

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA

**CARACTERIZAÇÃO E MODELAGEM DE RISCOS CLIMÁTICOS PARA
EPIDEMIAS DE SARNA DA MACIEIRA NA REGIÃO DE VACARIA, RS**

Viviane Aires de Paula
Engenheira Agrônoma, Mestre em Agronomia

Tese apresentada como um dos requisitos
à obtenção do Grau de
Doutor em Fitotecnia
Ênfase em Agrometeorologia

Porto Alegre, RS, BRASIL
Julho de 2011

VIVIANE AIRES DE PAULA
Engenheira Agrônoma - UFPel
Mestre em Ciências - UFPel


TESE

Submetida como parte dos requisitos
para obtenção do Grau de


DOUTOR EM FITOTECNIA


Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia
Faculdade de Agronomia
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Porto Alegre (RS), Brasil

Aprovado em: 04.07.2011
Pela Banca Examinadora



HOMERO BERGAMASCHI
Orientador - RPG Fitotecnia


EMERSON MEDEIROS DEL PONTE
Coorientador - FPG Fitotecnia

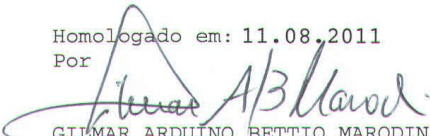

GILMAR ARDUINO BETTIO MARODIN
PPG Fitotecnia



RICARDO WANKE DE MELO
PPG Fitotecnia


ARNO BERNARDO HELDWEIN
UFSM


ROSA MARIA VALDEBENITO SANHUEZA
Proterra
Engenharia Agrônômica Ltda.

Homologado em: 11.08.2011
Por


GILMAR ARDUINO BETTIO MARODIN
Coordenador do Programa de
Pós-Graduação em Fitotecnia


PEDRO ALBERTO SELBACH
Diretor da Faculdade
de Agronomia

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por toda luz e proteção e pela grandeza e essência da vida. Aos meus pais, que sempre me incentivaram em tudo e sempre foram a minha base, o meu exemplo, o eterno apoio e amor incondicional. Aos meus irmãos, pelo carinho, amizade, apoio e incentivo sempre. Ao Marlon, meu noivo, por todo o amor... À minha querida prima, amiga e irmã Débora, que mais uma vez esteve presente na trajetória de minha vida, por toda amizade e companheirismo.

Ao Professor Homero Bergamaschi, não apenas pela orientação, mas por todos os ensinamentos, ajuda, apoio e dedicação. Ao Professor Emerson Del Ponte, meu co-orientador, pela boa vontade sempre, imensa ajuda e contribuição, que esteve sempre à disposição.

À Dr^a. Rosa Maria Sanhueza e Dr. Francisco Mandelli pela idealização inicial desse trabalho e demais colaborações, além da ajuda na obtenção de dados. Ainda em especial à Dr^a. Rosa pela disponibilidade, ajuda e participação na comissão de orientação. Ainda, ao Murilo Santos pela contribuição na organização dos dados.

Aos professores Moacir Berlato e Denise Fontana pela amizade, carinho e ensinamentos. Também ao professor Gilmar Marodin pela amizade e colaboração em nossos trabalhos. Ao professor Ricardo Melo pela amizade, conversas, além da ajuda e boa vontade em muitos momentos.

Aos bolsistas, Francisco Marodin, Morgana Delazeri, Bruno Casamali, Pedro Brauner, Fabrício Dalsin, Diane Alba e Vanessa dos Santos, por seu auxílio na

realização de diversas tarefas e boa convivência e dedicação, e demais bolsistas do departamento, Marta e Danielle.

Em especial, às minhas companheiras, mas muito companheiras, amigas, parceiras, mas muito parceiras, as minhas queridas Loana Silveira Cardoso e Leosane Cristina Bosco. Obrigada por tudo, tudo que dividimos, que convivemos, que aprendemos, pelos esforços somados e divididos ao mesmo tempo... Obrigada por toda ajuda e parceria de trabalho e acima de tudo pela amizade.

À minha querida amiga e irmã de coração, de alma, Ana Paula Cordeiro, obrigada pela amizade, carinho, parceria e apoio sempre. Eliana Klering e Amanda Jungues pela amizade, boa convivência, trocas de idéias e experiências. Às amigas Bruna Heckler, Flávia Comiran e Cátia Rommel pela amizade, carinho, contribuição, ajuda, parceria e pela essência de vida que passam. Aos colegas Astor, Eliseu e Marcondes pelo bom convívio, trocas de experiências.

À EMBRAPA Uva e Vinho, Estação Experimental de Fruticultura Temperada, Vacaria, em especial ao Dr. Gilmar Ribeiro Nachtigall, pela disponibilização dos dados meteorológicos. A empresa Schio Agropecuária Ltda, pela disponibilização da área experimental e oportunidade de vivenciar o dia-dia da produção comercial de macieiras, em especial aos agrônomos Jacques, Andre e Sr. Luiz.

Ao Professor Paulo Sentelhas (ESALQ – USP) pelas contribuições e ensinamentos. Ao Dr. Hamilton Justino Vieira (Epagri – SC) pela gentil disponibilização dos sensores de molhamento foliar.

Ao PPG Fitotecnia da Faculdade de Agronomia/UFRGS pela oportunidade do doutorado. Em especial a Marisa, secretária do PPG Fitotecnia, pela dedicação e ajuda sempre. Ao Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq) pela concessão da bolsa de estudos, que possibilitou a realização do doutoramento.

CARACTERIZAÇÃO E MODELAGEM DE RISCOS CLIMÁTICOS PARA EPIDEMIAS DE SARNA DA MACIEIRA NA REGIÃO DE VACARIA, RS ¹

Autor: Viviane Aires de Paula

Orientador: Dr. Homero Bergamaschi

Co-orientador: Dr. Emerson M. Del Ponte

RESUMO

Dentre os fatores limitantes à produção de maçãs está a sarna da macieira, causada pelo fungo *Venturia inaequalis*. O objetivo deste trabalho foi caracterizar e modelar efeitos da variabilidade climática sobre o ciclo da sarna, a partir do molhamento foliar. Utilizou-se uma base de dados meteorológicos e de monitoramento da presença de inóculo e incidência de sarna, de 1987 a 2007, em Vacaria, RS. Caracterizou-se o padrão sazonal da liberação de ascósporos da doença, relacionando-o com variáveis meteorológicas. No período crítico de suscetibilidade calculou-se o número de eventos de risco de infecção por sarna, que foram relacionados com variáveis meteorológicas. A incidência de sarna foi relacionada aos padrões de flutuação de ascósporos, variáveis meteorológicas e eventos de risco. Foram ajustados e testados modelos para estimar início e duração da liberação de ascósporos e para estimar eventos de risco. Em experimento conduzido em pomar de macieiras 'Royal Gala', monitorou-se a duração do molhamento foliar no dossel e ajustaram-se modelos para sua estimativa. A duração do molhamento foliar é maior no estrato inferior do dossel de macieiras, sendo mais bem estimada pelo número de horas por dia com umidade relativa do ar igual ou superior a 90%. O início da liberação de ascósporos antecede a primavera e a brotação da macieira, sendo coincidente com o período suscetível da cultura. Condições meteorológicas de junho são as que mais influenciam o início e a duração da liberação de ascósporos. Quanto mais altas forem as temperaturas médias do mês mais cedo é o início da liberação e maior é sua duração. Variáveis meteorológicas relacionadas à umidade do ar são as que mais se relacionam ao número de eventos de risco de infecção. A incidência da doença teve baixa correlação com liberação de ascósporos, eventos de risco e variáveis meteorológicas. É possível estimar o início da liberação de ascósporos a partir da temperatura do ar, precipitação e graus-dia. A duração da liberação de ascósporos pode ser estimada a partir de temperatura mínima do ar e precipitação de junho. O modelo de Rossi *et al.* (2000) evidenciou razoável precisão em estimar o início da liberação de ascósporos, mas não para sua duração. A umidade relativa do ar e a precipitação pluvial proporcionaram as melhores estimativas de eventos de risco.

¹ Tese de Doutorado em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil. (147 p.) Julho, 2011.

CHARACTERIZATION AND MODELING OF CLIMATIC RISKS FOR APPLE SCAB EPIDEMICS IN VACARIA REGION, RS ¹

Author: Viviane Aires de Paula
Adviser: Dr. Homero Bergamaschi
Co-adviser: Dr. Emerson M. Del Ponte

ABSTRACT

Scab, a fungal disease caused by *Venturia inaequalis* is among the most significant factors affecting apple production. The objective of this study was to characterize and model the effects of climate variability on components of the apple scab cycle based on leaf wetness. Databases of meteorological, inoculum release and foliar/fruit incidence of apple scab was available from 1987 to 2007 year for the location of Vacaria, RS. Yearly seasonal patterns of ascospore release were related to within-season weather variables. During the critical period for infection, risk infection events were summarized based on Mill's rules and related to meteorological variables. Scab incidence was related to onset and duration of ascospore release, meteorological variables and risk infection events. Empirical models were fitted to estimate the onset time of ascospore release and its duration and the number of risk infection events based on meteorological variables. An experiment was conducted in a 'Royal Gala' orchard to measure leaf wetness duration in the tree canopy and empirical models were adjusted for its estimate. The leaf wetness duration was longer at the lower canopy level and more accurately estimated by the daily number of hours of relative humidity greater than 90%. The onset of ascospore release season was always prior to the beginning of spring season and budding of the plant. Weather conditions during June were the most influential in the onset date of ascospore release and its duration; the higher the mean temperatures in June, earlier was the onset of ascospore release and longer its duration. Moist-related variables best explained the number of risk infection events. The incidence of the disease showed weak correlation with risk infection events and other within-season weather-related variables. The possible to estimate the onset time of ascospore release from the air temperature, rain precipitation and degree-days accumulated from a biofix (June 1st). The duration of ascospore release period was best estimated using monthly average of minimum temperature and accumulated rain during June. The model of Rossi *et al.* (2000) showed reasonable accuracy in estimating the onset time for ascospore release, but was not accurate to estimate its duration. Relative humidity and rainfall-based variables provided the best estimates of the number of risk infection events.

¹ Doctoral thesis in Agronomy, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brazil. (147 p.) July, 2011.

SUMÁRIO

	Página
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1 Cultura da macieira.....	5
2.2 Caracterização climática de Vacaria.....	6
2.3 Sarna da macieira.....	8
2.3.1 Etiologia, distribuição e importância da doença	8
2.3.2 Biologia do patógeno.....	8
2.3.3 Sintomatologia	9
2.3.4 Ciclo e epidemiologia	10
2.3.4.1. Fases de sobrevivência e disseminação.....	11
2.3.4.2. Fases de infecção, colonização e reprodução	14
2.3.4.3 Fatores epidemiológicos	15
2.3.5 Controle da doença	21
2.4 Modelos e sistemas de alerta para a sarna da macieira.....	23
2.5 Molhamento foliar	28
2.5.1 Duração do período de molhamento foliar (DPM).....	28
2.5.2 Variabilidade espacial duração do molhamento foliar (DPM).....	31
2.5.3 Estimativa da duração do período de molhamento (DPM).....	32
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	36
3.1 Área de estudo.....	36
3.2 Base de dados históricos.....	37
3.2.1 Série de dados meteorológicos.....	37
3.2.2 Dados epidemiológicos sobre sarna da macieira.....	38
3.2.3 Procedimentos e análises de dados	40
3.2.4 Cálculo de eventos de risco de infecção por sarna da macieira	47
3.3 Modelagem para a sarna da macieira.....	49
3.3.1 Modelos empíricos	49
3.3.2 Teste com modelos da literatura.....	50
3.4 Medição e estimativa da duração do molhamento foliar (DPM).....	52
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	57
4.1 Duração do molhamento foliar (DPM) em pomares de macieira	57

4.2 Estimativa da duração do período de molhamento (DPM) em pomares de macieira.....	65
4.2.1. Estimativa a partir de DPM medida sobre gramado.....	65
4.2.2 Estimativa a partir de parâmetros de umidade do ar.....	68
4.3 Disponibilidade de inóculo e intensidade de epidemias de sarna da macieira em função das condições meteorológicas.....	75
4.3.1 Padrões de início e período total de liberação de ascósporos.....	75
4.3.2 Condições meteorológicas e suas relações com padrões de liberação de ascósporos.....	78
4.3.2.1 Relações entre a liberação de ascósporos (ILA) e o acúmulo térmico.....	80
4.3.2.2 Correlações entre variáveis meteorológicas e o início da liberação de ascósporos (ILA).....	84
4.3.2.3 Correlações entre variáveis meteorológicas e a duração do período de liberação de ascósporos (DPL).....	87
4.3.3 Eventos diários de risco (ER) de infecção por sarna da macieira.....	92
4.4 Modelagem de epidemias de sarna da macieira em Vacaria, RS.....	99
4.4.1 Predição de início e duração da liberação de ascósporos de <i>V. inaequalis</i>	99
4.4.2 Modelos empíricos para a predição do número de eventos sazonais de risco (ESR).....	107
5 CONCLUSÕES.....	111
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	114
7 APÊNDICES.....	123

RELAÇÃO DE TABELAS

Página

1. Períodos de molhamento foliar (horas) para diferentes níveis de temperatura do ar (°C) necessários à infecção por ascósporos de <i>Venturia inaequalis</i> e período de incubação da sarna (dias) – Tabela de Mills ¹	18
2. Data de início e fim da liberação e número de ascósporos e incidência (%) de <i>Venturia inaequalis</i> em folhas e frutos de macieiras ‘Gala’. Estação Experimental de Fruticultura Temperada, Vacaria-RS, 1987 a 2007.....	39
3. Correlações entre o início da liberação de ascósporos de <i>Venturia inaequalis</i> em macieiras ‘Gala’ e variáveis meteorológicas em diferentes períodos. Vacaria-RS.....	45
4. Correlações entre o número de dias (N) da liberação de ascósporos de <i>Venturia inaequalis</i> em macieiras ‘Gala’ e variáveis meteorológicas em diferentes períodos. Vacaria-RS.....	46
5. Correlações entre o fim da liberação de ascósporos de <i>Venturia inaequalis</i> em macieiras ‘Gala’ e variáveis meteorológicas em diferentes períodos. Vacaria-RS.....	47
6. Intervalos de valores do coeficiente de confiança C utilizados para a interpretação do desempenho dos modelos de estimativa, segundo Camargo & Sentelhas (1997).....	52
7. Duração média do período de molhamento foliar (DPM, em h dia ⁻¹) em dosséis de macieiras ‘Royal Gala’ em céu aberto (D) e coberto por tela antigranizo (C). Vacaria-RS, 2009/2010.....	58
8. Diferenças médias de duração do período de molhamento (DPM), em h dia ⁻¹ , entre os estratos superior (S), médio (M) e inferior (I) de dosséis de macieiras ‘Royal Gala’ em céu aberto (descoberto) e sob tela antigranizo (coberto). Vacaria-RS, 2009/2010.....	62
9. Coeficientes de correlação (r), índice de concordância de Willmott (D) e coeficiente de determinação (R ²) para a duração do período de molhamento foliar (DPM) entre os estratos superior (S), médio (M) e inferior (I) do dossel de macieiras ‘Royal Gala’ em céu aberto (descoberto) e sob tela antigranizo (coberto). Vacaria-RS, 2009/2010.....	63

10. Coeficientes de correlação (r) e determinação (R ²), índice de concordância de Willmott (D), coeficiente de confiabilidade (C) e erros absolutos médios (EAM) para estimativas da duração do período de molhamento foliar em pomares de macieiras 'Royal Gala' através de modelos empíricos que utilizam diferentes limites de umidade relativa do ar (NHUR, %), depressão do ponto de orvalho (DPO, °C) e déficit de pressão de vapor (DPV, hPa) medidos em estação meteorológica, a 1,5 m de altura. Vacaria, RS.	71
11. Condições meteorológicas do período <i>biofix</i> -ILA (entre 1º de junho e o início da liberação de ascósporos) para <i>Venturia inaequalis</i> em 17 anos, de 1987 a 2007, em Vacaria-RS.	79
12. Condições meteorológicas entre o início e término da liberação de ascósporos (DPL, dias = duração do período de liberação) para <i>Venturia inaequalis</i> em 15 anos, de 1987 a 2007, em Vacaria-RS.	80
13. Coeficientes de correlação (Pearson) entre o número de eventos de risco de infecção nas classes leve, moderado e severo, de diferentes períodos, e a incidência (%) de sarna da macieira em folhas e frutos, em epidemias monitoradas no período de 1987 a 2007, em Vacaria-RS.	96
14. Coeficientes de correlação (Pearson) entre o número de eventos de risco (ER), para cada classe de infecção, e variáveis meteorológicas, para dois períodos críticos em 21 anos (1987 a 2007), em Vacaria-RS.	97
15. Modelos de regressão simples e múltipla, suas variáveis independentes ¹ , qualidade do ajuste pelo coeficiente de determinação (R ²) e erro padrão (EP) para a predição do dia juliano para início da liberação de ascósporos (ILA) do fungo <i>Venturia inaequalis</i> . Vacaria-RS, 1987 a 2007...	101
16. Modelos de regressão simples e múltipla, suas variáveis independentes ¹ , qualidade do ajuste pelo coeficiente de determinação (R ²) e erro padrão (EP) para a predição do número de dias da duração do período de liberação (DPL) dos ascósporos de <i>Venturia inaequalis</i> . Vacaria-RS, 1987 a 2007.	103
17. Erro padrão (EP), correlação (r), precisão (R ²), índice de concordância de Willmott (D), coeficiente de precisão e acurácia (C) e erros médio (EM) e absoluto médio (EAM) para estimativa do início (ILA) e fim (FLA) da liberação dos ascósporos de <i>Venturia inaequalis</i> , pelo modelo de Rossi <i>et al</i> (2000). Vacaria-RS, 1987 a 2007.	105
18. Modelos de regressão linear simples e múltipla, suas variáveis independentes ¹ , qualidade do ajuste pelo coeficiente de determinação (R ²) e erro padrão (EP) para a predição do número de eventos sazonais de risco (ESR) leve, moderado ou severo de sarna da macieira, usando dados meteorológicas do período de 15 de setembro a 30 de novembro (15/9 - 30/11). Vacaria-RS, 1987 a 2007.....	109

RELAÇÃO DE FIGURAS

Página

1. Ciclo de vida de *Venturia inaequalis*, mostrando os ascósporos (a) responsáveis pelas infecções primárias, produzidos nos pseudotécios (b), e os conídios (c) responsáveis pelas infecções secundárias (adaptado de Carisse *et al.*, 2011). 11
2. Precipitação pluvial e duração do período de molhamento foliar (DPM) foliar nos terços médio (M), inferior (I) e superior (S) de pomares de macieiras 'Royal Gala' em céu aberto (A e B) e coberto por tela antigranizo (C). Vacaria-RS, 2009/2010. 59
3. Coeficientes de variação (CV) diário (barras) e médio (linha) para duração do período de molhamento foliar entre os terços médio, inferior e superior de pomares de macieiras 'Royal Gala' em céu aberto (A e B) e coberto por tela antigranizo (C e D). Vacaria-RS, 2009/2010. 64
4. Relação entre a duração do período de molhamento foliar (DPM) medida sobre gramado, a 30 cm de altura, e DPM medida nos estratos superior, médio e inferior do dossel de macieiras 'Royal Gala' em céu aberto. Vacaria-RS, 2009/2010. 68
5. Relação entre duração do período de molhamento foliar (DPM) medida no estrato inferior de pomares de macieira 'Royal Gala' e DPM estimada em função do número de horas com umidade relativa igual ou superior a 85% (NHUR>85%), 87% (NHUR>87%), 90% (NHUR>90) e 92% (NHUR>92%), para todo período e dias sem precipitação. Vacaria, RS, 2009/2010. 72
6. Relação entre a duração do período de molhamento foliar (DPM) medida no estrato inferior de pomares de macieira 'Royal Gala' e DPM estimada em função da depressão do ponto de orvalho igual ou inferior a 1°C (DPO<1), 1,4 ° C (DPO<1,4), 1,7 ° C (DPO<1,7) e 2 ° C (DPO<2), para todo período e dias sem precipitação. Vacaria, RS, 2009/2010. 73
7. Relação entre a duração do período de molhamento foliar (DPM) medida no estrato inferior de pomares de macieiras 'Royal Gala' e DPM estimada em função do déficit de pressão de vapor igual ou inferior a 1,9 hPa (DPV<1,9), 2,4 hPa (DPV<2,4), 2,7 hPa (DPV<2,7) e 3,1 hPa (DPV<3,1), para todo período e dias sem precipitação. Vacaria, RS, 2009/2010. 74

8. Data de início e término do período de liberação de ascósporos de <i>Venturia inaequalis</i> , e sua respectiva duração em dias (números dentro da barras), em área da Estação Experimental da EMBRAPA, Vacaria-RS. Para os anos de 1999 e 2000 apenas as datas de início da liberação (▲) e para 2001 e 2002 apenas as datas de término da liberação (●) estavam disponíveis.....	76
9. Graus-dia acumulado entre 1º de junho e o início da liberação de ascósporos de <i>Venturia inaequalis</i> (<i>biofix</i> -ILA) e durante o período da liberação de ascósporos (DPL), em Vacaria-RS.....	81
10. Frequência de acúmulo térmico, em graus-dia (GD), entre 1º de junho e a data de início da liberação de ascósporos do fungo <i>Venturia inaequalis</i> , em 17 anos de monitoramento, em Vacaria, RS.....	83
11. Relação entre o início da liberação de ascósporos (ILA, dia juliano) de <i>Venturia inaequalis</i> e as variáveis graus-dia (GD) e precipitação pluvial acumulada entre 1º de junho (<i>biofix</i>) e o ILA, para 17 anos entre 1987 a 2007, Vacaria-RS. ** altamente significativo (1% de probabilidade de erro).....	84
12. Relação entre o início da liberação de ascósporos (ILA, dia juliano) de <i>Venturia inaequalis</i> e as variáveis temperaturas máxima (T _{máx}) e média (T _{med}) e seus respectivos coeficientes de variação (CV) diários do mês de junho, para 17 anos entre 1987 a 2007, Vacaria-RS. ** altamente significativo (1% de probabilidade de erro).	85
13. Relação entre o período de duração da liberação de ascósporos de <i>Venturia inaequalis</i> (DPL, dias) e a temperatura mínima (T _{mín}) e coeficiente de variação (CV) da umidade relativa (UR) para o período entre 1º de junho (<i>biofix</i>) e o início de liberação de ascósporos, para 15 anos entre 1987 a 2007, Vacaria-RS.	88
14. Relação entre a duração do período de liberação de ascósporos de <i>Venturia inaequalis</i> (DPL, dias) e as médias das temperaturas mínima (T _{mín}), média (T _{med}) e máxima (T _{máx}) e os coeficientes de variação (CV) das temperaturas média e mínima do mês de junho, para 15 anos entre 1987 a 2007, Vacaria-RS. ** altamente significativo (1% de probabilidade de erro).	89
15. Relação entre a duração do período de liberação de ascósporos de <i>V. inaequalis</i> (DLP) e as variáveis precipitação e graus-dia (GD) acumuladas no período, para 17 anos entre 1987 a 2007, Vacaria-RS. ** altamente significativo (1% de probabilidade de erro).....	90
16. Número de eventos de risco de infecção por sarna da macieira, estratificados como leve, moderado e severo para dois períodos críticos de infecção que incluem o início da brotação (15 a 30 de setembro) e da brotação e frutificação (15 de setembro a 30 de novembro) (A). incidência de sarna da macieira em folhas e frutos (B). A série histórica de variáveis meteorológicas (1987 a 2007), usada para calcular os eventos de risco, e as observações de doença são oriundos da área experimental da EMBRAPA Uva e Vinho, em Vacaria-RS.....	94

17. Relação entre datas (dia Juliano) de início da liberação dos ascósporos (ILA) de *Venturia inaequalis*, estimados pelo modelo de Rossi *et al* (2000) e observados, para 15 anos entre 1987 a 2007, em Vacaria-RS. 105
18. Diferenças (dias) entre datas de início da liberação de ascósporos de *V. inaequalis* observados e estimados pelo modelo de Rossi *et al* (2000), para 15 anos entre 1987 a 2007, Vacaria, RS. 106

RELAÇÃO DE APÊNDICES

	Página
1. Escala de fenologia da macieira.	123
2. Normal climatológica de Vacaria, RS, 1931-1960.....	124
3. Sumários mensais das variáveis meteorológicas dos meses de abril a dezembro do período de 1987 a 2007. Vacaria, RS.	125
4. Correlações (Pearson) entre o dia do início da liberação de ascósporos (ILA) do fungo <i>Venturia inaequalis</i> e as variáveis meteorológicas dos períodos de 45 dias antes do início da brotação (45DAIB), de maio a agosto e entre o <i>biofix</i> de primeiro de junho e o ILA. De 1987 a 2007, em Vacaria, RS.	143
5. Correlações (Pearson) da duração do período de liberação (DPL) de ascósporos de <i>Venturia inaequalis</i> com o dia Juliano do início da liberação dos ascósporos (ILA), e com as variáveis meteorológicas dos períodos: do <i>Biofix</i> de primeiro de junho a ILA, do DPL e do <i>biofix</i> ao fim da liberação de ascósporos (FLA). De 1987 a 2007, em Vacaria, RS.	144
6. Correlações (Pearson) da duração do período de liberação (DPL) de ascósporos de <i>Venturia inaequalis</i> com as variáveis meteorológicas dos períodos: 45 dias antes do início da brotação (45DAIB), 45 dias depois do início da brotação (45DDIB) e de junho a outubro. De 1987 a 2007, em Vacaria, RS.	145
7. Data de ocorrência de 50% das folhas de macieiras 'Royal Gala' e 'Fuji Suprema' em Vacaria, RS.....	146
8. Valores médios, mínimos, máximos, desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (CV) do graus-dia (GD) para os períodos do <i>biofix</i> em de 1º junho ao início da liberação dos ascósporos (<i>Biofix</i> - ILA), durante o período de liberação (DPL) e do <i>biofix</i> ao fim da liberação dos ascósporos (<i>Biofix</i> - FLA) de <i>Ventúria inaequalis</i> , entre 1987 e 2007 em Vacaria-RS.....	147

1 INTRODUÇÃO

A cultura da macieira apresenta grande importância econômica nos Estados do sul do Brasil, principalmente na região produtora dos Campos de Cima da Serra, no Rio Grande do Sul, e no Planalto Catarinense, em Santa Catarina. Dentre os fatores limitantes à produção de maçã estão as doenças, que causam significativas perdas econômicas à cultura. Nesse contexto, a sarna da macieira, causada pelo fungo *Venturia inaequalis* (Cke.) Wint, destaca-se entre as principais doenças. A macieira é altamente dependente de condições climáticas para atender às suas necessidades de crescimento e desenvolvimento. Por sua vez, doenças fúngicas, como a sarna, também são fortemente influenciadas pelas condições ambientais. A intensidade das epidemias de sarna pode variar de ano para ano, em função de alguns fatores-chave, tais como a intensidade da doença no ciclo anterior, que influencia a disponibilidade de inóculo inicial para as epidemias, e condições meteorológicas sazonais, em particular a temperatura do ar e variáveis relacionadas ao molhamento das folhas, como a precipitação pluvial e orvalho.

