linear simples (Tabela 3.10) evidenciam a possibilidade de estimativa da DPMv através de medidas tomadas segundo normas da WMO, demonstrada pelos coeficientes de determinação (R^2), calculados para as variáveis meteorológicas tomadas no posto meteorológico. Se compararmos com os resultados da tabela 3.7, a velocidade média do vento e a pressão atmosférica apresentaram coeficientes melhores quando comparadas às medidas realizadas dentro da cultura.

Em relação à regressão linear múltipla (Tabela 3.11), os resultados também foram satisfatórios, apresentando a mesma tendência de superioridade dos coeficientes de determinação se for considerada a equivalência do número de variáveis utilizadas na estimativa.

O desenvolvimento de futuras pesquisas, envolvendo um maior número de postos de observação de superfície e experimentos a serem conduzidos na região dos Campos Gerais do Paraná, traria informações adicionais importantes para o entendimento das relações de dependência entre a duração do período de molhamento por orvalho e o regime vigente dos principais elementos

meteorológicos, visando a proposição de modelos de estimativa confiáveis e representativos para a região em estudo.

3.4. CONCLUSÕES

O uso de equações baseadas somente no número de horas com umidade relativa média do ar igual ou maior que um valor limite apresentou baixa confiabilidade na estimativa da duração do período de molhamento, quando as medidas foram tomadas a 1,7m de altura em relação ao solo vegetado com trigo.

De forma geral, a utilização de equações geradas através de regressões lineares simples, utilizando os sensores de estações agrometeorológicas automáticas sob padrões recomendados pela OMM, não fornece estimativa consistente de duração do período de molhamento por orvalho em campos de produção de trigo na região dos Campos Gerais do Paraná.

Por outro lado, a utilização de equações geradas através de regressões lineares múltiplas para predição da DPM demonstrou boa acurácia e segurança, tanto em medidas tomadas no posto meteorológico, quanto em condições de lavoura.

O posicionamento dos sensores, e também das próprias estações agrometeorológicas é decisivo na representatividade dos modelos de estimativa da duração do período de molhamento.

A pressão atmosférica do ar e a velocidade do vento foram as variáveis meteorológicas que melhor contribuíram para a estimativa da duração do período de molhamento.

A geração dos índices de favorabilidade climática para ocorrência de processos epidemiológicos pode ser obtida com elevada precisão a partir de

modelos de estimativa da duração do período de molhamento, em função das seguintes variáveis: velocidade máxima do vento, número de horas com umidade relativa média do ar igual ou superior a 85%, temperatura mínima do ar, pressão atmosférica local e evapotranspiração potencial.

3.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMADOR, P.A. **Duração do período de molhamento por orvalho: estimativa baseada em parâmetros meteorológicos e comparação do desempenho de instrumentos de medida.** Piracicaba: USP, 1987. 69p. Dissertação (Mestrado em Agrometeorologia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration.** FAO Irrigation Paper 56. FAO, Roma, 301p. 1998.

BARROS, B.C. **Avaliação da resistência varietal e da resosta de cultivares de trigo (*Triticum aestivum* L.) ao controle químico de oídio, mancha marrom e ferrugem da folha.** Piracicaba:USP 1988. 122p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.

CAVIGLIONE, J.H.; KIJHL, L.R.B.; CARAMORI, P.H.; OLIVEIRA, D. de; GALDINO,J.; BORROZINO, E.; GIACOMINI, C.C.,, SONOMURA, M.G.; PUGSLEY,L. **Cartas climáticas do estado do Paraná.** In: CONGRESSO E MOSTRA DE INFORMATICA – INFOAGRO, 2000, Ponta Grossa, PR. Edição 2000. versão 1.0. CD –ROM.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Comparativo da área, produção e produtividade**. Disponível em:<http://www.conab.gov.br/safras.asp> > Acesso em: 29 set. 2003.

CROWE, M.J.; COAKLEY, S.M.; EMGE, R.C. Forecasting dew duration at Pendleton, Oregon, using simple weather observations. **Journal of Applied Meteorology**. Boston, 17(10): 1482-87, 1978.

DE MORI, C.; FERREIRA FILHO, A. **Custo de produção de trigo e de aveia: estimativa safra 2003**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2003. 5 p. html (Embrapa Trigo. Comunicado Técnico Online, 111). Disponível em: http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/co/p_co111.htm

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. – Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999.

FEEKES. **Feekes Growth Stages for Small Grains**. 1940. Disponível em: <http://www.ces.ncsu.edu/resources/crops/ag580/feekes.html>. Acesso em 16/07/2003.

FELÍCIO, J.C.; CAMARGO, C.E. O. CAMARGO, M.B.P.; CASTRO, J.L.; BARROS, B.C. Trigo: três épocas de semeadura em Capão Bonito, SP, no período 1981-1985. **Bragantia**, Campinas, 47 (2): 255-275, 1988.

GETZ, R.R. Coments on “forecasting dew duration at pendleton, Oregon, using simple weather observations”. **Journal of Applied Meteorology**. Boston, 18(8): p.1087, 1979.

HELDWEIN, A.B.; KRZYSCH, G. Escala para a observação visual do molhamento por orvalho. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.5, n.2, p.207-214, 1997.

MIRANDA, R.A.C.; DAVIES, T.D.; CORNELL, S.E. A Laboratory assessment of wtness sensors for leaf, fruit and trunk surfaces. **Agriculture and Forestry Meteorology**, 102:263-274, 2000.

MONTEIRO, J. E. B. de A. **Microclima e ocorrência de ramulose no algodoeiro em diferentes densidades populacionais**. Piracicaba: USP, 2002. 99 p. Dissertação (Mestrado em Agrometeorologia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.

SENTELHAS, P.C. **Ocorrência de helmintosporiose (*Helminthosporium sativum*) e de oídio (*Erysiphe graminis*) na cultura do trigo (*Triticum aestivum* L.) sob diferentes condições microclimáticas**. Piracicaba: USP, 1992. 103p. Dissertação (Mestrado em Agrometeorologia) - Escola Superior Luiz de Queiroz/Universidade Estadual de São Paulo.

SENTELHAS, P.C. Estimativa do período de molhamento para o trigo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.1, n.1, p.117 a 122, 1993.

SUTTON, J.C.; GILLESPIE, T.J.; HILDEBRAND, P.D. **Monitoring weather factors in relation to plant disease.** Plant Disease, St.Paul, v. 68, n.1, p.78-84, 1984.

TSUKAHARA, R.Y. Estimativa da duração do período de molhamento por orvalho na cultura da soja através de variáveis ambientais obtidas na região dos Campos Gerais do Paraná. **Relatório de pesquisa - safra verão 2003/2004.** Fundação abc, Castro, p. 51-78, 2004.

Tabela 3.1. Duração do período de molhamento visual e elementos meteorológicos observados na estação meteorológica automática Squitter, instalada na área experimental, com os dados cotados entre as 18:00 e 12:00 horas, valores estimados de temperatura do ponto de orvalho e evapotranspiração potencial. Castro-PR, 2003. Fundação ABC.

DATA	DPMV	NHUR70	NHUR75	NHUR80	NHUR85	NHUR90	NHUR95	URMED	TORV	TMED	TMIN	TMINABS	VTMED	VTMIN	VTMAX	PRES	URMIN	URMAX	ETPPM
11 e 12/08	14,97	17,33	16,67	15,50	14,83	12,33	9,33	90,77	4,80	5,52	4,98	0,99	1,46	0,92	1,99	90,43	90,07	91,52	1,50
18 e 19/08	14,83	12,58	11,00	9,67	8,92	7,92	6,17	80,87	6,36	6,89	6,42	0,62	1,25	0,78	1,77	90,58	80,14	81,61	1,90
19 e 20/08	18,00	16,67	16,25	15,42	13,58	12,08	9,67	89,62	9,97	10,25	9,86	2,30	0,30	0,15	0,46	90,57	88,92	90,43	1,90
20 e 21/08	16,02	10,17	7,50	5,50	3,00	2,00	0,00	67,89	13,52	13,66	13,28	5,59	0,20	0,09	0,35	90,35	66,89	68,99	2,10
21 e 22/08	15,92	7,67	5,58	4,42	3,50	1,00	0,00	66,96	13,80	13,93	13,57	4,95	0,26	0,12	0,42	90,24	65,99	68,04	2,10
27 e 28/08	15,78	13,42	12,75	11,58	10,58	9,67	5,17	83,57	9,07	9,38	8,99	5,07	0,61	0,19	1,09	90,41	82,86	84,31	1,70
01 e 02/09	17,93	17,75	17,75	17,67	17,50	16,67	11,50	94,64	11,03	11,28	10,88	8,65	1,24	0,56	1,94	90,52	94,22	95,09	1,60
02 e 03/09	15,62	16,42	15,67	15,08	14,08	13,17	5,67	88,89	9,98	10,26	9,88	5,81	2,14	1,28	3,18	90,71	88,18	89,66	1,90
04 e 05/09	16,22	17,25	17,00	16,42	16,00	15,75	14,42	94,59	13,62	13,79	13,37	11,12	1,78	0,72	2,78	90,60	93,99	95,28	2,00
11 e 12/09	16,52	12,83	12,25	11,92	11,33	7,42	2,67	80,11	5,46	6,11	5,59	-0,33	0,91	0,32	1,62	90,36	79,18	81,07	2,00
17 e 18/09	15,60	18,00	17,58	16,83	14,75	12,00	7,83	91,29	12,18	12,37	11,99	9,74	0,95	0,16	2,01	90,25	90,62	92,01	2,00
18 e 19/09	15,30	16,42	15,42	14,17	13,17	11,33	6,42	88,17	12,04	12,24	11,85	9,04	1,32	0,36	2,35	90,11	87,52	88,88	2,40
22 e 23/09	15,12	15,67	14,83	14,42	12,08	10,75	9,42	87,84	16,58	16,65	16,26	12,83	0,37	0,03	1,00	90,02	87,13	88,56	2,40
29 e 30/09	11,58	18,00	18,00	17,25	15,67	13,25	7,25	91,71	13,55	13,68	13,35	11,58	1,70	0,24	3,23	90,18	91,23	92,23	1,90

DPMV = duração do período de molhamento visual; NHUR = número de horas com umidade relativa média do ar maior ou igual a 70 até 95%; URMED = umidade relativa média do ar; TORV = temperatura do ponto de orvalho; TMED = temperatura média do ar; TMIN = média da temperatura mínima do ar; TMINABS = temperatura mínima absoluta do ar; VTMED = velocidade média do vento; VTMIN = média da velocidade mínima do vento; VTMAX = média da velocidade máxima do vento; PRES = pressão atmosférica média do ar; URMIN = média da umidade relativa mínima do ar; URMAX = média da umidade relativa máxima do ar; ETP = evapotranspiração potencial Penman Monteith.

Tabela 3.2. Coeficiente de correlação de Pearson (r) e probabilidade de significância (%) entre a duração do período de molhamento visual (DPMV) e as variáveis meteorológicas observadas em estação meteorológica automática Squitter instalada na área experimental, com dados cotados entre as 18:00 e 12:00 horas. Castro - PR, 2003. Fundação ABC.

Variáveis	Unidades	Coeficiente de correlação (r)	Níveis de probabilidade
NHUR70	h	-0,1142	0,6975
NHUR75	h	-0,0997	0,7343
NHUR80	h	-0,0686	0,8157
NHUR85	h	-0,0331	0,9104
NHUR90	h	0,0157	0,9575
NHUR95	h	0,1154	0,6944
URMED	%	-0,0479	0,8707
TORV	°C	-0,1438	0,6237
TMED	°C	-0,1469	0,6162
TMIN	°C	-0,1480	0,6135
TMINABS	°C	-0,2996	0,2980
VTMED	m/s	-0,3619	0,2035
VTMIN	m/s	-0,0206	0,9441
VTMAX	m/s	-0,4769	0,0846
PRES	kPa	0,4293	0,1255
URMIN	%	-0,0503	0,8642
URMAX	%	-0,0442	0,8807
ETPPM	mm	-0,1239	0,6730

Tabela 3.3. Equações de regressão linear simples para estimativa da duração do período de molhamento através dos registros obtidos na estação meteorológica automática instalada na área experimental, com dados cotados entre as 18:00 e 12:00 horas, e seus respectivos valores de coeficiente de determinação, erro padrão da estimativa, e estatística F. Castro – PR, 2003.

EQUAÇÕES DE REGRESSÃO LINEAR SIMPLS	R ²	ERRO PADRÃO	F	
1 Y= 16,9642 - 0,7485 (VTMAX)	0,2276	1,3920	3,5369	*
2 Y= - 276,6365 + 3,2341 (PRES)	0,1883	1,4270	2,7844	*
3 Y= 16,5837 - 0,8812 (VTMED)	0,1307	1,4768	1,8043	*
4 Y= 16,3336 - 0,1054 (TMINABS)	0,0897	1,5112	1,1824	*
5 Y= 16,3999 - 0,0678 (TMIN)	0,0220	1,5663	0,2710	*
6 Y= 16,4331 - 0,0683 (TMED)	0,0217	1,5666	0,2670	*
7 Y= 16,3558 - 0,0630 (TORV)	0,0207	1,5674	0,2546	*
8 Y= 17,1196 - 0,7399 (ETPPM)	0,0155	1,5716	0,1893	ns
9 Y= 15,3773 + 0,0431 (NHUR95)	0,0133	1,5733	0,1628	*
10 Y= 16,4832 - 0,0540 (NHUR70)	0,0129	1,5736	0,1576	*
11 Y=16,2224 - 0,0389 (NHUR75)	0,0098	1,5761	0,1194	*
12 Y= 15,9999 - 0,0247 (NHUR80)	0,0046	1,5802	0,0562	ns
13 Y= 16,3843 - 0,0084 (URMIN)	0,0024	1,5820	0,0296	ns
14 Y= 16,3705 - 0,0081 (URMED)	0,0022	1,5821	0,0271	ns
15 Y= 15,6148 + 0,0054 (NHUR90)	0,0020	1,5837	0,0031	ns
16 Y= 16,3293 - 0,0076 (URMAX)	0,0018	1,5824	0,0227	ns
17 Y= 15,8072 - 0,0112 (NHUR85)	0,0010	1,5831	0,0125	ns
18 Y= 15,7077 - 0,0858 (VTMIN)	0,0004	1,5836	0,0053	ns

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade; ns Não significativo ao nível de probabilidade de 5%.

Tabela 3.4. Regressões lineares simples e múltiplas entre a duração do período de molhamento visual (Y) e os elementos meteorológicos observados em estação meteorológica automática instalada na área experimental, com dados cotados entre 18:00 e 12:00 horas, e seus respectivos valores de coeficiente de determinação, erro padrão da estimativa e estatística F. Castro-PR, 2003. Fundação ABC.

EQUAÇÃO DE REGRESSÃO	R ²	SEE	F
1 $Y = -16,964 - 0,748X_1$	0,228	1,392	5,712 *
2 $Y = -346,529 - 0,904X_1 + 4,024X_2$	0,509	1,159	5,712 *
3 $Y = -326,451 - 1,472X_1 + 3,788X_2 + 0,183X_3$	0,651	1,024	6,225 *
4 $Y = -479,457 - 1,594X_1 + 5,428X_2 + 0,232X_3 + 2,257X_4$	0,732	0,947	6,151 *
5 $Y = -525,414 - 1,799X_1 + 6,144X_2 + 0,925X_3 + 3,267X_4 - 0,332X_5$	0,833	0,793	7,972 *
6 $Y = -478,135 - 1,880X_1 + 5,568X_2 + 1,247X_3 + 3,454X_4 - 0,250X_5 - 0,486X_{13}$	0,862	0,772	7,260 *
7 $Y = -756,982 - 2,513X_1 + 8,858X_2 + 1,122X_3 + 4,518X_4 - 0,501X_5 + 0,573X_6 - 0,586X_7$	0,911	0,670	8,732 *
8 $Y = -620,207 - 4,694X_1 + 7,370X_2 + 1,262X_3 + 4,785X_4 - 0,555X_8 + 0,659X_6 - 0,631X_7 + 3,305X_9$	0,949	0,553	11,666 *
9 $Y = -341,986 - 4,981X_1 + 4,334X_2 + 1,212X_3 + 4,017X_4 + 4,292X_{11} + 0,469X_6 + 15,194X_7 - 0,521X_5 - 16,336X_{10}$	0,973	0,451	15,974 *
10 $Y = -239,341 - 5,054X_1 + 3,154X_2 + 1,165X_3 + 3,113X_4 + 4,601X_9 + 0,507X_6 + 19,451X_7 + 2,645X_5 - 20,794X_{10} - 3,106X_8$	0,991	0,300	33,154 *
11 $Y = -168,514 - 4,500X_1 + 2,349X_2 + 4,083X_9 + 0,387X_6 - 31,274X_{10} + 4,124X_{11} + 25,715X_7 + 2,447X_4 + 1,088X_3 - 2,851X_8 + 2,427X_5$	0,993	0,333	24,564 *
12 $Y = 411,867 - 1,626X_1 - 4,739X_2 + 2,507X_{11} - 1,071X_6 - 153,191X_{10} + 56,377X_{11} + 94,874X_7 - 4,854X_4 - 0,712X_{14} + 32,060X_8 - 15,500X_5 - 16,091X_{12}$	0,996	0,342	21,312 *

Y=DPMV; X_1 =VTMÁX; X_2 =PRES; X_3 =NHUR85; X_4 =ETP; X_5 =URMÁX; X_6 =TMÍNABS; X_7 =TORV; X_8 =URMED; X_9 =VTMED; X_{10} =TMÍN; X_{11} =TMED; X_{12} =URMÍN; X_{13} =NHUR80; X_{14} =NHUR95.
 *Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 3.5. Duração do período de molhamento visual e elementos meteorológicos observados na estação meteorológica automática Squitter, instalada na área experimental, com os dados cotados entre as 13:00 e 12:00 horas, valores estimados de temperatura do ponto de orvalho e evapotranspiração potencial. Castro-PR, 2003. Fundação ABC.

DPMv	NHUR75	NHUR80	NHUR85	NHUR90	NHUR95	URMED	TORV	TMED	TMIN	TMINABS	VTMED	VTMIN	VTMAX	PRES	URMIN	URMAX	ETP
h	h	h	h	h	h	%	°C	°C	°C	°C	m/s	m/s	m/s	kPa	%	%	mm
14,97	16,75	15,50	14,67	12,33	8,58	83,91	4,80	7,55	7,06	0,99	1,79	1,13	2,45	90,42	82,97	84,90	1,50
14,83	10,83	9,58	8,75	7,75	6,08	71,09	6,36	9,39	8,96	0,62	1,48	0,88	2,13	90,57	69,98	72,22	1,90
18,00	17,00	15,17	13,42	12,00	9,58	78,68	9,97	13,02	12,65	2,30	0,72	0,42	1,05	90,55	77,59	79,86	1,90
16,02	7,33	5,25	2,92	1,58	0,00	59,78	13,52	16,22	15,87	5,59	0,43	0,19	0,74	90,35	58,45	61,20	2,10
15,92	5,42	4,33	3,42	0,58	0,00	60,21	13,80	16,32	15,96	4,95	0,49	0,22	0,80	90,22	58,89	61,72	2,10
15,78	12,58	11,50	10,50	9,58	3,92	75,49	9,07	10,92	10,48	5,07	0,74	0,25	1,29	90,39	74,55	76,81	1,70
17,93	18,75	18,67	17,83	16,50	10,92	86,82	11,03	13,09	12,70	8,65	1,24	0,54	1,95	90,49	86,09	87,57	1,60
15,62	19,00	16,00	14,08	12,75	5,00	85,14	9,98	11,89	11,53	5,81	2,04	1,16	3,06	90,68	84,19	86,14	1,90
16,22	19,50	17,50	16,33	15,67	13,83	89,15	13,62	15,32	14,92	11,12	1,91	0,84	2,89	90,57	88,28	90,11	2,00
16,52	12,25	11,83	11,00	7,00	2,50	72,71	5,46	8,22	7,74	-0,33	0,90	0,29	1,63	90,34	71,37	74,19	2,00
15,60	18,00	16,83	14,33	11,42	7,58	84,23	12,18	14,09	13,73	9,74	0,80	0,14	1,70	90,23	83,13	85,37	2,00
15,30	15,25	14,00	13,00	11,17	5,75	81,02	12,04	14,29	13,92	9,04	1,17	0,30	2,16	90,11	79,93	82,17	2,40
15,12	14,83	14,17	10,17	9,83	9,33	74,38	16,58	19,61	19,23	12,83	0,60	0,16	1,30	90,00	73,36	75,48	2,40
11,58	23,75	21,00	16,75	13,42	6,00	89,18	13,55	15,11	14,78	11,58	1,73	0,27	3,22	90,12	88,53	89,86	1,90

NHUR75=número de horas de umidade relativa média do ar igual ou superior que 75%...URMED=umidade relativa média do ar, TORV=temperatura do ponto de orvalho, TMED=temperatura média do ar, TMIN=média da temperatura mínima do ar, TMINABS=temperatura mínima absoluta do ar, VTMED=velocidade média do vento, PRES=pressão barométrica do ar, URMIN=média da umidade relativa mínima do ar, URMAX=média da umidade relativa máxima do ar, ETP=evapotranspiração potencial Penman Monteith.

Tabela 3.6. Comparação entre os coeficientes de correlação de Pearson e as probabilidade de significância (%) entre a duração do período de molhamento visual (DPMV) e as variáveis meteorológicas observadas em estação meteorológica automática Squitter, instalada na área experimental, com os dados cotados para os períodos das 18:00 as 12:00 e também para o período entre as 13:00 e 12:00. Castro - PR, 2003. Fundação ABC.

Variáveis	Unidades	Pearson (18:12)	Pearson (13:12)	Prob Signif (18:12)	Prob Signif (13:12)
NHUR70	h	-0,1142	-	0,6975	-
NHUR75	h	-0,0997	-0,2626	0,7343	0,3637
NHUR80	h	-0,0686	-0,1975	0,8157	0,4977
NHUR85	h	-0,0331	-0,0624	0,9104	0,8305
NHUR90	h	0,0157	0,0036	0,9575	0,9923
NHUR95	h	0,1154	0,1686	0,6944	0,5649
URMED	%	-0,0479	-0,1671	0,8707	0,5670
TORV	h	-0,1438	-0,1442	0,6237	0,6237
TMED	°C	-0,1469	-0,1011	0,6162	0,7319
TMIN	°C	-0,1480	-0,1027	0,6135	0,7280
TMINABS	°C	-0,2996	-0,2995	0,2980	0,2980
VTMED	m/s	-0,3619	-0,3503	0,2035	0,2171
VTMIN	m/s	-0,0206	0,0237	0,9441	0,9471
VTMAX	m/s	-0,4769	-0,5020	0,0846	0,0674
PRES	kPa	0,4293	0,4582	0,1255	0,0979
URMIN	%	-0,0503	-0,1708	0,8642	0,5578
URMAX	%	-0,0442	-0,1621	0,8807	0,5789
ETPPM	mm	-0,1239	-0,1246	0,6730	0,6730

Tabela 3.7. Equações de regressão linear simples para estimativa da DPMv em função dos elementos meteorológicos observados em EMA instalada na área experimental, com dados cotados entre as 13:00 e 12:00 horas, e seus respectivos coeficientes de determinação, erro padrão da estimativa e estatística F. Castro-PR. Fundação ABC.

Equações de regressão linear simples		R ²	SEE	F	
1	DPMv = 17,4388 - 0,09386* (VTMAX)	0,2520	1,3699	4,0433	*
2	DPMv = -294,5510 + 3,4332* (PRES)	0,2099	1,4079	3,1886	*
3	DPMv = 16,7680 - 0,09571* (VTMED)	0,1227	1,4836	1,6783	*
4	DPMv = 16,3336 - 0,1054* (TMINABS)	0,0897	1,5113	1,1825	*
5	DPMv = 16,8786 - 0,0800* (NHUR75)	0,0689	1,5284	0,8886	ns
6	DPMv = 16,5301 - 0,0628* (NHUR80)	0,0390	1,5528	0,4873	*
7	DPMv = 17,7123 - 0,0265* (URMIN)	0,0292	1,5607	0,3607	*
8	DPMv = 15,2616 + 0,0643* (NHUR95)	0,0284	1,5613	0,3513	*
9	DPMv = 17,7317 - 0,0264* (URMED)	0,0279	1,5617	0,3448	*
10	DPMv = 17,7423 - 0,0261* (URMAX)	0,0263	1,5630	0,3236	*
11	DPMv = 16,3559 - 0,0631* (TORV)	0,0208	1,5674	0,2547	*
12	DPMv = 17,1196 - 0,7399* (ETPPM)	0,0155	1,5716	0,1894	*
13	DPMv = 16,2581 - 0,0457* (TMIN)	0,0105	1,5756	0,1279	*
14	DPMv = 16,2736 - 0,0455* (TMED)	0,0102	1,5758	0,1240	*
15	DPMv = 15,9207 - 0,0208* (NHUR85)	0,0039	1,5809	0,0468	ns
16	DPMv = 15,6235 + 0,0988* (VTMIN)	0,0006	1,5835	0,0067	ns
17	DPMv = 15,6594 + 0,0012* (NHUR90)	0,0000	1,5840	0,0002	ns

*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F. ^{ns} Não significativo a 5%.

Tabela 3.8. Equações de regressão linear múltipla para estimativa da DPMv em função dos elementos meteorológicos observados em EMA instalada na área experimental, com dados cotados entre as 13:00 e 12:00 horas, e seus respectivos coeficientes de determinação, erro padrão da estimativa e estatística F. Castro-PR. Fundação ABC.

Equações de Regressão Linear Múltiplas	R-Quadrado	SEE	F	
1 DPM= -398,29 - 1,21X1 + 4,60X2	0,6081	1,0357	8,5331	*
2 DPM= -391,38 - 2,04X1 + 4,52X2 + 0,20X3	0,7867	0,8013	12,2951	*
3 DPM= -527,46 - 2,16X1 + 5,97X2 + 0,25X3 + 2,08X4	0,8559	0,6943	13,3662	*
4 DPM= -482,64 - 1,85X1 + 5,47X2 + 0,51X3 + 2,46X4 - 0,27X5	0,9258	0,5286	19,9536	*
5 DPM= -493,38 - 1,68X1 + 5,59X2 + 0,58X3 + 1,85X4 - 0,36X5 + 0,09X6	0,9410	0,5037	18,6081	*
6 DPM= -540,66 - 1,73X1 + 6,11X2 + 0,70X3 + 1,96X4 - 0,41X5 + 0,13X6 - 0,08X7	0,9531	0,4854	17,4004	*
7 DPM= -444,61 - 2,30X1 + 5,03X2 + 0,78X3 + 2,24X4 - 0,39X5 + 0,17X6 - 0,16X7 + 1,60X8	0,9722	0,4089	21,8787	*
8 DPM= -532,16 - 2,39X1 + 5,92X2 + 0,81X3 + 2,30X4 - 0,34X5 + 10,75X6 - 0,25X7 + 1,64X8 - 10,42X9	0,9870	0,3133	33,6377	*
9 DPM= -559,73 - 2,42X1 + 6,22X2 + 0,95X3 + 2,33X4 - 0,34X5 + 11,09X6 - 0,22X7 + 1,78X8 - 10,73X9 - 0,16X10	0,9923	0,2779	38,6868	*
10 DPM= 16,10 - 10,26X6 + 9,47X9 + 1,21X13 - 0,16X14 - 0,46X15 + 0,21X16 - 0,2034X17	0,7519	1,1158	2,5977	*

X1=média da velocidade máxima do vento, X2=pressão barométrica média, X3=NHUR>=85, X4=evapotranspiração potencial Penman Monteith, X5=NHUR>=75, X6=temperatura média do ar, X7=NHUR>=95, X8=média da velocidade mínima do vento, X9=média da temperatura mínima do ar, X10=NHUR>=90, X11=média da temperatura máxima do ar, X12=temperatura mínima absoluta, X13=temperatura máxima absoluta, X14=umidade relativa média do ar, X15=umidade relativa mínima absoluta do ar. * Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 3.9. Duração do período de molhamento visual (DPMV) e elementos meteorológicos observados na estação meteorológica automática ELE, instalada próxima a área experimental (Posto meteorológico), com dados cotados entre as 13:00 e 12:00 horas. Castro-PR, 2003. Fundação ABC.

DATA	DPMV	RADMAX	RADTOT	TMED	TMIN	TMAX	URMIN	VTMAX	URMED	PRES	VTMED	NHUR75	NHUR80	NHUR85	NHUR90	NHUR95
	h	W/m ²	MJ/m ² /dia	°C	°C	°C	%	m/s	%	mb	m/s	h	h	h	h	h
12/08	15,0	483,4	11,8	6,1	-0,4	14,4	60,4	6,9	100,0	897,0	2,4	24,0	17,0	15,0	15,0	13,0
19/08	14,8	501,6	12,0	6,1	1,7	18,3	33,3	4,1	81,4	901,0	1,9	24,0	14,0	11,0	9,0	8,0
20/08	18,0	487,4	11,8	9,9	2,4	24,4	26,9	3,3	100,0	900,0	0,5	24,0	16,0	16,0	15,0	14,0
21/08	16,0	485,2	11,7	14,0	5,7	26,5	27,9	3,5	76,3	899,0	0,9	24,0	11,0	10,0	7,0	6,0
22/08	15,9	491,8	11,7	14,7	5,0	26,1	29,1	4,1	76,4	897,0	0,8	24,0	8,0	8,0	5,0	4,0
28/08	15,8	549,5	10,7	9,5	5,5	16,7	47,9	3,5	84,8	899,0	1,4	24,0	13,0	12,0	10,0	10,0
02/09	17,9	491,8	8,6	10,9	8,0	20,5	58,7	4,4	100,0	899,0	1,8	24,0	18,0	18,0	18,0	17,0
03/09	15,6	511,8	12,4	10,3	6,5	17,9	65,9	5,5	100,0	900,0	2,6	24,0	18,0	16,0	14,0	13,0
05/09	16,2	491,8	12,1	12,5	11,3	23,4	65,3	5,0	100,0	900,0	2,8	24,0	19,0	17,0	16,0	15,0
12/09	16,5	568,2	14,0	6,6	0,4	16,3	40,1	5,4	85,6	897,5	2,0	24,0	13,0	12,0	11,0	10,0
18/09	15,6	574,0	11,0	11,6	9,7	19,7	61,4	3,9	100,0	895,5	2,2	24,0	18,0	17,0	15,0	13,0
19/09	15,3	564,2	14,5	11,5	9,2	21,5	52,9	4,4	95,6	895,0	2,6	24,0	15,0	15,0	13,0	12,0
23/09	15,1	565,1	13,4	16,8	12,8	29,1	28,7	4,1	88,5	894,0	1,7	24,0	16,0	13,0	11,0	9,0
30/09	11,6	333,4	8,0	14,1	11,7	19,9	80,1	5,5	100,0	894,0	3,6	24,0	24,0	23,0	18,0	14,0

DPMV=duração do período de molhamento visual; RADMAX=máxima radiação solar global observada; RADTOT=radiação solar global integrada; TMED=temperatura média; TMIN=menor temperatura média observada; TMAX=maior temperatura média observada; URMIN=menor umidade relativa média; VTMAX=maior velocidade do vento observada; URMED=umidade relativa média; PRES=pressão atmosférica média; VTMED=velocidade do vento média, NHUR75=número de horas com umidade relativa maior ou igual a 75%, NHUR80=número de horas com umidade relativa maior ou igual a 80%; NHUR85=número de horas com umidade relativa maior ou igual a 85%; NHUR90=número de horas com umidade relativa maior ou igual a 90%; NHUR95=número de horas com umidade relativa maior ou igual a 95%.

Tabela 3.10. Equações de regressão linear simples para estimativa da duração do período de molhamento e seus respectivos valores de coeficiente de determinação, erro padrão da estimativa, e estatística F, calculadas para a estação automática ELLE (Posto meteorológico). Castro – PR, 2003. Fundação ABC.

Nº	EQUAÇÃO DE REGRESSÃO LINEAR SIMPLES	R ²	ERRO PADRÃO	F
1.	DPM = 17,9301 - 1,1654 (VTMED)	0,4335	1,1926	9,1831 *
2.	DPM = -303,6589 + 0,3557 (PRES)	0,3038	1,3220	5,2384 *
3.	DPM = 9,1495 + 0,0128 (RADMAX)	0,2690	1,3547	4,4161 *
4.	DPM = 17,5569 - 0,0388 (URMIN)	0,1995	1,4176	2,9916 *
5.	DPM = 18,2314 - 0,1628 (NHUR80)	0,1733	1,4406	2,5157 *
6.	DPM = 18,2322 - 0,5636 (VTMAX)	0,1370	1,4719	1,9064 *
7.	DPM = 17,5351 - 0,1284 (NHUR85)	0,1049	1,4991	1,4067 *
8.	DPM = 16,3858 - 0,1116 (TMIN)	0,0984	1,5045	1,3100 *
9.	DPM = 13,3912 + 0,1950 (RADTOT)	0,0515	1,5431	0,6528 *
10.	DPM = 16,6383 - 0,0877 (TMED)	0,0357	1,5559	0,4451 ^{ns}
11.	DPM = 14,4765 + 0,0567 (TMAX)	0,0260	1,5637	0,3213 ^{ns}
12.	DPM = 15,1687 + 0,0446 (NHUR95)	0,0112	1,5755	0,1369 ^{ns}
13.	DPM = 16,0509 - 0,0299 (NHUR90)	0,0060	1,5797	0,0731 ^{ns}
14.	DPM = 16,0097 - 0,0036 (URMED)	0,0005	1,5841	0,0062 ^{ns}

* significativo ao nível de 5% de probabilidade. ^{ns} não significativo a 5, 10 e 15% de probabilidade.

Tabela 3.11. Regressões lineares simples e múltiplas entre a duração do período de molhamento visual (Y) e os elementos meteorológicos observados em estação meteorológica automática ELLE instalada próxima à área do experimento (X) e seus respectivos valores de coeficiente de determinação e estatística F. Castro - PR, 2003. Fundação ABC.

Nº	EQUAÇÃO DE REGRESSÃO LINEAR SIMLES E MÚLTIPLA - ESTAÇÃO AUTOMÁTICA ELLE	R ²	SEE	F
1	$Y = 17,9301 - 1,1654 X_1$	0,43	1,19	9,18 *
2	$Y = 16,0968 - 1,7450X_1 + 0,2619X_2$	0,72	0,88	13,82 *
3	$Y = 17,5133 - 1,1115X_1 - 0,4246X_3 + 0,5732X_2$	0,91	0,53	31,84 *
4	$Y = 16,0943 - 0,8970X_1 - 0,4923X_3 + 0,6341X_2 + 0,0616X_4$	0,92	0,50	27,55 *
5	$Y = 16,3034 - 0,6537X_1 - 0,3076X_3 + 0,6480X_2 + 0,0716X_4 - 0,2371X_5$	0,94	0,46	26,78 *
6	$Y = - 203,3127 - 0,7827X_1 - 0,4650X_5 + 0,5191X_6 + 0,2422X_7 + 0,0734X_8 + 0,0065X_9$	0,96	0,42	27,99 *
7	$Y = - 230,5949 - 1,1400X_1 + 0,4819X_6 + 0,1170X_8 - 0,4190X_5 + 0,2706X_7 + 0,0073X_9 + 0,3376X_{10}$	0,97	0,37	30,61 *
8	$Y = - 244,2774 - 0,8009X_1 + 0,5498X_6 + 0,1310X_8 - 0,4769X_5 + 0,2867X_7 + 0,0063X_9 + 0,3549X_{10} - 0,0214X_{11}$	0,98	0,33	32,15 *
9	$Y = - 313,0155 - 0,8681X_1 + 0,3611X_6 + 0,1441X_8 - 0,5714X_5 + 0,3544X_7 + 0,0098X_9 + 0,6146X_{10} - 0,0335X_{11} + 0,3430X_3$	0,99	0,31	34,86 *
10	$Y = -614,2112 + 0,6005X_1 + 1,9720X_6 - 0,9126X_5 + 0,6977X_7 + 0,0135X_9 + 0,0389X_3 + 0,5392X_{12} - 0,2687X_4 - 1,0649X_2 - 0,0808X_{11}$	1,00	0,12	220,13 *
11	$Y = -634,0617 + 0,5322X_1 + 2,0370X_6 - 0,9176X_5 + 0,7198X_7 + 0,0128X_9 + 0,0353X_3 + 0,5858X_{12} - 0,3052X_{10} - 1,1116X_2 - 0,0824X_{11} + 0,0572X_{13}$	1,00	0,09	352,03 *
12	$Y = - 1055,3106 - 1,3373X_1 + 4,8892X_6 - 1,5507X_5 + 1,2105X_7 - 0,0074X_9 - 0,3442X_3 + 0,6008X_{12} - 0,9667X_4 - 3,2822X_2 - 0,1244X_{11} + 0,8686X_{13} + 0,7581X_8$	1,00	0,01	6,8.10 ⁴ *

Y=DPM; X₁=VTMED; X₂=NHUR95; X₃=NHUR85; X₄=TMAX; X₅=NHUR80; X₆=NHUR90; X₇=PRES; X₈=TMIN; X₉=RADMAX; X₁₀=VTMAX; X₁₁=URMIN; X₁₂=TMED; X₁₃=RADTOT. *Significativo a 5% de probabilidade.

4 ARTIGO 2– Sistema de suporte à tomada de decisão para o manejo fitossanitário nos Campos Gerais do Paraná

RESUMO

A ocorrência de doenças em plantas sofre influência das variáveis meteorológicas. O objetivo deste trabalho foi desenvolver um software para avaliar os riscos de ocorrência de epidemias através do monitoramento agrometeorológico, e desta forma fornecer suporte à tomada de decisão para o manejo fitossanitário. O software desenvolvido (Arc Epidemic) utilizou modelos numéricos de altitude para interpolação das variáveis meteorológicas a serem estudadas. Os dados de entrada foram divididos em agrometeorológicos e fitopatológicos, sendo que o primeiro foi proveniente de uma rede de estações meteorológicas automáticas, e o segundo foi caracterizado por equações que representam os processos de incidência, infecção e desenvolvimento de doenças. Após o processamento das informações, as saídas (índices de favorabilidade) podem ser visualizadas na forma de gráficos e mapas georreferenciados, através de web específica, juntamente com comentários de especialistas. Os índices de favorabilidade climática para ocorrência das principais doenças fúngicas foram atualizados diária e semanalmente, de acordo com a época do ano e estágio fenológico da cultura em questão. O sistema demonstrou potencial de uso para prever áreas com maior probabilidade de ocorrência das principais doenças fúngicas nos Campos Gerais do Paraná.

Palavras-chave: estações meteorológicas automáticas, monitoramento, funções epidemiológicas, suporte à tomada de decisão, previsão de doenças.

**DECISION SUPORT SYSTEM FOR DISEASE MANAGEMENT IN CAMPOS
GERAIS OF PARANÁ, SOUTHERN BRAZIL**

ABSTRACT

The climate influences the occurrence of plant diseases. The objective of this work was to develop a software to assess risks of occurrence of plant diseases epidemics, in order to understand the interaction among weather - pathogen – host, through the monitoring of the climatic variations in “Campos Gerais” Area. The developed software (Arc-Epidemic) used numeric models for interpolation of the meteorological variables. The input data set were divided in agrometeorological and phytopathological, and the first one was obtained from a network of automatic weather stations, and the second was characterized by formulas related to incidence, infection and development of diseases. After the processing of the information, the outputs (favourability indexes) can be visualized in graphs and also in georeferenced maps. The software demonstrated potential use to forecast areas with larger probability for occurrence of disease.

Keywords: automatic meteorological stations, monitoring agrometeorological, epidemiological functions, decision support system, forecasting disease.

4.1. INTRODUÇÃO

A ocorrência de doenças em plantas é resultante de uma complexa interação entre o hospedeiro, patógeno e ambiente físico (Burrage, 1972, 1978). O ambiente físico, representado pelas condições meteorológicas e edáficas, influencia diretamente o hospedeiro e o patógeno, e por muitas vezes seus vetores, sendo necessária a observação contínua dessas condições para um melhor entendimento e quantificação da ocorrência e desenvolvimento de doenças (Sutton et al., 1984).

Entre as principais condições meteorológicas que influenciam a ocorrência de processos epidêmicos, podemos citar o período de molhamento, a temperatura do ar durante este período de molhamento, seguido da umidade relativa do ar, precipitação pluvial, e vento (Zahler et al., 1991).

O período de molhamento representa o tempo em que uma camada de água formada pelos diversos processos físicos (chuva e orvalho) permanece sobre as folhas, comumente denominada de orvalho. A duração deste período possui grande relevância no processo de infecção, sendo considerada essencial para o início dos processos de germinação de esporos e penetração no hospedeiro (Bedendo, 1995).