Para o controle da sarna da macieira há múltiplas medidas que podem ajudar a minimizar as perdas na produção. Em geral, o emprego de genótipos mais resistentes e o uso de fungicidas são as mais utilizadas. Porém, a eficiência de controle com fungicidas é fortemente dependente do momento e da qualidade da aplicação. Nesse sentido, um manejo que busque alta eficiência de controle

deve considerar o uso de uma estratégia que considere múltiplas táticas integradas. Um sistema para a previsão de risco de epidemias de sarna, com base no monitoramento e previsão de condições meteorológicas, torna-se uma ferramenta de utilidade para os produtores, no sentido de apoiar a tomada de decisão quanto ao momento das aplicações de fungicidas.

Vários estudos de avaliação de risco de epidemias de sarna da macieira, a partir de modelos preditivos da doença foram desenvolvidos, de forma a caracterizar riscos da doença e possibilitar previsões de ocorrência da doença, em curto e longo prazo. No entanto, a maioria desses estudos foi realizada em regiões de clima temperado frio, onde aspectos da epidemiologia da sarna da macieira são diferentes dos que prevalecem nas regiões tropicais, subtropicais e temperadas quentes. Não existem modelos ajustados para as condições edafoclimáticas das Regiões produtoras do Brasil, sendo essas diferentes da maioria das grandes regiões produtoras do mundo. Assim, torna-se importante conhecê-las e caracterizá-las, especificamente para a região de Vacaria, RS. Além disso, podem otimizar o manejo e a programação de safras, com base em dados disponíveis e em previsões meteorológicas e climáticas.

A partir da disponibilidade de uma série de dados de 1987 a 2007 compreendendo 21 anos de dados meteorológicos, 17 anos de data de início da liberação de ascósporos de *Venturia inaequalis*, 15 anos da duração desta liberação e 18 anos de incidência de sarna da macieira, na região produtora de Vacaria-RS, tem-se como hipótese a este trabalho que: a) variações interanuais e dentro de uma safra de temperatura e umidade relativa do ar influenciam os padrões temporais de eventos do ciclo da sarna da macieira e, em consequência, os padrões e a variabilidade interanual da incidência de sarna da macieira e b) uma vez caracterizadas as variáveis de influência, modelos empíricos podem ser

ajustados para prever eventos do ciclo ou variáveis determinantes de riscos de incidência da doença, para a região produtora de Vacaria, RS.

O objetivo principal deste trabalho foi estabelecer relações entre variáveis meteorológicas e parâmetros relacionados ao ciclo da sarna da macieira, em particular a duração do molhamento foliar, visando caracterizar e modelar os efeitos da variabilidade climática nas epidemias de sarna na região de Vacaria, Rio Grande do Sul.

Como objetivos específicos buscou-se:

- Caracterizar a variação espacial da duração do molhamento foliar, em dosséis de macieiras em céu aberto e sob tela antigranizo, a fim de melhorar o desempenho de modelos de estimativa desta variável;
- Avaliar o desempenho de modelos empíricos na estimativa da duração do molhamento foliar em pomares de macieira, a partir de medições feitas em estações meteorológicas.
- Caracterizar o padrão sazonal histórico das epidemias de sarna da macieira, na região de Vacaria, identificando variáveis meteorológicas de maior influência;
- Avaliar a associação entre epidemias de sarna em folhas e frutos de macieira com o início, duração e fim da liberação de ascósporos de *Venturia inaequalis*;
- Ajustar e testar modelos empíricos para estimar o início e a duração da liberação de ascósporos de *V. inaequalis*, em função de variáveis meteorológicas;
- Ajustar modelos para simular eventos de risco de infecção em etapas iniciais do ciclo vegetativo da macieira;

- Simular eventos de risco de infecção na série histórica de dados meteorológicos, a partir de relações estabelecidas pela Tabela de Mills e verificar sua relação com a intensidade de epidemias;
- Desenvolver modelos empíricos para predição da incidência de sarna da macieira, com base em variáveis meteorológicas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Cultura da macieira

O Estado do Rio Grande do Sul é o segundo maior produtor de maçãs no Brasil, sendo a Região dos Campos de Cima da Serra a maior produtora do Estado (BRDE, 2005 e AGAPOMI, 2010). Esta região é responsável por aproximadamente 68% do total produzido no Estado, onde se destaca o município de Vacaria, que foi responsável por 54% da produção estadual na safra 2009/2010 (AGAPOMI, 2010).

Dentre os elementos climáticos que afetam a cultura destacam-se a temperatura do ar, a precipitação pluvial, a umidade relativa do ar, o vento e a duração do brilho solar, os quais podem sofrer influências de outros fatores, tais como latitude, altitude e topografia da região (Petri, 2006). O zoneamento para o cultivo de macieira no Estado do Rio Grande do Sul considerou os seguintes critérios principais: número de horas de frio abaixo de 7,2°C de maio a agosto, temperatura média das máximas mensais de inverno (junho, julho e agosto), temperatura média mensal de verão (dezembro, janeiro e fevereiro) e total anual de precipitação pluvial (Westphalen & Maluf, 1979; Rio Grande do Sul, 1994).

Contudo, o zoneamento não evidenciou alguns fatores importantes, como a ocorrência de pragas e doenças, que também prejudicam o crescimento e desenvolvimento da cultura. Desta forma, além das limitações de natureza climática a cultura é afetada por muitas pragas e doenças, que ocorrem nas

principais regiões produtoras as quais, na maioria das vezes, estão relacionadas às variações dos elementos meteorológicos. Dentre estas, destaca-se a sarna da macieira, que é o principal problema fitossanitário das regiões produtoras, em todo o mundo (MacHardy, 1996; Bleicher, 1997; Boneti *et al.*, 2001; MacHardy *et al.*, 2001).

Além de afetar o crescimento e desenvolvimento das plantas a ocorrência de doenças representa alto custo na produção de maçãs. Em avaliação da produção integrada de maçãs, realizada pela EMBRAPA Uva e Vinho, o controle de pragas e doenças (fungicidas, inseticidas e aplicação de defensivos) representa aproximadamente 38 % do custo total de produção (Kreuz *et al.*, 2003).

2.2 Caracterização climática de Vacaria

O município de Vacaria se localiza nos Campos de Cima da Serra, que fazem parte da região ecoclimática do Planalto Superior - Serra do Nordeste, no extremo Nordeste do Estado do Rio Grande do Sul, fazendo divisa com o Estado de Santa Catarina.

A altitude de Vacaria varia de 684 m a 1.047 m. Segundo a classificação de Köppen, o clima da região de Vacaria é do tipo Cfb – temperado (temperado quente) e úmido com verões amenos. A região se caracteriza por invernos rigorosos, com ocorrência de geadas. A temperatura média mensal varia de 10,6°C em julho a 19,6°C em janeiro, com médias anuais das mínimas e máximas de 10,2°C e 22,3°C, respectivamente (IPAGRO, 1989). A média anual de precipitação pluvial é superior a 1.600 mm (Pereira *et al.*, 2009), com cerca de 100 dias de chuva durante o ano (IPAGRO, 1989).

As condições climáticas dos Campos de Cima da Serra, onde se localiza o município de Vacaria, foram descritas por Pereira, *et al.* (2009), a partir de uma série meteorológica de 60 anos. Os autores verificaram que a temperatura média mensal variou de 11,4°C a 20,6°C. Foram observadas tendências de diminuição da temperatura máxima e de aumentos na temperatura mínima e no número de dias de chuva (Pereira *et al.*, 2009). Para esses autores, os totais mensais médios de precipitação pluvial oscilam entre 101 mm e 174 mm mensais, não constituindo estação seca definida. Estes dados confirmam a característica de região chuvosa, verificada nos trabalhos desenvolvidos por IPAGRO (1989), Berlato *et al.* (1995) e Ávila *et al.* (1996).

Segundo Berlato *et al.* (2000) podem ocorrer quatro ou mais eventos de queda de granizo por ano na região, sendo a primavera a estação com maior probabilidade de ocorrência do fenômeno. Portanto, o granizo também deve ser considerado entre os elementos de risco climático à produção de maçãs, na região de Vacaria, RS.

A Região Sul do Brasil é considerada a de maior variabilidade nos elementos meteorológicos durante o ano, devido à influência da estrutura topográfica, das variações de latitude e longitude, da passagem de sistemas de massas de ar e da formação de frentes meteorológicas (Diniz *et al.*, 2003; Machado *et al.*, 2010). Essa variabilidade dentro do ano, devido às características da Região, ocasiona também variabilidade entre anos. Sabe-se que o Estado tem como uma das principais atividades econômicas a agropecuária, que é fortemente influenciada pelas condições climáticas. Desta forma, o estudo da variabilidade climática é importante para avaliar seu impacto sobre o crescimento e desenvolvimento de plantas, assim, como para a ocorrência de pragas e doenças.

2.3 Sarna da macieira

2.3.1 Etiologia, distribuição e importância da doença

A sarna da macieira, causada pelo fungo ascomiceto *Venturia inaequalis* (Cooke) Wint., está entre as doenças de maior importância econômica na cultura da macieira em todo mundo (Bleicher, 1997; MacHardy *et al.*, 2001; Boneti *et al.*, 2006; Rossi *et al.*, 2007). Ela é considerada a principal doença da macieira nas regiões de clima temperado úmido (Bleicher, 1997; Boneti *et al.*, 2001; Boneti *et al.*, 2006).

No Brasil, a doença é encontrada em todas as regiões produtoras de maçãs. Naquelas em que a primavera e o verão apresentam elevada umidade e temperaturas amenas, como no Planalto Catarinense, a sarna pode causar perdas de até 100%, caso não sejam tomadas medidas adequadas de controle (Boneti *et al.*, 2006). A sarna é uma típica doença policíclica, com sintomas perceptíveis em folhas e frutos (MacHardy, 1996; Rossi *et al.*, 2007). As perdas causadas pela doença se manifestam diretamente, por meio da queda das flores e depreciação dos frutos e, indiretamente, pelo desfolhamento e conseqüente diminuição do vigor das plantas (Boneti *et al.*, 2003; Boneti & Katsurayama, 2008).

2.3.2 Biologia do patógeno

Os pseudotécios, que contêm os ascos e seus ascósporos, são as estruturas reprodutivas do fungo *Venturia inaequalis*. Na fase telemórfica ou sexuada, o fungo produz pseudotécios em folhas caídas sobre o solo (Agrios, 1988; Bleicher, 1997). Os ascos, de 50 a 100 por pseudotécio, são oblongos ou cilíndricos, bitunicados e contêm oito ascósporos cada (MacHardy, 1996; Bleicher, 1997). O ascósporo (11 a 15 x 5 a 7 μm) é septado na terça parte superior, hialino quando imaturo e castanho claro quando maduro (Agrios, 1988; MacHardy, 1996).

De acordo com este autor, na fase amorfa ou assexuada o fungo apresenta, quando jovem, micélio hialino, o qual vai escurecendo com o passar do tempo, até formar um estroma subcuticular ou intraepidermal. Os conidióforos, formados a partir do estroma, são curtos, eretos, intumescidos na base e de cor castanha. No ápice de cada conidióforo se forma apenas um conídio (12 a 22 x 6 a 9 μm), de cor castanha, liso, geralmente bicelulado e de formato oval (Agrios, 1988; MacHardy, 1996). Os conídios são produzidos nas lesões presentes nas folhas, frutos e, às vezes, nos ramos tenros.

2.3.3 Sintomatologia

Os sintomas da sarna manifestam-se nas folhas, ramos novos, flores, pedúnculos e frutos (MacHardy, 1996; Bleicher, 1997; Boneti *et al.*, 2001; Berton *et al.*, 2007). Normalmente, os primeiros sintomas são vistos durante a primavera, na forma de lesões nas folhas em expansão, sendo, nesta época, o começo do período crítico da doença, coincidindo com o início da brotação. Nas folhas novas, em ambas as faces, surgem inicialmente pequenas manchas de cor verde oliva, que, com o passar do tempo, tornam-se acinzentadas. As lesões possuem formas circulares e isoladas ou podem coalescer, espalhando-se por toda superfície foliar (Agrios, 1988; Bleicher, 1997). Ataques severos podem afetar o pecíolo, causando a queda precoce das folhas e frutos pequenos atacados podem sofrer rachaduras, deformações, além da queda prematura, usualmente decorrentes da presença de sintomas no pedúnculo (Bleicher, 1997; Boneti *et al.*, 2001). Ramos novos, quando atacados, podem apresentar, ainda, sintomas de cancro.

Segundo Boneti *et al.* (2006), além de o ataque ocorrer em frutos pequenos, na maturação eles podem apresentar lesões circulares, de coloração escura, chegando até 3 mm de diâmetro. Essas lesões pequenas, na maturação,

são oriundas de infecção secundária e a doença é denominada sarna de verão (Boneti & Katsurayama, 2008). Nos frutos de película verde (ex. cultivar Golden Delicious), essas lesões secundárias são, inicialmente, vermelhas e escurecem à medida que se desenvolvem (Boneti *et al.*, 2006). As lesões podem, ainda, continuar a aumentar de tamanho durante a armazenagem em câmara fria.

2.3.4 Ciclo e epidemiologia

A severidade das epidemias de sarna pode ser bastante variável de ano para ano, pois depende de fatores como a severidade da doença no ciclo anterior e condições meteorológicas durante a safra. O ciclo de vida de *Venturia inaequalis* (Figura 1) é constituído de duas fases distintas: uma saprofítica ou sexuada, que ocorre durante o período de repouso da macieira, nas folhas caídas sobre o solo, e a fase parasítica ou assexuada, que se manifesta durante o período vegetativo da macieira (Agrios, 1988; Machardy, 1996; MacHardy *et al.*, 2001). De modo geral, conforme ocorre no Brasil, o período crítico para a ocorrência da sarna (fase parasítica) inicia-se na primavera (setembro/outubro), com a brotação da macieira, e prolonga-se até o final de novembro a meados de dezembro, quando cessa a liberação de ascósporos, caracterizando a infecção primária. A partir desta infecção podem ocorrer infecções secundárias, por meio de conídios produzidos nas lesões. Nesta fase, o aumento da doença nas folhas e o progresso da epidemia podem se estender até o período de queda das folhas. Assim, tem-se a fonte de inóculo para o próximo ciclo, iniciando-se a formação dos pseudotécios, que permitem a sobrevivência do fungo durante o outono e inverno (fase saprofítica).

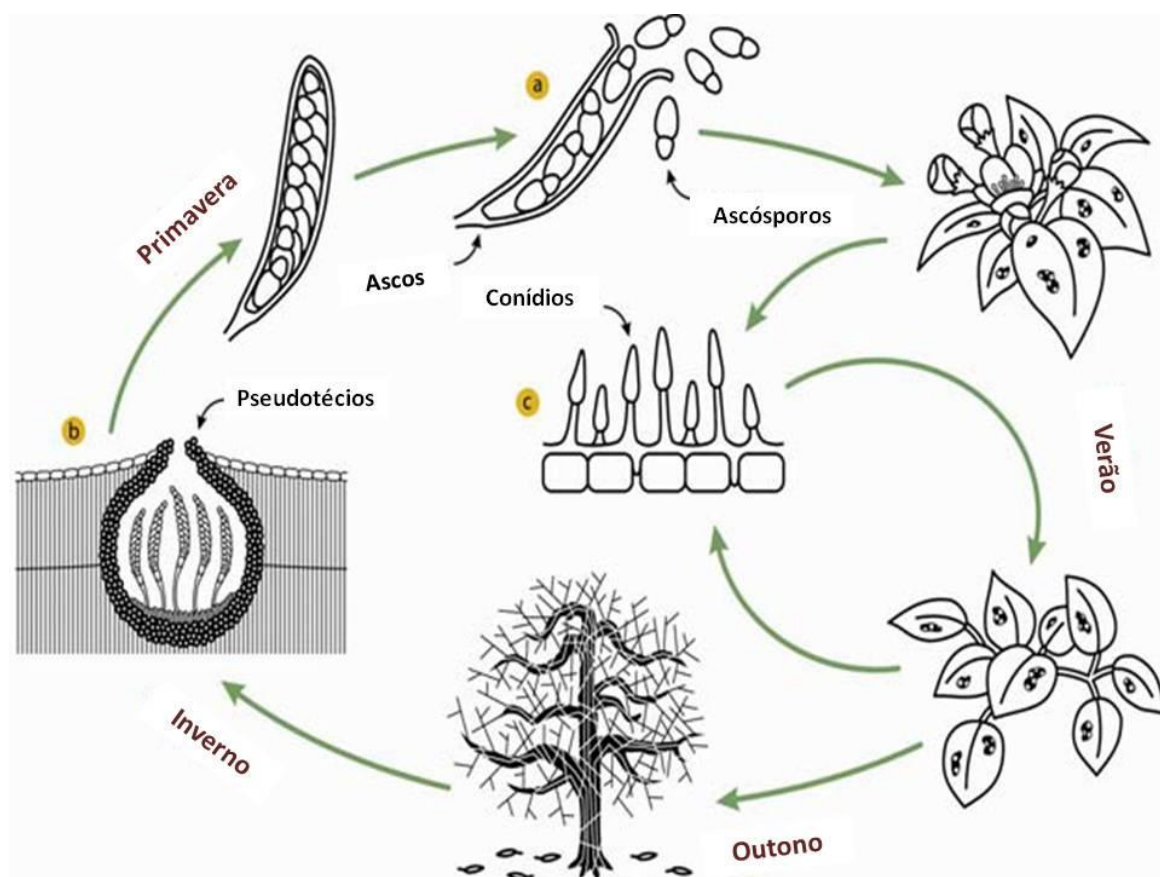


FIGURA 1. Ciclo de vida de *Venturia inaequalis*, mostrando os ascósporos (a) responsáveis pelas infecções primárias, produzidos nos pseudotécios (b), e os conídios (c) responsáveis pelas infecções secundárias (adaptado de Carisse *et al.*, 2011).

2.3.4.1. Fases de sobrevivência e disseminação

No outono, após a queda natural das folhas e a morte das suas células, o micélio penetra profundamente no tecido do hospedeiro e inicia-se a formação do pseudotécio. Para que isso ocorra, o anterídio e o ascogônio precisam ser oriundos de indivíduos distintos, uma vez que o fungo é tipicamente heterotálico (Agrios, 1988; MacHardy, 1996). O pseudotécio se forma durante o outono e inverno, sendo a temperatura ideal de 4°C (Gadoury & MacHardy, 1982a). Não há formação de pseudotécio em temperaturas iguais ou superiores a 15°C (15 a 22°C). Por outro lado, temperaturas muito baixas (-1°C) também inviabilizam sua formação (MacHardy, 1996; MacHardy *et al.*, 2001). A umidade também é um

fator limitante na formação dos pseudotécios, que não ocorrem em folhas mantidas secas (Gadoury & MacHardy, 1982a; James & Sutton, 1982).

A produção, maturação e liberação dos ascósporos ocorrem no final do inverno e durante a primavera, e dependem de temperaturas mais altas e presença de água (Gadoury & MacHardy, 1982; James & Sutton, 1982). Desta forma, sua produção e maturação ocorrem numa faixa ideal de temperatura, entre 16 e 18°C, não ocorrendo acima de 24°C (James & Sutton, 1982). Na primavera, quando as folhas estão úmidas ou na presença de chuvas, os ascósporos são ejetados (Gadoury & MacHardy, 1982). Liberações mais intensas e mais rápidas foram observadas em temperaturas mais altas, de 10 a 20°C, enquanto que em temperaturas baixas, de 2°C ou menos, praticamente não há liberação de ascósporos (MacHardy & Gadoury, 1986).

Períodos chuvosos são importantes para liberações de ascósporos, sendo que acima de 95% dos ascósporos são liberados durante o dia e o restante à noite (MacHardy & Gadoury, 1986). O pico de liberação de ascósporos é observado entre 3 e 6 h após o início da chuva, embora os mesmos só possam ser capturados após precipitação mínima de 0,2 mm (MacHardy & Gadoury, 1986).

Para *V. inaequalis* a maturação dos ascos precede a maturação dos ascósporos (Gadoury *et al.*, 1992). No início da temporada as liberações não são normalmente altas e é necessário que, pelo menos, 10 a 15% dos ascos contenham ascósporos morfológicamente maduros (MacHardy, 1996).

O acúmulo térmico na forma de graus-dia (GD) é contabilizado para estimar a maturação e liberação de ascósporos de *V. Inaequalis*. Muitos autores consideram como graus-dia o somatório da temperatura média diária, tendo como temperatura base 0°C (Rossi *et al.*, 2009). Desta forma, a literatura mostra que,

de modo geral, aproximadamente 50% dos ascósporos estão maduros quando o acúmulo de GD chega a 534°C (Beresford, 1999). Assim, é considerado que a porcentagem de ascósporos maduros de *V. Inaequalis* segue o padrão de uma curva sigmóide em relação ao acúmulo de GD.

Dos primeiros ascos formados, poucos estão maduros e prontos para liberar ascósporos no início da primavera. A taxa de maturação dos ascósporos, primeiramente, atinge um pico e, depois, diminui ao longo do período (Aylor e Qiu, 1996). A frequência cumulativa de maturação dos ascósporos segue, aproximadamente, uma curva sigmoideal que se estende por cerca de 6 a 8 semanas, após o estágio de ponta verde das macieiras (Gadoury & MacHardy, 1982), em Nova Hampshire nos Estados Unidos. Ascósporos de *V. inaequalis* são liberados, principalmente, quando as folhas estão molhadas por chuva (Agrios, 1988; Aylor & Sutton, 1992).

Em função do acúmulo de GD, pela soma das temperaturas médias, enquanto as folhas estiveram molhadas, MacHardy (1996) considera três fases na maturação dos ascósporos: fase inicial lenta (1 a 81 GD), quando 20% dos ascósporos estão prontos para serem descarregados; fase acelerada (82 a 267 GD), quando ocorre alta liberação, estando 70% dos ascósporos maduros; e fase final (268 a 428 GD), quando 10% finais dos ascósporos estão prontos para serem liberados. No estudo de Rossi *et al.* (2009), na Itália, a fase inicial durou 10 dias, em anos úmidos, e três semanas, em anos mais secos, enquanto que a fase intermediária durou 30 dias.

Segundo observações de Giousuè *et al.* (2000) há risco potencial de liberação de ascósporos com 80 GD (considerando o somatório da temperatura média do período de molhamento), quando os primeiros ascósporos estão maduros, mas ainda não são liberados. Este limite foi fixado com base no

conhecimento de que a maturação dos ascósporos é precedida pela maturação do asco (Gadoury *et al.*, 1992). Portanto, no início da temporada, ascósporos morfológicamente maduros não são liberados até que, pelo menos, 10 a 15% dos ascos contenham ascósporos maduros. Na prática, neste período inicial os ascósporos não são liberados, mesmo que ocorram eventos de precipitação, que são favoráveis (Rossi, pers. Comm.).

Muitos autores ajustaram modelos empíricos, como logísticos (Goissuè *et al.*, 2000; Rossi *et al.*, 2000) ou de Gompertz (Rossi *et al.*, 2009), com base no acúmulo térmico para início e fim da liberação de ascósporos, quando da observação da maturação dos mesmos. De acordo com Campbell & Madden (1990), a equação de Gompertz não é simétrica em torno do ponto da inflexão, ou seja, a taxa absoluta de descarga de ascósporos se aproxima do ponto de inflexão mais rapidamente e diminui mais lentamente do que no modelo logístico. Essa falta de simetria é biologicamente razoável, porque a umidade é maior no início da primavera do que mais tarde na temporada, em muitos locais (Rossi *et al.*, 2009). Assim, o acúmulo térmico e a velocidade de maturação e liberação de ascósporos variam de local para local, em função das condições climáticas.

2.3.4.2. Fases de infecção, colonização e reprodução

O processo de infecção se inicia logo após a deposição do ascósporo sobre as folhas da macieira. Entretanto, para que esse processo ocorra é necessário que a superfície foliar se mantenha molhada por um determinado tempo, o que é função da temperatura (Mills, 1944; McHardy, 1996). Os ascósporos depositados sobre a superfície das folhas ou frutos germinam e penetram no tecido na presença de água livre e temperatura adequada (Tabela 1). Um tubo germinativo é formado, em cuja extremidade se forma o apressório,

do qual sai um tubo micelial delgado que perfura a cutícula e a parede externa da epiderme das folhas e frutos, e o fungo se estabelece no tecido subcuticular.

Após o estabelecimento da infecção primária por ascósporos, os conídios, produzidos em número de até 100 mil por lesão, são os responsáveis pela infecção secundária (Agrios, 1988; MacHardy, 1996) completando-se, assim, a epidemia por sarna. Novamente, a água é o principal fator de disseminação do patógeno, pois provoca o inchamento dos conidióforos e a imediata liberação dos conídios. Estes são carregados pelos respingos de água e pela corrente de ar para outras partes das plantas onde, havendo água livre, começam a germinar e penetrar nos tecidos, de modo similar ao que ocorre com os ascósporos.

A produção de conídios só ocorre quando a umidade relativa do ar é maior que 60% (Stensvand *et al.*, 2000). A expansão máxima das lesões ocorre a 19°C, sendo que pouca expansão é observada abaixo de 0°C ou acima de 26°C.

2.3.4.3 Fatores epidemiológicos

A ocorrência de infecções por sarna da macieira depende de três fatores principais: disponibilidade de inóculo primário (ascósporos), hospedeiro suscetível e condições favoráveis de ambiente (meteorológicas).

a) Fatores relacionados ao hospedeiro

O acompanhamento dos estádios fenológicos da cultura (Apêndice 1) é importante para o estabelecimento de estratégias de controle da sarna, cujo período crítico vai do início da brotação (estádio fenológico C) ao final da projeção de ascósporos (fim de novembro) (Berton, 2004). Durante a floração há uma fase aguda nesse processo, identificada pela alta suscetibilidade da planta, concomitantemente aos maiores picos de liberação de ascósporos (Boneti & Katsurayama, 1988). Resultados obtidos em cinco anos (de 1982 a 1987), na

Região do Alto do Vale do Peixe em Santa Catarina, mostram que o final da liberação de ascósporos ocorre em fins de novembro e o início da liberação se dá em agosto (Berton & Melzer, 1989). Ainda, os autores verificaram que a ocorrência de picos de liberação variou no decorrer dos anos, mas o maior número de ascósporos liberados coincide com a fase mais suscetível da planta, no estágio de ponta verde, seguida pela floração.

As folhas de macieiras são suscetíveis à sarna do momento em que se abrem até 12 dias após, de modo que a infecção ocorrida nesse período deve manifestar sintomas rapidamente. A partir de 12 ou mais dias de idade, as folhas adquirem resistência. Desta forma, a eficiência de *V. inaequalis* em causar infecção está subordinada à idade da folha (MacHardy, 1996; Berton, 2004).

Segundo Aylor (1998), em folhas de três a cinco dias de idade bastam cinco ascósporos para causar infecção, ao passo que, em folhas de 12 dias de idade, são necessários sessenta ascósporos. Além disso, Berton (2002) citado por Berton (2004) verificou que folhas com mais de 12 dias inoculadas com *V. inaequalis* podem levar de três a quatro meses para manifestar os sintomas, sendo estes totalmente atípicos.

A época de queda das folhas também influencia o potencial de inóculo do pomar (Boneti *et al.*, 2001). Como exemplo, observou-se que, em São Joaquim, 95% dos ascósporos são oriundos de folhas caídas em maio e junho (Berton, 2004).

Caracterizando o hospedeiro com relação à fenologia em Vacaria, o início da brotação da macieira ocorre, em média, em 19 de setembro, nas cultivares 'Fuji' e 'Gala' (Cardoso, 2011). As fases de brotação, floração e início de frutificação ocorrem, prioritariamente, do final de setembro a novembro, segundo o mesmo autor. A queda de folhas em Vacaria ocorre, em média, em 22 de maio,

nas cultivares 'Fuji' e 'Gala', segundo observações feitas em pomares da região de Vacaria (Apêndice 7).

b) Fatores relacionados ao patógeno

Dois momentos são imprescindíveis no acompanhamento do patógeno: o início da liberação dos ascósporos, a partir do qual surge a possibilidade de ocorrer infecção primária, e o término da projeção, quando, teoricamente, poderiam ser suspensas as pulverizações contra a sarna, no caso de não haver manchas no pomar (Berton, 2004).

A produção de ascósporos, a determinação da maturação de ascos e ascósporos e o acompanhamento da liberação dos ascósporos, em cada ciclo da cultura, são informações importantes no estudo do patógeno e auxiliam na determinação da severidade da infecção (Berton, 2004 e Rossi *et al.*, 2009). Entretanto, segundo estes autores, todo esse processo é difícil e oneroso, independentemente do método de coleta dos ascósporos, sendo realizado, normalmente, com fins experimentais. Nas regiões produtoras do Brasil, a determinação de maturação de ascos e ascósporos pode iniciar em julho ou agosto, bastando uma análise semanal em amostra de folhas caídas (Berton, 2004).

c) Fatores relacionados ao ambiente

Em 1944, Mills e em 1951 Mills e La Plante publicaram uma tabela, hoje mundialmente conhecida como "tabela de Mills" (Tabela 1), por meio da qual é possível determinar a ocorrência de períodos de infecção por *V. inaequalis* (Berton, 2004; MacHardy, 1996).

A Tabela de Mills (Tabela 1) relaciona o grau de infecção por *V. inaequalis* a uma ampla faixa de temperatura e ao tempo em que as folhas devem

permanecer molhadas (Mills, 1944). Após um período de 8 a 17 dias surgem as lesões típicas da doença e, posteriormente, ocorre grande produção de conídios.

TABELA 1. Períodos de molhamento foliar (horas) para diferentes níveis de temperatura do ar (°C) necessários à infecção por ascósporos de *Venturia inaequalis* e período de incubação da sarna (dias) – Tabela de Mills¹.

Temperatura ²	Duração do molhamento foliar ³			Incubação ⁴
	Infecção Leve	Infecção Moderada	Infecção Severa	
25,6	13,0	17,0	26,0	-
25,0	11,0	14,0	21,0	-
24,4	9,5	12,0	19,0	-
17,2 - 23,9	9,0	12,0	18,0	9,0
16,7	9,0	12,0	19,0	10,0
16,1	9,0	13,0	20,0	10,0
15,6	9,5	13,0	20,0	11,0
15,0	10,0	13,0	21,0	12,0
14,4	10,0	14,0	21,0	12,0
13,9	10,0	14,0	22,0	13,0
13,3	11,0	15,0	22,0	13,0
12,8	11,0	16,0	24,0	14,0
12,2	11,5	16,0	24,0	14,0
11,7	12,0	17,0	25,0	15,0
11,1	12,0	18,0	26,0	15,0
10,6	13,0	18,0	27,0	16,0
10,0	14,0	19,0	29,0	16,0
9,4	14,5	20,0	30,0	17,0
8,9	15,0	20,0	30,0	17,0
8,3	15,0	23,0	35,0	-
7,8	16,0	24,0	37,0	-
7,2	17,0	26,0	40,0	-
6,6	19,0	28,0	43,0	-
6,1	21,0	30,0	47,0	-
5,5	23,0	33,0	50,0	-
5,0	26,0	37,0	53,0	-
4,4	29,0	41,0	56,0	-
3,9	33,0	45,0	60,0	-
3,3	37,0	50,0	64,0	-
2,7	41,0	55,0	68,0	-
0,5 - 2,2	48,0	72,0	96,0	-

¹ Tabela de MILLS (1944), modificada por JONES *et al.* (1984); ² Temperatura média do ar durante o período de molhamento foliar; ³ O início do período de infecção é considerado a partir do início da chuva; ⁴ Número de dias a partir do início da chuva, previstos para o aparecimento dos sintomas.

A germinação e a infecção são altamente dependentes do período em que a folha permanece molhada e, portanto, da umidade relativa do ar. É provável que uma grande quantidade de esporos inicie o processo de infecção, mas poucos cheguem a completá-lo, especialmente em situações de chuvas de curta duração, seguidas por umidade relativa inferior a 75% (MacHardy, 1996). O posterior desenvolvimento da doença (infecções secundárias) é influenciado pela temperatura do ar, sendo rápido a 19 °C. A macieira permanece exposta a novas infecções durante todo seu ciclo, em razão de condições favoráveis de temperatura e de umidade do ar, além da continuidade da emissão de novas ramificações e/ou folhas (Berton, 2004).

De acordo com a Tabela de Mills, a infecção por sarna ocorre com um mínimo de 9 h de molhamento foliar. Entretanto, podem ocorrer intervalos entre períodos de molhamento foliar, dificultando a caracterização do tipo de infecção. O fungo *V. inaequalis* se desenvolve numa ampla faixa de temperatura, de 5,5 a 25,5 °C, conforme se verifica na Tabela de Mills (Tabela 1). A faixa ótima para o desenvolvimento do fungo está compreendida entre 16 e 24 °C.

A utilidade da tabela de Mills na previsão acurada de períodos de infecção tem sido avaliada em muitas regiões produtoras de maçã, no mundo, e em numerosos estudos sob condições controladas. Esses estudos foram revistos por MacHardy e Gadoury (1989), os quais estudaram as relações entre molhamento foliar, temperatura do ar e infecção, e concluíram que a infecção por ascósporos requer, aproximadamente, três horas menos do que foi reportado por Mills. Este novo critério se deveu ao fato de que a quase totalidade de ascósporos é liberada durante o dia. Desta forma, um período de infecção do ciclo primário deve ser computado a partir das 7 h da manhã, se a chuva iniciou à noite. Se a chuva iniciar durante o dia, a infecção vai ocorrer em menos tempo que o previsto pela

tabela de Mills (Berton, 2004). Nesse caso, pode-se reduzir em torno de três horas o tempo de molhamento foliar para que ocorra uma infecção, o que é válido para a maior faixa de temperatura da tabela.

A melhor utilização da tabela de Mills, em qualquer parte do mundo onde se produza maçã, prevê sua adaptação para as condições locais. Desta maneira, as curvas sofrem ligeiras modificações, obtendo-se, assim, melhores resultados (Berton, 2004). Quando um número menor de esporos for disponível, um período de molhamento mais prolongado é requerido para produzir um número detectável de lesões.

Estudo desenvolvido por Santos (2003), em Vacaria, no Rio grande do Sul, concluiu que a Tabela de Mills é eficiente no monitoramento de infecções por sarna, podendo ser utilizada em sistemas de previsão da doença. Berton & Melzer (1989) testaram o sistema de Mills para o Estado de Santa Catarina, sendo constatado um adequado controle da doença, pela eficiente detecção dos períodos infectivos.

Quando ocorre intenso ataque de sarna, as folhas infectadas caem prematuramente. Se isso ocorrer muito cedo (janeiro ou fevereiro), essas folhas não chegam a liberar ascósporos na primavera (Berton, 2004). As descargas mais importantes para causar infecções primárias no ciclo seguinte são provenientes de folhas que caem durante os meses de maio e junho, as quais liberam maior número de ascósporos (Berton & Melzer, 1984).

Estudos realizados por Berton & Melzer (1989) comprovaram uma alta frequência de períodos de infecção na região do Vale do Rio do Peixe, Santa Catarina, o que pode influir diretamente a severidade da doença. Menor número de períodos de infecção se relaciona diretamente com baixa incidência da doença e, conseqüentemente, com redução do número de aplicações de fungicidas.

2.3.5 Controle da doença

A evolução no controle da sarna da macieira passou por três etapas distintas (Berton, 2004): 1 - período em que as aplicações de fungicidas eram baseadas na fenologia do hospedeiro, principalmente relacionada ao desenvolvimento das gemas, em que os fungicidas eram utilizados de forma preventiva; 2 - período em que as aplicações de fungicidas eram relacionadas com o desenvolvimento de esporos do fungo, em que as aplicações também eram feitas de forma preventiva; 3 - época mais recente, na qual as aplicações de fungicidas passaram a ser feitas baseando-se nos fatores que desencadeiam o processo da doença, quais sejam: hospedeiro, patógeno e ambiente.

A principal medida de controle da sarna é o uso de fungicidas (Boneti *et al.*, 2006), sendo que as principais cultivares (Gala, Fuji e Golden Delicious) são altamente suscetíveis a esta doença. É muito importante o controle da doença nas folhas, pois a epidemia aumenta até o período de início da queda das folhas. Se a doença não for controlada, além dos danos à cultura, mantém-se o inóculo para o próximo ciclo (Berton *et al.*, 2007).

Dentre os fungicidas utilizados para o controle da sarna da macieira existem os protetores (captan e ditiocarbamatos) e sistêmicos (inibidores da biossíntese do ergosterol – IBEs). Benzimidazóis e dodine são pouco utilizados devido à resistência do fungo a estes produtos (Boneti *et al.*, 2006; Boneti *et al.*, 2001). Segundo Berton *et al.* (2007), os fungicidas sistêmicos para controle da sarna da macieira podem conter o avanço da doença, no campo. Entretanto, o uso de fungicidas protetores é importante dentro de um sistema de manejo da resistência do patógeno aos fungicidas, no campo. É benéfico para o produtor e

para o sistema de produção ter opções de fungicidas de diferentes grupos para o correto manejo da doença (Berton *et al.*, 2007).

Segundo Boneti & Katsurayama (2008), os IBEs já foram eficientes em controlar a sarna. Porém, estudos sobre a sensibilidade da população do fungo e a eficiência dos tratamentos no campo têm mostrado que os fungicidas IBEs são cada vez menos efetivos no controle desta doença. Assim, é importante a aplicação de fungicidas protetores (dos grupos das estrobirulinas e anilinopyrimidinas) antes de períodos chuvosos, visando reduzir a dependência dos fungicidas IBEs. O uso de fosfitos indica novas alternativas de controle, até que se tenham variedades geneticamente resistentes e que sejam aceitas pelos consumidores (Boneti & Katsurayama, 2008).

Recentemente, foram introduzidos dois fungicidas com modos de ação diferentes sobre o fungo. Um deles é o kresoxim-methyl (KM), pertencente ao grupo das estrobirulinas, que é erradicante e de alta persistência. Outro fungicida, denominado pyrimethanil, pertence ao grupo das anilinopyrimidinas. Esses fungicidas têm ação protetora e curativa e são rapidamente absorvidos, sendo menos afetados pela chuva. Ambos são muito importantes, em uso alternado ou em misturas com outros fungicidas, visando retardar o aparecimento de resistência (Boneti *et al.*, 2001).

Com a disponibilidade de fungicidas mais eficientes e melhor conhecimento da epidemiologia é possível o manejo racional da sarna, com menor número de pulverizações. Para o controle da sarna, os fungicidas podem ser aplicados sistematicamente, com base na fenologia da macieira (calendário) ou seguindo, além da fenologia, a liberação de ascósporos e os períodos de infecção da doença, de acordo com a Tabela de Mills (Tabela 1).

De acordo com Boneti & Katsurayama (2008), o controle de doenças e o custo do mesmo são fatores limitantes da cultura da macieira na atualidade, pois os fungicidas respondem por cerca de 20% do custo de produção. Por isto, o manejo das doenças na cultura deve ser otimizado, principalmente no caso da sarna da macieira, que é a doença que mais afeta a cultura.

A redução das perdas causadas pela doença também pode ser obtida com o uso de cultivares resistentes, a partir de diferentes programas de melhoramento (Sanhueza, 2004). Entre as selecionadas no exterior, destacam-se as cultivares 'Prima', 'Priscilla', 'Jonafree', 'Liberty' e 'Freedom' e, no Brasil, as cultivares 'Fred Hough' e 'Catarina' (Sanhueza, 2004). Segundo o mesmo autor, a maior parte das cultivares resistentes à sarna da macieira é suscetível às doenças de verão e têm suscetibilidade variável às outras doenças que ocorrem na primavera. Contudo, as duas principais cultivares plantadas, 'Gala' e 'Fuji', são suscetíveis à sarna da macieira.

2.4 Modelos e sistemas de alerta para a sarna da macieira

Em condições de campo, todas as doenças de plantas ocorrem quando um ou mais fatores de predisposição se encontram em desequilíbrio. Esses fatores envolvem os três componentes do sistema ambiente-patógeno-hospedeiro. MacHardy (1979), citado por Santos *et al.* (2005), afirma que o uso de fungicidas pode ser uma medida eficiente. Porém, parte das pulverizações poderia ser eliminada, sem risco de desenvolvimento da sarna, se as condições de umidade relativa e temperatura do ar não forem favoráveis à infecção. Estratégias para aplicação de fungicidas têm mudado nas últimas décadas, baseadas em um calendário racional de pulverizações agendadas em função do risco real de infecção (Rossi *et al.*, 2007).

Alguns autores (Gadoury & MacHard, 1982; e Schwabe, *et al.*, 1989 citado por Rossi *et al.*, 2007) salientam que um passo fundamental no desenvolvimento de uso racional de fungicidas contra a sarna da macieira foi a Tabela de Mills (Tabela 1).

A partir da tabela de Mills surgiram os sistemas de aviso fitossanitários para o controle da sarna da macieira. Segundo Boneti *et al.* (2006), nesses sistemas as aplicações sucessivas são efetuadas de acordo com a ocorrência de períodos de infecção. A base biológica do sistema de previsão é que a água livre na superfície da folha é essencial para a germinação e a penetração dos ascósporos no tecido da planta, sendo estes processos influenciados pela temperatura do ar (Machardy & Gadoury, 1989; Campbell & Madden, 1990).

Em muitos países, a tabela de Mills revolucionou o sistema de controle da sarna da macieira. Na Europa e nos Estados Unidos, foram criadas estações de avisos fitossanitários, com equipamentos modernos, possibilitando informar aos produtores a ocorrência de períodos de infecção e a necessidade de controle. O sistema de alerta fitossanitário, atualmente utilizado na região de Vacaria-RS (o Sisalert), tem como base essa tabela.

Com base na pioneira tabela de Mills, diversos estudos foram realizados no sentido de elaborar modelos aplicados a determinadas condições, para serem incluídos em sistemas de previsão da ocorrência da doença. As primeiras tentativas em construir modelos para a sarna da macieira remontam à década de 1970. Segundo Rossi *et al.* (2007), os mesmos foram descritos em linguagens de computador, que se tornaram obsoletas e sem suporte em validação. Esses modelos são: Epiven (Kranz *et al.*, 1973 citado por Rossi *et al.* (2007) e Machardy (1996); Analytis (1973) citado por Rossi *et al.* (2007) e Machardy (1996); Visin (Jones, 1978) citado por Rossi *et al.* (2007) e Machardy (1996); Applescab

(Arneson *et al.*, 1979) citado por Rossi *et al.* (2007) e Machardy (1996); e Simulator (Minogue, 1978) citado por Rossi *et al.* (2007) e Machardy (1996).

A segunda geração de modelos foi criada na década de 1980. Segundo Rossi *et al.* (2007), esses modelos foram elaborados para serem executados em computador ou eram exclusivamente associados a estações meteorológicas. Em vários casos, informações sobre a estrutura dos modelos e parâmetros eram deficitárias e somente descrições dos dados de entrada eram fornecidas. Dentre esses, se destaca o Seem Simulator (Seem *et al.*, 1989). Outros exemplos desta geração são: Biomat (Hofmaier, 1994); METY (Boshuizen & Verheyden, 1994 citado por Rossi *et al.*, 2007 e por MacHardy, 1996), implementados nas estações meteorológicas da Bodata Co. Ltd., Dordrecht, Holanda.

Os modelos denominados VENTEM, elaborado por Van Santen & Butt (1992) citado por Rossi *et al.* (2007), em East Malling (GB), e RIMpro, elaborado por Trapmen (1993) citado por Rossi *et al.* (2007), na Holanda, representam um importante avanço em modelagem da sarna da macieira.

O modelo VENTEM foi descrito em detalhes por Xu & Butt (1993) e se baseia, principalmente, na elaboração de dados de literatura. Posteriormente, o VENTEM foi atualizado (versões 3.1 e 4.0) e incluído em ADEM (Berrie & Xu, 2003), incluindo outras doenças da macieira, e em MORPH (Métodos de investigação prática em horticultura), o qual é um sistema de apoio a produtores ingleses.

O modelo de simulação da sarna da macieira RIMpro, elaborado no início de 1990, será descrito a seguir conforme Trapmen (1993) e Trapman & Polfliet (1997) citados por Rossi *et al.* (2007) e conforme Rancane *et al.* (2009). O uso deste modelo começa no estágio de ponta verde e se baseia em dados meteorológicos. Ele determina o desenvolvimento da pseudotécia, maturação e

liberação dos ascósporos e eventos de infecção, fornecendo uma estimativa da severidade de cada infecção, baseada em uma escala numérica chamada RIM (medida de infecção relativa). O modelo RIMpro foi amplamente validado na Europa (Trapman & Polfliet, 1997 citado por Rossi *et al.*, 2007), proporcionando resultados precisos, após ajustes feitos na Itália (Mattedi & Varner, 2000 citado por Rossi *et al.*, 2007; Spanna *et al.*, 2002 citado por Rossi *et al.*, 2007). Trata-se de um modelo comercial, e sua utilização é possível através da aquisição de uma licença da Bio Fruit Advies (Zoelmond, Holanda), sendo amplamente utilizado por produtores. Os usuários devem realizar simulações para cada pomar ou áreas homogêneas, e não podem interagir com o programa, mas apenas alterar alguns parâmetros para simulações de ajuste às condições locais.

Estudos mais recentes, realizados por Rossi *et al.* (2000), elaboraram um modelo simples para estimar o padrão sazonal de carga de ascósporos de *Venturia inaequalis* no ar, usando registros de esporos coletados em armadilhas, durante um período de seis anos no vale do Pó (norte da Itália). O modelo calcula a porção de ascósporos que são aprisionados na temporada, utilizando os elementos meteorológicos medidos após a primeira aparição de ascósporos maduros no interior do pseudotécio. Temperatura do ar e duração do molhamento foliar são as variáveis incluídas no modelo, expressas em graus (acima de 0°C) e acúmulo diário de horas em que as folhas estiverem molhadas. As validações mostraram que o modelo faz estimativas precisas, que podem ser utilizadas em sistemas de aviso, no manejo de macieiras.

Depois de uma seqüência de estudos em modelagem de sarna da macieira, Rossi *et al.* (2007) elaboraram um modelo baseado nos princípios de “sistemas de análises” (Leffelaar, 1993). Eles elaboraram modelos nos quais cada etapa de desenvolvimento da doença é descrito em detalhes, inseridos no

sistema de previsão. Os autores fizeram críticas a outros modelos, como o RIMpro, considerando que os usuários não podem interagir com o programa, além da dificuldade ao utilizá-lo em escalas territoriais. O modelo trabalha sobre o uso de simples fichas eletrônicas de dados e fornece informações e advertências úteis para o manejo da sarna da macieira, tais como períodos de infecção, severidade relativa e tempo de eventual aparecimento de sintomas (Rossi *et al.*, 2007).

Muitos modelos têm sido desenvolvidos para prever a primeira descarga de ascósporos (Proctor, 1982; James & Sutton, 1982; Rossi *et al.*, 2009; Giousuè *et al.*, 2000) ou a dinâmica de maturação e liberação de ascósporos maduros durante a estação (Gadoury & MacHardy, 1982; St-Arnaud *et al.*, 1985; Lagarde, 1988; Schwabe *et al.*, 1989) em função de condições meteorológicas, dentre elas o acúmulo térmico durante o molhamento foliar. Rossi *et al.*, (2003) desenvolveram um modelo de simulação da deposição de ascósporos de *V. inaequalis* sobre plantas de macieira.

Com relação a previsões em cenários futuros de mudanças climáticas, Bourgeois *et al.* (2004) usaram um modelo bioclimático para simulação de um índice de infecção para a sarna da macieira, no Canadá, para 2025, 2075 e 2099, comparando com médias climatológicas de 1980 a 2000. Diversos procedimentos foram usados pelos autores para estimar dados horários, a partir de séries de diárias. De maneira geral, os dados climáticos de vários locais mostraram condições favoráveis para a doença. Nos cenários futuros, a ejeção de esporos iniciaria anteriormente, com aumento no número de períodos infecciosos (de 12 a 28) em relação às médias climatológicas (6), entre abril e junho, para os quatro anos simulados. Os autores lembraram, entretanto, que os resultados foram

obtidos com um modelo que não leva em consideração as características do inverno, as quais podem afetar os resultados.

Os sistemas de previsão precisam ser estudados e adaptados a cada região. Sistemas de alerta fitossanitário e/ou modelos de simulação para sarna da macieira foram desenvolvidos com base na tabela de Mills. Também o sistema de alerta utilizado na região de Vacaria (Sisalert) tem com base esta tabela. A tabela de Mills também é utilizada no sistema de alerta para sarna da macieira utilizado no Estado de Santa Catarina (Berton & Melzer, 1989; Berton, 2004).

Por outro lado, muitos autores têm realizado pesquisas visando modelos de previsão adequados e/ou adaptados a determinadas regiões de estudo, procurando avaliar as interações entre planta, patógeno e ambiente, convenientes ou possíveis de serem incluídas nos sistemas de previsão, a fim de obter estimativas mais precisas de ocorrência da doença. No caso da região produtora de Vacaria, o estudo das variações epidemiológicas desta doença se mostra importante, diante da variabilidade dos elementos do clima, para caracterizar relações de causa-efeito. Esta avaliação do comportamento epidemiológico também pode ser utilizada para a construção de modelos com adaptação mais específica para, desta forma, aperfeiçoar o sistema de alerta fitossanitário (Sisalert) que vem sendo utilizado na região.

2.5 Molhamento foliar

2.5.1 Duração do período de molhamento foliar (DPM)

A duração do período de molhamento foliar (DPM), provocada por orvalho, neblina, chuva ou irrigação, e a temperatura do ar são variáveis amplamente utilizadas como entrada em modelos, utilizados em sistemas de alerta de risco de doenças (Huber & Gillespie, 1992). A exemplo, estas variáveis são utilizadas em

modelos e sistemas de alerta de algumas doenças da macieira, como alternaria (*Alternaria Mali*), podridão amarga (*Glomerella cingulata*) e sarna da macieira (*Venturia inaequalis*).

Molhamento foliar é um termo genérico, utilizado para designar a presença de água na forma líquida sobre a parte aérea dos vegetais. A duração do período de molhamento é de grande importância para a epidemiologia de doenças de plantas, uma vez que a permanência de água sobre as superfícies vegetais desempenha papel fundamental em alguns processos epidemiológicos, tais como a infecção e a esporulação (Vale *et al.*, 2004). Desta forma, a medida ou estimativa desta variável não deve proporcionar subestimativa, para não ignorar uma condição crítica favorável à ocorrência de uma doença. Também, esta variável não deve ser superestimada, para não comprometer casos em que a mesma for utilizada para tomadas de decisão.

Além de permitir a germinação dos esporos de fungos, a presença de água na forma líquida em longos períodos, sobre as folhas e frutos, serve de veículo para o processo de penetração do tubo germinativo, sendo que quanto maior for a duração do molhamento foliar maior será a taxa de infecção (Sentelhas, 2004), como ocorre para a sarna da macieira segundo Mills (1944). Além disso, segundo Huber & Gillespie (1992), a DPM favorece a esporulação e reduz o tempo de colonização do tecido vegetal para alguns fungos.

Dentre temperatura e DPM, a temperatura é facilmente monitorada, contudo, a DPM é de difícil medição ou estimativa, pois não se relaciona apenas às variáveis atmosféricas, mas também às propriedades ópticas da superfície e ao microclima (Madeira *et al.*, 2002). O microclima de uma cultura é influenciado por fatores como área foliar, arquitetura e arranjo das plantas, dentre outros

(Sentelhas, 2004). Estudos da DPM em diferentes culturas são importantes não somente para o aprimoramento de medições, mas também para sua estimativa.

A melhoria das técnicas de medição da DPM quer seja pelo desenvolvimento de novos sensores ou pelo aprimoramento dos aspectos operacionais relacionados à instalação desses, tem possibilitado a obtenção de medidas mais bem relacionadas com as observações visuais de molhamento (Sentelhas *et al.*, 2004).

Os sensores de molhamento mais comumente utilizados permitem a determinação indireta do molhamento das folhas da cultura a partir do molhamento de uma placa de PVC (ou outro material sintético) dotada de eletrodos em forma de pente, encaixados alternadamente e sem contato físico entre si. Com a ocorrência de molhamento na superfície da placa, o circuito entre os eletrodos é fechado, permitindo a passagem de corrente elétrica. Enquanto o circuito estiver fechado, o sinal elétrico gerado é identificado e ampliado pelo sistema eletrônico, sendo registrado como molhamento da superfície (Streck, 2006). O registro somente é cessado quando ocorre a secagem da superfície do sensor, eliminando o contato entre os eletrodos.

O emprego de sensores eletrônicos facilitou a medição da DPM. Entre as vantagens relacionadas a este tipo de sensor podem-se destacar a acurácia e precisão de suas medidas, a facilidade de obtenção de dados contínuos e de longo prazo e, em geral, sua simplicidade (Sentelhas *et al.*, 2005). No entanto, é importante uma avaliação criteriosa dos valores medidos pelos sensores e a acurácia entre medidas obtidas por diferentes sensores, quando estes forem utilizados em conjunto.

Também, é importante a obtenção de sensores de baixo custo e simplicidade de construção, porém com adequada sensibilidade em detectar o

molhamento foliar. Sistemas eletrônicos podem sofrer interferências eletromagnéticas ou problemas no fornecimento de energia, que podem resultar em falhas ou registros errôneos (Streck, 2006). Sistemas eletrônicos com sensores de molhamento têm sido difundidos na forma de um componente adicional às estações meteorológicas automáticas (Streck, 2006).

2.5.2 Variabilidade espacial duração do molhamento foliar (DPM)

A variabilidade espacial da duração do molhamento foliar é outro aspecto importante a ser considerado em medições sobre cultivos agrícolas. Ela resulta de variações no microclima das culturas, em que partes do dossel vegetativo se encontram úmidas enquanto outras se apresentam secas. O microclima de uma cultura é influenciado por diversos fatores, como área foliar, estrutura das plantas, sistema de cultivo, distribuição das plantas no terreno, altura das plantas, entre outros (Monteith, 1990). Por sua vez, as condições microclimáticas têm influência nos processos de condensação e evaporação de água em superfícies vegetais e, conseqüentemente, na DPM. Isso torna necessária a utilização de sensores instalados em diferentes partes do dossel, para garantir a correta determinação da DPM nas culturas.