Em relação ao efeito da temperatura no desenvolvimento de microorganismos, sua influência tem sido detectada em todas as fases do ciclo de infecção, desde a germinação dos esporos até a produção de novas unidades de reprodução, atuando principalmente como um regulador do progresso epidemiológico (Bedendo, 1995; Rotem, 1978).

Mesmo a temperatura sendo considerada um fator menos limitante do que a duração do período de molhamento no desenvolvimento de doenças (Pedro Jr., 1989), o efeito aditivo proporcionado pela combinação entre esses fatores

é que condicionará o sucesso ou insucesso do processo infeccioso, uma vez que o ambiente é um complexo o qual inclui diferentes fatores que devem estar limitados entre condições mínimas e máximas necessárias para o desenvolvimento das doenças (Eversmeyer e Burleigh, 1970).

Estudos conduzidos em câmaras de crescimento para avaliar a severidade dos processos epidemiológicos em função da temperatura e da duração do período de molhamento são descritos em Hosford et al. (1987), Januzzi (1987), Gasparotto (1988), Melching et al. (1989), Dalla Pria (1997), Canteri et al. (1999) e Godoy (2000).

Através desses estudos em condições controladas, funções epidemiológicas ou modelos matemáticos podem ser gerados, e simular na forma de expressões matemáticas relativamente simples, a relação existente entre doença e as variáveis meteorológicas, permitindo a compreensão da evolução de epidemias (Godoy, 2000).

Uma vez compreendida a relação de dependência entre o ambiente e o patógeno, estas funções epidemiológicas podem ser aplicadas em sistemas de monitoramento e previsão de doenças, desde que seja considerada como premissa básica a existência de registros meteorológicos, funções epidemiológicas calibradas no campo, e densidade de inóculo suficiente para ocorrência do processo infeccioso sobre determinada região (Krauze e Massie, 1975).

Desta forma, com a viabilização da rede telemétrica de estações meteorológicas automáticas na região dos Campos Gerais do Paraná, iniciaram-se estudos sobre um sistema de previsão de algumas doenças fitopatológicas relacionadas às principais culturas da região. Desta forma, o presente trabalho tem por objetivo descrever o sistema proposto, e avaliar o seu desempenho na

identificação das áreas mais propícias ao desenvolvimento das principais doenças fúngicas decorrentes do cultivo de trigo nos Campos Gerais do Paraná.

4.2. MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1. DESCRIÇÃO DO SISTEMA PROPOSTO

O sistema de suporte à tomada de decisão com ênfase para a ocorrência de processos epidemiológicos sobre a região dos Campos Gerais do Paraná teve como principal precursor o Sistema de Monitoramento Agroclimático do Paraná (SMA PARANÁ).

Utilizando semelhante metodologia proposta pelo sistema estadual, o presente estudo objetivou a regionalização das informações, com enfoque principal sobre as áreas de atuação das Cooperativas do grupo ABC. Para isso, foram acrescentados módulos para cálculo das funções epidemiológicas, juntamente com as estimativas da duração do período de molhamento, e modelos numéricos de altitude detalhados, que se integram em uma base de dados provenientes da rede telemétrica de estações meteorológicas automáticas da Fundação ABC, e desta forma simulam a dinâmica dos processos epidemiológicos a nível regional através da geração de índices de favorabilidade climática.

Com o objetivo de facilitar algumas rotinas de cálculo, foi desenvolvido o software ARC EPIDEMIC, cujas siglas representam “Avaliação de Riscos Climáticos – módulo Epidemias”, em parceria entre a Fundação ABC, Instituto Agrônomo do Paraná, Universidade Estadual de Londrina, Universidade Estadual de Ponta Grossa, e Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

(CNPSoja), com apoio financeiro do CNPq, enfocando as principais doenças fúngicas resultantes do cultivos anuais nos Campos Gerais do Paraná.

O funcionamento do sistema de suporte à tomada de decisão para o manejo fitossanitário dos Campos Gerais do Paraná está representado pela figura 4.1, conforme experiências descritas por Jensen et al. (2000).

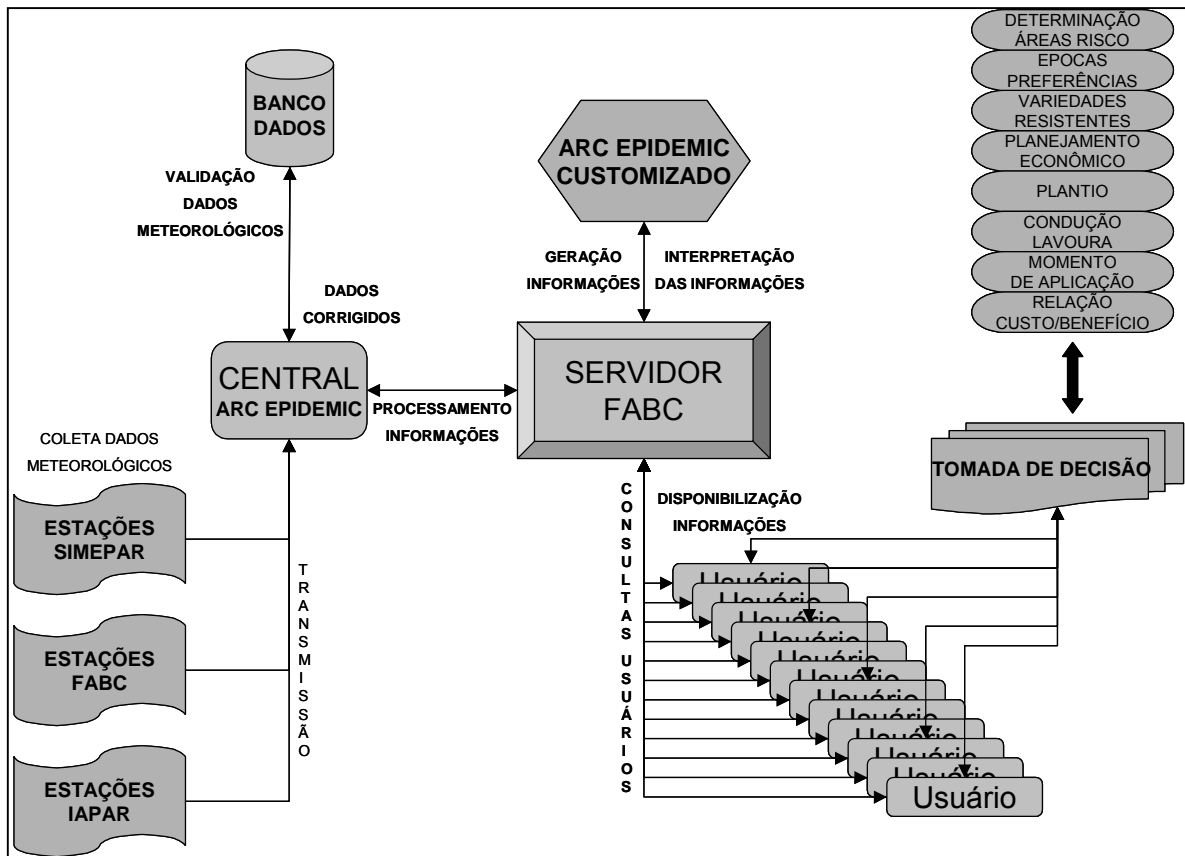


Figura 4.1. Organograma demonstrativo do funcionamento do sistema de suporte à tomada de decisão proposto.

4.2.1.1. REDE TELEMÉTRICA DE ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS AUTOMÁTICAS

A atmosfera é uma massa em contínuo movimento, sujeita a variações nas condições meteorológicas predominantes. O monitoramento das variações do estado da atmosfera em determinado local, num dado instante, é de suma importância para entender o comportamento e variabilidade dos processos

epidemiológicos na região dos Campos Gerais. Com esse objetivo, foram instaladas quatro estações agrometeorológicas automáticas na área de interesse das cooperativas ABC, que somadas a outras quatro estações componentes da rede de monitoramento do Instituto Tecnológico Simepar, resultaram na rede de estações de superfície componentes do presente estudo (Tabela 4.1).

Cada estação agrometeorológica automática é constituída por uma plataforma de coleta de dados, conectada a sensores de radiação solar global, temperatura do ar, temperatura do solo, precipitação pluvial, velocidade e direção do vento, umidade relativa do ar, e pressão atmosférica. Essa plataforma de coleta de dados, denominada datalogger foi programada para realização das leituras a cada minuto, e registro dos valores máximos, mínimos e médios dos elementos sensores citados anteriormente em intervalos de 60 minutos.

Tabela 4.1. Coordenadas geográficas, altitude, e coordenadas UTM (Universal Transversa de Mercator), utilizando o Datum Sad 69, das estações meteorológicas automáticas de superfície componentes do estudo.

Estação Meteorológica	Longitude		Latitude		Altitude metros	UTM	
	Graus	Minutos	Graus	Minutos		N	E
SIMEPAR							
Jaguariaiva	49	40	24	13	840	7321138,82	635394,91
Ponta Grossa	50	9	25	0	1009	7233302,57	585563,69
Teixeira Soares	50	35	25	27	893	7185157,42	541891,52
Telêmaco Borba	50	37	24	20	768	7308814,41	538888,35
FUND ABC							
Arapoti	49	51	24	11	902	7324535,11	616670,84
Castro	49	56	24	51	1001	7250302,95	607191,48
Pirai do Sul	50	6	24	22	978	7303430,32	590601,67
Tibagi	50	22	24	31	802	7287280,90	563521,42

4.2.1.1.1. TRANSMISSÃO, TRATAMENTO, ANÁLISE E ARMAZENAMENTO DE DADOS

O estabelecimento de protocolos de transmissão entre as estações (posicionadas de acordo com a tabela 4.1) e uma central de processamento são de suma importância para que as informações sejam processadas e aplicadas dentro de um intervalo de tempo considerado essencial.

Visando a economicidade da transmissão via satélite dos dados provenientes da rede de estações da Fundação ABC, foi desenvolvida uma solução alternativa pelas empresas especializadas em transmissão, Trimbase™ e MiniMill™, ambas localizadas na cidade do Rio de Janeiro - RJ. Um algoritmo de compactação de dados foi incorporado ao transmissor via satélite (Orbcomm), para que anteriormente à transmissão, ocorra a compactação dos mesmos. Esta operação reduz o número de bits transmitidos, e conseqüentemente o custo da transmissão. As demais estações transmitem via satélite, sem o pré-processamento dos dados.

A recepção dos dados enviados ocorre em unidades receptoras de sinais via satélite localizada no Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná em Curitiba-PR (estações do Simepar), e na antena receptora da empresa Trimbase, localizada no Rio de Janeiro-RJ (estações da Fundação ABC) e posteriormente transmitidas via internet para Fundação ABC através de programas desenvolvidos para este cunho específico, como o SMA – EMBRAPA, desenvolvido em linguagem Delphi (Martorano e Clemente, 2002), e também o FTP file, este último de utilização gratuita.

Ao receber os dados provenientes das oito estações, sempre em formato de texto, faz-se o tratamento e padronização utilizando o programa Clima (Faria et al., 2002), para validação e correção dos dados, uma vez que a qualidade da informação recebida é de suma importância, bem como a calibração periódica

dos sensores. Finalmente estes dados são armazenados em banco de dados Access®, para realização das futuras análises pelo sistema de suporte à tomada de decisão proposto.

4.2.1.2. FUNÇÕES EPIDEMIOLÓGICAS UTILIZADAS

4.2.1.2.1. RELAÇÃO ENTRE DOENÇA E TEMPO

Modelos matemáticos de crescimento podem resumir, na forma de expressões matemáticas relativamente simples, a relação existente entre a doença e o tempo, permitindo o melhor entendimento das epidemias. A possibilidade de efetuar comparações se constitui em justificativa suficiente para o estudo de curvas de progresso de doenças e para o desenvolvimento de expressões matemáticas que as descrevam (Godoy, 2000).

Entre os modelos mais utilizados para o estudo das curvas de progresso de epidemias estão: o exponencial, o monomolecular, o logístico, e de Gompertz. Porém, Bergamin Filho (1995) ressalta que nenhum desses modelos foi desenvolvido especificamente para utilização em fitopatologia, e dessa forma, eles se baseiam em premissas que nem sempre ocorrem na natureza.

Outras determinações comumente utilizadas para estudos epidemiológicos são a área abaixo da curva de progresso da doença, e a taxa aparente de infecção, ambas obtidas através dos modelos matemáticos descritos anteriormente, e que podem ser utilizadas para representar a epidemia com um todo. Assim, são úteis para comparações com dados meteorológicos.

Desta forma, através dos dados de severidade de ferrugem da folha e oídio observados durante as safras de trigo de 2002 e 2003, foram determinados

os coeficientes de determinação (Bergamin Filho, 1995), e assim selecionados os melhores modelos matemáticos para representação do crescimento dessas doenças no tempo. Posteriormente foram realizados cálculos para área abaixo da curva, e taxa aparente de infecção.

4.2.1.2.2. RELAÇÃO ENTRE DOENÇA, TEMPERATURA E MOLHAMENTO FOLIAR

Varias abordagens têm sido propostas para descrever o aumento da intensidade da doença em função da temperatura e da duração do período de molhamento. Geralmente os modelos polinomiais são os mais utilizados, em função da flexibilidade das curvas dada pelo grau do polinômio utilizado (Godoy, 2000).

Modelos com algum significado biológico, como a função beta para representar o efeito da temperatura na doença, junto com o modelo logístico ou de Richards para representar o efeito do molhamento foliar, também geram equações com bons ajustes aos dados de severidade da doença (Hau e Kranz, 1990).

Alguns exemplos de modelos epidemiológicos estão descritos abaixo, onde a letra Y representa a severidade, a letra T representa a temperatura, e o H representa o número de horas com molhamento foliar.

1) Severidade do oídio da cevada (*Erysiphe graminis f. sp. Hordei*)

Hau et al. (1983)

$$Y = 0,546567 * (T-2)^{0,985792} * (30-T)^{0,534983}$$

2) Severidade da ferrugem da folha do trigo (*Puccinia recondita f.sp. tritici*)

Vallavieille-Pope et al. (1995)

$$Y = 1,23 * (T-3,21)^{0,85} * (30-T)^{0,79} * (1-1,40 * e^{-0,33}) * H^{5,89}$$

3) Severidade da ferrugem da folha do trigo (*Puccinia recondita f.sp. tritici*)

Moschini e Pérez (1990) - adaptado

$$Y = H * (T - 10)$$

4) Severidade da mancha amarela do trigo (*Drechlera tritici-repentis*)

Hosford Jr et al. (1987)

$$Y = 100/60 * ((6,94) * ((T - 4,73)^{0,6212} * ((35 - T)^{0,09}) * (1 - 0,28 * e^{-0,224 * H}))^{42,54}$$

5) Severidade da septoria do trigo (*Septoria nodurum*)

Fernandes e Hendrix (1986)

$$Y = 100/30 * ((6,95) * ((T - 5)^{0,5365}) * ((35 - T)^{0,00006}) * (1 - 0,04 * e^{-0,0236 * H}))^{49,349}$$

6) Severidade da helmintosporiose no trigo (*Bipolaris sorokiniana*)

Torres (1996)

$$Y = 5,5 * (0,4 * e^{-3 * ((T - 6)^{2,2}) * ((37,2 - T)^{1,6}) * (1 + 37,6 * e^{-1,9 * H})^{-58,2}}) * (0,32 * ((T - 6)^{0,57}) * ((37,2 - T)^{0,12}) * (1 - 2,2 * e^{-0,39 * H}))^{1,75}$$

7) Severidade da ferrugem do milho (*Puccinia polysora*)

Godoy (2000)

$$Y = (0,00044 / (1 + 485,5 * e^{-0,55 * H})) * (2,41 * ((T - 9,99)^{2,63} * (33,3 - T)^2))$$

8) Severidade da ferrugem da soja (*Phakopsora pachyrhizi*)

Melching, (1989) – adaptado

$$Y = (0,00044 / (1 + 8731,961 * e^{-1,079335 * H})) * (0,12 * ((T - 3,58)^{4,317871} * (27,50 - T)^{1,171976}))$$

9) Severidade da antracnose do feijão cv. Carioca (*Colletotrichum lindemuthianum*)

Dalla Pria (1997)

$$Y=(0,0005)(T-(6))^{1,61}(((33)-T)^{2,52})(1-(11,30)*e^{-0,72}H))^{17985,62}$$

10) Severidade da antracnose do feijão cv. Rosinha (*Colletotrichum lindemuthianum*)

Dalla Pria (1997)

$$Y=(4,02e^{-005})(T-(5,44))^{2,04}(((33)-T)^{2,96})(1-(54,46)e^{-0,68}H))^{7734,4}$$

11) Severidade da mancha angular do feijão cv. Carioca (*Phaeoisariopsis griseola*)

Dalla Pria (1997)

$$Y=(2,15)((T-(6))^{0,69}(((29)-T)^{0,36})(1+(21,91)e^{-0,28}H))^{-72,92}$$

12) Severidade da mancha angular do feijão cv. Rosinha (*Phaeoisariopsis griseola*)

(Dalla Pria, 1997)

$$Y=(1,21)((T-(6,0))^{0,90}(((29,0)-T)^{0,43})(1+(1,27)e^{-0,081}H))^{-5,83}$$

4.2.1.3. MODELO NUMÉRICO DE TERRENO

O termo modelo numérico de terreno (MNT) é utilizado para denotar a representação quantitativa de uma grandeza que varia continuamente no espaço. Geralmente associados a altimetria, podem ainda ser utilizado para modelar informações relativas às unidades meteorológicas como temperatura, geológicas como teor de nutrientes no solo, topográficas como dados de altimetria, além de apresentação tridimensional.

Para estimativa da temperatura média do ar na área de abrangência do presente estudo, foram utilizados arquivos (grade regular) de altitude do United

States Geological Survey (USGS, 1999) juntamente com uma grade regular de coordenadas planas de latitude denominada plano de informação latitude, e outra de coordenadas planas de longitude, denominada plano de informação longitude. Todos arquivos dentro de uma mesma categoria, que foi chamada de DEM (Digital Elevation Model), tem resolução de arcos de 30", o que representou um valor de latitude, longitude e altitude a cada 866m x 866m, na escala 1:1.000.000, utilizando-se a projeção UTM - South American Datum 1969 (Wrege et al. 2004).

Os valores de temperatura média observados na rede telemétrica de estações agrometeorológicas automáticas são correlacionados com os dados de altitude para cada uma das estações, e a equação é utilizada para estimar a temperatura em cada um dos pontos do modelo numérico de terreno para o estado do Paraná (Caviglione et al., 2000; Pinto et al., 1972; Robertson e Russelo, 1968).

4.2.1.4. DESCRIÇÃO DO SOFTWARE ARC EPIDEMIC

Desenvolvido para facilitar as análises de rotina relacionando o clima e sua favorabilidade para a ocorrência de epidemias, o software Arc Epidemic foi desenhado em linguagem de programação Visual Basic[®], versão 6.0 (Microsoft), em parceria com a Universidade Estadual de Londrina e o Instituto Agrônomo do Paraná, sendo este a base do sistema de suporte à tomada de decisão para o manejo fitossanitário.

4.2.1.4.1. SOFTWARES AUXILIARES

Dados o grande número de informações de diferentes naturezas para o processamento, o software Arc Epidemic integra a função de outros cinco

softwares para realização das análises e processamento, resultando em mapas georreferenciados ou gráficos pontuais de favorabilidade.

O software Access[®] versão 4.0 da Microsoft utilizado como gerenciador do banco de dados, com ampla capacidade de armazenamento horário das variáveis meteorológicas provenientes da rede de estações agrometeorológicas. A cada nova inclusão de um cadastro, automaticamente é criado um novo banco de dados, ampliando assim a capacidade de armazenamento dos dados.

O software Grafico[®] foi utilizado para realizar análises pontuais de cada estação agrometeorológica componente da rede, facilitando a visualização do comportamento dos índices de favorabilidade climática diária ao longo de um período.

O software Surfer[®] versão 6.04, software comercial desenvolvido pela Golden Software foi utilizado para a confecção de superfícies a partir de valores de natureza distinta, como informações agrometeorológicas (temperatura e duração do período de molhamento), juntamente com valores de latitude, longitude e altitude, obtidos no modelo numérico de terreno (grade regular do Estado, adaptada para os Campos Gerais). É ferramenta essencial para o sistema proposto, fornecendo os mapas georreferenciados, gerados através de diferentes métodos de interpolação, empregando algoritmos matemáticos na geração de curvas e isolinhas.