A variabilidade espacial da DPM tem grande influência no desempenho de modelos de previsão de doenças (Dalla Marta *et al.*, 2004), de forma que seu estudo é importante para o aprimoramento das medições e estimativas da DPM em culturas. A partir da medição da DPM nas culturas é possível identificar as posições onde esta é mais prolongada e, conseqüentemente, mais propensas à ocorrência de doenças. Na cultura da macieira existem poucos trabalhos, tanto para a avaliação espacial como para estimativa da DPM. Estes trabalhos foram desenvolvidos em locais com condições de clima específicos. Também, a

densidade de plantas e o sistema de condução da cultura, podem ser diferentes das que predominam nas principais regiões de cultivo do Rio Grande do Sul, assim como com uso de cobertura por tela antigranizo.

Em pomares de macieira com espaçamento de 3 m por 5 m, em Iowa, nos Estados Unidos, Batzer *et al.* (2008) encontraram maior DPM no topo do dossel. Os mesmos observaram alta heterogeneidade na DPM entre diferentes posições das plantas. Em densidade de plantas e mesma cultivar do trabalho em Iowa, Sentelhas (2004) observou que a DPM variou entre posições na cultura da macieira, sendo maior no topo da planta, em Ames, nos Estados Unidos.

2.5.3 Estimativa da duração do período de molhamento (DPM)

A estimativa de DPM se torna uma alternativa quando não se dispõe de medidas, pois não há sensores de DPM na maioria das estações meteorológicas das redes de superfície, assim como nos cultivos agrícolas. A estimativa pode ser baseada tanto em modelos empíricos (Gleason *et al.*, 1994) como em modelos mais complexos (Sentelhas *et al.*, 2006). Os modelos empíricos utilizam variáveis meteorológicas (isoladas ou em modelos simples) para estimar DPM. Os dados de DPM obtidos em cultivos também podem ser relacionados, empiricamente, com a DPM obtida sobre gramado, em postos meteorológicos (Santos, 2006). Isto representa uma vantagem operacional, pois a medição da DPM em cultivos comerciais pode ser trabalhosa e de custo considerável para o produtor.

Os modelos físicos se baseiam em fundamentos teóricos que governam o acúmulo e a evaporação de água sobre as superfícies vegetais, sendo de aplicação universal. Por sua vez, os modelos empíricos se baseiam em relações existentes entre a DPM e variáveis meteorológicas, especialmente a umidade relativa do ar, sendo de aplicação restrita.

Uma das formas mais difundidas para estimar a DPM parte do princípio de que há molhamento foliar se a umidade relativa do ar a 1,5 m de altura estiver acima de 90 %. No entanto, em diversos casos, o molhamento foliar ocorre quando os valores de UR estão abaixo desse valor (Costa *et al.*, 2002). Porém, provavelmente em alguns casos, não exista molhamento sob condições de UR acima de 90 %. Comparando valores de DPM medidos por sensores e obtidos por diferentes limites de UR, Gleason *et al.* (1994) concluíram que esta variável oferece baixa confiabilidade para utilização nas estimativas de DPM. Entretanto, Kruit *et al.* (2004) verificaram resultados precisos com a utilização de 87 % para o limite de UR, como alternativa ao limite de 90 %. A partir do limite de 87 %, ainda foram considerados limites inferiores que se estendiam até valores de 70 % de UR, dependendo do momento em que havia variação acentuada da UR, em curto espaço de tempo (Kruit *et al.*, 2004). Neste caso, obtiveram-se resultados similares aos dados de DPM observados e estimados pelo balanço de energia proposto por Pedro Jr. & Gillespie (1982). Dessa forma, para que possam ser obtidos valores de DPM relativamente confiáveis, é prudente que sejam realizados testes para adequar os limites de UR às condições dos locais de cultivo.

Os valores de temperatura do ponto de orvalho do ar (T_d) também são subsídios para a estimativa da DPM (Gillespie *et al.*, 1993, citado por Streck, 2006). Para que ocorra a condensação de água no ar os valores de T_d devem ser iguais aos de temperatura do ar (T_a). Entretanto, a condensação sobre folhas ocorre antes da igualdade entre os valores de T_d e T_a , pois as superfícies das folhas se resfriam mais rapidamente que o ar. Dessa forma, no período de resfriamento, a temperatura da superfície das folhas alcança valores de 0,5°C a 2,8°C inferiores à temperatura do ar (Heldwein, 1993, citado por Streck, 2006).

Como a temperatura do ar diminui, principalmente, devido à perda de energia de suas moléculas para as superfícies expostas, quando o ar úmido entra em contato com as folhas resfriadas abaixo do valor de T_d , ocorre condensação de água sobre a folha. Conseqüentemente, o momento da identificação visual do molhamento sobre as plantas não corresponde a valores nulos da diferença entre T_a e T_d . Para a utilização da T_d na estimativa da DPM, Gillespie *et al.* (1993) sugerem que T_d seja associada à temperatura do ar (T_a) pela diferença entre T_a e T_d (Streck, 2006).

A partir da diferença entre T_a e T_d , também denominada de depressão da temperatura no ponto de orvalho (TTd), podem ser selecionados critérios para o momento do início da formação de orvalho e o término da secagem das folhas. Para a cultura do algodoeiro, em Piracicaba-SP, Sentelhas *et al.* (2004) verificaram que o molhamento e a secagem das folhas ocorreram a partir de valores de TTd iguais ou inferiores a $2,0^{\circ}\text{C}$ e iguais e superiores $3,8^{\circ}\text{C}$, respectivamente. Os resultados de estimativa dos valores de DPM, a partir de limites de TTd, foram próximos aos valores de DPM medidos com sensores.

Para os altiplanos peruanos, Forbes *et al.* (2002), citados por Streck, (2006), sugeriram a estimativa da DPM a partir do déficit de pressão de vapor (Dpv), também denominado déficit de saturação do ar. Os autores relataram a observação de molhamento foliar em ambiente com temperatura do ar de 20°C e umidade relativa de 90%. Nesta condição Dpv é igual a 2,35 hPa. Assim, o valor de 2,35hPa foi estabelecido como limiar entre existência e ausência de orvalho sobre superfícies. Portanto, quando a temperatura do ar for inferior a 20°C a umidade relativa será menor que 90% para a condição em que Dpv seja de 2,35 hPa (Streck, 2006).

A resposta da utilização de variáveis meteorológicas, isoladas ou em modelos simples, varia conforme o local e o propósito da estimativa de DPM. Mesmo com a utilização de modelos empíricos, que envolvem um maior número de variáveis meteorológicas, as estimativas podem ser pouco representativas da DPM real, quando os modelos são aplicados em locais diferentes daqueles de sua geração (Streck, 2006). Entretanto, modelos empíricos são de entendimento simples e, assim, facilmente podem ser testados e adequados às condições locais de ambiente. Em contrapartida, modelos que podem ter aplicação difundida em diferentes locais são, em geral, mais complexos. Isto se deve à sua elaboração com base nos princípios físicos que governam os fluxos de energia no dossel de plantas e, por isso, são denominados modelos analíticos.

Os dados obtidos em cultivos também podem ser utilizados para estabelecer relações empíricas entre a DPM medida na cultura e aquela obtida sobre gramado, em posto meteorológico (Santos, 2006). Isto representa vantagem do ponto de vista operacional, uma vez que a medição da DPM em cultivos agrícolas comerciais pode ser difícil e onerosa para o produtor, podendo representar custo de instalação e manutenção considerável. Por outro lado, modelos empíricos podem fornecer estimativas precisas de DPM, com vantagens adicionais por serem, geralmente, mais simples e dependerem de um menor número de variáveis em comparação a modelos físicos. Para macieira não existem relatos de estudos sobre estimativa da DPM, nas condições climáticas e de cultivo do Rio Grande do Sul. Além disso, nem sempre esta variável é monitorada em pomares comerciais de macieiras no sul do Brasil.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

O trabalho foi realizado com base em dados meteorológicos e de ocorrência de sarna da macieira, provenientes da EMBRAPA uva e vinho - Estação Experimental de Fruticultura Temperada, localizada no município de Vacaria, RS, à latitude de 28°30'S, longitude 50°53'W e altitude de 969 m.

O município de Vacaria está situado na região ecoclimática do Planalto Superior - Serra do Nordeste, no nordeste do Rio Grande do Sul, sendo a região mais fria do Estado. Segundo a classificação de Köppen, o clima da região de Vacaria é do tipo Cfb – temperado (temperado quente) e úmido de verões amenos, com temperatura média do mês mais quente inferior a 22°C e chuvas distribuídas ao longo de todo o ano. A região é caracterizada por invernos rigorosos, com ocorrência de geadas. Segundo Pereira *et al.* (2009) a média anual da precipitação pluvial é superior a 1.600 mm, confirmando a característica de região chuvosa. Os solos predominantes na região podem ser classificados como Latossolo Bruno, com relevo suave a ondulado e elevados teores de argila e alumínio.

A normal climatológica do período de 1931 a 1960 para o município de Vacaria é descrita no Apêndice 2. Refere-se à média de elementos meteorológicos, segundo critérios recomendados pela Organização Meteorológica Mundial (OMM), obtidas em IPAGRO (1989).

3.2 Base de dados históricos

3.2.1 Série de dados meteorológicos

Os estudos foram conduzidos utilizando-se uma série histórica de dados meteorológicos proveniente da EMBRAPA Uva e Vinho, Estação Experimental de Fruticultura Temperada, situada no município de Vacaria, RS, com as seguintes coordenadas: latitude 28°30'52,3''S, longitude 50°53'12,2'' e altitude de 969m. De uma estação meteorológica convencional foram utilizados dados diários de precipitação pluvial, temperatura do ar média, máxima e mínima, umidade relativa do ar, do período de 1987 a 2007 (série homogênea de 21 anos). Médias diárias de temperatura e umidade relativa do ar foram obtidas em abrigo padrão, a partir de leituras em termômetros de máxima e mínima e registros em termohigrógrafo.

Além dos dados em escala diária, foram utilizados dados meteorológicos em escala horária do período de 2001 a 2007, oriundos de uma estação meteorológica automática, localizada na Estação Experimental de Fruticultura Temperada – EMBRAPA Uva e Vinho (latitude de 28°31'02''S, longitude de 50°53'22''W e altitude de 969m). Este equipamento faz parte de uma rede de estações do programa SisAlert de Alerta Fitossanitário, distribuído na região produtora de maçãs. A referida estação automática (marca Adcon Telemetry Add Vantage 730) dispõe de um receptor A730SD, estação remota A730MD, e sensores de temperatura do ar, umidade relativa do ar, precipitação pluvial e molhamento foliar.

O SisAlert é uma plataforma multi-modelo que coleta dados meteorológicos obtidos de estações automáticas e de prognósticos de tempo; processa as informações por diversos modelos epidemiológicos, para a simulação e alertas de

risco de epidemias; e distribui a informação de risco para os usuários (Fernandes, 2011).

A partir das estações convencional e automática foram obtidos dados de temperatura e umidade relativa do ar em escala horária, da série 1987 a 2007, de setembro a dezembro. Nestes meses ocorrem os estádios iniciais do ciclo vegetativo da macieira e o período de risco de infecção por sarna da macieira, segundo Berton (2004) e Berton & Melzer (1989).

Os dados horários da série 1987 a 2000 foram obtidos por cotação de gráficos de termohigrógrafos, provenientes da estação meteorológica convencional. A partir dos dados horários foram calculados, por interpolação, os valores de cada meia hora para as duas variáveis.

Para o período de 2001 a 2007 os dados de temperatura e umidade relativa do ar, de cada meia hora, foram obtidos a partir da estação automática. Da série 2001 a 2007 foram obtidos, também, dados de duração do molhamento foliar medidos em sensores instalados na estação automática.

Todos os dados, tanto diários como horários, foram verificados quanto à consistência através de análises visuais, para detectar e eliminar erros de digitação ou “*outliers*”.

3.2.2 Dados epidemiológicos sobre sarna da macieira

Os dados epidemiológicos foram obtidos em registros históricos de monitoramento anual de flutuação de esporos e de epidemias de sarna feitos em área experimental da Estação de Fruticultura Temperada da EMBRAPA Uva e Vinho, em Vacaria, de 1987 a 2007 (Tabela 2).

TABELA 2. Data de início e fim da liberação e número de ascósporos e incidência (%) de *Venturia inaequalis* em folhas e frutos de macieiras 'Gala'. Estação Experimental de Fruticultura Temperada, Vacaria-RS, 1987 a 2007.

Ano	Liberação de ascósporos			Incidência (%)	
	Início	Fim	Número	Folhas	Frutos
1987	05/08	23/11	40.632	57,1	59,6
1988	09/08	11/11	25.967	100,0	89,9
1989	27/07	18/12	16.388	1,1	10,5
1990	17/07	13/10	8.083	38,2	99,5
1991	22/07	14/11	13.058	18,2	85,6
1992	26/06	04/11	8.263	NA	NA
1993	06/07	25/11	5.420	NA	NA
1994	25/07	12/11	5.721	NA	NA
1995	02/07	05/10	5.667	14,6	90,3
1996	27/08	16/11	4.870	97,5	100,0
1997	02/08	11/11	2.499	98,7	100,0
1998	03/07	24/10	12.639	31,9	77,8
1999	07/07	NA	16.906	99,3	99,9
2000	11/07	NA	1.858	97,9	80,1
2001	NA ¹	03/10	10.716	42,9	42,9
2002	NA	11/12	1.180	21,4	48,3
2003	NA	NA	NA	18,4	40,2
2004	NA	NA	NA	97,7	100,0
2005	16/07	18/12	15.849	88,9	99,9
2006	17/07	07/12	15.956	100,0	100,0
2007	02/08	11/12	37.718	98,0	96,4

¹ NA = não avaliado devido a erros operacionais, como falhas nos registros, ou eliminado por ser considerado dado espúrio ou discrepante (*outlier*).

O monitoramento do período de liberação de ascósporos de *V. inaequalis* foi realizado pelo método de Dunn para contabilização dos ascósporos ejetados (Dunn, 1938). A utilização deste método consiste em montar telas com folhas caídas no pomar, selecionadas, que devem permanecer na relva, em espaço aberto, e sobre as quais são colocadas lâminas de microscopia. As lâminas são retiradas após cada evento de chuva e a contagem dos ascósporos é feita em microscópio, após um preparo simples (Berton & Melzer, 1989 e por Berton, 2004).

O monitoramento de incidência de sarna em folhas e frutos foi realizado em pomar de macieiras 'Gala', no qual não foram utilizados tratamentos fitossanitários para controle da doença (parcela testemunha). A incidência de sarna em folhas e frutos foi obtida por meio da porção de folhas ou frutos sintomáticos na amostra total (entre setembro e dezembro).

3.2.3 Procedimentos e análises de dados

Em cada ano, foi determinado um *biofix*, ou seja, uma data fixa (aqui considerada como sendo o primeiro dia de junho), para iniciar o cálculo de acúmulo térmico necessário ao início da liberação de ascósporos do fungo *V. inaequalis*. Considerando o ciclo do patógeno, de maneira geral, o *biofix* deve anteceder o desenvolvimento de pseudotécios contendo os primeiros ascos com ascósporos maduros. Segundo MacHardy (1996) ele ocorre no final do outono e início do inverno. Assim, a data correspondente ao *biofix* foi determinada em função: da data de queda de folhas na região, que ocorre entre abril e junho; da variação das datas de início da liberação de ascósporos, a cada ano, que oscilou entre 26/06 e 27/08 (Tabela 2); com base no *biofix* usado em outros trabalhos, como por Rossi *et al.* (2009), Giosuè *et al.* (2000) e Meszka *et al.* (2008).

Para cada ano, foi determinada, em dias, a duração do período de liberação (DPL) de ascósporos de *V. inaequalis* pela diferença entre as datas de início e fim. Para as datas de início e fim e para o número de dias de liberação dos ascósporos foram determinados: data média, desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (CV).

A variação dos parâmetros relacionados à doença foi relacionada com variáveis meteorológicas. Para tanto, os dados meteorológicos disponíveis foram analisados, a partir dos seguintes parâmetros:

- Temperatura do ar máxima, mínima e média (°C) – média, coeficiente de variação (CV, %) e desvio padrão (DP, °C);
- Umidade relativa do ar (%) – média, coeficiente de variação (CV, %) e desvio padrão (DP, °C);
- Número de dias com umidade relativa do ar acima de 90 % (NDUR>90) e porcentagem de dias com umidade relativa acima de 90 % (%NDUR>90);
- Precipitação acumulada (mm) - número de dias com precipitação (NDP) e porcentagem de dias com precipitação (%NDP).

Estes parâmetros foram calculados em base mensal, de abril a dezembro e para diferentes períodos, assim distribuídos:

- De 1º de junho ao início da liberação dos ascósporos (*Biofix* - ILA);
- Do início ao fim da liberação dos ascósporos (ILA-FLA), ou seja, duração do período de liberação (DPL);
- De 1º de junho ao fim da liberação dos ascósporos (Biofix-FLA);
- De 15 a 30 de setembro;

- De setembro a dezembro;
- De 15 de setembro a novembro;
- De 1º a 15 de dezembro;
- 45 dias antes de início da brotação (45DAIB);
- 45 dias depois do início da brotação (45DDIB).

De acordo com resultados obtidos por Cardoso (2011), o dia 19 de setembro foi considerado como data média do início da brotação, para macieiras 'Fuji Suprema' e 'Royal Gala', na região de Vacaria.

Para cada período, foi contabilizado o acúmulo de graus-dia (GD), tendo como temperatura base 0°C, para os períodos: *Biofix-ILA*, DPL e *Biofix-FLA*. Este parâmetro foi calculado através das três equações descritas a seguir:

$$GD = \sum_{i=1}^n (T_{\text{méd}}) \quad (1)$$

sendo $i=1$ (*biofix*) o dia 1º de junho, n a data final, $T_{\text{méd}}$ a temperatura do ar média diária (°C).

Também foi determinado o acúmulo de graus-dia somente para dias com precipitação igual ou superior a 0,2 mm ou déficit de pressão de vapor igual ou inferior a 4hPa ($GD_{\text{DPV}<4}$, Equação 2). O acúmulo de $GD_{\text{DPV}<4}$ foi calculado segundo metodologia descrita por Rossi *et al.* (2009). Esta metodologia que considera os limiares de precipitação e/ou DPV garantem contabilização do acúmulo térmico somente em dias com maior duração do molhamento, ou seja, com um mínimo próximo a 8 h de molhamento.

$$GD_{\text{DPV}<4} = \sum_{i=1}^n (T_{\text{méd}}; \text{DPV} < 4) \quad (2)$$

sendo $i=1$ (*biofix*) o dia 1º de junho, n a data final; DPV o déficit de pressão de vapor do ar, médio diário (hPa), $T_{\text{méd}}$ a temperatura média diária (°C),

contabilizada somente em dias com precipitação igual ou superior a 0,2 mm e/ou DPV igual ou inferior a 4hPa ($DPV < 4$).

Ainda, o acúmulo de $GD_{DPV < 4SE}$ foi calculado excluindo-se os dias com temperatura mínima negativa ou temperatura máxima superior a 24°C ($GD_{DPV < 4SE}$), de acordo com a seguinte equação:

$$GD_{DPV < 4SE} = \sum_{i=1}^n (T_{méd}; DPV < 4; T_{mín} > 0; T_{máx} < 24) \quad (3)$$

sendo $i=1$ (*biofix*) o dia 1º de junho, n a data final; DPV o déficit de pressão de vapor do ar, médio diário, (hPa), $T_{méd}$ a temperatura média diária (°C), contabilizada somente em dias com precipitação igual ou superior a 0,2mm ou DPV igual ou inferior a 4hPa ($DPV < 4$), excluídos os dias com temperaturas mínima ($T_{mín}$) negativa ou máxima ($T_{máx}$) superior a 24°C.

O déficit de pressão de vapor (DPV) foi calculado pela seguinte equação, segundo Buck (1981):

$$DPV = \left(\frac{1 - UR}{100} \right) \times 6,11 \left[\frac{(17,4T_{méd})}{(238,9 + T_{méd})} \right] \quad (4)$$

sendo UR a umidade relativa do ar média diária (%), $T_{méd}$ a temperatura do ar média diária (°C), DPV o déficit de pressão de vapor do ar, médio diário, (hPa).

Para todos os valores de graus-dia calculados foram efetuadas análises, determinando-se para os anos: média, desvio padrão (°C), coeficiente de variação e variabilidade. Essas determinações foram realizadas para os diferentes períodos em que foi contabilizado o acúmulo térmico: de 1º de junho ao início da liberação (*Biofix-ILA*), para duração do período de liberação (DPL) e de 1º de junho ao fim da liberação de ascósporos (*Biofix-FLA*) de *V. inaequalis*.

Para analisar o grau de associação entre as variáveis meteorológicas e da doença, foi calculado o coeficiente de correlação de Pearson (r) para diferentes combinações, que serão descritas a seguir.

Entre os aspectos relacionados à doença, abrangendo início, fim, duração em dias (N) da liberação, número de ascósporos liberados e incidência de sarna da macieira em folhas e frutos, foram feitas correlações entre as variáveis:

- Duração do período de liberação (DPL), em dias e início da liberação (ILA);
- Início e fim da liberação de ascósporos (ILA e FLA);
- Duração do período de liberação (DPL) e fim da liberação de ascósporos (FLA);
- Início da liberação e incidência em folhas e em frutos;
- Duração do período de liberação (DPL) e incidência em folhas e em frutos;
- Fim da liberação (FLA) e incidência em folhas e em frutos;
- Número de ascósporos liberados e incidência em folhas e em frutos;
- Número de ascósporos liberados e início da liberação;
- Número de ascósporos liberados e duração do período de liberação (DPL).

O dia do início da liberação de ascósporos de *Venturia inaequalis* foi correlacionado a variáveis meteorológicas, conforme a Tabela 3.

TABELA 3. Correlações entre o início da liberação de ascósporos de *Venturia inaequalis* em macieiras 'Gala' e variáveis meteorológicas em diferentes períodos. Vacaria-RS.

Início da liberação dos ascósporos com	
Variáveis	Períodos
- Média das temperaturas máxima, mínima e média (°C) e respectivos CV ¹ (%)	
- Umidade relativa (UR) do ar média (%) e respectivo CV (%)	- Maio - Junho
- Número de dias com UR ≥ 90 % (NDUR>90)	- Julho
- Porcentagem de dias com UR ≥ 90 % (%NDUR>90)	- Agosto
- Precipitação acumulada (mm)	- 1° de junho ao início da liberação dos ascósporos - 45 dias antes do início da brotação (45DAIB)
- Número de dias com precipitação (NDP)	
- Porcentagem de dias com precipitação (%NDP).	
- Graus-dia (GD)	
- GD _{DPV<4} ²	- 1° de junho ao início da liberação dos ascósporos
- GD _{DPV<4SE} ³	

¹ CV - coeficiente de variação; ² VPD<4 - GD contabilizado em dias com déficit de pressão de vapor igual ou inferior a 4hPa ou precipitação igual ou superior a 0,2 mm; ³ VPD<4SE – VPD inferior a 4 hPa, excluídos dias com temperatura mínima negativa ou maior que 24°C.

A duração, em dias, do período de liberação (DPL) de ascósporos de *Venturia inaequalis* foi correlacionada às variáveis meteorológicas conforme Tabela 4.

TABELA 4. Correlações entre o número de dias (N) da liberação de ascósporos de *Venturia inaequalis* em macieiras 'Gala' e variáveis meteorológicas em diferentes períodos. Vacaria-RS.

Número de dias da liberação dos ascósporos com	
Variáveis	Períodos
- Média das temperaturas máxima, mínima e média (°C) e respectivos CV (%)	- junho - julho
- Umidade relativa (UR) do ar média (%) e respectivo CV (%)	- agosto - setembro - outubro
- Número de dias com UR \geq 90 % (NDUR>90)	- 1° de junho ao início da liberação dos ascósporos
- Porcentagem de dias com UR \geq 90 % (%NDUR>90)	- início ao fim da liberação dos ascósporos
- Precipitação acumulada (mm)	- 1° de junho ao fim da liberação dos ascósporos
- Número de dias com precipitação (NDP)	- 45 dias antes do início da brotação (45DAIB)
- Porcentagem de dias com precipitação (%NDP).	- 45 dias depois do início da brotação (45AIB)
- Graus-dia (GD)	- 1° de junho ao início da liberação dos ascósporos
- GD _{DPV<4} ¹	- Do início ao fim da liberação dos ascósporos
- GD _{DPV<4SE} ²	- 1° de junho ao fim da liberação dos ascósporos

¹ CV - coeficiente de variação; ² VPD<4 - GD contabilizado em dias com déficit de pressão de vapor igual ou inferior a 4hPa ou precipitação igual ou superior a 0,2 mm; ³ VPD<4SE - VPD inferior a 4hPa excluídos os dias com temperatura mínima negativa ou maior que 24°C.

O fim da liberação de ascósporos de *Venturia inaequalis* foi correlacionado as variáveis meteorológicas conforme a Tabela 5.

TABELA 5. Correlações entre o fim da liberação de ascósporos de *Venturia inaequalis* em macieiras 'Gala' e variáveis meteorológicas em diferentes períodos. Vacaria-RS.

Fim da liberação dos ascósporos com	
Variáveis	Períodos
- Média das temperaturas máxima, mínima e média (°C) e respectivos CV (%)	- setembro
- Umidade relativa (UR) do ar média (%) e seu respectivo CV (%)	- outubro
- Número de dias com UR ≥ 90 % (NDUR>90)	- novembro
- Porcentagem do número de dias com UR ≥ 90 % (%NDUR>90)	- 1° de junho ao início da liberação dos ascósporos
- Precipitação acumulada (mm)	- Do início ao fim da liberação dos ascósporos
- Número de dias com precipitação (NDP)	- 1° de junho ao fim da liberação dos ascósporos
- Porcentagem do número de dias com precipitação (%NDP).	- 45 dias depois do início da brotação (45AIB)
- Graus-dia (GD)	- 1° de junho ao início da liberação dos ascósporos
- $GD_{DPV<4}^1$	- Do início ao fim da liberação dos ascósporos
- $GD_{DPV<4SE}^2$	- 1° de junho ao fim da liberação dos ascósporos

¹ CV - o coeficiente de variação; ² VPD<4 - GD contabilizado em dias com déficit de pressão de vapor ≤ 4 hPa ou precipitação $\geq 0,2$ mm; ³ VPD<4SE - VPD<4 excluídos os dias com temperatura mínima negativa e maior que 24°C.

Para as melhores correlações foram feitas análises de tendência entre as variáveis através de análises de regressão linear simples, cuja significância foi testada pelo teste t (Student), ao nível de 5% de probabilidade de erro.