O software Arc View GIS[®] versão 3.2, foi utilizado para elaboração do sistema de informação geográfica, onde informações de natureza distinta são armazenadas em uma única base, junto com as informações de longitude e latitude, o que possibilita o cruzamento de dados independentes como os índices de favorabilidade com a localização de cada cooperado do grupo ABC.

O software Corel Draw[®] versão 9.0, foi utilizado como programa para a arte final, ajustando cores, formatos, legendas, textos, mas sem o requisito georreferenciação.

4.2.1.4.2. ENTRADAS DO SOFTWARE (INPUT)

As entradas do software Arc Epidemic foram compostas pelos valores das variáveis meteorológicas, funções epidemiológicas, e modelos numéricos de terreno. Para facilitar a importação dos dados meteorológicos, foram criados modelos de importação, assim como rotinas de inclusão de novas funções epidemiológicas, desde que as mesmas sejam função das variáveis meteorológicas observadas na rede de estações.

Depois de inseridas as informações necessárias ao correto processamento, o programa disponibiliza testes para verificação dos dados meteorológicos, e das funções epidemiológicas inseridas, assim como a análise do banco de dados, indicando possíveis erros existentes.

4.2.1.4.3. FORMAS DE PROCESSAMENTO

Uma vez realizada a importação dos dados, o software Arc Epidemic faz o cálculo de: (1) duração do período de molhamento através do número de horas com umidade relativa acima de X% para os 8 pontos de localização das estações de superfície, e posterior extrapolação dos valores pelo método de interpolação do vizinho mais próximo, e da (2) temperatura média do ar durante o período de molhamento através de equação de regressão linear múltipla (Caviglione et al.,

2000; Wrege et al. 2004), para cada um dos 2838 pontos da grade regular adaptada para a região.

Desta forma, cada ponto da grade possuirá um valor de duração do período de molhamento (H), um valor de temperatura (T), para cálculo da favorabilidade climática para ocorrência de doenças, em escala de tempo determinada pelo usuário.

Na geração de mapas e gráficos em períodos superiores a 1 dia, existem opções de cálculos para representar a favorabilidade climática para ocorrência de determinada doença como: médias, somatório dos valores (acumulado), somatório dos valores e equivalência em escala de 0 a 100% (normalizada), análises de freqüências (envolvendo cálculos probabilísticos) e distribuição de pesos, de acordo com faixas de favorabilidade pré-definidas.

4.2.1.4.4. SAÍDAS DO SOFTWARE (OUTPUT)

O sistema fornece informações referentes aos cálculos de porcentagem de severidade denominadas neste estudo como “favorabilidade climática para ocorrência de processos epidêmicos” na região dos Campos Gerais, em escala de tempo variável com as necessidades do usuário, sendo o período mínimo equivalente a 1 dia. Essa favorabilidade pode ser representada em forma de mapas georreferenciados e gráficos, em escala de tempo determinada de acordo com a doença e com o estágio fenológico da cultura em questão.

Todas as informações geradas (mapas, gráficos comparativos, comentários, sugestões) foram disponibilizadas para a assistência técnica e produtores das cooperativas ABC durante as safras 2003 e 2004, através do endereço eletrônico (www.fundacaoabc.org.br/Agrometeorologia.htm). A atualização

constante das informações no decorrer das safras objetivou o fornecimento de suporte técnico à tomada de decisão.

4.2.2. VALIDAÇÃO DO SISTEMA PROPOSTO

O sistema de suporte à tomada de decisão, com ênfase no manejo fitossanitário foi inicialmente planejado para validação quanto à ocorrência da ferrugem asiática da soja (*Phakopsora pachyrhizi*), durante a safra de verão 2002/2003. No entanto, a ocorrência dessa doença não foi detectada em nenhum dos ensaios conduzidos nos campos experimentais da Fundação ABC, localizados nos municípios de Arapoti, Castro, Ponta Grossa e Tibagi, estado do Paraná.

Desta forma, a validação do sistema proposto enfocou as principais doenças foliares do trigo, utilizando para isso as avaliações de porcentagem de severidade por oídio e ferrugem da folha, observada durante as safras de inverno de 2002 e 2003 (Silva, 2002,2003).

4.2.2.1. REDE DE ENSAIOS DE INVERNO PARA VALIDAÇÃO DO SISTEMA PROPOSTO

As áreas de trigo foram semeadas em sistema de plantio direto, obedecendo a rotação de cultura (soja-trigo-milho-aveia), sendo utilizados dois genótipos de trigo, classificados como suscetíveis a altamente suscetíveis (Molin, 2003). Os ensaios foram conduzidos nos quatro campos experimentais citados anteriormente, durante as safras de inverno de 2002 e 2003. Estes ensaios pertencem à rede regional de ensaios da Fundação ABC, e foram também utilizados

para demonstrar o comportamento das funções epidemiológicas, para a ocorrência das principais doenças do trigo.

Acordando com resultados de pesquisa discutidos por Silva (2002 e 2003), foram escolhidos dois cultivares de trigo dentro do ensaio de competição de genótipos, sendo: (1) cv. Avante para validação das funções epidemiológicas de oídio, e (2) cv. OR-1 para validação das fórmulas de ferrugem da folha.

As datas de plantio obedeceram as épocas preferenciais de plantio para os quatro locais, durante as 2 safras de inverno, sendo que os tratos culturais utilizados foram os mesmos realizados para os demais genótipos.

4.2.2.2. VARIÁVEIS EPIDEMIOLÓGICAS UTILIZADAS

Para avaliação visual dos níveis de severidade nos cultivares Avante e OR-1, foram avaliadas as parcelas sem tratamento de fungicida, para cada local de experimentação, onde teoricamente cada microorganismo poderia expressar a sua máxima atividade biológica.

Através das avaliações semanais de severidade de oídio e ferrugem da folha do trigo, com valores entre 0 e 100%, foram calculados os valores da área abaixo da curva de progresso da doença e taxa de infecção aparente, nas safras de inverno de 2002 e 2003.

Para a representação da curva de progresso do oídio, e da ferrugem da folha do trigo no tempo, foi utilizada a escala fenológica proposta por Feekes (1940), conforme figura 4.2.

















Germination	Seedling Growth			Tillering			Stem Elongation	
								
1	1.1	1.2	1.3	2	3	4	5	
Emergence	One leaf	Two leaves	Three leaves	Initial tillering	Continued tillering	Stem elongation		
Stem Extension					Heading and Flowering			
								
6	7	8	9	10	10.1	10.5	10.51	
One node (jointing)	Two nodes	Appearance of last leaf (flag leaf)	Early boot stage	Late boot stage (sheath split)	Ear emergence	Ear clear of leaf sheath	Beginning of flowering	
10.54	11	11.1	11.2		11.3	11.4		
Flowering completed	Formation of kernels (early milk)	Kernels full size, content milky (medium milk)	Kernel content starchy, still readily crushed, leaves drying, glumes yellow (soft dough)		Kernels semi-hard, shiny, leaves dry, nodes yellow	Kernels hard, plants dry		

Figura 4.2 – Escala fenológica para crescimento do trigo (Feekes, 1940).

4.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.3.1. VALORES DE SEVERIDADE OBTIDOS NAS SAFRAS DE 2002 E 2003

Avaliações visuais de severidade, com periodicidade semanal, foram realizadas nas safras agrícolas de 2002 e 2003, agrupadas de acordo com o estágio fenológico de crescimento descrito na figura 4.2, e representadas pelas tabelas a

seguir. Através dessas avaliações, foram calculados alguns parâmetros epidemiológicos na tentativa de se avaliar o desempenho dos índices de favorabilidade climática para o desenvolvimento de processos epidêmicos nos Campos Gerais do Paraná.

Tabela 4.2 – Severidade (%) correspondente às avaliações visuais de oídio realizadas no cultivar AVANTE, em Arapoti, Castro, Ponta Grossa, e Tibagi, de 01/06 a 31/10 (perfilhamento até grão leitoso), nas safras agrícolas de 2002 e 2003.

Local	Safra	Avaliações visuais de severidade do oídio					
		Perfilhamento	Elongamento	Emborrachamento	Espigamento	Florescimento	Grão leitoso
Arapoti	2003	3	10	55	82	90	98
	2002	0	30	20	60	80	75
Castro	2003	1	24	70	80	80	93
	2002	0	5	15	5	5	*
Ponta Grossa	2003	7	60	60	75	75	90
	2002	0	25	40	65	90	*
Tibagi	2003	1	33	45	63	75	85
	2002	0	5	35	65	80	85

* Ocorrência de geadas no cultivar Avante.

Tabela 4.3 – Severidade (%) correspondente às avaliações visuais de ferrugem da folha realizadas no cultivar OR-1, em Arapoti, Castro, Ponta Grossa, e Tibagi, de 01/06 a 31/10 (perfilhamento até grão leitoso), nas safras agrícolas de 2002 e 2003.

Local	Safra	Avaliações visuais de severidade da ferrugem					
		Perfilhamento	Elongamento	Emborrachamento	Espigamento	Florescimento	Grão leitoso
Arapoti	2003	0	0	3	3	5	18
	2002	0	20	10	10	70	70
Castro	2003	0	5	3	25	40	**
	2002	0	25	40	45	50	**
Ponta Grossa	2003	11	24	55	82	53	**
	2002	0	20	30	45	55	**
Tibagi	2003	5	43	35	85	100	**
	2002	0	30	50	75	95	100

** Desfolha antecipada no cultivar OR-1.

Tabela 4. 4 – Severidade (%) correspondente às avaliações visuais de mancha amarela realizadas no cultivar ÔNIX, em Arapoti, Castro, Ponta Grossa, e Tibagi, de 01/06 a 31/10 (perfilhamento até grão leitoso), nas safras agrícolas de 2002 e 2003.

Local	Safra	Avaliações visuais de severidade da mancha amarela					
		Perfilhamento	Elongamento	Emborrachamento	Espigamento	Florescimento	Grão leitoso
Arapoti	2003	5	5	14	30	28	14
	2002	0	0	15	50	60	65
Castro	2003	0	0	2	25	28	85
	2002	0	0	25	35	*	*
Ponta Grossa	2003	0	4	13	13	31	53
	2002	0	5	10	30	*	*
Tibagi	2003	0	2	30	15	18	60
	2002	0	0	10	20	30	65

* Ocorrência de geadas no cultivar Ônix.

4.3.2. FAVORABILIDADE CLIMÁTICA PARA OCORRÊNCIA DE OÍDIO NO TRIGO

4.3.2.1. ANÁLISES PONTUAIS EM FORMA DE GRÁFICOS

No período compreendido entre 01/junho e 31/outubro, dos anos agrícolas de 2002 e 2003, foram gerados os índices de favorabilidade climática através dos registros de temperatura e horas de molhamento foliar provenientes das estações meteorológicas de superfície, localizadas em Arapoti, Castro, Ponta Grossa e Tibagi, inseridos na função epidemiológica 1 (capítulo 4.2.1.2).

Uma vez obtidos os índices diários de favorabilidade climática para incidência de oídio, com valores diários mínimos e máximos oscilando entre 0 e 33.2% respectivamente, foram calculadas a favorabilidade climática média (Figura 4.2), assim como a favorabilidade climática acumulada (Figura 4.3), que corresponde a soma dos valores diários de favorabilidade climática, durante as safras de 2002 e 2003.

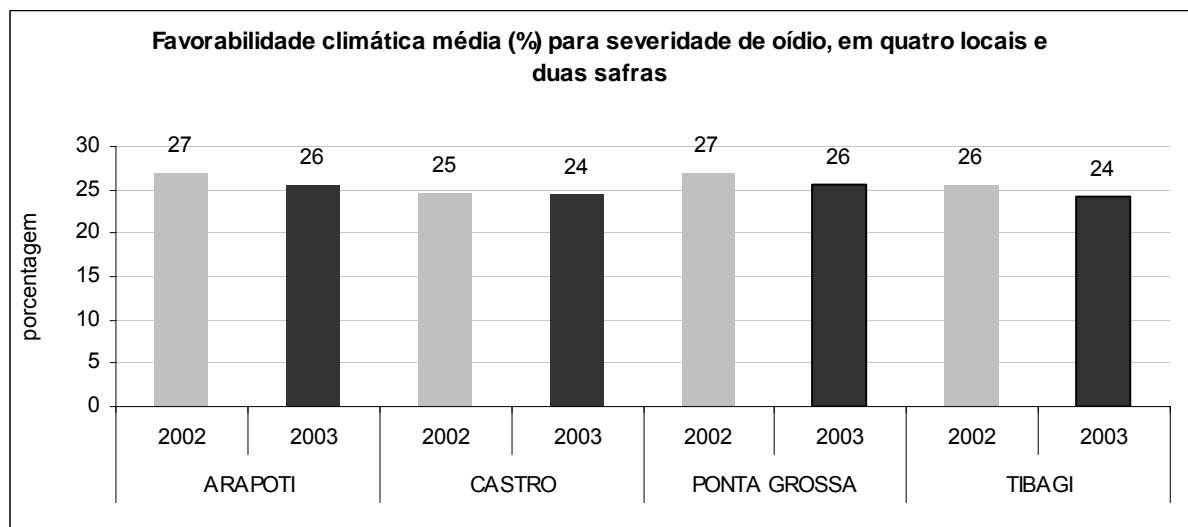


Figura 4. 2 - Favorabilidade climática média (%) para severidade de oídio do trigo, calculada para os campos experimentais de Arapoti, Castro, Ponta Grossa e Tibagi, no período compreendido entre 01/06 e 31/10, anos agrícolas de 2002 e 2003.

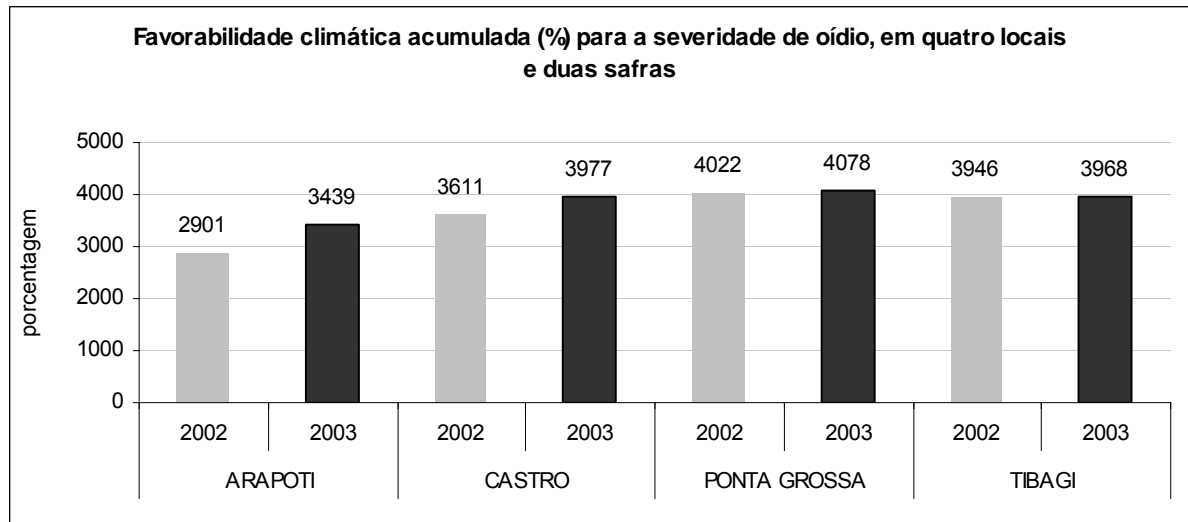


Figura 4. 3- Favorabilidade climática acumulada (%) para severidade do oídio do trigo, calculada para os campos experimentais de Arapoti, Castro, Ponta Grossa e Tibagi, no período compreendido entre 01/06 e 31/10, anos agrícolas de 2002 e 2003.

Essas duas figuras demonstram uma tendência contrária dos índices de favorabilidade climática, quando comparamos dentro de um mesmo local, a forma como foi expressa a favorabilidade. Na figura 4.2, a favorabilidade para ocorrência e desenvolvimento do oídio do trigo foi maior na safra de 2002, quando comparados os valores da safra de 2003.

Quando a favorabilidade é expressa através da soma dos valores diários, a tendência se inverte (Figura 4.3), sendo agora a safra de 2003 a que apresentou as maiores favorabilidades para a ocorrência de oídio do trigo.

Para efeito de validação do modelo epidemiológico proposto, e da forma como a favorabilidade é expressa, seja através da média ou da soma dos valores diários, foram realizados os cálculos de alguns parâmetros epidemiológicos como: área abaixo da curva de progresso do oídio (Figura 4.4), taxa aparente de infecção (Figura 4.5), e as curvas de progresso de oídio (Figuras 4.6, 4.7, 4.8 e 4.9), através das avaliações de severidade no cultivar Avante (Tabela 4.2).

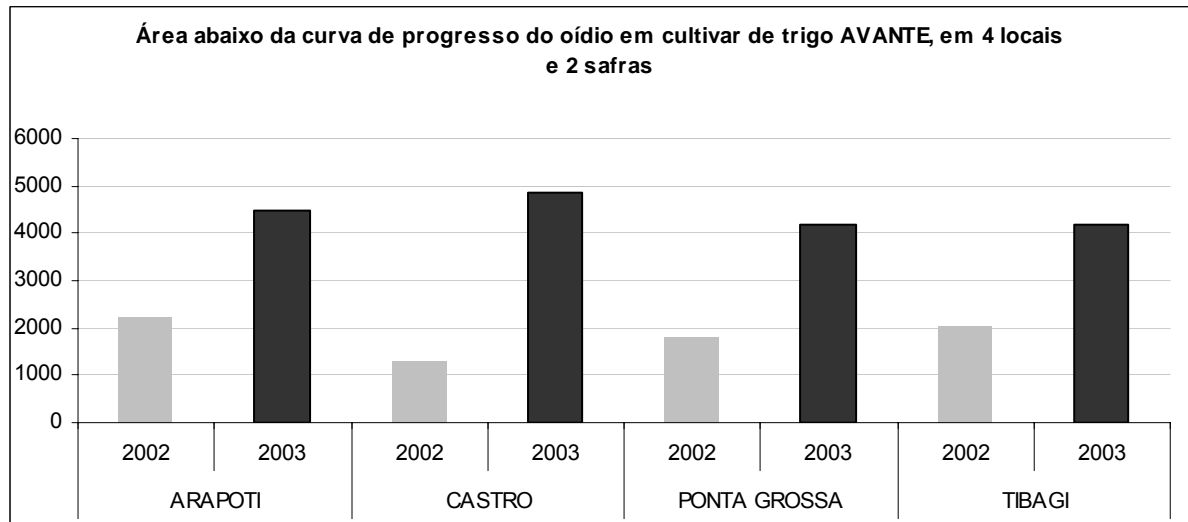


Figura 4. 4 - Área abaixo da curva de progresso de oídio sobre cultivar de trigo Avante, localizado em Arapoti, Castro, Ponta Grossa e Tibagi, anos agrícolas de 2002 e 2003.

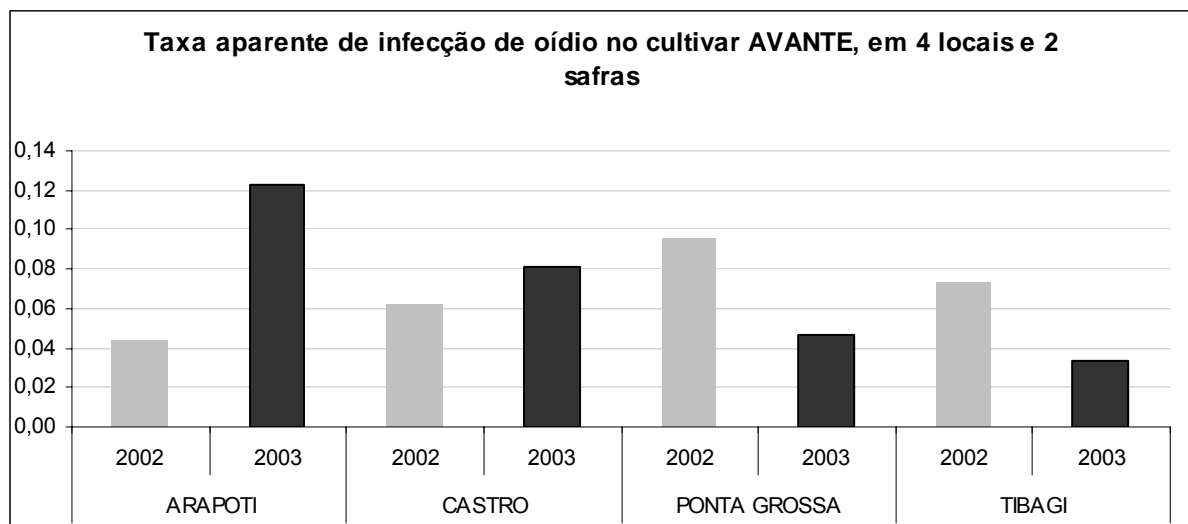


Figura 4. 5 - Taxa aparente de infecção por oídio sobre cultivar Avante, calculada pelos modelos de Gompertz (50% dos casos), Logístico (37,5%) e Monomolecular (12,5%), em cultivos conduzidos em Arapoti, Castro, Ponta Grossa e Tibagi, nas safras de 2002 e 2003.

Em relação aos cálculos da área abaixo da curva de progresso do oídio (Figura 4.4), os maiores valores obtidos no ano agrícola de 2003 demonstram uma maior intensidade da doença em todos os campos experimentais analisados, fato este que demonstra o melhor desempenho dos índices de favorabilidade climática

expressos através da soma dos valores diários (Figura 4.3), quando comparados aos índices de favorabilidade expressos através da média dos valores diários.

A figura 4.5 representa a velocidade de desenvolvimento da epidemia, onde se pode observar um desenvolvimento mais lento da epidemia de oídio no cultivar Avante nos campos experimentais de Ponta Grossa e Tibagi no ano agrícola de 2003, quando comparados a 2002. Esses valores da taxa aparente de infecção contrariam as tendências observadas até o momento, sendo então necessária à visualização das curvas de progresso de oídio nos campos experimentais de Ponta Grossa (Figura 4.6) e Tibagi (Figura 4.7) para uma melhor compreensão.

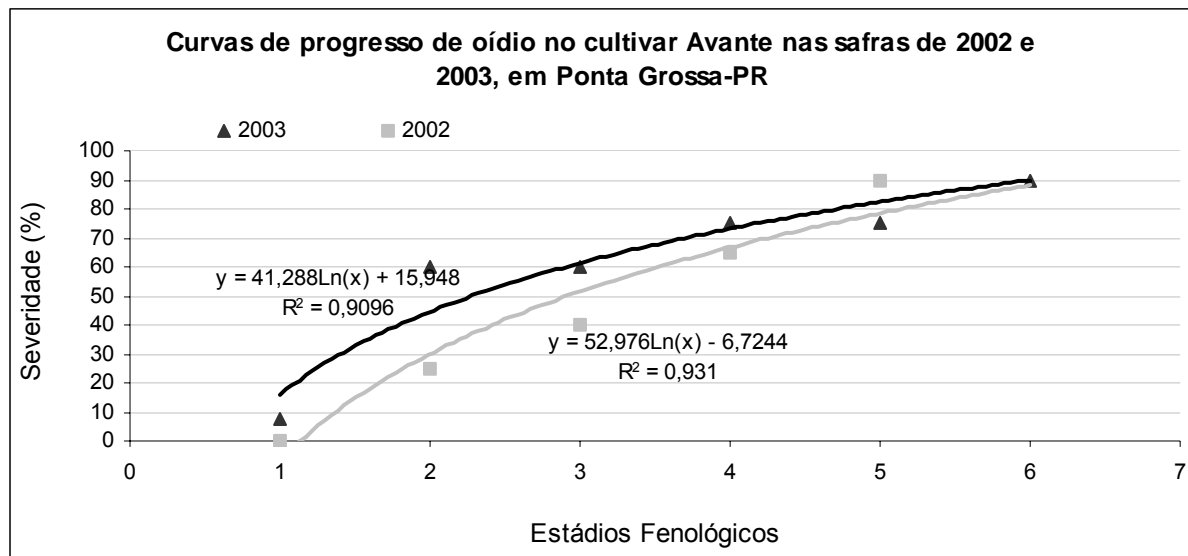


Figura 4. 6 - Curva de progresso de oídio observado no cultivar Avante conduzido no campo experimental de Ponta Grossa, nas safras agrícolas de 2002 e 2003. Estádios fenológicos perfilhamento (1), alongamento (2), emborrachamento (3), espigamento (4), florescimento (5), grão leitoso (6), maturação fisiológica (7).

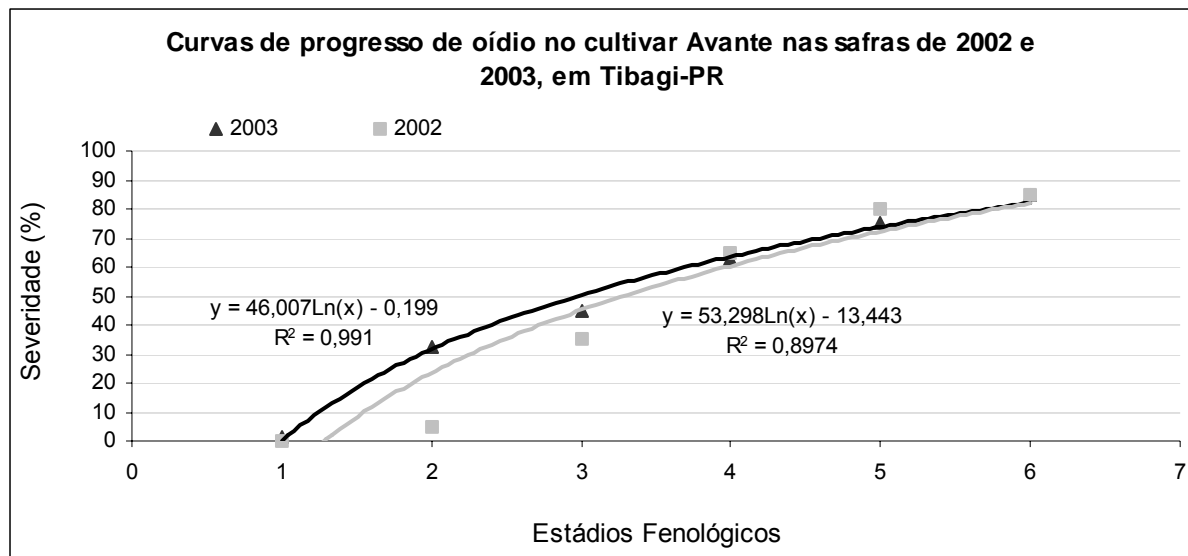


Figura 4. 7 - Curva de progresso de oídio observado no cultivar Avante conduzido no campo experimental de Tibagi, nas safras agrícolas de 2002 e 2003. Estádios fenológicos perfilhamento (1), alongamento (2), emborrachamento (3), espigamento (4), florescimento (5), grão leitoso (6), maturação fisiológica (7).

Desta forma, as figuras 4.6 e 4.7 revelam a semelhança no comportamento e evolução do processo epidemiológico do oídio nos campos experimentais de Ponta Grossa e Tibagi, os quais podem ter resultado nos índices não concordantes entre a favorabilidade climática estimada e a taxa aparente de infecção do oídio. Porém observa-se que os mesmos valores da curva de progresso da epidemia são maiores em 2003 do que em 2002, sendo novamente coerentes com a favorabilidade climática calculada através da soma dos valores diários.

Por sua vez, as figuras 4.8 e 4.9, referentes aos campos experimentais de Arapoti e Castro respectivamente, demonstram as curvas de progresso da epidemia em 2002 e 2003.

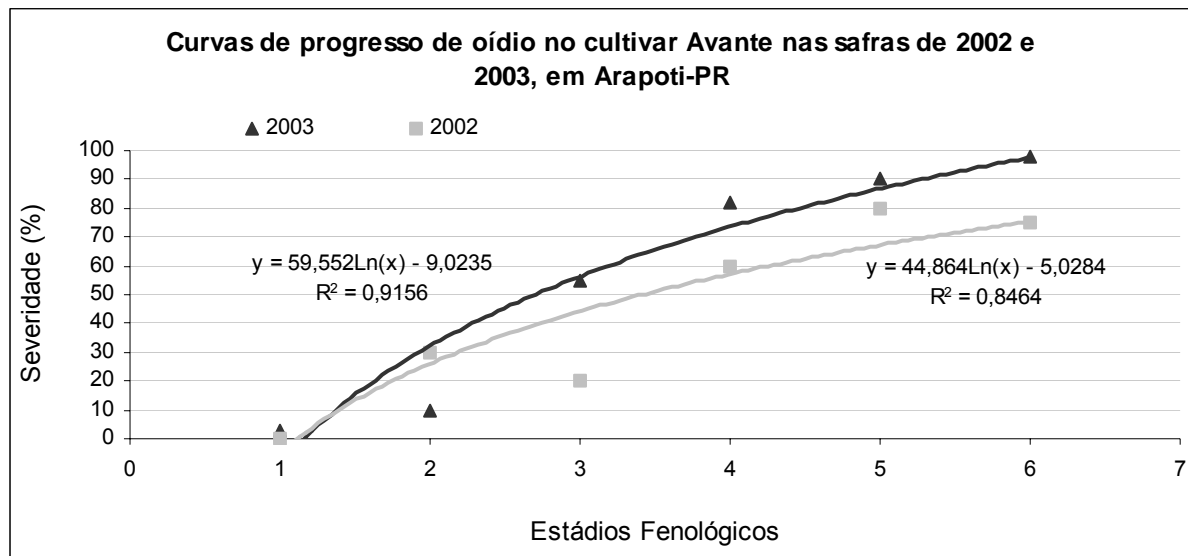


Figura 4. 8 - Curva de progresso de oídio observado no cultivar Avante conduzido no campo experimental de Arapoti, nas safras agrícolas de 2002 e 2003. Estádios fenológicos perfilhamento (1), alongamento (2), emborrachamento (3), espigamento (4), florescimento (5), grão leitoso (6), maturação fisiológica (7).

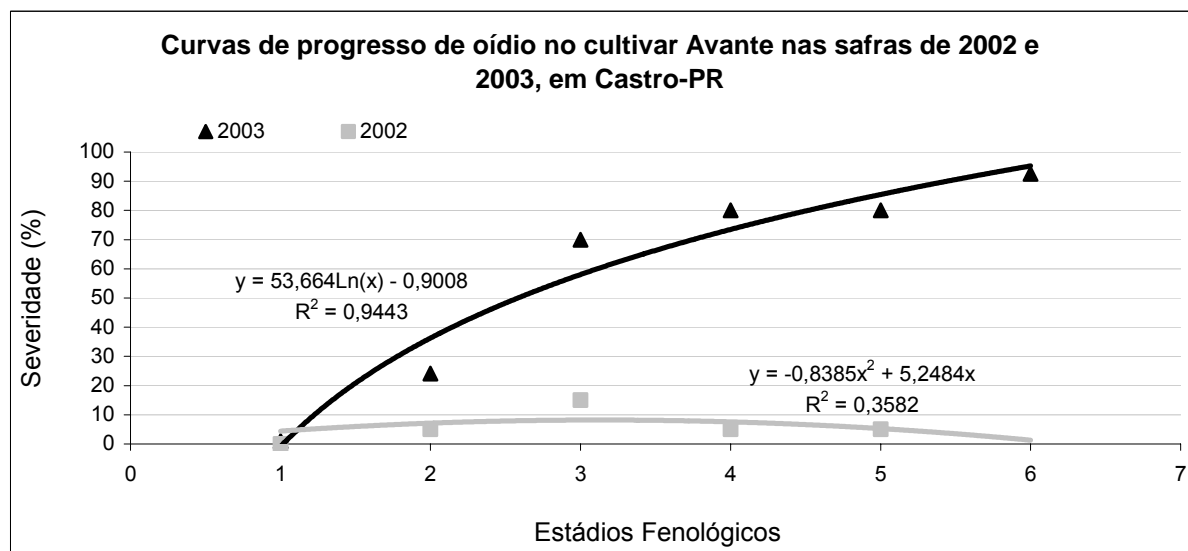


Figura 4. 9 - Curva de progresso de oídio observado no cultivar Avante conduzido no campo experimental de Castro, nas safras agrícolas de 2002 e 2003. Estádios fenológicos perfilhamento (1), alongamento (2), emborrachamento (3), espigamento (4), florescimento (5), grão leitoso (6), maturação fisiológica (7).

Novamente as curvas de progresso do oídio calculadas para os campos experimentais de Arapoti e Castro apontam uma maior severidade nas safras de 2003, sendo que a grande diferença entre as curvas observadas em Castro (Figura 4.9), são resultantes da ocorrência de geadas nesta localidade, reduzindo assim a área foliar a ser avaliada.

4.3.2.2. ANÁLISES REGIONAIS EM FORMA DE MAPAS

O mapeamento dos índices de favorabilidade climática, utilizando os dados meteorológicos da rede de estações da Fundação ABC e inseridos na grade regular de altitude, nos modelos de estimativa de temperatura, e molhamento foliar com posterior interpolação pelo método geoestatístico krigging, também demonstrou grande potencial de identificação dos anos agrícolas com maior probabilidade de ocorrência de processos epidêmicos, assim como as regiões com maior probabilidade de ocorrência do oídio.

A figura 4.10 demonstra a favorabilidade climática acumulada (A) e acumulada normalizada (B), para ocorrência de oídio do trigo, durante o período compreendido entre 01/06 e 31/10, dos anos agrícolas de 2002 e 2003 respectivamente, adotando-se a estimativa da DPM através do número de horas com umidade relativa do ar igual ou superior a 90%. A justificativa da não utilização das fórmulas geradas no artigo 1 se deve ao fato de que, para cada local de experimentação, é necessária a calibração da equação para estimativa da DPM.

A favorabilidade acumulada, como descrito anteriormente, é o somatório dos índices diários de favorabilidade climática. Já para o cálculo da favorabilidade acumulada normalizada, faz-se uma equivalência dos valores resultantes da equação epidemiológica 1 (valor mínimo e máximo resultante = 0 e

33.2% respectivamente) para valores entre 0 e 100%, e posterior ajuste em relação ao tempo (dias), para obtermos dessa forma, uma favorabilidade na escala de 0 a 100%.

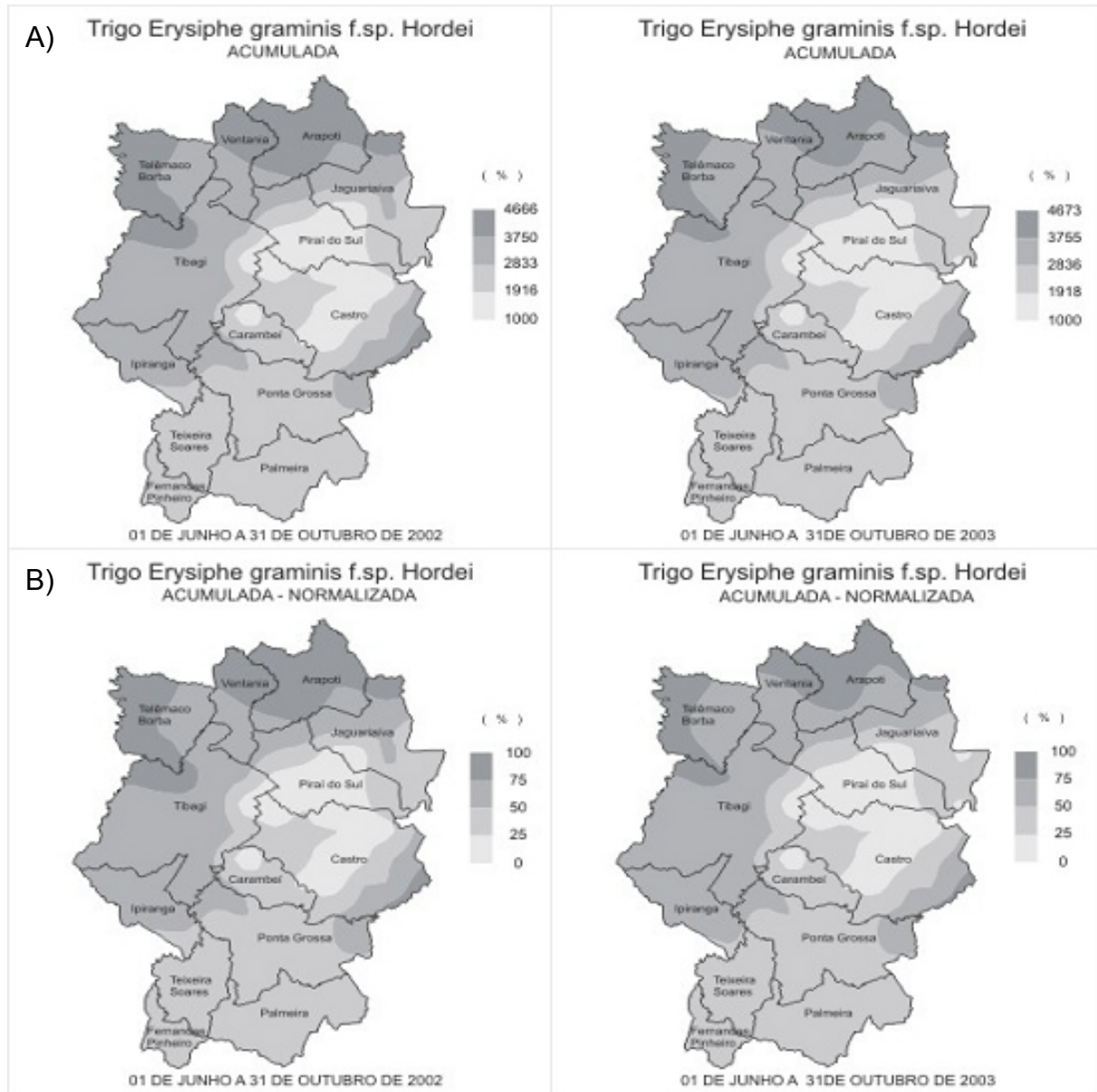


Figura 4. 10 - Favorabilidade climática acumulada (A) e acumulada normalizada (B) para ocorrência de oídio, calculada no período de 01/06 a 31/10, nos anos agrícolas de 2002 e 2003, gerados a partir de oito estações meteorológicas de superfície, localizadas em Arapoti, Castro, Ponta Grossa, Tibagi, Telêmaco Borba, Jaguariaíva, Piraí do Sul, e Fernandes Pinheiro.

O mapeamento dos índices de favorabilidade climática através da soma dos valores diários ocorridos nas duas safras mostra uma tendência de superioridade dos valores de favorabilidade na safra de inverno de 2003, e também indica as áreas mais propícias para ocorrência do oídio. O mapeamento mensal dos índices de favorabilidade climática no decorrer das safras (monitoramento), é apresentado pela figura 4.11.

O monitoramento através dos mapas de favorabilidade climática se mostrou interessante para o fornecimento de subsídios ao produtor, uma vez que eles indicam regionalmente, as áreas com maior probabilidade para ocorrência do processo infeccioso por oídio. Quando comparamos os mapas apresentados na figura 4.11 com os dados de severidade coletados no decorrer das safras (Figuras 4.12 e 4.13), percebemos que os mapas regionais fornecem uma boa comparação e estimativa dos locais mais propícios ao desenvolvimento de epidemias.

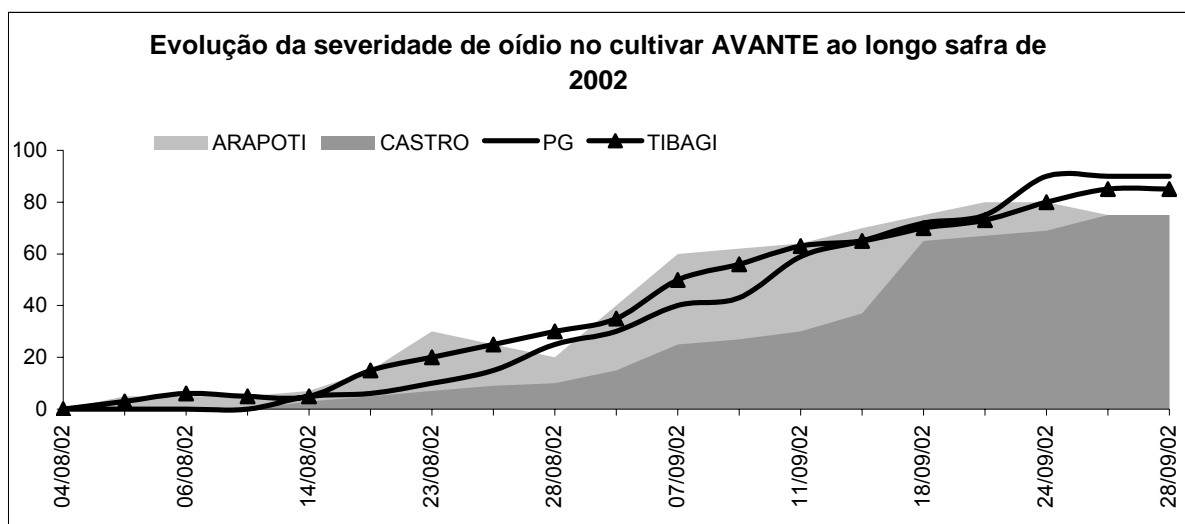


Figura 4. 12 – Evolução das avaliações visuais de severidade de oídio em cv Avante, conduzido em Arapoti, Castro, Ponta Grossa e Tibagi, no ano agrícola de 2002.