3.2.4 Cálculo de eventos de risco de infecção por sarna da macieira

Em todos os anos da série de dados (1987 a 2007), e para os meses de setembro a dezembro, foram calculados os eventos de risco diário de infecção por sarna da macieira (ER) com base na Tabela de Mills (Tabela 1). Para o cálculo de

eventos de risco foram utilizados dados horários de temperatura do ar, umidade relativa do ar e precipitação pluvial, a partir da base de dados meteorológicos.

Para o cálculo dos eventos de risco diário de infecção as variáveis de entrada foram: duração do período de molhamento foliar (DPM), temperatura do ar durante a DPM e precipitação pluvial. Como não houve medidas de DPM para todo o período de 1987 a 2007, esta foi estimada a partir do número de horas em que a umidade relativa esteve acima de 90%, de acordo com resultados obtidos por Paula *et al.* (2011).

Com base na Tabela de Mills (Tabela 1), para cada ano, os eventos de risco diário de infecção foram calculados da seguinte forma: somatório do número de horas contínuas de molhamento, contabilizadas apenas a partir do início da chuva, e temperatura média durante o período de molhamento. As combinações de duração do molhamento e temperatura do ar determinaram os eventos de risco de infecção leve, moderado e severo, conforme a tabela de Mills (Tabela 1). O início da chuva foi considerado quando o mesmo ocorreu entre o nascer e o por do sol. Considerou-se que, tendo ocorrido um evento severo, necessariamente, já teria ocorrido um evento moderado, aplicando-se o mesmo critério para a ocorrência de um moderado em relação a um evento leve.

Os eventos de risco de infecção leve, moderado e severo foram contabilizados para os seguintes períodos:

- Meses de setembro, outubro, novembro e dezembro;
- De 15 a 30 de setembro;
- De setembro a dezembro;
- De 15 de setembro a novembro;
- De 1 a 15 de dezembro.

O número de eventos de risco diário de infecção, para cada um dos períodos acima, foram correlacionados com as variáveis meteorológicas registradas nos respectivos períodos, sendo elas: média das temperaturas do ar máxima, mínima e média (°C) e respectivos coeficientes de variação (%); umidade relativa (%) e respectivo coeficiente de variação (%); número de dias com umidade relativa maior que 90% (NDUR>90); porcentagem do número de dias com umidade relativa maior que 90% (%NDUR>90); precipitação acumulada (mm); número de dias com precipitação (NDP); e porcentagem do número de dias com precipitação (%NDP).

Assim, foram analisadas e identificadas quais variáveis tiveram maior correlação com o número de eventos de risco diário de infecção, dentro do mesmo período. Também, foram correlacionados os totais de eventos de risco diário de infecção de cada período com as porcentagens de incidência de sarna da macieira em folhas e frutos.

3.3 Modelagem para a sarna da macieira

3.3.1 Modelos empíricos

Foram ajustados modelos de regressão linear (simples ou múltipla) para estimativa das seguintes variáveis dependentes:

- Início da liberação de ascósporos (ILA) de *Venturia inaequalis*;
- Duração do período de liberação (DPL) dos ascósporos de *Venturia inaequalis*;
- Número de eventos sazonais de risco (ESR) para o período de 15 de setembro a 30 de novembro.

As variáveis independentes (preditoras) foram parâmetros meteorológicos correspondentes aos diferentes períodos, utilizadas para estimar cada uma das

variáveis dependentes acima referidas. Foram selecionadas as variáveis independentes pela maior correlação com cada variável dependente e pelo método de seleção *stepwise* progressivo (*forward*). A partir daí, foram selecionados os parâmetros meteorológicos que mais contribuíram para cada variável da doença.

Os modelos foram ajustados utilizando-se o período compreendido entre 1987 e 2007, segundo a disponibilidade de dados para cada variável dependente, de acordo com a Tabela 2.

3.3.2 Teste com modelos da literatura

Os modelos empíricos ajustados também foram testados com modelos encontrados na literatura, para estimativa de início e fim da liberação dos ascósporos do fungo, desenvolvidos por Rossi *et al.* (2000), na Itália. O padrão sazonal de descarga de ascósporos, estimado pelo modelo elaborado por Rossi *et al.* (2000), descreve a relação entre PAT (proporção média de ascósporos acumulados na temporada, maturados) liberados no ar a cada dia, ou PAT1 e PAT2 (99% de limites de confiança para o PAT, respectivamente) e GDi (graus-dia acumulados no dia *i*) por um modelo logístico de regressão (Equações 6, 7 e 8). Para o acúmulo em graus-dia deste modelo os autores consideraram, para cada dia, a temperatura média durante o período de molhamento, considerando somente temperatura acima de 0°C. Para melhor equivalência com os cálculos de graus-dia efetuados pelos autores, foi utilizado neste trabalho o $GD_{VPD < 4SE}$ (Equação 3).

$$\hat{P\hat{A}T}_i = \frac{1}{1 + \exp(6,89 - 0,035GD_{VPD < 4SE})} \quad (6)$$

$$\hat{P\hat{A}T1}_i = \frac{1}{1 + \exp(5,41 - 0,035GD_{VPD < 4SE})} \quad (7)$$

$$\hat{P\hat{A}T2}_i = \frac{1}{1 + \exp(8,27 - 0,035GD_{VPD < 4SE})} \quad (8)$$

sendo $\hat{P\hat{A}T}_i$ - proporção média de ascósporos acumulados na temporada, maturados estimados até o dia i ; $\hat{P\hat{A}T1}_i$ e $\hat{P\hat{A}T2}_i$ - 99% de limites de confiança para o $\hat{P\hat{A}T}_i$, respectivamente.

Assim, existe risco presente quando a proporção de ascósporos acumulados na temporada ($\hat{P\hat{A}T}$) for igual ou superior a 0,016 e, portanto, os ascósporos estão maduros e prontos para serem liberados, e risco esgotado, quando $\hat{P\hat{A}T}$ for igual ou superior a 0,99. Contudo, é considerado o dia do primeiro evento de chuva após o valor de $\hat{P\hat{A}T}$ alcançar 0,016 e 0,99. Desta forma, risco presente e risco esgotado correspondem, respectivamente, ao início e fim da liberação de ascósporos estimados pelo modelo.

O desempenho do modelo foi avaliado pelas seguintes estatísticas: coeficiente de correlação (r); coeficiente de determinação (R^2), índice de concordância de Willmott (D , Equação 9), e índice de confiabilidade (C , Equação 10). Ainda, foram calculados o erro médio (EM) e erro absoluto médio (EAM).

$$D = 1 - \left\{ \frac{\sum (O_i - P_i)^2}{\sum (|P_i - O_m| + |O_i - O_m|)^2} \right\} \quad (9)$$

sendo D o coeficiente de concordância de Willmott, O_i cada valor observado, P_i cada valor estimado, O_m a média dos valores observados.

$$C = D\sqrt{R^2} \quad (10)$$

sendo C o índice de confiabilidade, D o coeficiente de concordância de Willmott.

O coeficiente de confiança C reúne os valores das estatísticas r (e/ou R²), enquanto D relaciona precisão e exatidão. Para sua interpretação foram utilizados os critérios propostos por Camargo & Sentelhas (1997), conforme Tabela 6.

TABELA 6. Intervalos de valores do coeficiente de confiança C utilizados para a interpretação do desempenho dos modelos de estimativa, segundo Camargo & Sentelhas (1997).

Desempenho do modelo	Péssimo	Mau	Sufrível	Mediano	Bom	Muito bom	Ótimo
Valores do coeficiente C	≤ 0,40	0,41 a 0,50	0,51 a 0,60	0,61 a 0,65	0,66 a 0,75	0,76 a 0,85	> 0,85

3.4 Medição e estimativa da duração do molhamento foliar (DPM)

Foi desenvolvido trabalho de campo em pomar comercial da Empresa Schio Agropecuária Ltda., no Município de Vacaria, RS, de outubro de 2009 a março de 2010. Utilizou-se a cultivar de macieira 'Royal Gala', sobre porta enxerto M9, com 10 anos de implantação e em espaçamentos de 1,0 m x 3,5 m. As fileiras de plantas eram direcionadas no sentido norte-sul e sistema de condução em líder central com apoio.

Foram utilizadas duas quadras do pomar de macieiras distanciadas em 15 m, sendo uma conduzida em céu aberto (descoberto) e a outra com cobertura de tela antigranizo (coberto). Foi utilizada tela antigranizo de cor preta, com malhas de 4 x 7 mm, instalada um ano após o plantio das mudas. Esta foi apoiada sobre estrutura fixa, formando duas águas com abertura de 20 a 30 cm nas entrelinhas,

para escoamento do granizo. A distância entre o topo das plantas e a tela era de aproximadamente 30 cm. Com amostras aleatórias de 10 plantas foram determinados: altura média de plantas de 2,7 m em céu aberto e 3,0 m no pomar coberto; diâmetro médio na base do tronco de 4,5 cm nos dois ambientes; e média de 17 ramos por planta nos dois ambientes.

Com a utilização de porta enxerto de baixo vigor, sistema de condução e espaçamento em alta densidade, configurou-se um dossel com plantas pouco vigorosas, formando linhas espaçadas e abertas. Além disso, as plantas foram submetidas a podas verdes de desbaste, durante o período de pleno crescimento vegetativo.

No interior de cada quadra (ambientes com e sem cobertura de tela antigranizo) e numa linha de plantas, foram instalados sensores para monitorar a duração do período de molhamento foliar (DPM). Para tanto foram utilizados dois tipos de sensores: o modelo 237-L (Campbell) e sensores com placa de PVC desenvolvidos pela Epagri (Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina), aqui denominados Placas de Molhamento Foliar da Epagri (PMFE). Todos os sensores de molhamento foliar foram instalados em pares, para cada uma das posições do dossel em que DPM foi medida.

A DPM foi medida nos extratos superior, médio e inferior dos pomares descoberto (em céu aberto) e coberto (abaixo da tela). Os sensores foram instalados com inclinação de 45° e voltados para o sul, segundo recomendações de Sentelhas (2004). A DPM foi totalizada para períodos de 24 horas, iniciando-se às 12:30 h do dia “n” e encerrando-se às 12:00 h do dia “n + 1”.

Todos os sensores foram conectados a um sistema automático de aquisição de dados, composto por um multiplexador AM 416 de 40 canais, um

datalogger CR21X e uma unidade armazenadora acoplada (todos da marca Campbell), com leituras realizadas a cada 30s e registros a cada meia hora.

Junto ao experimento, foi instalada uma estação meteorológica automática para medições meteorológicas, em nível de mesoescala. Nesta, além de sensores padrão, instalou-se um psicrômetro a 1,5 m de altura. Também, foram instalados sensores de molhamento foliar para monitorar DPM sobre gramado, sendo as medições obtidas por quatro sensores (modelos 237-L e PMFE) a 30 cm acima do solo, voltados para o sul, com inclinação de 45°, distanciados em 25 cm, segundo critérios estabelecidos por Sentelhas (2004) e Santos (2006).

.Antes da utilização no campo, os sensores de molhamento (237-L e PMFE) foram pintados com tinta látex de cor branca, visando aumentar a sensibilidade do sensor ao molhamento e simular as propriedades ópticas das folhas, de acordo com recomendação de Sentelhas (2004). Após a pintura, os sensores foram submetidos a tratamento térmico em estufa (65 °C por 12h), conforme sugerido pelo mesmo autor. Após esse processo, os sensores foram testados e calibrados, de modo a estabelecer os limiares entre condições de molhado e completamente seco e para o ajuste das medições, entre sensores, a fim de obter valores iguais, quando instalados em condições idênticas.

A partir dos dados de temperatura do ar (psicrômetros), provenientes da estação automática em nível de mesoescala, calculou-se a umidade relativa do ar, déficit de pressão de vapor, pressão parcial de vapor ou pressão real de vapor, temperatura do ponto de orvalho e depressão do ponto de orvalho, de acordo com as respectivas Equações 11 a 17 (Ometto, 1981):

$$UR = \left(\frac{e}{es} \right) 100 \quad (11)$$

$$DPV = e - es \quad (12)$$

$$es = 4,58 \times 10^{\left(\frac{7,5t_s}{237,5+t_s} \right)} \quad (13)$$

$$e = es_u - 0,6 \times (t_s - t_u) \quad (14)$$

$$es_u = 4,58 \times 10^{\left(\frac{7,5t_u}{237,5+t_u} \right)} \quad (15)$$

$$Td = \frac{186,49 - 237,3 \log e}{\log e - 8,2859} \quad (16)$$

$$DPO = ts - Td \quad (17)$$

sendo UR (%) a umidade relativa do ar, e (mm Hg) a pressão real de vapor d'água no ar, es (mm Hg) a pressão de saturação de vapor d'água do ar, DPV (em mm Hg \times 1,33 hPa/mm Hg = hPa) o déficit de pressão de vapor ou déficit de saturação do ar, t_s ($^{\circ}$ C) a temperatura do ar medida pelo termômetro de bulbo seco do psicrômetro, t_u ($^{\circ}$ C) a temperatura do ar medida pelo termômetro de bulbo úmido do psicrômetro, Td ($^{\circ}$ C) a temperatura do ponto de orvalho do ar para e em hPa (e em mm Hg \times 1,33 hPa/mm Hg), DPO a depressão do ponto de orvalho ($^{\circ}$ C).

Foi realizado monitoramento em nível microclimático para temperatura e umidade do ar, radiação solar e vento, nos pomares deste estudo (coberto por tela antigranizo e em céu aberto), cujos critérios e resultados constam em Cardoso *et al.* (2009) e Bosco *et al.* (2010).

Foi comparada a DPM (horas por dia) entre posições no dossel, nos terços superior, médio e inferior de cada ambiente (coberto e descoberto) e entre ambientes para mesma posição na planta. A variabilidade de DPM dentro e entre

ambientes foi avaliada pelo desvio padrão (DP), coeficiente de variação (CV%), diferença absoluta média (DAM), diferença média (DM) e teste t para dados pareados, ao nível de 5 % de probabilidade de erro.

Para a estimativa de DPM (h dia^{-1}) o valor real (DPM observada) foi considerado aquele obtido na posição no dossel que apresentou duração predominantemente maior. A estimativa de DPM em pomares foi obtida por modelos empíricos e através da relação desta com DPM obtida sobre gramado. Esses modelos foram aplicados utilizando-se dados dos elementos medidos na estação base (em mesoescala). DPM foi estimada a partir do número de horas por dia (NH) com valores de: umidade relativa igual ou acima de 85 % ($\text{NHUR} > 85\%$), 87 % ($\text{NHUR} > 87\%$), 90 % ($\text{NHUR} > 90\%$) e 92 % ($\text{NHUR} > 92\%$); a partir do número de horas por dia em que DPO foi igual ou inferior a 1°C ($\text{DPO} \leq 1$), $1,4^\circ\text{C}$ ($\text{DPO} \leq 1,4$), $1,7^\circ\text{C}$ ($\text{DPO} \leq 1,7$) e 2°C ($\text{DPO} \leq 2$); a partir do número de horas por dia em que DPV teve valores iguais ou inferiores a 1,9 hPa ($\text{DPV} \leq 1,9$), 2,4 hPa ($\text{DPV} \leq 2,4$), 2,7 hPa ($\text{DPV} \leq 2,7$) e 3,1 hPa ($\text{DPV} \leq 3,1$).

Os dados de DPM dentro e entre ambientes e o desempenho das estimativas de DPM foram avaliados pelas seguintes estatísticas: coeficiente de correlação (r); coeficiente de determinação (R^2), índice de concordância de Willmott (D, Equação 9). Os modelos de estimativa da DPM foram avaliados pelo erro absoluto médio (EAM), erro médio (EM), coeficiente de determinação (R^2), coeficiente de concordância de Willmott (D, Equação 9) e índice de confiabilidade (C, Equação 10).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Duração do molhamento foliar (DPM) em pomares de macieira

No pomar em céu aberto (descoberto) a duração do molhamento foliar (DPM) foi maior no terço inferior do dossel que no meio do dossel, no qual ela foi maior que no terço superior (Figura 2, Tabela 7). No pomar coberto por tela antigranizo o padrão foi similar, mas as diferenças de DPM entre estratos do dossel foram menores que no pomar em céu aberto (Figura 2). Portanto, a DPM média do período avaliado decresceu na seqüência dos estratos inferior, médio e superior do dossel, em ambos os pomares coberto e descoberto.

No pomar descoberto a DPM média foi significativamente diferente entre todos os estratos (Tabela 7). Nesse pomar as médias de DPM foram de 13,5 h no estrato inferior, 12,7 h no estrato médio e 12,3 h no estrato superior. As médias de DPM no pomar coberto não apresentaram diferença significativa na comparação entre os terços médio e inferior do dossel (Tabela 7). Sob tela antigranizo as médias de DPM foram de 13,9 e 13,8 h nos estratos inferior e médio e 13,2 h no terço superior do dossel de plantas.

A tendência de variação na duração do molhamento foliar, principalmente no pomar descoberto, foi contrária daquela encontrada em trabalho desenvolvido por Sentelhas (2004) e Sentelhas *et al.* (2005) em Ames, Estados Unidos, onde a DPM foi maior na seqüência dos estratos superior, médio e inferior. No referido trabalho, os autores encontraram cerca de 2 h a mais de DPM no estrato superior

de macieiras, similar ao observado por Wittich (1995). Batzer *et al.* (2008) também encontraram maior DPM no estrato superior do dossel de macieiras, em Iowa, nos Estados Unidos. As diferenças entre os resultados deste trabalho e aqueles obtidos pelos autores citados podem ser atribuídas, sobretudo, a diferenças na estrutura dos dosséis e, conseqüentemente, nas condições microclimáticas dos pomares.

TABELA 7. Duração média do período de molhamento foliar (DPM, em h dia⁻¹) em dosséis de macieiras ‘Royal Gala’ em céu aberto (D) e coberto por tela antigranizo (C). Vacaria-RS, 2009/2010.

Estrato do dossel	C	D ¹	C x D ²	
			C	D
Superior	13,2 b	12,3 c	13,2A	12,4B
Médio	13,8 a	12,7 b	13,8A	12,8B
Inferior	13,9 a	13,5 a	13,9A	13,8A

Médias seguidas na coluna pela mesma letra minúscula e na linha pela mesma letra maiúscula não diferem entre si, ao nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste t para dados pareados; ¹ referente ao período mais longo de observação da DPM no ambiente em céu aberto (D); ² dados do período idêntico, para cada estrato do dossel, de observação da DPM nos dois ambientes coberto por tela antigranizo (C) e em céu aberto (D).

Nos estudos citados a estrutura dos dosséis e a disposição de plantas eram diferentes daquelas utilizadas no presente trabalho. Nos trabalhos desenvolvidos nos Estados Unidos por Sentelhas *et al.* (2005) e Batzer *et al.* (2008) utilizaram-se pomares de macieira ‘Golden Delicious’ com espaçamento de 3 m por 5 m. Estes dosséis não usam porta enxerto “ananizante” e em baixa densidade, formavam plantas robustas e copas fechadas, com altura entre 3,5 e 5 m e aproximadamente 2 m de largura. Desta forma, somente o topo das plantas ficava diretamente exposto ao céu. Assim, o estrato superior das plantas estaria

mais propenso a apresentar molhamento, tanto em dias somente com orvalho como em dias de chuva.

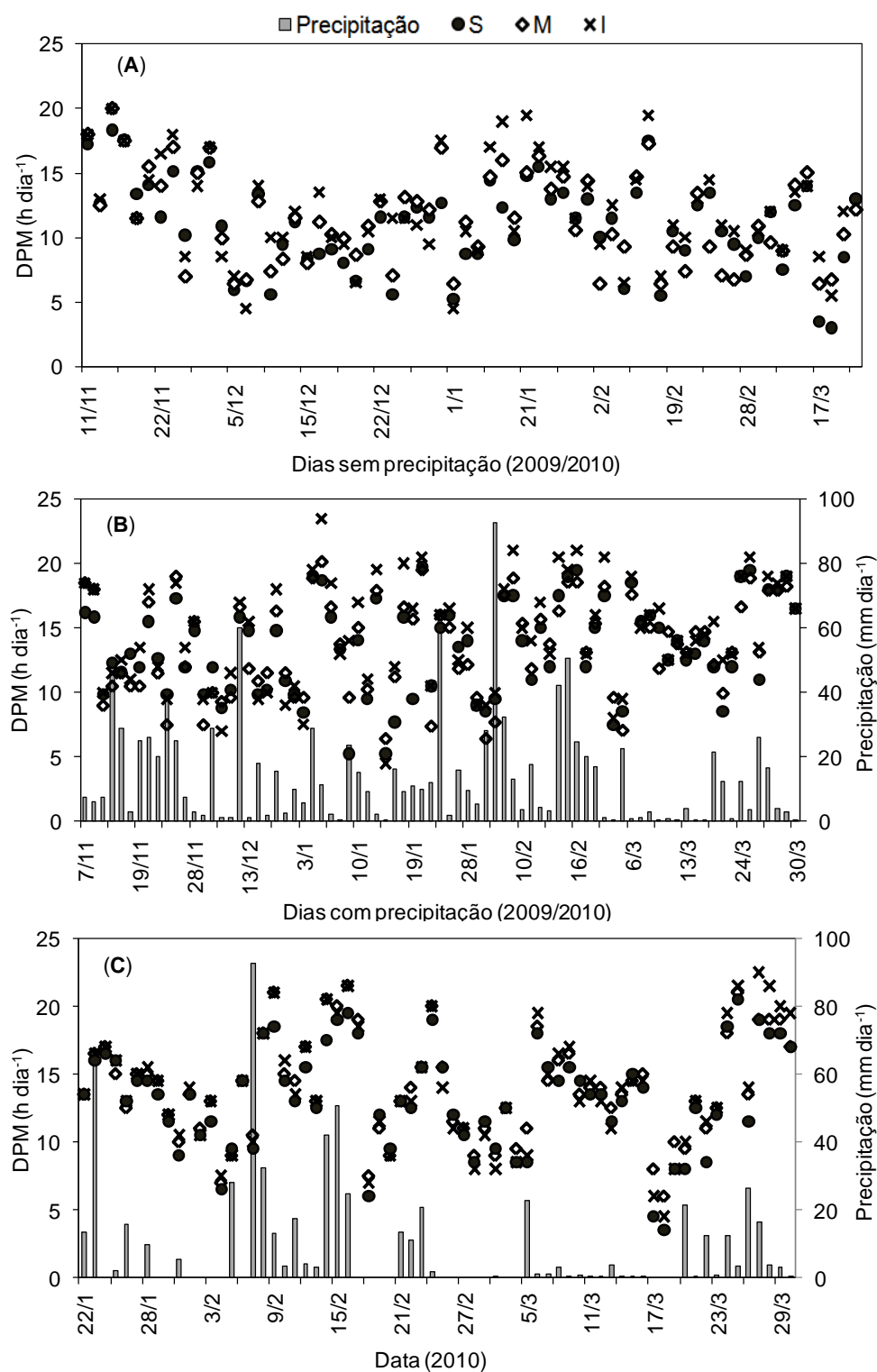


FIGURA 2. Precipitação pluvial e duração do período de molhamento foliar (DPM) foliar nos terços médio (M), inferior (I) e superior (S) de pomares de macieiras 'Royal Gala' em céu aberto (A e B) e coberto por tela antigranizo (C). Vacaria-RS, 2009/2010.

No presente trabalho as plantas de macieira 'Royal Gala' eram de porte menor, devido ao porta enxerto de baixo vigor vegetativo (M9) e aos espaçamentos de 1 m entre plantas e 3,5 m entre linhas, com altura de aproximadamente 3 m e, no máximo, 1 m de largura de plantas. Desta forma, os pomares se configuravam em linhas espaçadas e abertas, à semelhança de vinhedos em espaldeira, embora com maior densidade de plantas nas linhas. Nesta configuração, a radiação solar penetra no interior do dossel, pelas entrelinhas, e as folhas ficam expostas à formação do orvalho, mesmo em estratos inferiores. Contudo, a secagem se dá antes no estrato superior, seguindo em direção ao estrato inferior do dossel. Este aspecto pode ser explicado pelas trocas de energia radiante e pela ação do vento que tendem a ser mais intensas no topo que na base do dossel.

Os dosséis em linhas espaçadas e abertas do presente trabalho se configuram pela alta densidade e pela utilização de porta enxerto de baixo vigoroso. Contudo, é importante ressaltar que eram feitas podas verdes de desbaste de ramos, de modo a manter esta arquitetura ao dossel. O porta enxerto M9 é muito utilizado em pomares de alta densidade em Vacaria e, segundo Pedrotti & Voltolini (2001), também é o mais utilizado no Estado de Santa Catarina em pomares de alta densidade visando porte reduzido das plantas, o que facilita o manejo dos pomares.

Pelas características físicas e microclimáticas dos dosséis as variações na duração do molhamento foliar, observadas no presente trabalho, se assemelham às encontradas por Sentelhas (2004) em dosséis jovens (e abertos) de cafeeiros, onde DPM foi maior na parte inferior do dossel que no topo das plantas. Por outro lado, em videiras cultivadas em espaldeira não houve diferenças em

DPM entre as posições no dossel (Sentelhas, 2004). Convém ressaltar, que as videiras em espaldeiras apresentam largura de plantas ainda menores que os cafeeiros e as macieiras, com exposição as condições de ambiente, praticamente idêntica para todo o perfil do dossel.

No pomar coberto a DPM foi, em média, maior que no pomar descoberto, para todos os estratos no dossel. Nos terços superior e médio a DPM diferiu significativamente entre ambientes. No entanto, no terço inferior do dossel não houve diferenças significativas entre ambientes (Tabela 7).

No pomar de macieiras descoberto a duração do molhamento foliar no terço inferior do dossel foi, em média, 0,8 e 1,2 h maior que àquela verificada nos estratos médio e superior, respectivamente. Neste ambiente a duração do molhamento foliar no estrato médio foi, em média, 0,4 h maior que a DPM na porção superior do dossel. Corroborando estas diferenças entre porções do dossel de macieiras, a duração do molhamento no terço inferior foi maior que no estrato intermediário em 66% dos dias e maior ao terço superior em 73% dos dias, enquanto que a DPM no terço intermediário foi maior que no estrato superior em 61% dos dias (Tabela 8).

Considerando somente os dias sem precipitação, as diferenças médias são iguais entre os estratos inferior e médio e entre inferior e superior. No entanto, a porção intermediária passa a ter, em média, 0,5 h a mais de molhamento foliar que o estrato superior. Para os dias com precipitação as diferenças médias entre os estratos demonstram que a DPM no terço inferior foi 0,9 h maior que no terço médio, no estrato inferior foi 1,1 h maior que no superior e no estrato médio a DPM foi apenas 0,2 h maior que no terço superior (Tabela 8).

No pomar de macieiras coberto as diferenças médias de DPM entre os estratos do dossel de plantas foram menores. No terço inferior ela foi 0,2 e 0,7 h

maior que nos estratos intermediário e superior, respectivamente. O estrato médio do dossel teve DPM 0,7 h maior que o terço superior. Neste pomar o valor de DPM na porção inferior do dossel foi superior aquele da porção intermediária em apenas 44% dos dias e igual em 33% dos dias. O terço inferior do dossel teve DPM maior que o estrato superior em 66% dos dias e o estrato médio teve DPM maior que o estrato superior em 68% dos dias (Tabela 8).