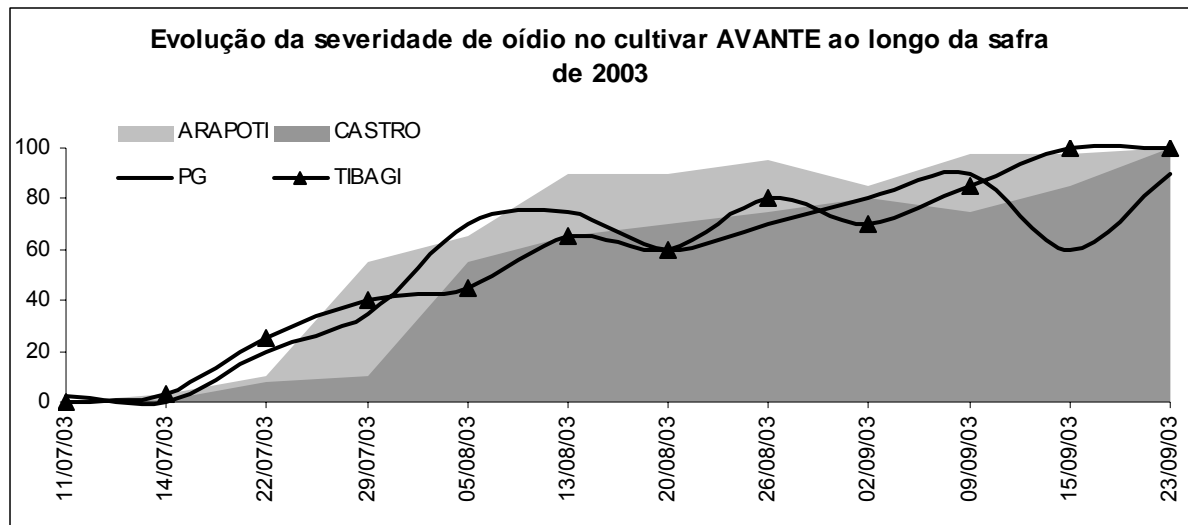


Figura 4. 13 – Evolução das avaliações visuais de severidade de oídio em cv Avante, conduzido em Arapoti, Castro, Ponta Grossa e Tibagi, no ano agrícola de 2003.

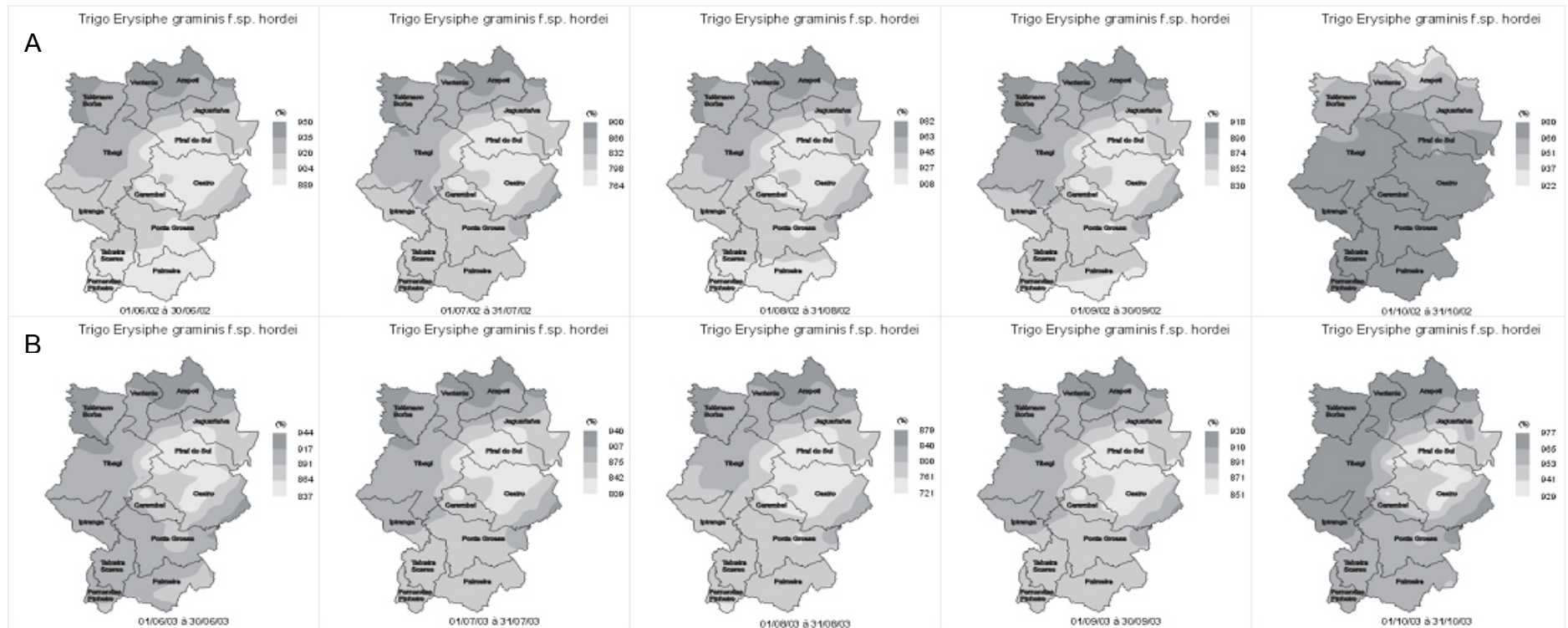


Figura 4. 11 - Mapas mensais de favorabilidade climática acumulada para ocorrência de oídio em trigo nos anos agrícolas de 2002 e 2003, gerados a partir de oito estações meteorológicas de superfície, localizadas em Arapoti, Castro, Ponta Grossa, Tibagi, Telêmaco Borba, Jaguaíva, Piraí do Sul, e Fernandes Pinheiro.

4.3.3. FAVORABILIDADE CLIMÁTICA PARA INCIDÊNCIA DE FERRUGEM DO TRIGO

4.3.3.1. ANÁLISES PONTUAIS NA FORMA DE GRÁFICOS

Para geração dos índices de favorabilidade climática para incidência de ferrugem do trigo, foram utilizados os dados das estações meteorológicas de superfície localizadas nos campos experimentais de Arapoti, Castro, Ponta Grossa e Tibagi, inseridos na função epidemiológica 2 (Capítulo 4.2.1.2.), no período compreendido entre 01/06 a 31/10, dos anos agrícolas de 2002 e 2003.

Seguindo a mesma metodologia, a favorabilidade climática média e a acumulada são apresentadas para discussão, conforme figuras 4.14 e 4.15.

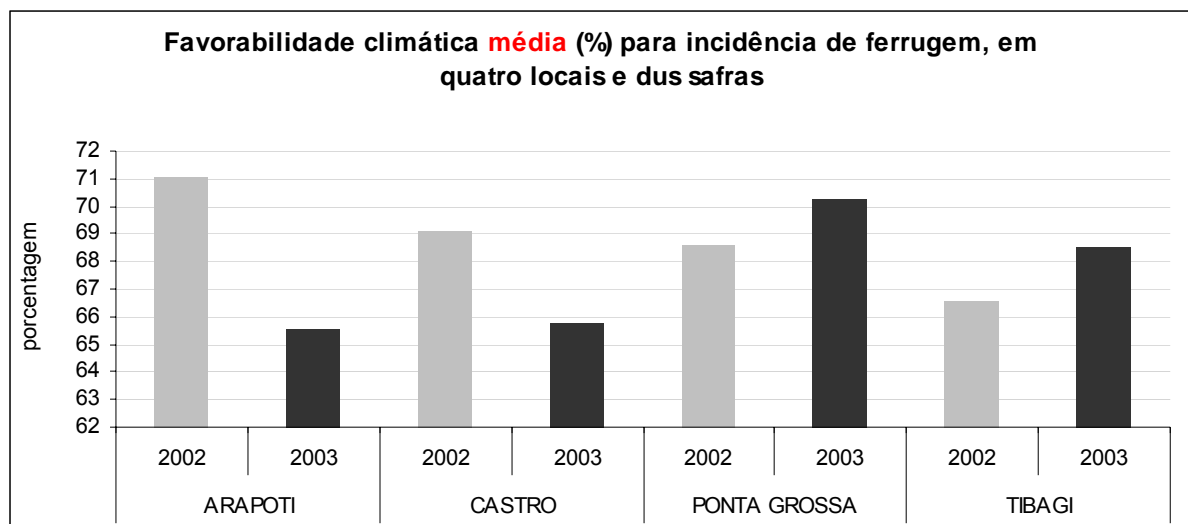


Figura 4.14 – Favorabilidade climática média (%) para incidência da ferrugem do trigo, calculada para os campos experimentais de Arapoti, Castro, Ponta Grossa e Tibagi, no período compreendido entre 01/06 e 31/10, anos agrícolas de 2002 e 2003.

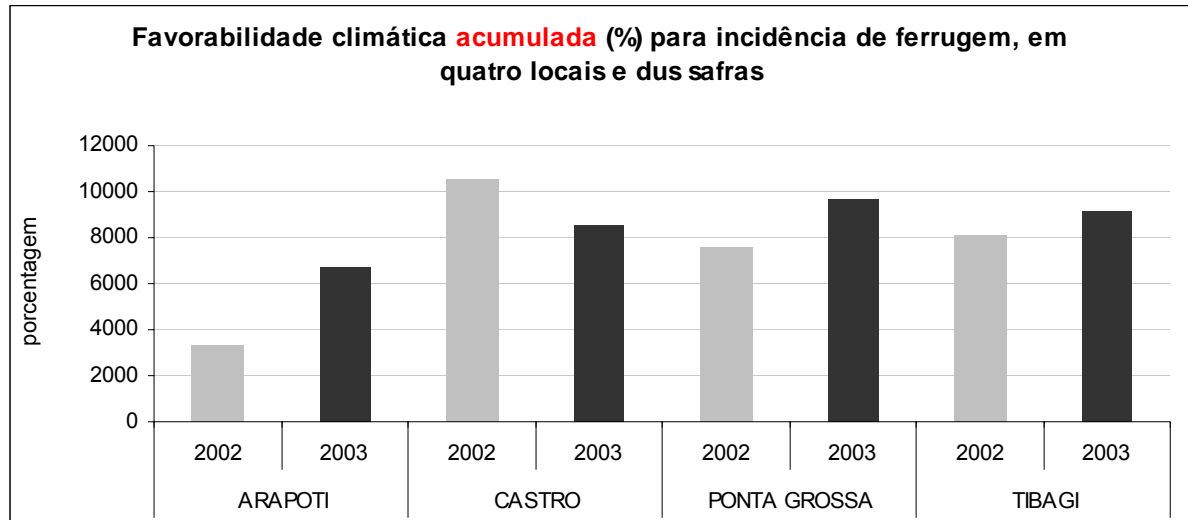


Figura 4.15 – Favorabilidade climática acumulada (%) para incidência da ferrugem do trigo, calculada para os campos experimentais de Arapoti, Castro, Ponta Grossa e Tibagi, no período compreendido entre 01/06 e 31/10, anos agrícolas de 2002 e 2003.

A favorabilidade climática da ferrugem, calculada para o período compreendido entre os meses de junho a outubro, resultou em comportamento semelhante, independente do método de cálculo utilizado, média (Figura 4.14) ou acumulado (Figura 4.15), ou seja, a favorabilidade climática em Tibagi no ano de 2003 foi superior ao ano de 2002, independente do método de cálculo. A única exceção foi a favorabilidade calculada para Arapoti, cujo método de cálculo da favorabilidade pela média do período apresentou tendência contrária ao cálculo acumulado.

Uma vez que no estudo de caso para a favorabilidade climática de ocorrência de oídio os melhores resultados foram obtidos quando foi utilizado o somatório dos valores diários, neste estudo sobre a ferrugem adotaremos também o mesmo critério. Assim, a figura 4.15 apresenta a tendência de um clima mais favorável para a ferrugem da folha na safra de 2003, se comparada a 2002.

Com o objetivo de avaliar o modelo climático para incidência da ferrugem, foram utilizados os dados de severidade de ferrugem observados no cultivar OR-1 (Tabela 4.3) durante as safras de 2002 e 2003, para cálculo das variáveis epidemiológicas área abaixo da curva de progresso da ferrugem, taxa aparente de infecção, e curvas de progresso da doença, representadas a seguir.

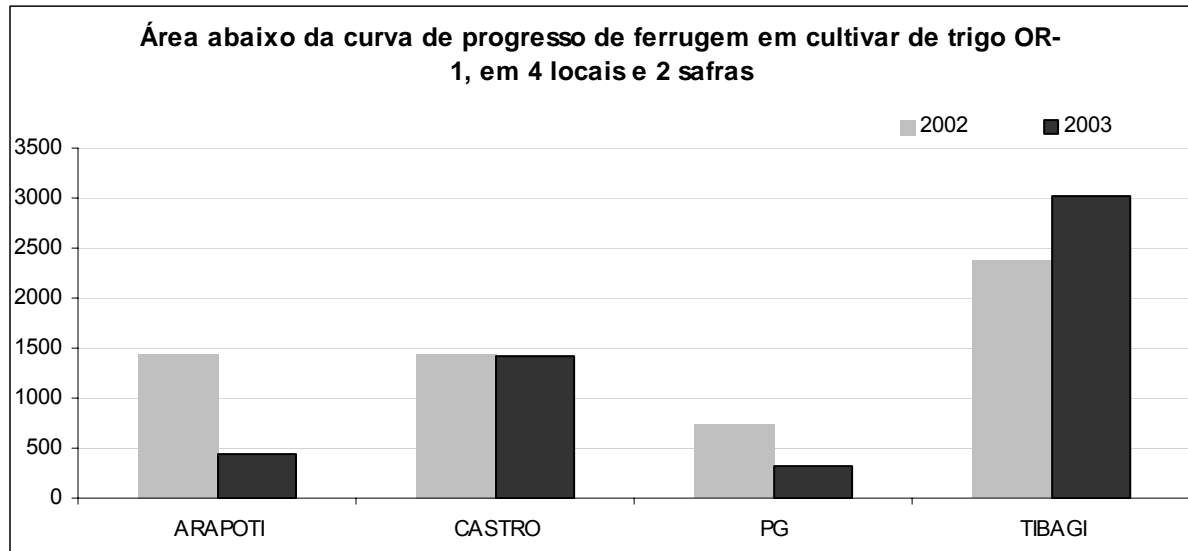


Figura 4.16 - Área abaixo da curva de progresso de oídio sobre cultivar de trigo OR-1, localizado em Arapoti, Castro, Ponta Grossa e Tibagi, anos agrícolas de 2002 e 2003.

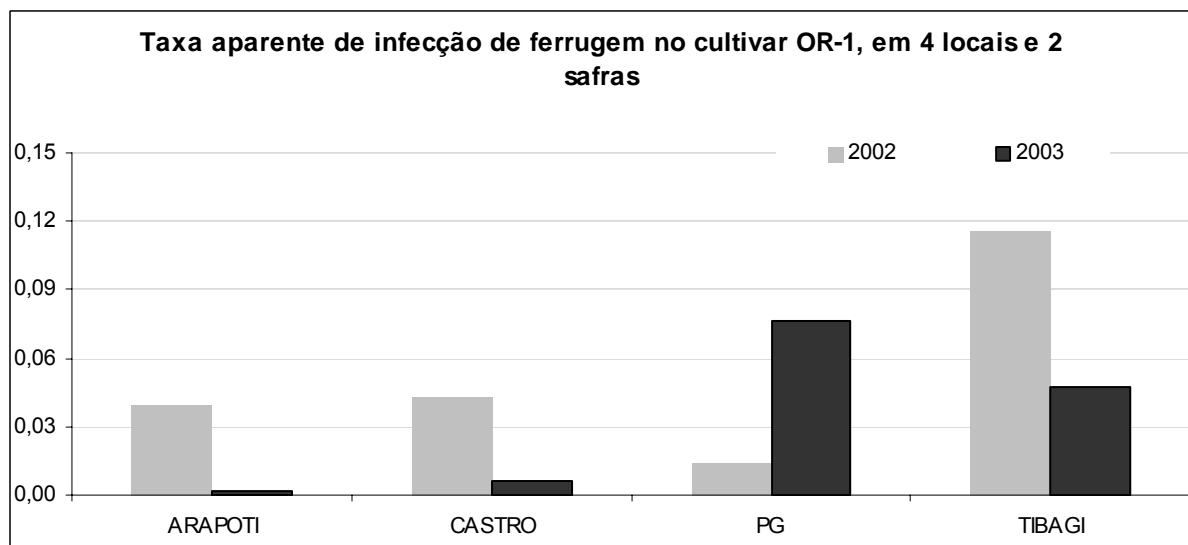


Figura 4. 17 - Taxa aparente de infecção por oídio sobre cultivar OR-1, calculada pelos modelos de Gompertz (25% dos casos), Logístico (50%) e Monomolecular (25%), em cultivos conduzidos em Arapoti, Castro, Ponta Grossa e Tibagi, nas safras de 2002 e 2003.

O cálculo da área abaixo da curva de progresso da ferrugem, assim como a taxa aparente de infecção nos mostra que não ocorreram tendências claras entre a favorabilidade climática acumulada e os parâmetros epidemiológicos representados pelas figuras 4.16 e 4.17. Porém quando comparamos esses mesmos parâmetros com a favorabilidade calculada pela média dos valores diários, percebemos uma melhora nas tendências apresentadas pelo modelo. Se considerarmos a média mais interessante para representatividade da favorabilidade climática, a safra de 2002 foi a safra onde o clima esteve mais favorável para o desenvolvimento dessa epidemia, corroborando com os dados da área abaixo da curva de progresso da doença e taxa aparente de infecção.

Em relação a este último, a superioridade da taxa de infecção por ferrugem na safra de 2003 no campo experimental de Ponta Grossa, se deve ao baixo número de avaliações realizadas em 2002, devido à ocorrência de geadas. Na safra de 2002 em Ponta Grossa, devido às épocas de plantio e ocorrência de geadas, as avaliações de severidade para ferrugem foram somente até o 66 DAE, enquanto que 2003 foram realizadas avaliações visuais de severidade até o 99 DAE, possibilitando uma maior desenvolvimento da doença no campo, e conseqüentemente uma maior velocidade de desenvolvimento da epidemia.

Finalmente apresentamos as curvas de progresso da ferrugem, para confirmação do desempenho do modelo epidemiológico proposto. As figuras 4.18, 4.19, 4.20 e 4.21 demonstram o maior desenvolvimento e intensidade da ferrugem da folha na safra de 2002, quando comparados à safra de 2003. Assim, a favorabilidade climática dada pela média dos valores diários apresentou um comportamento mais próximo da realidade observada nos campos experimentais.

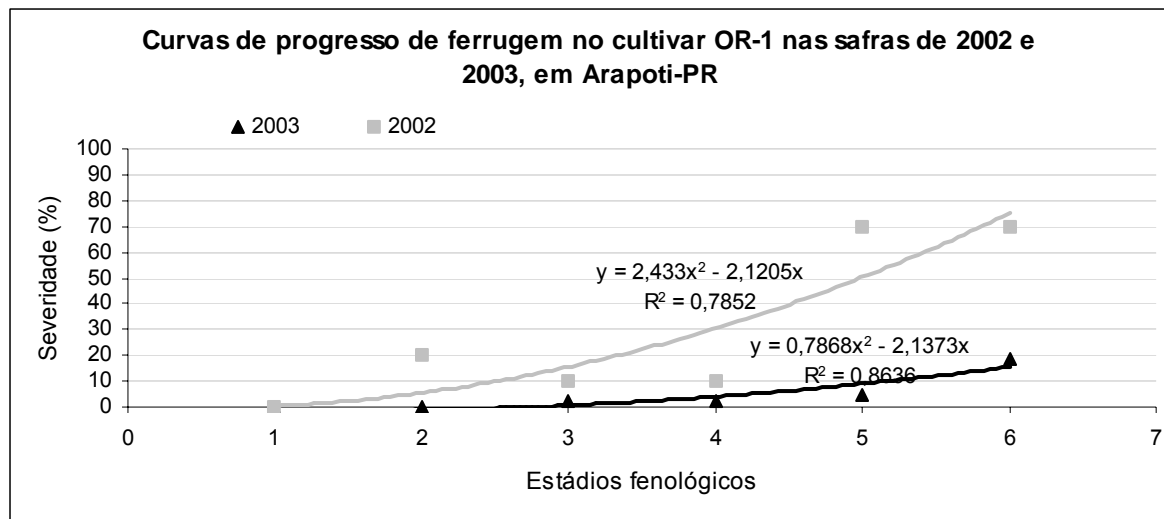


Figura 4. 18 - Curva de progresso de ferrugem observado no cultivar OR-1 conduzido no campo experimental de Arapoti, nas safras agrícolas de 2002 e 2003. Estádios fenológicos perfilhamento (1), alongamento (2), emborrachamento (3), espigamento (4), florescimento (5), grão leitoso (6), maturação fisiológica (7).

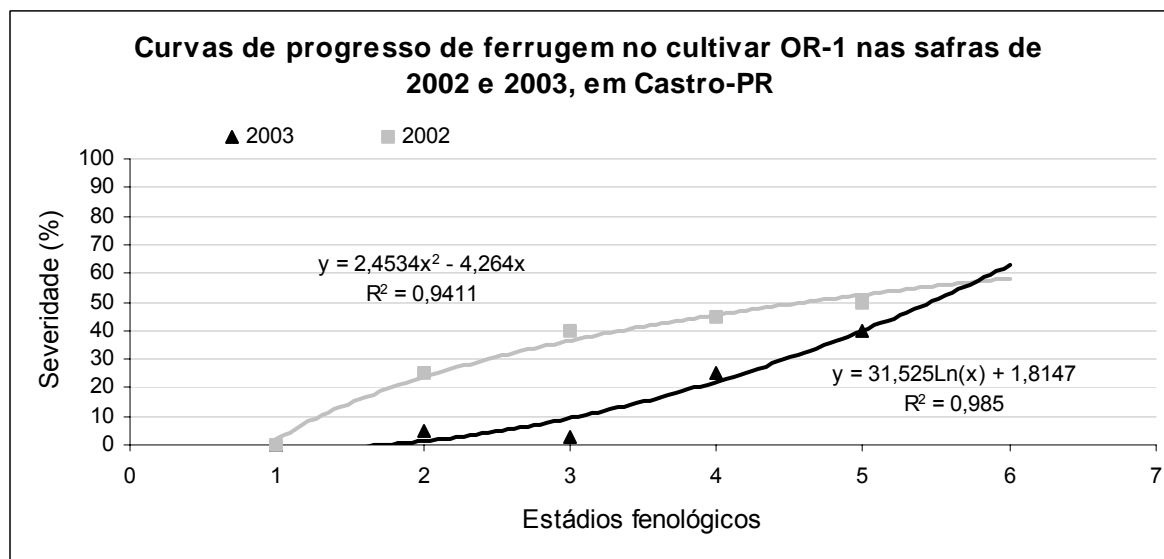


Figura 4. 19 - Curva de progresso de ferrugem observado no cultivar OR-1 conduzido no campo experimental de Castro, nas safras agrícolas de 2002 e 2003. Estádios fenológicos perfilhamento (1), alongamento (2), emborrachamento (3), espigamento (4), florescimento (5), grão leitoso (6), maturação fisiológica (7).

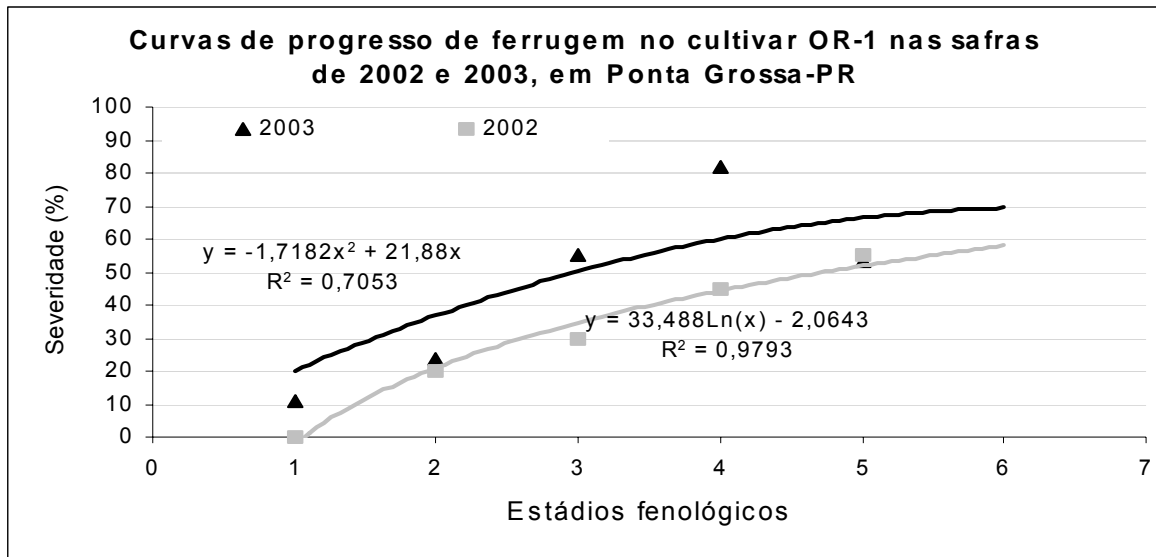


Figura 4. 20 - Curva de progresso de ferrugem observado no cultivar OR-1 conduzido no campo experimental de Ponta Grossa, nas safras agrícolas de 2002 e 2003. Estádios fenológicos perfilhamento (1), alongamento (2), emborrachamento (3), espigamento (4), florescimento (5), grão leitoso (6), maturação fisiológica (7).

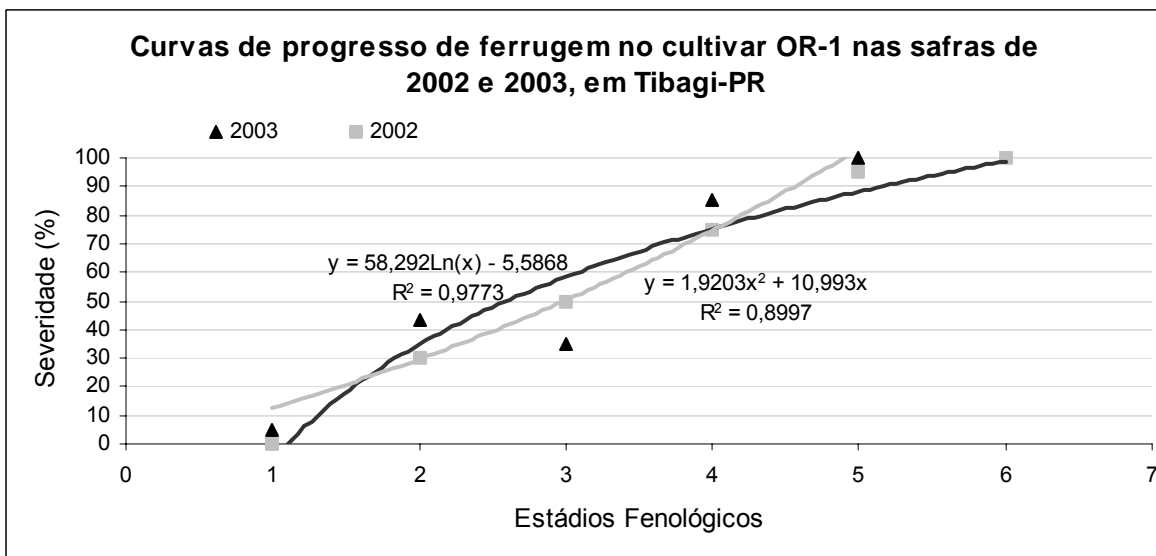


Figura 4. 21 - Curva de progresso de ferrugem observado no cultivar OR-1 conduzido no campo experimental de Tibagi, nas safras agrícolas de 2002 e 2003. Estádios fenológicos perfilhamento (1), alongamento (2), emborrachamento (3), espigamento (4), florescimento (5), grão leitoso (6), maturação fisiológica (7).

4.3.3.2. ANÁLISES REGIONAIS EM FORMA DE MAPAS

O mapeamento dos índices de favorabilidade climática para incidência de ferrugem da folha foi calculado para o período compreendido entre 01 de junho e 31 de outubro, nos anos de 2002 e 2003, com dados provenientes da rede telemétrica de estações meteorológicas (Figura 4.22).

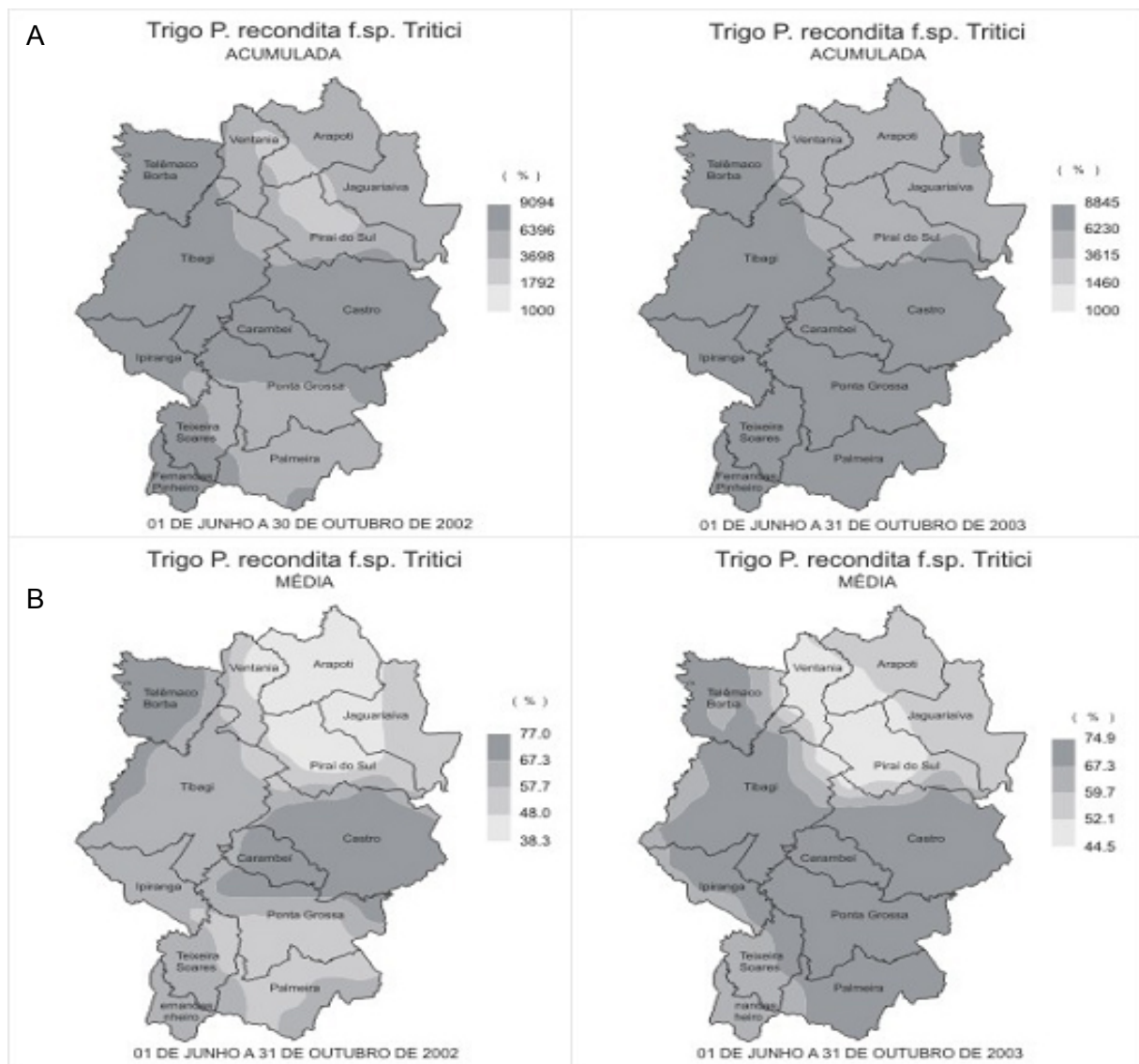


Figura 4. 22 - Favorabilidade climática acumulada e acumulada normalizada (média) para ocorrência de ferrugem, calculada no período de 01/06 a 31/10, nos anos agrícolas de 2002 e 2003, gerados a partir de oito estações meteorológicas de superfície, localizadas em Arapoti, Castro, Ponta Grossa, Tibagi, Telêmaco Borba, Jaguariaíva, Piraí do Sul, e Fernandes Pinheiro.

O mapeamento dos índices de favorabilidade climática para incidência de ferrugem, tanto no cálculo acumulado quanto na média (acumulado normalizado), mostrou que durante a safra de 2002 o clima esteve mais favorável à ocorrência de ferrugem, se comparado à safra de 2003. Em relação à identificação das áreas com maior probabilidade de ocorrência, o mapeamento demonstrou que todas as áreas são propícias para o desenvolvimento da ferrugem, sendo os menores índices de favorabilidade estimados para as áreas ao norte dos Campos Gerais, tanto na safra de 2002 quanto na safra de 2003.

As figuras 4.23 e 4.24 comprovam a ocorrência de uma menor severidade de ferrugem da folha no cultivar OR-1, demonstrando a correlação positiva entre a favorabilidade climática e os níveis de severidade no campo. O monitoramento através dos mapas de favorabilidade climática novamente se mostrou interessante para o fornecimento de subsídios ao produtor, quanto ao manejo da ferrugem da folha.

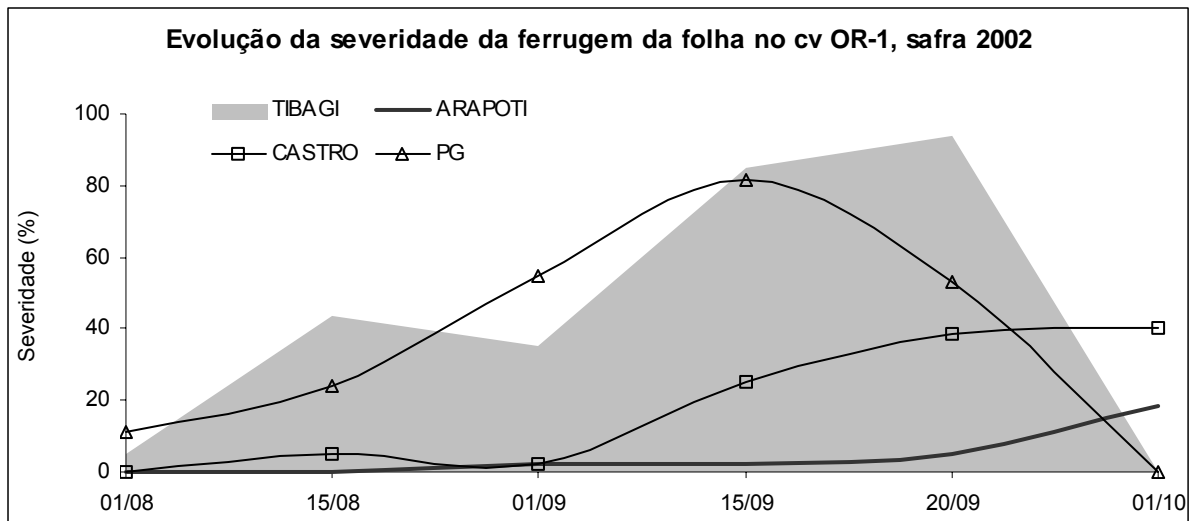


Figura 4. 23 – Evolução das avaliações visuais de severidade de ferrugem da folha em cultivar OR-1, conduzido em Arapoti, Castro, Ponta Grossa e Tibagi, no ano agrícola de 2002.

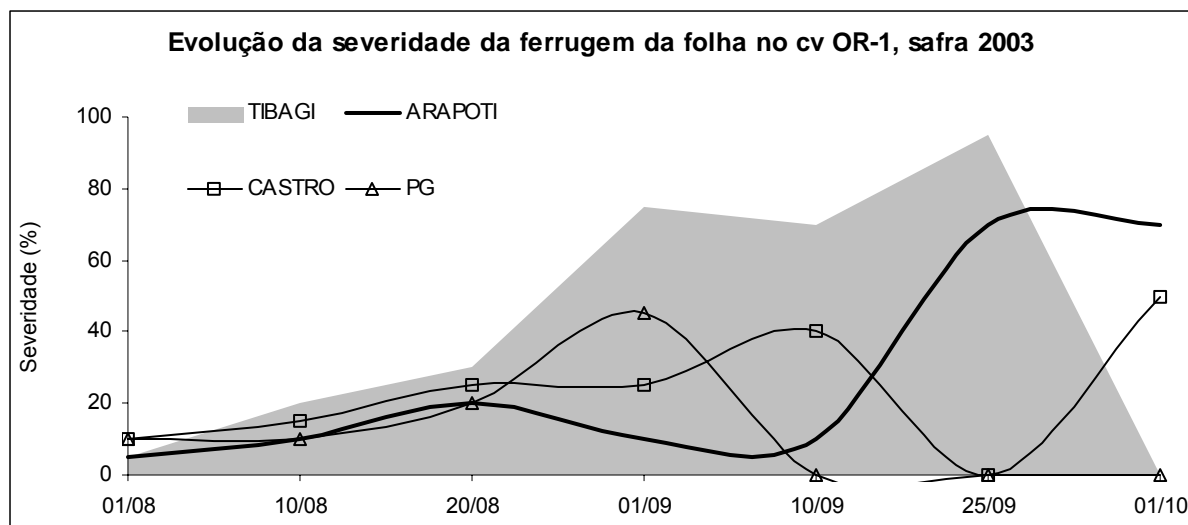


Figura 4. 24 – Evolução das avaliações visuais de severidade de ferrugem da folha em cultivar OR-1, conduzido em Arapoti, Castro, Ponta Grossa e Tibagi, no ano agrícola de 2003.

4.3.4. SISTEMA DE MONITORAMENTO VIA INTERNET

Uma vez que as funções epidemiológicas das principais doenças decorrentes do cultivo do trigo foram validadas para a região dos Campos Gerais do Paraná, esses índices de favorabilidade climática foram aplicados a um sistema de monitoramento das principais doenças do trigo via internet, durante as safras de inverno de 2003 e 2004. Em uma página específica na web (Figura 4.25) (<http://www.fundacaoabc.org.br/Trigo/index.htm>) mapas diários, quinzenais, semanais, decendiais e mensais foram atualizados diariamente, através dos dados provenientes da rede de estações meteorológicas, juntamente com comentários, dicas e sugestões.

The screenshot shows a web browser window with the URL <http://www.fundacaoabc.org.br/Trigo/index.htm>. The page header includes the logo of Fundação ABC and the text: "Monitoramento de Doenças do Trigo / Cevada", "Campos Gerais - PR", "Safrá 2004", and "Responsável Técnico: Agr. MSc. Olavo C. da Silva". The support logo for Syngenta is also present. Below the header, there are logos for several organizations: Castrolândia, BATAVO, GAPAL, AGRARIA, FAPA, Embrapa, and UFRR. The main content area is titled "Informações Gerais da Semana: 01/10/04 a 07/10/04". On the left, there is a sidebar for "Desenvolvimento de Doenças Grupo ABC" with a list of locations: ARAPOTI, CASTRO, CONGOINHAS, ITARARÉ, PONTA GROSSA, and TIBAGI. The central part of the page is titled "Comentários Trigo" and contains a table with columns for "Alcove", "Avante", and "BRS". The table lists various cultivars and their characteristics. To the right, there are "Mapas de Favorabilidade Climática" for "Ferrugem da Folha", "Oídio", and "Septória", each with two maps and associated dates. At the bottom, there is a link to "Consulte as notícias anteriores aqui".

Figura 4.25 – Layout da página de monitoramento das principais doenças do trigo.

O número de acessos foi realizado através de um contador na página, sendo que mesma recebeu uma média de 64 acessos/dia, entre os dias 15 de junho a 31 de outubro (Figura 4.26).