TABELA 8. Diferenças médias de duração do período de molhamento (DPM), em h dia^{-1} , entre os estratos superior (S), médio (M) e inferior (I) de dosséis de macieiras 'Royal Gala' em céu aberto (descoberto) e sob tela antigranizo (coberto). Vacaria-RS, 2009/2010.

Diferenças Médias	Descoberto			Coberto		
	I - M	I - S	M - S	I - M	I - S	M - S
Todo Período	0,8	1,2	0,4	0,2	0,7	0,7
Dias com precipitação	0,9	1,1	0,2	0,6	0,9	0,5
Dias sem precipitação	0,8	1,2	0,5	-0,1	0,5	0,8

As medições da duração do molhamento foliar podem ser consideradas precisas e acuradas, pelos elevados coeficientes de determinação (R^2) e índice de concordância de Willmott (D), e altamente correlacionadas (r) entre diferentes estratos do dossel de cada ambiente, e entre ambientes para um mesmo estrato do dossel (Tabela 9). Os índices estatísticos foram mais elevados no pomar coberto, que também apresentou menor coeficiente de variação para duração de molhamento foliar nos estratos do dossel, conforme a Figura 3.

TABELA 9. Coeficientes de correlação (r), índice de concordância de Willmott (D) e coeficiente de determinação (R²) para a duração do período de molhamento foliar (DPM) entre os estratos superior (S), médio (M) e inferior (I) do dossel de macieiras 'Royal Gala' em céu aberto (descoberto) e sob tela antigranizo (coberto). Vacaria-RS, 2009/2010.

Posição dossel	Todo Período			Dias sem precipitação			Dias com precipitação		
	r	D	R ²	r	D	R ²	r	D	R ²
Descoberto									
I e M	0,91	0,94	0,83	0,90	0,94	0,81	0,92	0,99	0,84
I e S	0,89	0,92	0,79	0,89	0,92	0,80	0,88	0,92	0,77
M e S	0,90	0,96	0,80	0,89	0,96	0,80	0,89	0,95	0,79
Coberto									
I e M	0,94	0,97	0,89	0,96	0,99	0,93	0,92	0,95	0,85
I e S	0,97	0,98	0,93	0,97	0,99	0,95	0,95	0,96	0,90
M e S	0,97	0,98	0,93	0,97	0,99	0,94	0,96	0,98	0,92

Na Figura 3 verifica-se que os coeficientes de variação entre os valores de duração do molhamento foliar para diferentes estratos do dossel descoberto foi superior àqueles do dossel coberto, com ou sem ocorrência de precipitação pluvial. Ainda, verifica-se que, em dias com precipitação, há pequena redução na variação da DPM entre estratos do dossel de macieiras (Figura 3).

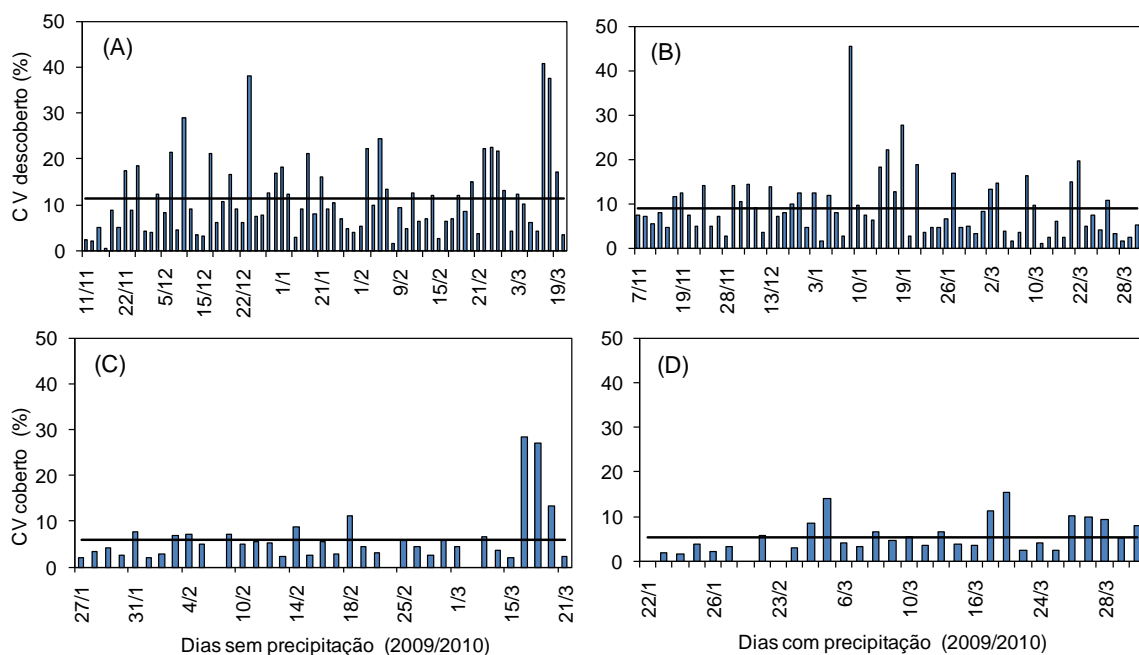


FIGURA 3. Coeficientes de variação (CV) diário (barras) e médio (linha) para duração do período de molhamento foliar entre os terços médio, inferior e superior de pomares de macieiras 'Royal Gala' em céu aberto (A e B) e coberto por tela antigranizo (C e D). Vacaria-RS, 2009/2010.

Segundo resultados encontrados por Cardoso *et al.* (2009) e Bosco *et al.* (2010), seguindo uma seqüência de estudos no mesmo local, não houve diferenças entre médias diárias de temperatura e umidade relativa do ar entre os pomares em céu aberto e sob tela antigranizo, num mesmo estrato do dossel. No entanto, os autores verificaram que a radiação solar incidente e a velocidade do vento foram reduzidas em cerca de 30% e 40% pela cobertura antigranizo, respectivamente. Estas comparações entre condições microclimáticas, associadas à cobertura do pomar, podem explicar a maior similaridade de DPM entre diferentes estratos do dossel coberto, assim como a maior duração de molhamento no pomar coberto por tela, em relação ao dossel em céu aberto. As reduções de radiação solar e velocidade do vento podem contrabalançar os efeitos da cobertura sobre a temperatura e a umidade relativa do ar. A redução da radiação tende a diminuir a temperatura e aumentar a umidade relativa do ar. Contudo, a redução da velocidade do vento dificulta a renovação do ar junto às

superfícies, causando efeito contrário. A menor renovação do ar junto às superfícies do dossel poderia proporcionar maior DPM, com maior similaridade de valores entre os estratos do dossel coberto por tela.

É importante ressaltar que, na comparação entre ambientes, a duração do molhamento foliar diferiu nos estratos médio e superior dos dosséis, mas não diferindo no estrato inferior, apesar do ambiente coberto ter apresentado maior média de DPM no dossel como um todo. Estas diferenças entre estratos se justificam pela influência da velocidade do vento e da radiação solar, que tende a ser maior no topo das plantas, diminuindo em direção aos estratos inferiores do dossel.

4.2 Estimativa da duração do período de molhamento (DPM) em pomares de macieira

4.2.1. Estimativa a partir de DPM medida sobre gramado

A correlação (r) entre a duração do molhamento foliar medida sobre gramado e aquela medida nos terços superior, médio e inferior do dossel de macieiras descoberto foram 0,8, 0,8 e 0,9, respectivamente. A DPM medida sobre gramado foi, em média 1,2 h maior que no terço superior, 0,9 h maior que no terço médio e apenas 0,1 h maior que no terço inferior do dossel de macieiras. Pelo índice de concordância e acurácia de Willmott (D), DPM sobre gramado foi mais próxima da duração medida no estrato inferior do dossel ($D = 0,96$) que nos estratos médio ($D = 0,9$) e superior ($D = 0,89$) do dossel de macieiras. Do mesmo modo, DPM obtida sobre gramado teve melhor relação com DPM obtida no estrato inferior ($R^2 = 0,77$) que com nos estratos médio ($R^2 = 0,69$) e superior ($R^2 = 0,70$) de macieiras (Figura 4). Portanto, melhor precisão e acurácia foram

obtidas nas comparações entre DPM sobre gramado e no terço inferior do dossel de macieiras.

Analisando precisão e acurácia, conjuntamente, medidas de DPM sobre gramado proporcionaram estimativas “muito boas” desta variável em macieiras, segundo critérios de (Camargo & Sentelhas, 1997) com índice de confiabilidade (C) igual a 0,84.

Santos (2006) encontrou melhor relação entre a duração do período de molhamento sobre gramado e aquela obtida no estrato superior de dosséis de algodoeiro e de cafeeiro. Na cultura da banana o autor também encontrou maior precisão da estimativa da DPM no estrato superior da cultura, mas nesta posição a DPM foi sistematicamente superior àquela medida no posto meteorológico. No terço médio da cultura a tendência de superestimativa foi menor, embora a precisão das estimativas tenha sido reduzida, consideravelmente. Para aquele autor, os resultados demonstram que DPM é influenciada não apenas por variáveis micrometeorológicas, mas também por características do dossel, como a altura e a arquitetura das plantas, a exposição das folhas, entre outras, que interagem para determinar o microclima da cultura.

Sentelhas (2004) obteve forte correlação entre a DPM medida sobre gramado e aquela medida no estrato superior de dosséis de culturas com diferentes características estruturais, como milho, algodão e melão. Com isto, Sentelhas (2004) e Santos (2006) sugerem que a DPM sobre gramado pode ser utilizada para estimativa da DPM no estrato superior de culturas. Por outro lado, Sentelhas *et al.* (2005) sugere que a DPM medida sobre gramado pode ser utilizada para estimar a medida no estrato superior de culturas, desde que este seja o local de maior duração do molhamento. Os autores indicaram a estimativa para o estrato superior, pois este foi o local onde foi registrada a maior duração do

período de molhamento e também de onde foram obtidas as maiores correlações com a DPM medida sobre gramado, em posto meteorológico, a 30 cm acima do solo.

No presente trabalho a maior DPM foi verificada no terço inferior do dossel de macieiras, que também foi o local cuja duração de molhamento teve melhor relação com a DPM medida sobre gramado. O sistema de condução dos pomares de macieira, na região de Vacaria, RS, não determina a formação de dosséis fechados. Assim, a modificação no microclima dos pomares pode ser atenuada, em comparação ao ar livre, favorecendo uma relação estreita entre DPM obtida no pomar e medidas obtidas sobre gramado. Além do mais, nos dosséis abertos do presente estudo a ação do vento e da radiação nesta porção é menor, como relatado, o que corrobora a melhor relação com a medida da DPM sobre o gramado.

Por outro lado, os dosséis estudados pelos autores citados apresentam estruturas diferentes, como o milho, o algodão e a bananeira, se comparados aos dosséis de macieiras do presente trabalho. Contudo, os dosséis de café estudados por Santos (2006) parecem se assemelham mais aos de macieiras em Vacaria, com espaçamento semelhante entre linhas de cultivo. No entanto, esses dosséis de café apresentavam 1,6 m de altura e livre crescimento de ramificações laterais, enquanto que as macieiras do presente estudo tinham aproximadamente 3 m de altura, e foram conduzidas em líder central e podas verdes de desbaste, de forma a evitar excesso de ramificações entre as linhas de cultivos.

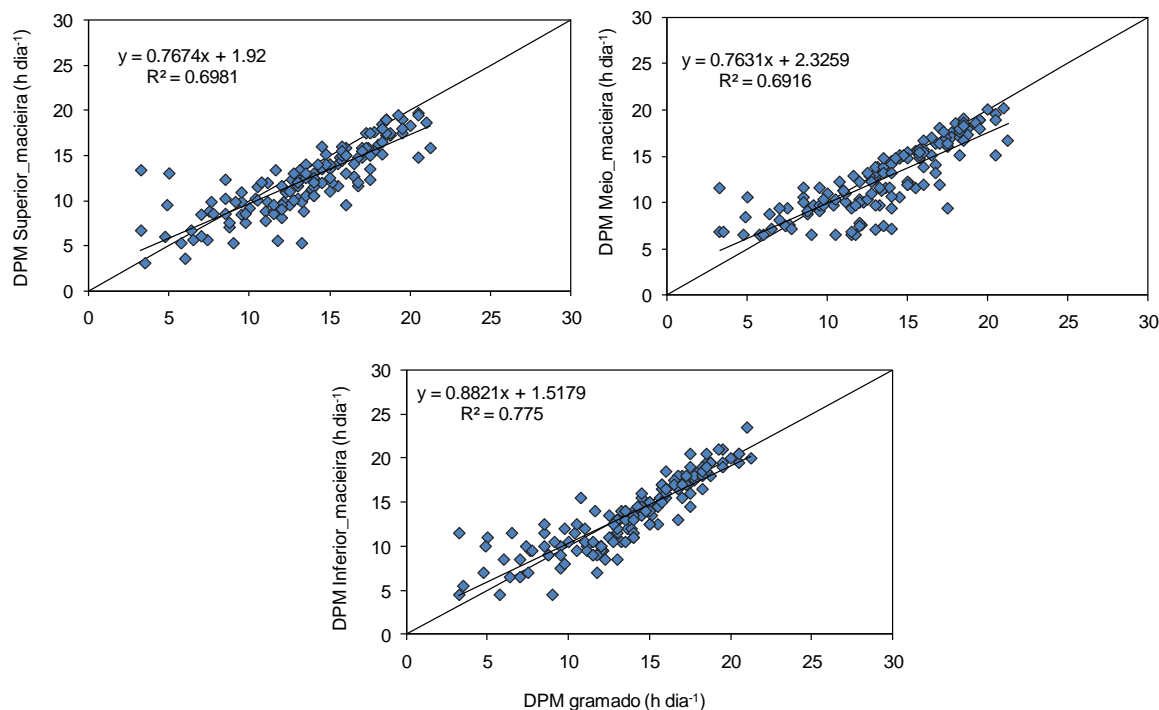


FIGURA 4. Relação entre a duração do período de molhamento foliar (DPM) medida sobre gramado, a 30 cm de altura, e DPM medida nos estratos superior, médio e inferior do dossel de macieiras 'Royal Gala' em céu aberto. Vacaria-RS, 2009/2010.

4.2.2 Estimativa a partir de parâmetros de umidade do ar

Analisando precisão (R^2), acurácia (D) e erros absolutos médios (EAM) dos modelos de estimativa de DPM, verificou-se que, entre os que consideram a umidade relativa como variável independente, as melhores estimativas foram obtidas quando foram utilizados os limites de número de horas com umidade relativa maior ou igual a 87% ($NHUR > 87$) e a 90% ($NHUR > 90$). Dentre os modelos que utilizam a depressão do ponto de orvalho as melhores estimativas foram obtidas quando foram utilizados valores iguais ou inferiores a 1,4 °C ($DPO \leq 1,4$) e valores iguais ou inferiores a 1,7 °C ($DPO \leq 1,7$). Do mesmo modo, os modelos cuja variável independente foi o déficit de saturação, as melhores estimativas foram para limiares iguais ou inferiores a 1,9 hPa ($DPV \leq 1,9$) e iguais ou inferiores a 2,4 hPa ($DPV \leq 2,4$) (Tabela 10). Pelos coeficientes de

determinação (R^2) e retas de tendência em comparação à linha 1:1 (igualdade entre valores) é possível ratificar estas constatações (Figuras 5, 6 e 7).

Para os modelos de estimativa de DPM em pomares de macieira a relação entre precisão e acurácia (C) variou entre bom, muito bom e ótimo, segundo critérios de Camargo & Sentelhas (1997) com exceção dos modelos cuja variável independente foi depressão do ponto de orvalho igual ou inferior a 1°C ($\text{DPO}_{\leq 1}$) e igual ou inferior a 2°C ($\text{DPO}_{\leq 2}$) e déficit de pressão de vapor igual ou inferior a 3,1 hPa ($\text{DPV}_{\leq 3,1}$) (Tabela 10), que apresentaram menores coeficientes de confiabilidade, C. Para todos modelos os índices estatísticos referidos e os erros absolutos médios (EAM) foram similares, quando se considerou todo período ou somente dias sem precipitação pluvial (Tabela 10).

Santos (2006) encontrou estimativas adequadas de DPM pelos modelos $\text{NHUR}_{\geq 87\%}$ e DPO. Contudo, o primeiro teve tendência de subestimar a DPM em período seco e superestimar em período úmido, sendo que o segundo apresentou tendência de subestimativa, a qual foi mais pronunciada em período seco. Ao estimar a DPM na cultura do algodão por meio de modelos físicos e empíricos, Sentelhas (2004) observou que o desempenho de modelos empíricos, como os baseados na depressão da temperatura do ponto de orvalho e na umidade relativa, era comparável ao desempenho de modelos mais complexos, como o de Penman-Monteith. Apesar do adequado desempenho dos métodos de estimativa de DPM, o autor observou que, em dias sem precipitação, foi observada pequena melhoria na acurácia das estimativas da DPM, enquanto que para dias chuvosos a precisão diminuiu acentuadamente. Ao utilizarem modelos empíricos baseados na umidade relativa, para estimar a DPM em espigas de milho, Rao *et al.* (1998) obtiveram acurácia tão precisa quanto as estimativas feitas por modelos físicos mais complexos. Esses resultados demonstram que os modelos empíricos,

apesar de suas limitações, são uma ferramenta adequada para estimar DPM, principalmente em locais onde a disponibilidade de dados inviabiliza o emprego de modelos mais complexos. Ainda, neste contexto, é importante salientar a importância do ajuste dos modelos empíricos às condições locais (cultura e local).

Dentre os modelos de estimativa de DPM em macieiras, o melhor desempenho foi daqueles cuja variável preditora (independente) é a duração da umidade relativa do ar, acima de um determinado limiar. Para todo o período as melhores estimativas foram obtidas com o modelo que empregou a umidade relativa superior a 90%, NHUR>90 (Tabela 10). Considerando somente dias sem precipitação pluvial, a melhor estimativa foi tanto pelo modelo NHUR>87 (umidade relativa superior a 87%) como pelo modelo NHUR>90 (umidade relativa superior a 90%). Desta forma, o modelo NHUR>90 pode ser indicado como sendo mais adequado para estimar a duração do molhamento foliar em pomares de macieiras, para dias com ou sem precipitação pluvial (Tabela 10).

TABELA 10. Coeficientes de correlação (r) e determinação (R^2), índice de concordância de Willmott (D), coeficiente de confiabilidade (C) e erros absolutos médios (EAM) para estimativas da duração do período de molhamento foliar em pomares de macieiras 'Royal Gala' através de modelos empíricos que utilizam diferentes limites de umidade relativa do ar (NHUR, %), depressão do ponto de orvalho (DPO, °C) e déficit de pressão de vapor (DPV, hPa) medidos em estação meteorológica, a 1,5 m de altura. Vacaria, RS.

Modelos	Todo período					Dias sem precipitação				
	r	D	C	R ²	EAM (h)	r	D	C	R ²	EAM (h)
NHUR>85	0,87	0,89	0,78	0,76	2,1	0,88	0,88	0,77	0,77	2,1
NHUR>87	0,90	0,94	0,84	0,81	1,5	0,91	0,94	0,86	0,83	1,4
NHUR>90	0,91	0,94	0,86	0,83	1,4	0,91	0,94	0,85	0,82	1,5
NHUR>92	0,90	0,88	0,79	0,81	2,4	0,89	0,87	0,78	0,80	2,7
DPO<1	0,83	0,83	0,69	0,69	2,5	0,84	0,82	0,69	0,71	2,8
DPO<1,4	0,89	0,94	0,83	0,79	1,5	0,90	0,94	0,84	0,80	1,4
DPO<1,7	0,86	0,91	0,79	0,74	1,8	0,88	0,92	0,81	0,77	1,6
DPO<2	0,85	0,88	0,75	0,73	2,1	0,86	0,87	0,75	0,74	2,2
DPV<1,9	0,85	0,90	0,77	0,72	1,7	0,85	0,90	0,77	0,73	1,7
DPV<2,4	0,85	0,90	0,77	0,72	1,7	0,87	0,89	0,74	0,70	1,8
DPV<2,7	0,85	0,89	0,76	0,73	1,8	0,86	0,87	0,72	0,69	2
DPV<3,1	0,84	0,87	0,73	0,71	2,1	0,84	0,84	0,68	0,67	2,3

O critério mais utilizado e difundido para utilização da umidade relativa considera que existe molhamento nas superfícies das folhas a partir de valores de umidade relativa de 90%, medidos a 1,5 m de altura do solo. Apesar de ser uma metodologia simples, funcional e relativamente segura (Kruit *et al.*, 2004), a sua utilização deve ser feita considerando que o limite de umidade relativa necessário à existência de molhamento foliar pode abranger períodos com valores inferiores a 90% (Heldwein, 1993 citado por Streck, 2006; Costa *et al.*, 2002). Dessa forma, a umidade relativa pode servir como variável preditora da DPM, desde que seja

definido o limite de umidade relativa que melhor se ajuste aos períodos de ocorrência de molhamento foliar, nas condições locais (Andrade-Piedra *et al.*, 2005).

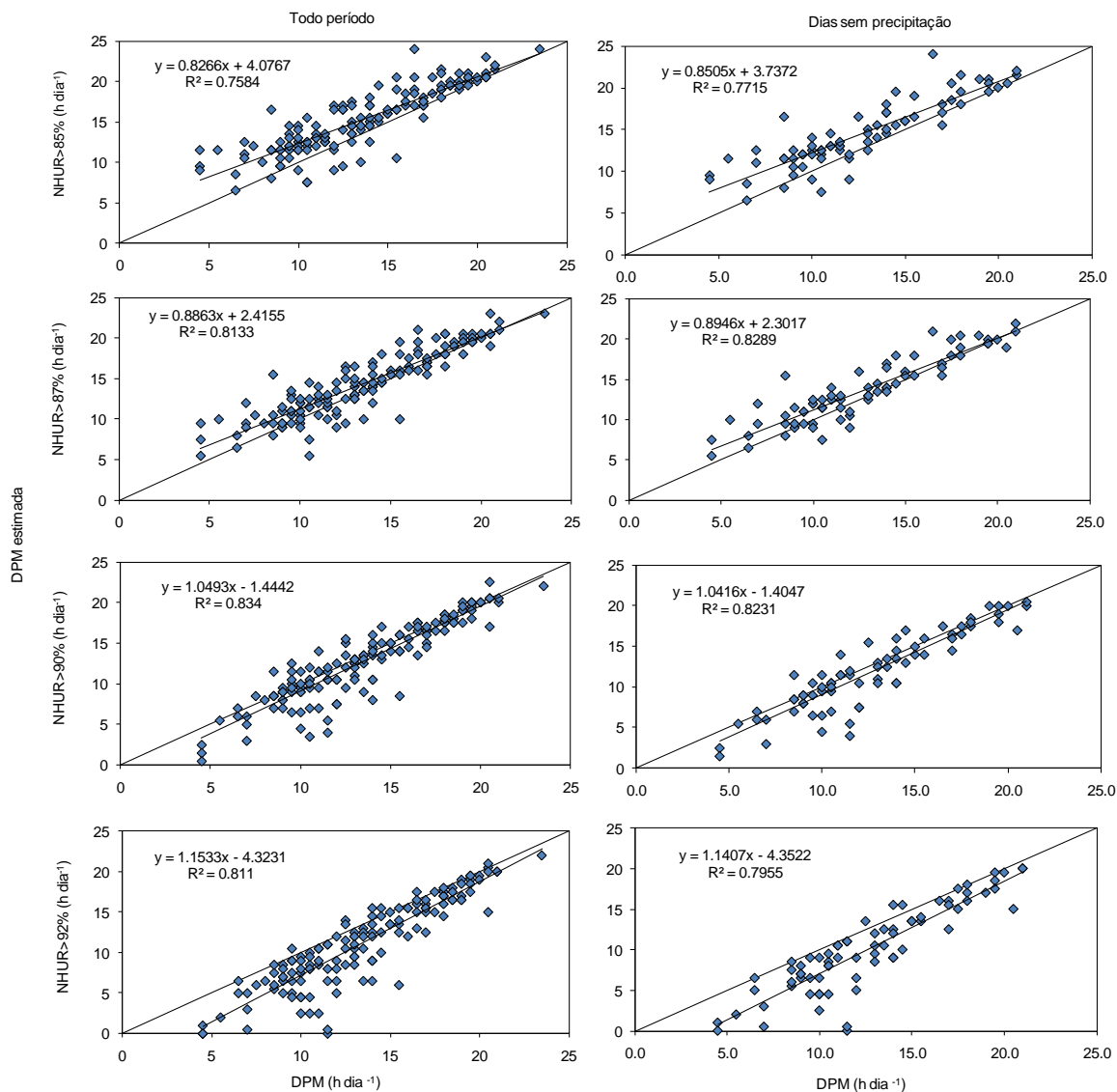


FIGURA 5. Relação entre duração do período de molhamento foliar (DPM) medida no estrato inferior de pomares de macieira 'Royal Gala' e DPM estimada em função do número de horas com umidade relativa igual ou superior a 85% ($NHUR_{\geq 85\%}$), 87% ($NHUR_{\geq 87\%}$), 90% ($NHUR_{\geq 90}$) e 92% ($NHUR_{\geq 92\%}$), para todo período e dias sem precipitação. Vacaria, RS, 2009/2010.