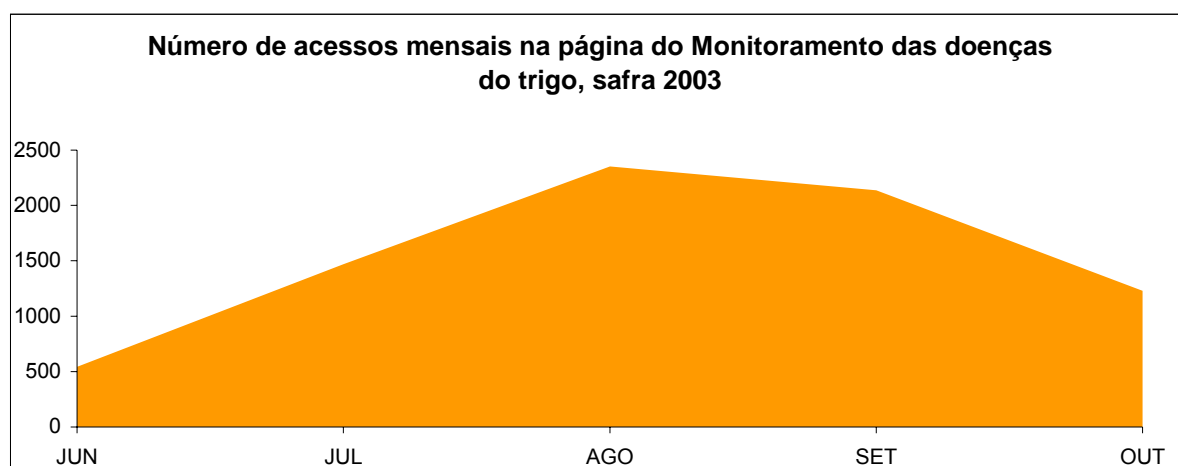


Figura 4.26 – Estatística da página de monitoramento das principais doenças decorrentes do cultivo de trigo, safra 2003.

4.4. CONCLUSÃO

O mapeamento dos índices de favorabilidade demonstrou grande facilidade de interpretação por parte dos usuários do sistema, que somado as avaliações “in loco” possibilitaram diagnóstico correto da real situação do processo epidemiológico.

Os índices de favorabilidade climática auxiliam na compreensão dos da variabilidade anual na ocorrência de processos epidêmicos, e também na identificação das áreas de maior probabilidade de ocorrência de oídio e ferrugem da folha do trigo.

O software Arc Epidemic desenvolvido para o presente estudo pode ser utilizado a nível regional, objetivando o monitoramento do oídio e da ferrugem da folha do trigo na região dos Campos Gerais, fornecendo informações consistentes para a tomada de decisão quanto ao manejo fitossanitário.

A necessidade de futuros estudos sobre a validação de outros índices de favorabilidade climática para ocorrência de doenças fitopatogênicas na região dos Campos Gerais seria de suma importância para uma melhor compreensão da tríade ambiente – patógeno – hospedeiro.

As perspectivas são boas para que este trabalho venha a ser melhorado cada vez mais, principalmente com a ampliação da rede de estações agrometeorológicas de aviso, com número menor de sensores, facilidades de manuseio e custo mais acessível aos produtores.

4.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BEDENDO, I. P. Ambiente e doença. In: BERGAMIN FILHO, A; KIMATI, H.; AMORIN, A. **Manual de fitopatologia**. 3^a ed. São Paulo:Agronômica Ceres, 1995. V.1, p. 331-341.

BERGAMIN FILHO, A. Curvas de progresso da doença. In: BERGAMIN FILHO, A.; AMORIN, L. (Ed.) **Manual de fitopatologia**. 3.ed. São Paulo: Ceres, 1995. V.1:Princípios e conceitos p.602-626.

BURRAGE, S. W. Dew on wheat. **Agricultural Meteorology**, Amsterdam, v.10, p.3-12, 1972.

BURRAGE, S. W. Monitoring the environment in relation to epidemiology. In: SCOTT, P. R. e BAINBRIDGE, A. ed. **Plant Disease Epidemiology**. Oxford, Blackwell Scientific Publications, 1978. p.93-110.

CANTERI, M.G.; DALA PRIA, M.; SILVA, O.C. **Principais doenças fúngicas no feijoeiro: orientações para manejo econômico e ecológico**. Ponta Grossa: UEPG, 1999. 178 p.

CAVIGLIONE, J.H.; KIIHL, L.R.B.; CARAMORI, P.H.; OLIVEIRA, D. **Cartas Climáticas do Paraná**. Instituto Agronômico do Paraná. 2000.

DALLA PRIA, M. **Quantificação de parâmetros monocíclicos da antracnose (*Colletotrichum lindemuthianum*) e da mancha angular (*Phaeoisariopsis***

griseola) do feijoeiro. 1997. 82p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

EVERSMeyer, M. G. e BURLEIGH, J. R. A method of predicting epidemic development of wheat leaf rust. **Phytopathology**, St. Paul, v.60, p805-811, 1970.

FARIA, R.T.; CARAMORI, P.H.; CHIBANA, E.Y.; BRITO, L.R. de S.; NAKAMURA, A.K.; FERREIRA, A.R. **Clima: Programa computacional para organização e análise de dados meteorológicos.** Londrina: IAPAR, 2002. 29p. (IAPAR, Boletim Técnico, 66).

FEEKES. **Feekes Growth Stages for Small Grains.** 1940. Disponível em: <http://www.ces.ncsu.edu/resources/crops/ag580/feekes.html>. Acesso em 16/07/2003.

FERNANDES, J.M.C., HEDRIX, J.W. Leaf wetness and temperature effects on the hyphal growth and symptoms development on wheat leaves infected by *Septoria nodorum* Blotch. **Fitopatologia Brasileira**, 11:835-845. 1986.

GASPAROTTO, L. **Epidemiologia do mal das folhas (*Microcyclus ulei* (P. Henn) v. Arx) da seringueira (*Hevea spp.*).** 1988. 124p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal Viçosa.

GODOY, C. V. **Influência de variáveis climáticas no desenvolvimento da ferrugem polysora na cultura do milho.** 2000. 79p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

HAU,B.; AUGUST,H.J.; KRANZ,J. Problems in modeling powdery mildew epidemics. **EPPO Bull.**13:259-262,1983.

HOSFORD, R. M.; LAREZ, C. R.; HAMMOND, J. J. Interaction of wet period and temperature on *Pyrenophora tritici-repentis* infection and development in wheats of deffering resistance. **Phytopathology**, v.77, n. 7, p. 1021-1027, 1987.

JANUZZI, B. M. **Influência de parâmetros de clima e do hospedeiro no desenvolvimento da ferrugem no feijoeiro (*Uromyces phaseoli* var. *typica* Arth.)** 1987. 102p. Tese (Doutoramento) – Escola Superios de Agricultura “Luiz de Queiroz” / USP).

KRAUSE, R. A.; MASSIE, L. B. Predictive systems: modern approaches to disease control. Ann, **Phytopatholy.**, v.13, p.31-47. 1975.

MARTORANO, L.G.; CLEMENTE, M.A. **Monitoramento de variáveis agrometeorológicas: Agricultura de Precisão.** Disponível em: <<http://www.web.onda.com.br/picwex/precisao/index.html>> Acesso 20 abr. 2002.

MELCHING, J. S.; DOWLER, W. M.; KOOGLE, D. L.; ROYLE, M. H. Effects of duration, frequency and temperature of leaf wetness periods on soybean rust, **Plant Disease**, St. Paul, v.73, p.117-122, 1989.

MOLIN, R. Competição de genótipos de trigo. **Relatório de pesquisa da safra de inverno 2002.** Fundação abc, Castro, p. 135-202, 2002.

MOLIN, R. Competição de genótipos de trigo. **Relatório de pesquisa da safra de inverno 2003**. Fundação abc, Castro, p. 214-269, 2003.

MOSCHINI, R.C. & PÉREZ, B.A. Predicting wheat leaf rust severity using planting date, genetic resistance, and weather variables. **Plant Disease**, 83(4):381-384. 1999.

PEDRO, JR., M. J. Aspectos microclimáticos e epidemiologia. In: **Curso prático internacional de agrometeorologia para a otimização da irrigação**, Campinas, Instituto Agronômico, 1989. 13p.

PINTO, H.S.; ORTOLANI, A.A.; ALFONSI, R.R. **Estimativa das temperaturas médias mensais do estado de São Paulo em função de altitude e latitude**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1972. 20 p. (Caderno de Ciências da Terra, 23).

ROBERTSON, G.W.; RUSSELO, D.A. **Freezing temperature risk calculations: systems analysis and computer program**. Agrometeorology Section, Plant Research Institute, Research Branch, Canada Department of Agriculture, Ottawa, Canada. Tech. Bull. 60, 1968. 31p.

ROTEM, J. Climatic and Weather influences on epidemics. In: HORSFAL, J. G.; COWLING, E. B. **Plant disease**. New York, v. 2, p. 317-334, 1978.

SILVA, O.C. **Relatório de pesquisa da safra de inverno 2002**. Fundação abc, Castro, p. 89-115, 2002.

SILVA, O.C. **Relatório de pesquisa da safra de inverno 2003**. Fundação abc, Castro, p. 112-154, 2003.

SUTTON, J. C.; GILLESPIE, T. J.; HILDEBRAND, P. D. Monitoring weather factors in relation to plant disease. **Plant Disease**, St. Paul, v.68, n1, p.78-84, 1984.

TORRES, G.A.M. **Epidemiologia comparativa entre a helmintosporiose e a ferrugem da folha do trigo: estudos monocíclicos, policíclicos e de simulação**. Dissertação de mestrado, ESALQ/USP. Piracicaba, 1996. 117 p.

U.S. GEOLOGICAL SURVEY - SURVEY NATIONAL MAPPING DIVISION. Global 30 Arc Second Elevation Data. 1999. Disponível: [<http://edcwww.cr.usgs.gov/landdaac/gtopo30/gtopo30.html>]. Acessado em: 10/07/1999.

VALLAVIEILLE-POPE, C. de, HUBER, L., LECONTE, M. & GOYEAU, H. Comparative effects of temperature and interrupted wet periods on germination, penetration, and infection of *Puccinia recondita* f.sp. *tritici* and *P. striiformis* on Wheat seedlings. **Phytopathology** 85(4):409-415. 1995.

ZAHLER, D. M.; MOTA, F. S.; AGENDES, M. O. O. **Previsão agrometeorológica no controle de doenças e pragas**. Brasília: Ministério da Agricultura e Reforma Agrária, 1991. 54p.

WREGE, M.S., CARAMORI, P.H.; GERAGE, A.C.; BERTONHA, A.; FERREIRA, R.C.; CAVIGLIONE, J.H.; FARIA, R.T.; FREITAS, P.S.L.; GONÇALVES, S.L. **Regiões potenciais para o cultivo da cana-de-açúcar no Paraná, com base na análise de risco de geadas.** Revista Brasileira de Agrometeorologia, (prelo).

5 CONCLUSÕES GERAIS

A estimativa da duração do período de molhamento demonstrou grande confiabilidade a nível micro e macroclimático, devendo-se realizar mais estudos sobre a utilização desse modelo para espacialização dos valores de duração do período de molhamento para toda a região dos Campos Gerais.

O sistema de tomada de decisão para manejo fitossanitário dos Campos Gerais do Paraná demonstrou grande potencial de uso, principalmente na identificação das áreas com maior probabilidade de ocorrência de processos epidemiológicos.

A geração de índices de favorabilidade climática para as principais doenças de trigo demonstrou ser uma ferramenta de grande utilidade aos assistentes técnicos e produtores da região.

A ampliação da rede de estações meteorológicas de superfície, customizadas com sensores de temperatura, umidade relativa do ar, e precipitação poderia ajudar no melhor detalhamento da ocorrência de epidemias, sendo esta a estratégia essencial para futuros sistemas de suporte a tomada de decisão que objetivam a geração de alertas fitossanitários, e conseqüente previsão de epidemias.

REFERÊNCIAS

AMADOR, J.P. **Duração do período de molhamento por orvalho: estimativa baseada em parâmetros meteorológicos e comparação do desempenho de instrumentos de medição**. 1987. 69p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

BEDENDO, I. P. Ambiente e doença. In: BERGAMIN FILHO, A; KIMATI, H.; AMORIN, A. **Manual de fitopatologia**. 3^a ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1995. V.1, p. 331-341.

BERTON, O; MELZER, R. Controle da sarna da macieira pelo sistema de mills. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 19, p. 1211-1217, out. 1984.
BURRAGE, S. W. Dew on wheat. **Agricultural Meteorology**, Amsterdam, v.10, p.3-12, 1972.

BURRAGE, S. W. Monitoring the environment in relation to epidemiology. In: SCOTT, P. R. e BAINBRIDGE, A. ed. **Plant Disease Epidemiology**. Oxford, Blackwell Scientific Publications, 1978. p.93-110.

CANTERI, M.G.; DALA PRIA, M.; SILVA, O.C. **Principais doenças fúngicas no feijoeiro: orientações para manejo econômico e ecológico**. Ponta Grossa: UEPG, 1999. 178 p.

CROWE, M. J.; COAKLEY, S. M.; EMGE, R. G. Forecasting dew duration at Pendleton, Oregon, using simple weather observations. **Journal of Applied Meteorology**, Boston, v.17, p.1482-14887, jun.1978.

EVERSMEYER, M. G. e BURLEIGH, J. R. A method of predicting epidemic development of wheat leaf rust. **Phytopathology**, St. Paul, v.60, p805-811, 1970.

FELÍCIO, J.C.; CAMARGO, C.E.; O. CAMARGO, M.B.P.; CASTRO, J.L.; BARROS, B.C. Trigo: três épocas de semeadura em Capão Bonito, SP, no período 1981-1985. **Bragancia**, Campinas, v.47, n.2, p.255-275, 1988.

FRY, W. E. e FOHNER, G. R. Construction of predictive models: I. Forecasting disease development. In: GILLIGAN, C. A. **Mathematical modeling of crop disease**. Advances in Plant Pathology v.3, London: Academic Press Inc, 1985, p.161-178.

GASPAROTTO, L. **Epidemiologia do mal das folhas (*Microcyclus ulei* (P. Henn) v. Arx) da seringueira (*Hevea spp.*)**. 1988. 124p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal Viçosa.

GETZ, R. R. Coments on “forecasting dew duration at Pendleton, Oregon, using simple weather observations”. **Journal of Applied Meterology**. Boston, v.18, n.8, p. 1087, 1979.

GILLESPIE, T. J.; KIDD, G. E. Sensing duration of leaf moisture retention using eletrical impedance grids. **Canadian Journal of Plant Science**. Ottawa, v.58, p. 179-187, 1978.

GODOY, C. V. **Influência de variáveis climáticas no desenvolvimento da ferrugem polysora na cultura do milho**. 2000. 79p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

HAU, B.; KRANZ, J. Mathematics and statistics for analyses in epidemiology. In: KRANZ J. **Epidemics of plants diseases: mathematical analyses and modeling**. 2.ed. Berlin: Spring-Verlag, 1990. p.12-52.

HOSFORD, R. M.; LAREZ, C. R.; HAMMOND, J. J. Interaction of wet period and temperature on *Pyrenophora tritici-repentis* infection and development in wheats of deffering resistance. **Phytopathology**, v.77, n. 7, p. 1021-1027, 1987.

JANUZZI, B.M. **Influência de parâmetros ce clima e do hospedeiro no desenvolvimento da ferrugem no feijoeiro (*Uromyces phaseoli* var. *typica* Arth.)** 1987. 102p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

JENSEN, A. L.; BOLL, P. S.; PATHAK, B. K. Pl@ntelInfo® — a web-based system for personalised decision support in crop. **Computers and Electronics in Agriculture** v. 5, p. 271-293, 2000.

KRAUSE, R. A.; MASSIE, L. B. Predictive systems: modern approaches to disease control. **Phytopatholy.**, v.13, p.31-47. 1975.

LAU, Y. F.; GLEASON, M. L.; ZRIBA, N.; TAYLOR, S. E.; HINZ, P. N. Effects of coating, deployment angle, and compass orientation on performance of electronic wetness sensors during dew periods. **Plant Disease**. v.84, n.2, p.192-197, 2000.

MAACK, R. **Geografia Física do Estado do Paraná**. Curitiba: Banco de Desenvolvimento do Paraná. Universidade Federal do Paraná, 1968.

MachARDY, W.E. A simplified non-computadorized program for forecasting potato late blight. **Plant Disease Reporter**. Beltsville, v. 63, n. 1, p. 5-21, 1979.

MELCHING, J. S.; BRMFIELD, K. R. and KINGSOLVER, C. H. Infection, colonization, and uredospore production on Wayne soybean by four cultures of *Phakopsora pachyrhizi*, the cause of soybean rust. **Phytopathology**. v.69, p.1262-1265, 1979.

MELCHING, J. S.; DOWLER, W. M.; KOOGLE, D. L.; ROYLE, M. H. Effects of duration, frequency and temperature of leaf wetness periods on soybean rust, **Plant Disease**, St. Paul, v.73, p.117-122, 1989.

MOLIN, J.P. Geração de mapas de produtividade em projeto de avaliação da tecnologia de Agricultura de Precisão. In: AGROTEC99 – CONFERÊNCIA INTERNACIONAL SOBRE AGROPOLOS E PARQUES TECNOLÓGICOS AGROINDUSTRIAIS. Barretos, 1999, p. 231-235. **Anais**: <http://www.ibt-barretos.org.br>.

MONTEIRO, J. E. B. de A. **Microclima e ocorrência de ramulose no algodoeiro em diferentes densidades populacionais**. 2002. 99 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba-SP.

MOTA, F. S. da. **Meteorologia agrícola**. 2^a ed. São Paulo: Nobel, 1985. 376p.

ORTOLANI, A. A. **Contribuição ao estudo ecológico da ferrugem do cafeeiro (*Hemilea vastatrix* Berk et Br.) em diferentes populações de *Coffea arabica* L. da região de Pindorama – SP, Brasil**. 1973. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Botucatu-SP.

PEDRO, JR., M. J. Aspectos microclimáticos e epidemiologia. In: **Curso prático internacional de agrometeorologia para a otimização da irrigação**, Campinas, Instituto Agrônomo, 1989. 13p.

PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Agropecuária, 2002, 478 p.

POST, J. J.; ALLISON, C. C.; BURCKHARDT, H.; PREECE, T. F. **The influence of weather conditions on the occurrence of apple scab**. Geneva: WWM, 1963. 41p.

REIS, E. M. **Epidemias de doenças de plantas: sistema de previsão e critérios de controle com fungicidas**. CIBA-GEIGY, 1990, 11p.

ROTEM, J. Climatic and Weather influences on epidemics. In: HORSFAL, J. G.; COWLING, E. B. **Plant disease**. New York, v. 2, p. 317-334, 1978.

SENTELHAS, P. C. **Ocorrência de helmintosporiose (Helminthosporium sativum) e de oídio (Eriysiphe graminis) na cultura do trigo (Triticum aestivum. L.) sob diferentes condições microclimáticas**. 1992. 103 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba-SP.

SUTTON, J. C. Predictive value of weather variables in the epidemiology and management of foliar diseases. **Fitopatologia Brasileira**, v.13, p.305-312, 1988.

SUTTON, J. C.; GILLESPIE, T. J.; HILDEBRAND, P. D. Monitoring weather factors in relation to plant disease. **Plant Disease**, St. Paul, v.68, n1, p.78-84, 1984.

SUZUKI, H. Meteorological factors in the epidemiology of rice blast. **Phytopathology**. St. Paul, v.13, p. 239-256, 1975.

VALE, F.X.; ZAMBOLIM, L. Influência da temperatura e umidade nas epidemias de doenças de plantas. **Revisão Anual de Patologia de Plantas**, Passo Fundo-RS, v.4, p.129-207, 1996.

VALLAVIEILLE-POPE, C.; HUBER, L.; LECONTE, M.; GOYEAU, H. Comparative effects of temperature and interrupted wet periods on germination, penetration and infection of *Puccinia recondita* f. sp. *Tritici* and *P. striiformis* on wheat seedlings. **Phytopathology**, v.84, n.4, p.409-415, 1995.

VAN DER WAL, A. F. Moisture as a factor in epidemiology and forecasting. In: KOSLOWSKI, T. T. **Water Deficits and Plant Growth – Water and Plant Disease**. New York: Academic Press, 1978. p.253-295, v.5.

ZAHLER, D. M.; MOTA, F. S.; AGENDES, M. O. O. **Previsão agrometeorológica no controle de doenças e pragas**. Brasília: Ministério da Agricultura e Reforma Agrária, 1991. 54p.