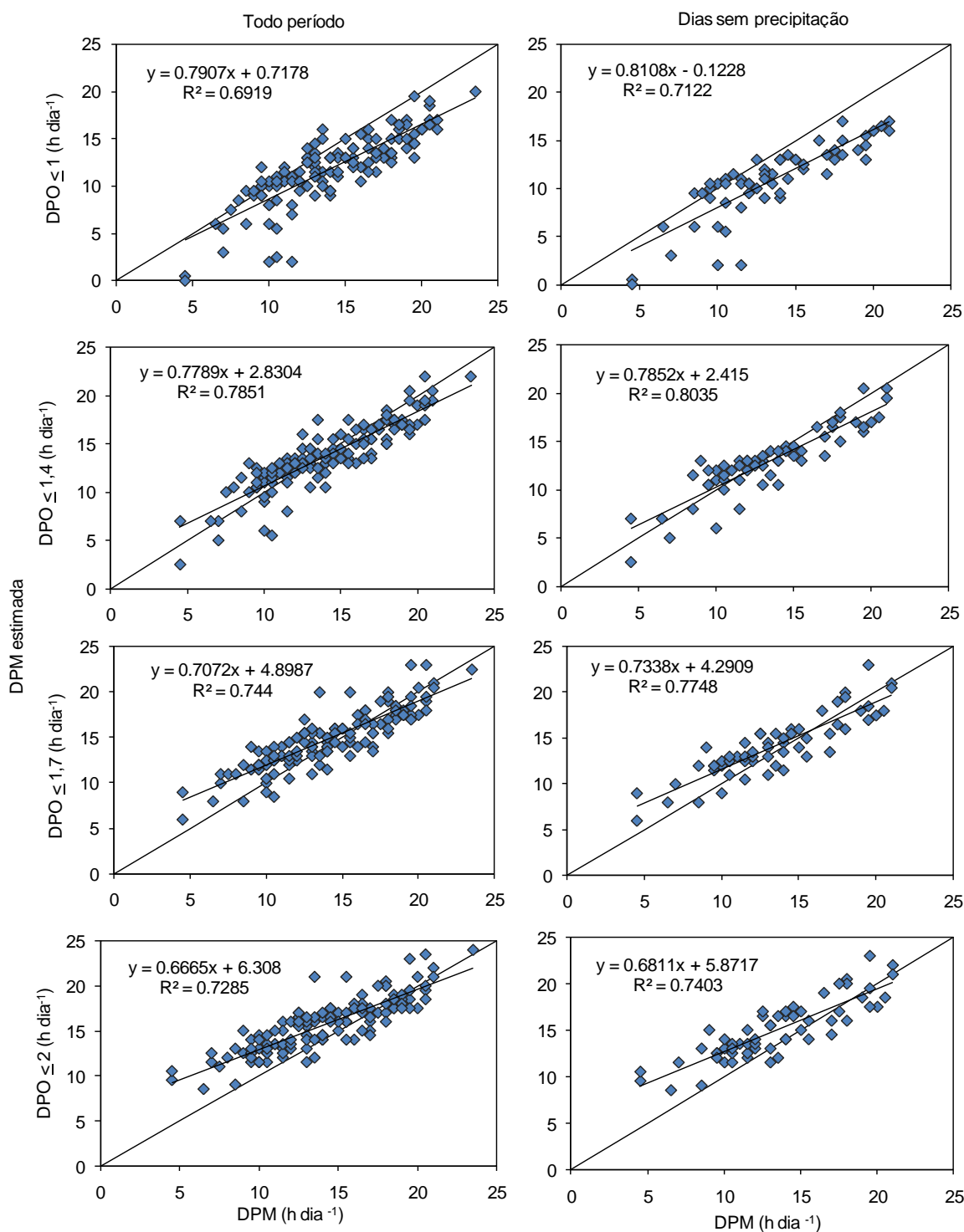


FIGURA 6. Relação entre a duração do período de molhamento foliar (DPM) medida no estrato inferior de pomares de macieira 'Royal Gala' e DPM estimada em função da depressão do ponto de orvalho igual ou inferior a 1°C ($DPO_{\leq 1}$), 1,4 ° C ($DPO_{\leq 1,4}$), 1,7 ° C ($DPO_{\leq 1,7}$) e 2°C ($DPO_{\leq 2}$), para todo período e dias sem precipitação. Vacaria, RS, 2009/2010.

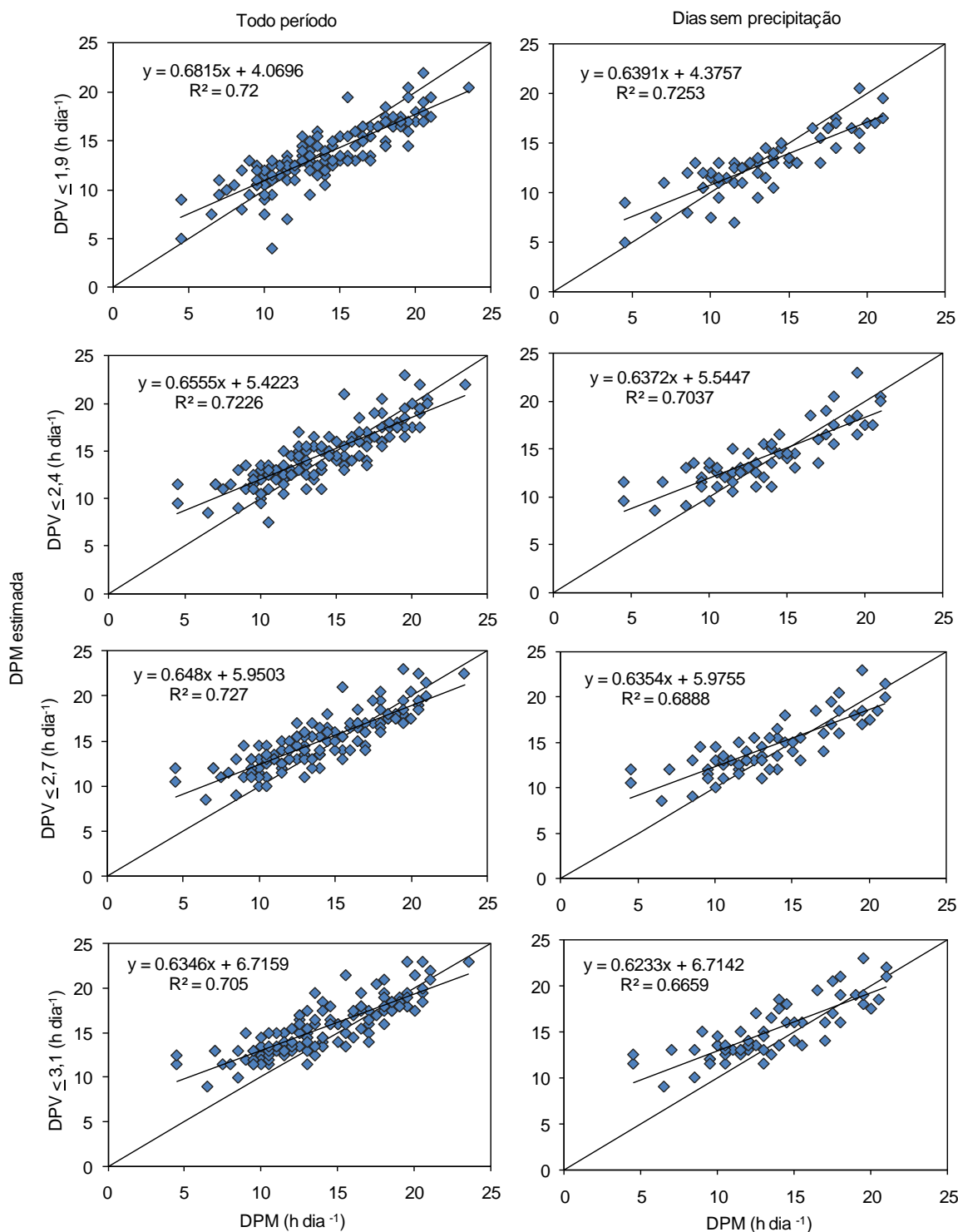


FIGURA 7. Relação entre a duração do período de molhamento foliar (DPM) medida no estrato inferior de pomares de macieiras 'Royal Gala' e DPM estimada em função do déficit de pressão de vapor igual ou inferior a 1,9 hPa ($DPV \leq 1,9$), 2,4 hPa ($DPV \leq 2,4$), 2,7 hPa ($DPV \leq 2,7$) e 3,1 hPa ($DPV \leq 3,1$), para todo período e dias sem precipitação. Vacaria, RS, 2009/2010.

4.3 Disponibilidade de inóculo e intensidade de epidemias de sarna da macieira em função das condições meteorológicas

4.3.1 Padrões de início e período total de liberação de ascósporos

Para o conjunto de 21 anos de dados de monitoramento de ascósporos de *V. inaequalis* na área experimental de Vacaria, seis anos (1999, 2000, 2001, 2002, 2003 e 2004) não possuíam as informações completas, ou seja, as datas de início e/ou duração total em dias do período de liberação de ascósporos (Figura 8). Para os 17 anos com data de início da liberação de ascósporos (ILA), esta apresentou uma diferença máxima de 62 dias entre os anos (Figura 8). Para esta amplitude entre os anos, a data mais antecipada foi em 26 de junho, no ano de 1992, e a mais tardia foi em 27 de agosto, no ano de 1996. A data mais provável de ILA (média de 17 anos) foi a de 21 de julho (Figura 8). Estratificando-se em meses do calendário, em 6% dos anos o ILA se deu em junho, 65% dos anos em julho e 29% dos anos em agosto.

De forma consistente, o início da liberação de ascósporos se deu sempre em um período anterior ao início da primavera e ao início da brotação da macieira. Na região de Vacaria, considerando as cultivares 'Fuji Suprema' e 'Royal Gala', o início da brotação ocorre em média no dia 19 de setembro (Cardoso, 2011).

Para 15 anos com a duração, em dias, do período de liberação (DPL) de ascósporos, calculada pela diferença entre a data de término e início da liberação, foi em média de 117 dias, com desvio padrão de 23 dias, e variando de 81 e 155 dias (Figura 8). A DPL mais curta foi observada no ano de 1996 e a mais longa foi no ano de 2005.

Observa-se que a duração do período de liberação de ascósporos se prolonga de tal forma a sempre coincidir com um ou mais estádios suscetíveis

para a sarna, como início da brotação e desenvolvimento inicial das macieiras (outubro e novembro). Mesmo quando o período de liberação termina em início de outubro, ascósporos de *V. inaequalis* já estão disponíveis no ambiente, nas condições da área experimental em Vacaria.

Experimentos conduzidos por cinco anos consecutivos, na região do Alto do Vale do Rio do Peixe, mostraram que a liberação de ascósporos de *V. inaequalis* iniciou-se quando a macieira ainda se encontrava em dormência (Berton, 2004), em concordância com as observações feitas na localidade de Vacaria.

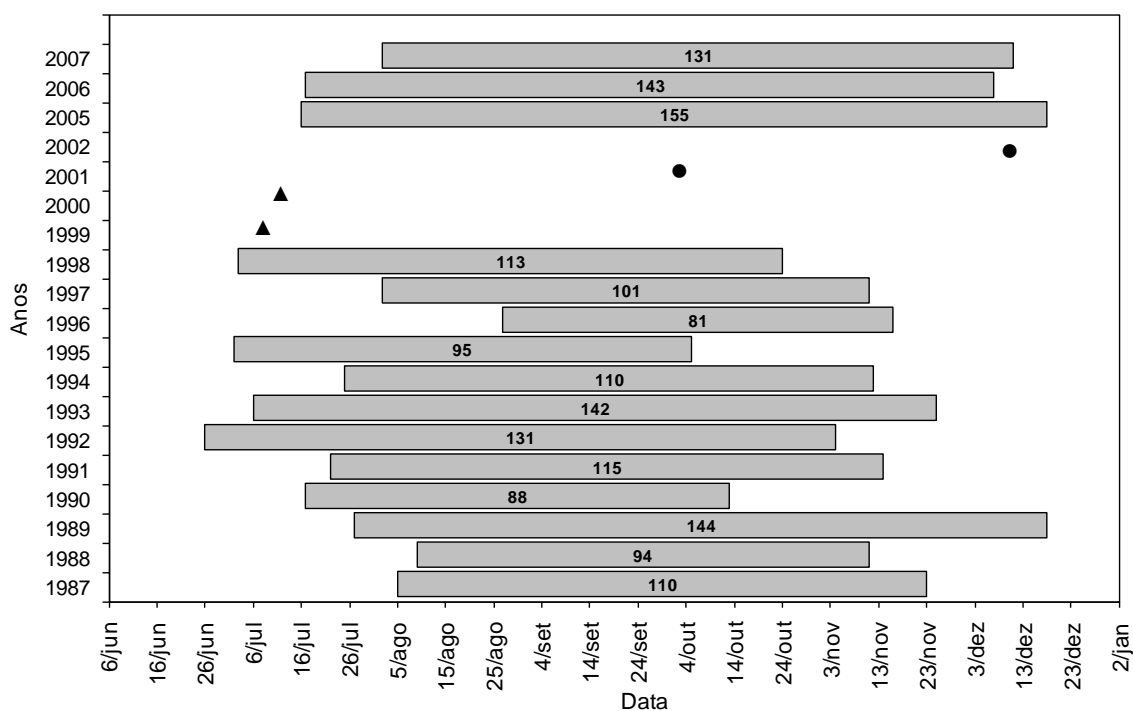


FIGURA 8. Data de início e término do período de liberação de ascósporos de *Venturia inaequalis*, e sua respectiva duração em dias (números dentro da barras), em área da Estação Experimental da EMBRAPA, Vacaria-RS. Para os anos de 1999 e 2000 apenas as datas de início da liberação (▲) e para 2001 e 2002 apenas as datas de término da liberação (●) estavam disponíveis.

A coincidência da presença de ascósporos no início da brotação da macieira representa um fator de risco para a ocorrência da doença, já que folhas

são suscetíveis à sarna desde o momento em que se abrem até 12 dias após, diminuindo sua suscetibilidade após esse período, uma vez que a eficiência de infecção de *V. inaequalis* depende da idade da folha (Berton, 2004; McHardey, 1996). Durante a brotação e floração há um período crítico, de alta suscetibilidade da planta, sendo concomitante aos maiores picos de liberação de ascósporos, segundo observações na Estação Experimental de Caçador, da Epagri/SC (Boneti & Katsurayama, 1988, Berton & Melzer, 1989). Estes resultados, em condições similares de clima de Vacaria, corroboram com observações do presente trabalho. Apesar das observações pontuais de início e fim da liberação de ascósporos, como a DPL normalmente se prolonga até outubro e novembro, provavelmente no início da brotação e floração ocorrem os maiores picos da liberação dos ascósporos.

Os padrões de liberação determinados parecem diferir, de maneira marcante, daqueles observados em regiões de clima temperado frio (temperado típico), com temperaturas menores nos meses de inverno. A exemplo, em estudos no Norte da Itália (Vale do Pó), a liberação de ascósporos de *V. inaequalis* não ocorre, normalmente, antes e/ou próxima ao início da primavera (Rossi *et al.*, 2000 e Rossi *et al.*, 2009). Além disso, naquele País a duração do período de liberação foi de duas a três vezes mais curto (30 a 60 dias) que a média observada no presente estudo (117 dias) (Rossi *et al.*, 2000 e Rossi *et al.*, 2009). Convém ressaltar que, para os meses mais frios, compreendendo o período que antecede o início da liberação, a temperatura média é menor em aproximadamente 8°C nestes locais no norte da Itália em comparação a Vacaria.

Quanto ao número de ascósporos liberados na série histórica, este não teve correlação com início e duração da liberação de ascósporos de *V. inaequalis*.

4.3.2 Condições meteorológicas e suas relações com padrões de liberação de ascósporos

Relações entre as condições meteorológicas e os padrões de liberação foram estudadas para um período anterior ao início de liberação, ou seja, a partir de 1º de junho até o início de liberação de ascósporos (*biofix-ILA*), bem como para o período entre o início e o fim da liberação (DPL).

A duração média do período *biofix-ILA* foi de 50 dias, ou seja, a liberação se inicia, provavelmente, no dia 21 de julho. No entanto, houve grande variação, em até 62 dias, entre o número mínimo e máximo de dias para o *biofix-ILA* nos 17 anos avaliados. O período para início da liberação de ascósporos mais curto foi de 25 dias, no ano de 1992 e de 87 dias em 1996 (Tabela 11).

Nesse período, as médias das temperaturas máxima, mínima e média foram, respectivamente, de 17,2°C, 5,8°C e 12°C (Tabela 11). O menor coeficiente de variação foi observado para a temperatura máxima (5,9%), enquanto que o mais alto ocorreu na temperatura mínima (24,3%), com valor intermediário para temperatura média (15,2%).

A média da precipitação pluvial acumulada no período *biofix-ILA* foi de 263 mm, mas com alta variação entre os anos (Tabela 11). A média da porcentagem do número de dias com chuva no período foi de 29,9%, com valores extremos de 20,3% em 1988 e 40% em 2000.

TABELA 11. Condições meteorológicas do período *biofix*-ILA (entre 1º de junho e o início da liberação de ascósporos) para *Venturia inaequalis* em 17 anos, de 1987 a 2007, em Vacaria-RS.

Ano	<i>Biofix</i> _ILA (dias)	UR ¹ (%)	P ² (mm)	% DCP ³	Tmáx ⁴ (°C)	Tmín ⁵ (°C)	Tméd (°C) ⁶
1987	65	85,6	375,2	24,6	17,3	5,6	12,0
1988	69	79,3	241,5	20,3	16,0	4,0	10,1
1989	56	83,3	244,1	26,8	16,4	4,0	10,3
1990	46	84,5	244,0	32,6	16,4	5,0	11,4
1991	51	82,2	209,5	25,5	17,2	4,8	11,4
1992	25	81,7	78,8	24,0	19,5	6,6	13,9
1993	35	83,9	277,6	28,6	17,0	6,3	12,0
1994	54	80,4	335,9	29,6	15,9	4,8	10,6
1995	31	81,2	191,0	32,3	18,7	6,4	12,7
1996	87	76,6	455,6	25,3	17,0	4,1	10,6
1997	62	82,1	437,9	37,1	17,4	6,3	12,0
1998	32	77,5	158,8	28,1	17,2	5,0	11,2
1999	36	86,2	205,1	36,1	16,0	5,1	10,5
2000	40	80,0	257,0	40,0	18,4	8,0	17,6
2005	45	86,6	225,5	33,3	17,5	8,6	13,2
2006	46	82,8	134,9	34,8	18,2	7,9	13,2
2007	62	78,7	383,7	29,0	16,3	5,7	11,3
Média	50	81,9	262,1	29,9	17,2	5,8	12,0
DP	16	2,9	104,8	5,3	1,0	1,4	1,8
CV (%)	33	3,6	40,0	17,8	5,9	24,3	15,2

¹ Umidade relativa média do ar; ² precipitação pluvial acumulada; ³ porcentagem do número de dias de chuva; ⁴ temperatura do ar máxima média; ⁵ temperatura do ar mínima média; ⁶ temperatura do ar média.

A temperatura média do período de liberação de ascósporos foi de 14,5°C, com médias de 8,5 e 20,3°C para as temperaturas mínima e máxima, respectivamente (Tabela 12). O coeficiente de variação mais elevado foi o da temperatura mínima (14,4 %). A variação da temperatura do ar, com exceção das máximas, foi menor neste período do que no *biofix*-ILA. A precipitação pluvial

acumulada teve elevada variação entre os anos, sendo que os maiores volumes e/ou proporção de dias com precipitação não foram, necessariamente, coincidentes com anos de maior duração na liberação de ascósporos (Tabela 12).

TABELA 12. Condições meteorológicas entre o início e término da liberação de ascósporos (DPL, dias = duração do período de liberação) para *Venturia inaequalis* em 15 anos, de 1987 a 2007, em Vacaria-RS.

Ano	Início a fim da liberação						
	DPL	UR ¹ (%)	P ² (mm)	% DCP ³	Tmáx ⁴ (°C)	Tmín ⁵ (°C)	Tméd (°C) ⁶
1987	110	85.0	635.2	30.0	19.8	7.6	14.5
1988	94	76.3	516.0	20.2	20.3	7.8	14.3
1989	144	79.1	996.1	25.0	21.1	8.4	15.1
1990	88	80.0	417.1	29.5	18.0	5.9	12.3
1991	115	74.7	536.6	26.1	20.9	8.1	14.8
1992	131	82.2	819.1	32.8	18.5	6.7	12.8
1993	142	77.5	586.1	26.8	20.3	7.8	14.2
1994	110	78.0	555.7	33.6	21.6	9.0	15.4
1995	95	79.1	546.8	31.6	19.8	7.9	14.1
1996	81	81.2	550.5	40.7	21.0	9.8	15.5
1997	101	80.6	931.6	38.6	20.9	9.8	15.5
1998	113	83.7	664.1	40.7	18.8	8.5	13.4
2005	155	79.6	999.0	30.3	20.0	9.6	14.6
2006	143	73.3	619.4	23.8	21.1	9.7	15.5
2007	131	80.6	898.1	38.9	21.6	10.5	16.2
Média	117	79.4	684.8	31.2	20.3	8.5	14.5
DP	22	3.0	184.9	6.2	1.1	1.2	1.0
CV	19	3.8	27.0	19.7	5.3	14.4	7.2

¹ Umidade relativa média do ar; ² precipitação pluvial; ³ porcentagem do número de dias de chuva; ⁴ temperatura máxima média; ⁵ temperatura do ar mínima média; ⁶ temperatura do ar média.

4.3.2.1 Relações entre a liberação de ascósporos (ILA) e o acúmulo térmico

A média de acúmulo térmico, em graus-dia (GD) no período *biofix*-ILA foi de 583,4 GD (Figura 9). Contudo, observa-se significativa variação entre os anos,

com valor mínimo de 361 GD e máximo de 936 GD. O acúmulo médio no período da DPL foi de 1701,9 GD, com maior variação entre anos, quando comparado ao período do *biofix*-ILA (Figura 9).

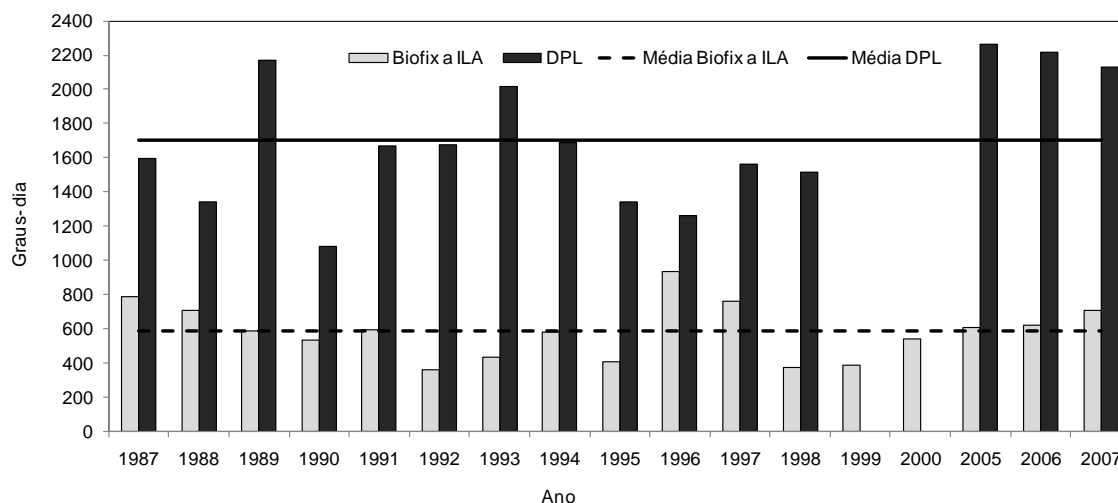


FIGURA 9. Graus-dia acumulado entre 1º de junho e o início da liberação de ascósporos de *Venturia inaequalis* (*biofix*-ILA) e durante o período da liberação de ascósporos (DPL), em Vacaria-RS.

A variação nos valores de acúmulo térmico para o início da liberação de ascósporos está relacionada com a variabilidade intersazonal das condições meteorológicas que, por sua vez, afetam a produção e a maturação dos ascósporos no período que antecede o início de sua liberação. Utilizando a mesma forma de cálculo de GD deste trabalho, Rossi *et al.* (2009) encontraram valores entre 229 GD e 470 GD no período do *biofix* (1º de janeiro) ao início da liberação de ascósporos de *V. pirina*, em pereiras, no Vale do Pó, norte da Itália. Naquele local da Itália, as médias de temperatura do ar entre o *biofix* e ILA ficam entre 2,8 e 6,5°C, com menor variação que em Vacaria, RS. Ainda, o *biofix* no referido estudo foi em 1º de janeiro (início do inverno), ocorrendo a primeira liberação entre março e abril. Em Vacaria, as médias do período equivalente são mais altas, entre 12,3 e 16,2°C (Tabela 11), com maior variação das

temperaturas, considerando o *biofix* em 1º de junho e a primeira liberação entre julho e agosto. De maneira geral, as temperaturas médias mais elevadas, em Vacaria, proporcionam maior acúmulo térmico e antecipam a primeira liberação, em comparação a locais com temperaturas médias mais baixas no inverno, como no Vale do Pó, na Itália.

Contudo, o período que compreende a liberação de ascósporos é mais curto na Itália (de 30 e 60 dias), em comparação a Vacaria, onde ele se estendeu de 81 a 155 dias (Tabela 12). É possível que na Itália ocorra maior uniformidade na produção de pseudotécios e na maturação de ascósporos, antes da primeira liberação, fazendo com que haja maior sincronismo nos processos e uma descarga mais rápida de esporos no ambiente, após o início da liberação.

Possíveis diferenças no acúmulo térmico até o início da liberação de ascósporos de *V. inaequalis* em relatos de vários autores se devem, em parte, a diferenças nos critérios de cálculo e, também, nas médias e no padrão de variação das temperaturas de cada local. Em regiões de clima temperado frio, por exemplo, as estações são mais definidas que em regiões de clima temperado quente, com diferentes padrões de variação da temperatura.

Menor acúmulo térmico, tanto para o início como para o fim da liberação podem ser causados por estimativas de GD que consideram apenas a temperatura média diária durante o período de molhamento, em horas (Rossi *et al.*, 2000; Rossi *et al.*, 2007). Já, outros autores consideram o somatório direto da temperatura média diária, tanto para o início como para o fim da liberação dos ascósporos (Rossi *et al.*, 2009; Meszka *et al.*, 2008). Para ambos os casos, o início da contagem do acúmulo pode ser: a partir de uma data fixa, conforme feito no presente trabalho, ou a partir de observações ou estimativas de formação dos primeiros pseudotécios, que são estruturas nas quais se formam os ascósporos.

No presente estudo, o acúmulo térmico foi também calculado por somatório da temperatura somente em dias com déficit de pressão de vapor inferior ou igual a 4 hPa ou com precipitação pluvial superior ou igual a 0,2 mm ($GD_{DPV < 4}$), assim como excluindo dias com temperaturas mínima negativa e máxima acima de 24°C. No entanto, também houve alta variabilidade entre anos, assim como menor coeficiente de correlação com os respectivos 1jun-ILA e DPL ($GD_{DPV < 4SE}$) (Apêndice 8).

Nos 17 anos avaliados, o início da liberação ocorreu em 60% dos anos com acúmulo térmico inferior a 583,4 GD, não ocorrendo abaixo de 350 GD. A mediana do conjunto de dados foi de 588 GD, ficando próxima da média dos dados. Entre 551 e 650 GD ficaram, aproximadamente, 70 % da frequência acumulada dos valores, sendo que até 750 GD houve 80 % da frequência acumulada de GD dos anos avaliados e até 850 GD mais de 90 desta frequência (Figura 10). No intervalo entre 350 e 650 GD estão as maiores frequências na distribuição dos dados (Figura 10).

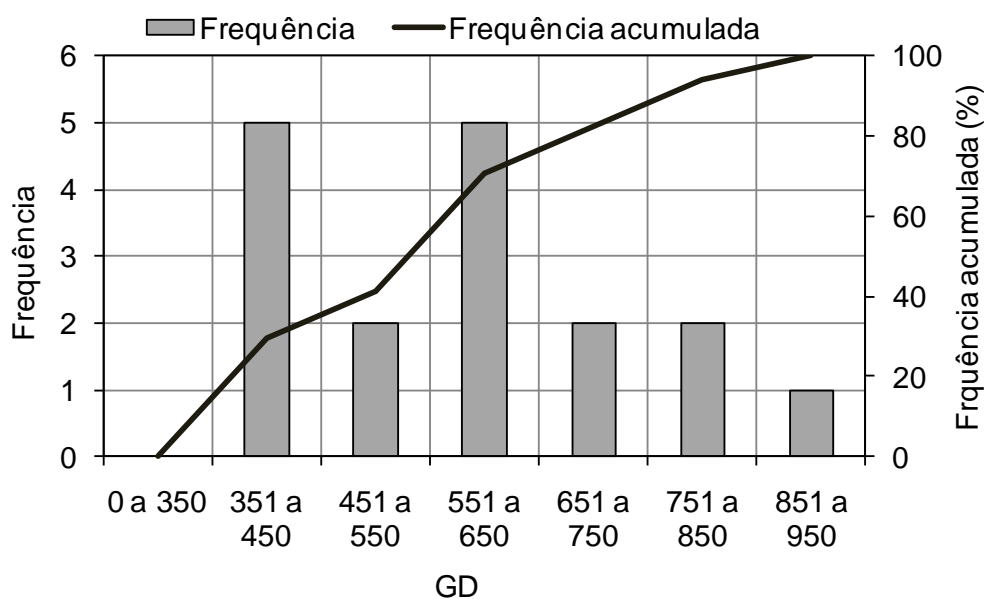


FIGURA 10. Frequência de acúmulo térmico, em graus-dia (GD), entre 1º de junho e a data de início da liberação de ascósporos do fungo *Venturia inaequalis*, em 17 anos de monitoramento, em Vacaria, RS.

4.3.2.2 Correlações entre variáveis meteorológicas e o início da liberação de ascósporos (ILA)

A análise de correlação entre as variáveis meteorológicas no período *biofix*-ILA com o dia juliano de ocorrência do início de liberação de ascósporos mostrou significância para as seguintes variáveis, em ordem dos maiores para os menores coeficientes de correlação: graus-dia (GD) acumulado no período ($r = 0,96$), precipitação pluvial acumulada em mm ($r = 0,79$); temperatura do ar máxima média ($r = -0,47$); temperatura do ar mínima média ($r = -0,46$); média da temperatura do ar média ($r = -0,43$). As demais variáveis apresentaram correlações não significativas ou fracamente correlacionadas (Apêndice 4).

O gráfico da dispersão de pontos mostra um padrão linear de relação positiva entre o atraso no início de liberação de ascósporos e o incremento de precipitação e do acúmulo térmico, desde o *biofix* (Figura 11).

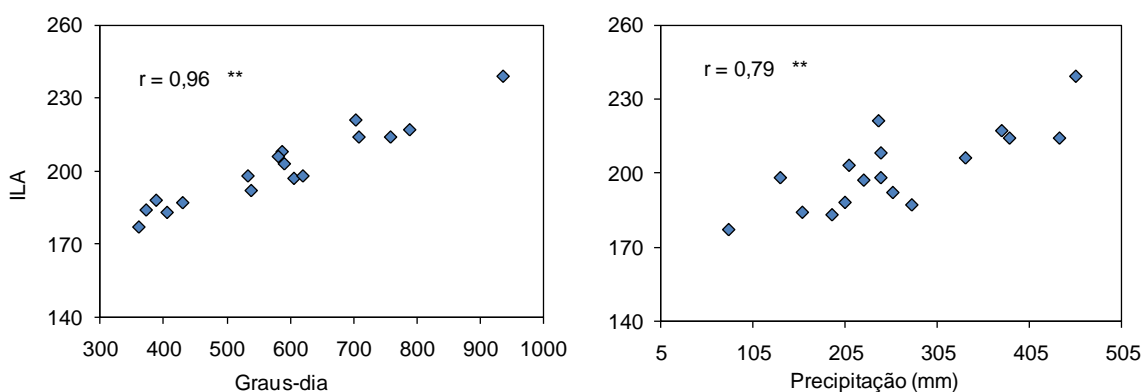


FIGURA 11. Relação entre o início da liberação de ascósporos (ILA, dia juliano) de *Venturia inaequalis* e as variáveis graus-dia (GD) e precipitação pluvial acumulada entre 1º de junho (*biofix*) e o ILA, para 17 anos entre 1987 a 2007, Vacaria-RS. ** altamente significativo (1% de probabilidade de erro).

Quando analisadas as correlações entre sumários mensais das variáveis meteorológicas e início de liberação de ascósporos, conforme esperado, aquelas

do mês de junho foram as que tiveram mais alta correlação com ILA, comparado com os outros meses (Apêndice 4). Destacam-se as médias de temperatura máxima ($r = -0,67$) e seu coeficiente de variação ($r = 0,75$), temperatura mínima ($r = -0,40$) e seu coeficiente de variação ($r = 0,51$), e a temperatura média ($r = -0,60$) e seu coeficiente de variação ($r = 0,60$).

Verifica-se, portanto, uma relação linear indicando atraso no início da liberação de ascósporos com a diminuição da média das temperaturas máxima e média do mês de junho e maior variação diária das mesmas (Figura 12).

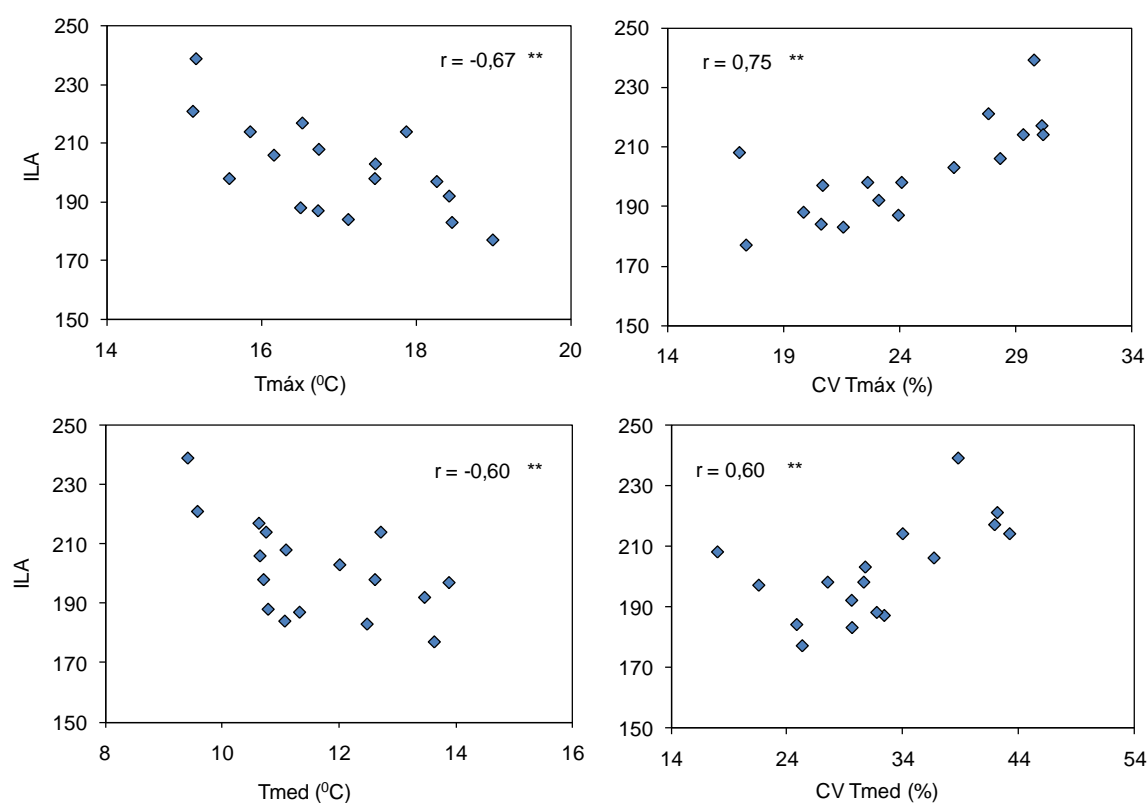


FIGURA 12. Relação entre o início da liberação de ascósporos (ILA, dia juliano) de *Venturia inaequalis* e as variáveis temperaturas máxima (Tmáx) e média (Tmed) e seus respectivos coeficientes de variação (CV) diários do mês de junho, para 17 anos entre 1987 a 2007, Vacaria-RS. ** altamente significativo (1% de probabilidade de erro).

A análise de correlação entre o dia juliano do início de liberação de ascósporos e as variáveis meteorológicas no período de 45 dias que antecede o

início da brotação demonstrou coeficientes de correlação não significativos ou correlações fracas (Apêndice 4).

Esses resultados demonstram ser as condições meteorológicas do mês de junho, sobretudo as temperaturas máxima e média, e as variações diárias das mesmas as mais importantes para os processos de maturação dos pseudotécios que contém os primeiros ascos maduros e, conseqüentemente, os primeiros ascósporos maduros, prontos para serem liberados. No outono, após a queda das folhas e a morte das suas células, o micélio de *V. inaequalis* penetra profundamente no tecido do hospedeiro e inicia-se a formação do pseudotécio (MacHardy, 1996).

A data média de queda de 50% das folhas, das cultivares 'Fuji' e 'Gala', para Vacaria foi estimada em 25 de maio, a partir de dados de campo de pomares do município, conforme Apêndice 7. A ocorrência de 50% da queda de folhas nos locais e anos analisados ficou assim distribuída: 13% no mês de abril, 54% em maio, 25% em junho e 8% em julho (Apêndice 7). Pelas datas de queda de folhas observadas, fica evidenciado que junho é um mês "chave" para o início da produção dos pseudotécios.

Assim, as condições meteorológicas do mês de junho são as principais responsáveis pela produção dos pseudotécios (estruturas de reprodução sexuada), já que, na maioria dos anos, a queda das folhas ocorre em maio. A ocorrência de temperaturas mais baixas em junho, em relação a maio, pode favorecer a formação dos pseudotécios. Esta evidência é confirmada pela falta de correlação entre as variáveis relacionadas à temperatura dos meses de maio e julho ao início de liberação de ascósporos (Apêndice 4).

A temperatura ideal para a formação do pseudotécio é de 4°C, não ocorrendo o processo acima de 15°C, nem em folhas secas (MacHardy, 1996). Já

a produção e maturação dos ascósporos ocorrem no final do inverno e início da primavera, em uma faixa ideal de temperatura entre 16 e 18°C, não ocorrendo acima de 24 °C. Assim, temperaturas mais altas e sua variabilidade podem retardar a produção dos pseudotécios.

Para Vacaria, comparando-se os valores das temperaturas entre os meses maio e junho, tanto na série dos 21 anos estudados (1987 a 2007, Apêndice 3) como também, nas normais climatológicas (Apêndice 2), as temperaturas em junho foram inferiores em, aproximadamente, 1°C em relação a maio, para médias das temperaturas máxima, mínima e média. Para os 21 anos as médias das temperaturas máximas, mínimas e médias foram, respectivamente, 17,2°C, 6,1°C e 11,8°C para o mês de junho.

Quando o acúmulo térmico foi calculado considerando apenas os dias com maior umidade (análogos a um mínimo de 8 h de molhamento), as duas variáveis determinadas apresentaram baixas correlações com o dia juliano do início da liberação, em relação ao acúmulo térmico total. Isto sugere que a umidade não foi um fator limitante, nas condições da região, para as etapas iniciais do desenvolvimento do fungo, corroborando a influência marcante da temperatura do ar. Com efeito, o início da liberação dos ascósporos do fungo ocorre quando uma determinada porção de ascósporos atinge a maturidade, o que é dependente da temperatura do ar (MacHardy & Gadoury, 1986).

4.3.2.3 Correlações entre variáveis meteorológicas e a duração do período de liberação de ascósporos (DPL)

A duração da liberação de ascósporos, em dias, teve nenhuma ou fraca correlação com o acúmulo térmico (GD), calculado por diferentes critérios (GD, $GD_{vpd<4}$, e $GD_{vpd<4SE}$) no período *biofix*-ILA. Para as demais variáveis, a DPL teve

melhores correlações com a média de temperatura mínima ($r = 0,58$) e seu coeficiente de variação ($r = -0,65$), e média de temperatura média ($r = 0,43$), com a umidade relativa de ($r = 0,46$) e seu coeficiente de variação ($r = -0,54$). Parece haver uma tendência de aumento da DPL com o aumento da temperatura mínima média e menor variação da umidade relativa, a partir do *biofix* (Figura 13). As demais variáveis deste período que não apresentaram correlações significativas estão descritas no Apêndice 5.

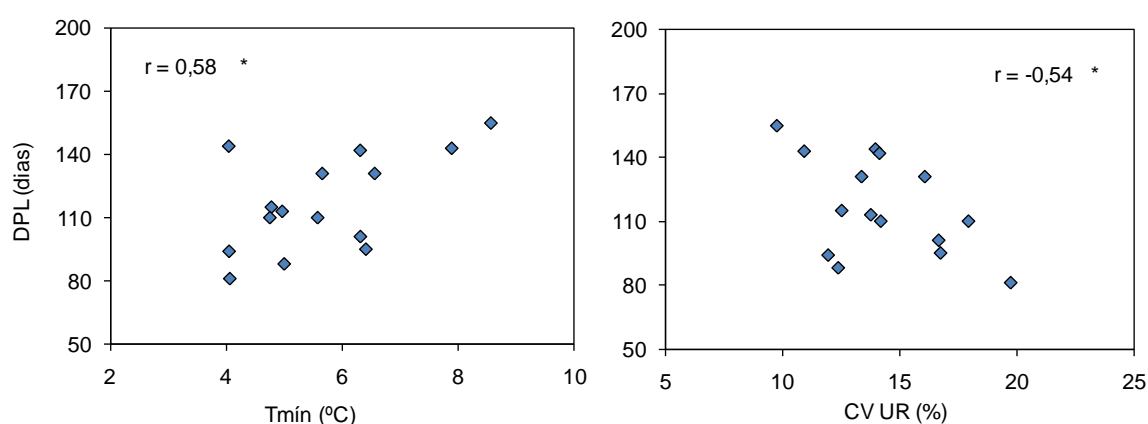


FIGURA 13. Relação entre o período de duração da liberação de ascósporos de *Venturia inaequalis* (DPL, dias) e a temperatura mínima (Tmín) e coeficiente de variação (CV) da umidade relativa (UR) para o período entre 1º de junho (*biofix*) e o início de liberação de ascósporos, para 15 anos entre 1987 a 2007, Vacaria-RS.
* significativo (5% de probabilidade de erro).

No período *biofix*-ILA o mês de junho demonstrou melhores correlações entre a duração da liberação de ascósporos e as variáveis temperaturas mínimas ($r = 0,72$) e seu coeficiente de variação ($r = -0,70$), médias ($r = 0,69$) e seu coeficiente de variação ($r = -0,64$) e máximas ($r = 0,60$) e seu coeficiente de variação ($r = -0,51$), conforme Figura 14, além dos coeficientes de variação da umidade relativa ($r = -0,64$) e da precipitação ($r = -0,52$). As demais variáveis que não se correlacionaram significativamente encontram-se no Apêndice 6.

As temperaturas máximas, mínimas e média apresentaram relação significativa com a duração da liberação de ascósporos (Figura 14). A temperatura do mês de junho tem influência inversamente proporcional no ILA e diretamente proporcional com a DPL de ascósporos de *V. inaequalis*. Desta forma, verifica-se tendência significativa de aumento da duração da liberação de ascósporos com o aumento das temperaturas mínimas e médias de junho e menores valores de seus coeficientes de variação da temperatura diária (Figura 14).

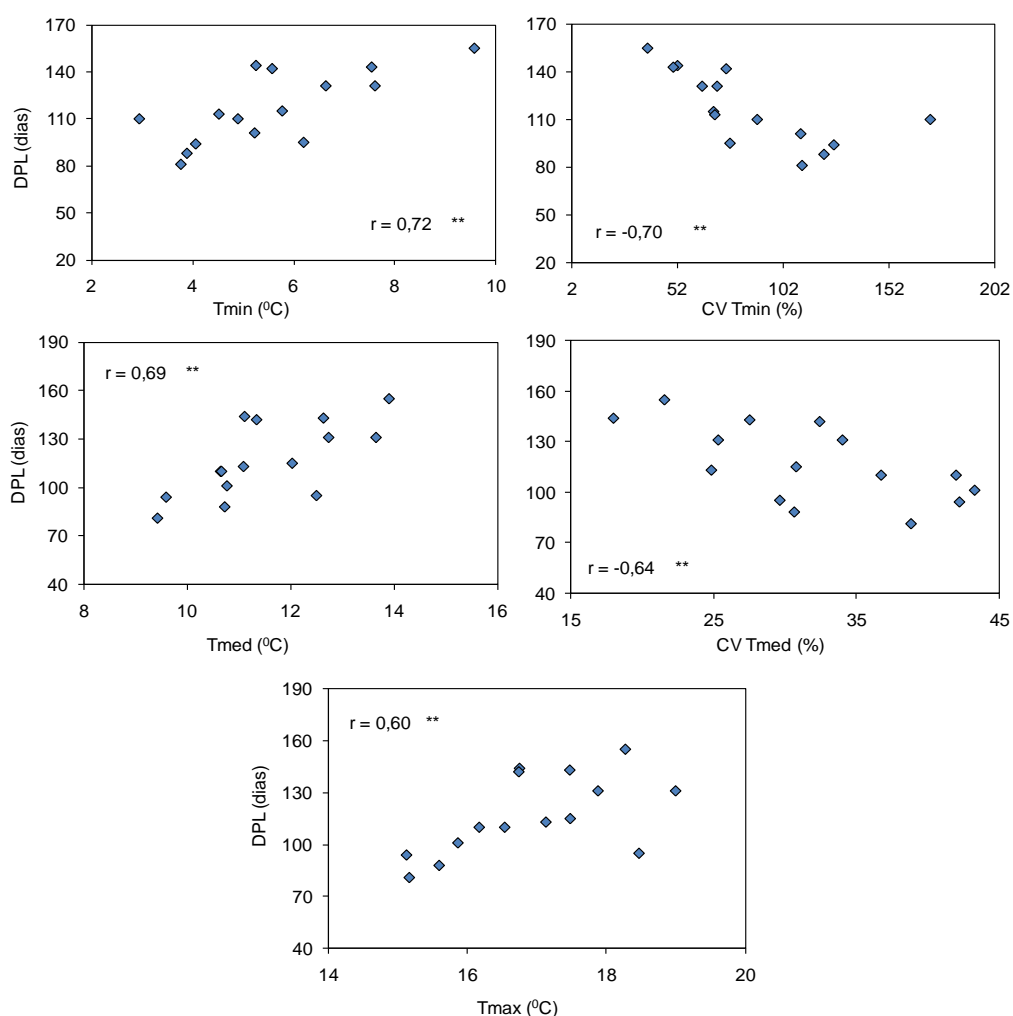


FIGURA 14. Relação entre a duração do período de liberação de ascósporos de *Venturia inaequalis* (DPL, dias) e as médias das temperaturas mínima (Tmín), média (Tmed) e máxima (Tmáx) e os coeficientes de variação (CV) das temperaturas média e mínima do mês de junho, para 15 anos entre 1987 a 2007, Vacaria-RS. ** altamente significativo (1% de probabilidade de erro).

A análise de correlação demonstrou coeficientes significativos e mais altos entre a duração da liberação de ascósporos e as seguintes variáveis do período de liberação, na ordem de maior para menor coeficiente: GD ($r = 0,95$), precipitação ($r = 0,62$), $GD_{v_{pd}<4}$, ($r = 0,62$) número de dias com precipitação ($r = 0,58$), $GD_{v_{pd}<4SE}$ ($r = 0,56$). As variáveis acúmulo térmico e precipitação pluvial apresentam relação altamente significativa com a duração da liberação de ascósporos (Figura 15). Correlação não significativa foi observada entre DPL e graus-dia acumulados para dias com déficit de pressão de vapor menor ou igual a 4 hPa ou precipitação pluvial menor ou igual a 0,2 mm ($GD_{v_{pd}<4SE}$) (Apêndice 5).

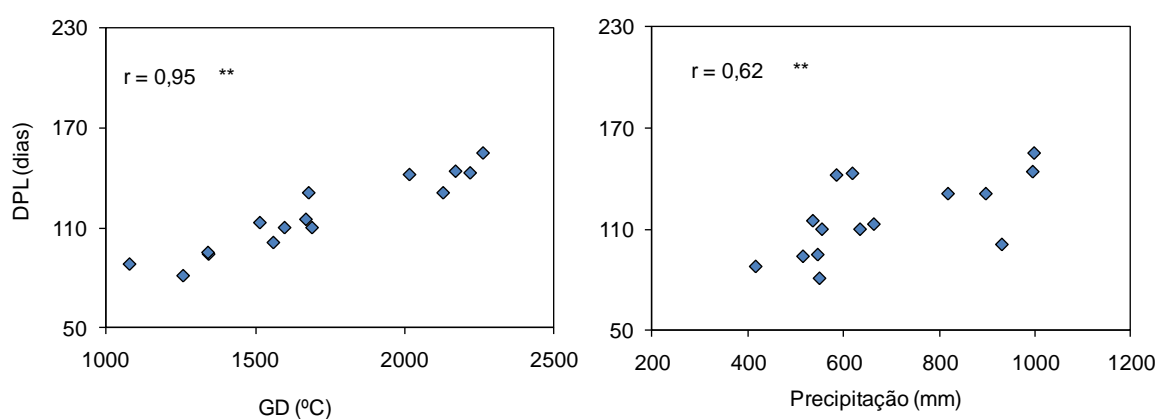


FIGURA 15. Relação entre a duração do período de liberação de ascósporos de *V. inaequalis* (DLP) e as variáveis precipitação e graus-dia (GD) acumuladas no período, para 17 anos entre 1987 a 2007, Vacaria-RS. $**$ altamente significativo (1% de probabilidade de erro).

Os resultados mostraram que maiores temperaturas em junho e maior variação das mesmas tendem a antecipar o início de liberação e a prolongar a duração da liberação de ascósporos. O atraso no início da liberação por maiores temperaturas em junho pode ser devido a atraso na formação dos pseudotécios, que necessitam temperaturas mais baixas. Em contraponto, baixas temperaturas em junho podem retardar a maturação dos ascósporos, que necessitam mais

calor, retardando o início da liberação. A produção e maturação dos ascósporos podem ser retardadas por temperaturas muito altas e, tendo-se formado um mínimo suficiente de ascósporos maduros e havendo condições para que estes sejam liberados, o processo de maturação se estende após a primeira liberação (MacHardy, 1996).

Ainda convém salientar que os processos de produção de pseudotécios e maturação dos ascósporos ocorrem simultaneamente, a partir da formação dos primeiros pseudotécios. Segundo Gadoury *et al.* (1984), uma vez que os ascos são formados, eles maturam independentemente da descarga dos ascósporos. Os autores colocaram folhas com pseudotécio incubadas a 15 °C, UR de 90% e molhadas, por 7, 14 ou 21 dias, que desenvolveram de 86 a 98 ascos por pseudotécio, sem diferenças entre tratamentos. A acumulação de ascos com ascósporos maduros, entre os esporos liberados, não inibiu a maturação de outros ascos no pseudotécio.

As condições de temperatura e molhamento são fatores “chave” para a produção do pseudotécio e produção dos ascósporos. A maturação e liberação dos ascósporos dependem do acúmulo térmico, ocorrendo o início da liberação com um mínimo necessário de ascos e ascósporos maduros. Um limiar térmico para liberação de ascósporos foi definido como de 80 GD, acumulado durante o período de molhamento, com base em observações de Giousuè *et al.* (2000). No início da estação, os ascósporos não são liberados até que, pelo menos, 10 a 15% dos ascos contenham ascósporos morfológicamente maduros (McHardy, 1996). Assim, neste período inicial, os ascósporos não são liberados, mesmo que ocorram eventos de precipitação, que são favoráveis.

Assim, a maturação é lenta no início, assim como a liberação. Na sequência, ocorre um pico na maturação e liberação, com posterior redução

destas. Em modelos de estimativa desenvolvidos por muitos autores este comportamento fica ilustrado pelas curvas de crescimento, descrevendo a maturação e liberação de ascósporos, como por exemplo, seguindo um modelo logístico (Goissuè *et al.*, 2000; Rossi *et al.*, 2000) ou de Gompertz (Rossi *et al.*, 2009). O ajuste destas curvas depende muito da variação da temperatura de local para local, ou seja, a velocidade com que ocorre a maturação dos ascósporos para início da liberação e a taxa de liberação/maturação entre início e fim da liberação.

Na comparação do acúmulo para início da liberação entre o norte da Itália (Rossi *et al.*, 2009) e Vacaria, verificou-se que, naquele local, o período entre o *biofix* e ILA é mais longo devido a temperaturas menores e mais uniformes, com menor acúmulo térmico, em contraponto a Vacaria, onde esse período é menor, devido a temperaturas mais elevadas, com maior variabilidade e maior acúmulo térmico. Ainda, em Vacaria a duração da liberação de ascósporos é mais longa, em comparação ao norte da Itália.

4.3.3 Eventos diários de risco (ER) de infecção por sarna da macieira

Os eventos de risco, calculados diariamente com base na Tabela de Mills e definidos em classes de infecção, foram contabilizados em dois períodos críticos no ciclo, a partir da data mais provável de início da brotação, 19 de setembro. O primeiro período de contabilização de ER foi de 15 dias, aproximadamente, na etapa inicial da brotação, ou seja, de 15 a 30 de setembro. O segundo período foi a 76 dias do *biofix*, ou seja, de 15 de setembro ao final de novembro (Figura 16). Este último período compreende início de brotação, floração e frutificação.

Para o período crítico, entre 15 e 30 de setembro, o número médio de ER da série de anos estudados foi de 5 leves, 4 moderados e 2 severos. Neste

período, o ano de 2003 não teve eventos de risco calculados para nenhuma das classes (Figura 16). O maior número de ER leve foi 8, nos anos de 1990, 1995 e 1996. Para eventos moderados, o maior número foi 7, em 1996 e 2004. E para eventos severos o maior número foi 5, em 1995 e 2007.

Para o período crítico de 15 de setembro e 30 de novembro as médias de eventos de risco foram de 21, 16 e 7, para leves, moderados e severos, respectivamente. O ano de 1997 apresentou o maior número de eventos para as três classes de infecção, sendo, 38 leves, 31 moderados e 20 severos. O menor número de ER ocorreu em 2003, sendo, 7 leves, 5 moderados e 2 severos.

Quanto à variabilidade interanual dos ER, os eventos leves apresentaram a menor variação, seguido pelos eventos moderados e severos, sendo estes últimos com a mais alta variação (Figura 16). De maneira geral, observa-se que os anos com os mais altos valores de incidência de sarna foram aqueles que tiveram maior número de ER moderados e/ou severos, para os diferentes períodos (Figura 16). Contudo, há anos com discrepâncias entre ER e incidência de sarna. Como exemplo 1989 e 1999 se mostraram similares em número de eventos: 21, 13 e 6 em 1989 e 17, 12 e 8 em 1999 para leves, moderados e severos, respectivamente. Porém, tiveram incidência distinta da doença em folhas e frutos, sendo 10,5% em frutos e 1,1% em folhas em 1989 e cerca de 99% em folhas e frutos em 1999 (Figura 16). Em alguns anos, como em 2003, foram observados valores moderados de incidência (40% em frutos e 18% em folhas), coincidindo com baixo número de ER, de 7 leves, 5 moderados e 2 severos, entre 15 de setembro e 30 de novembro.

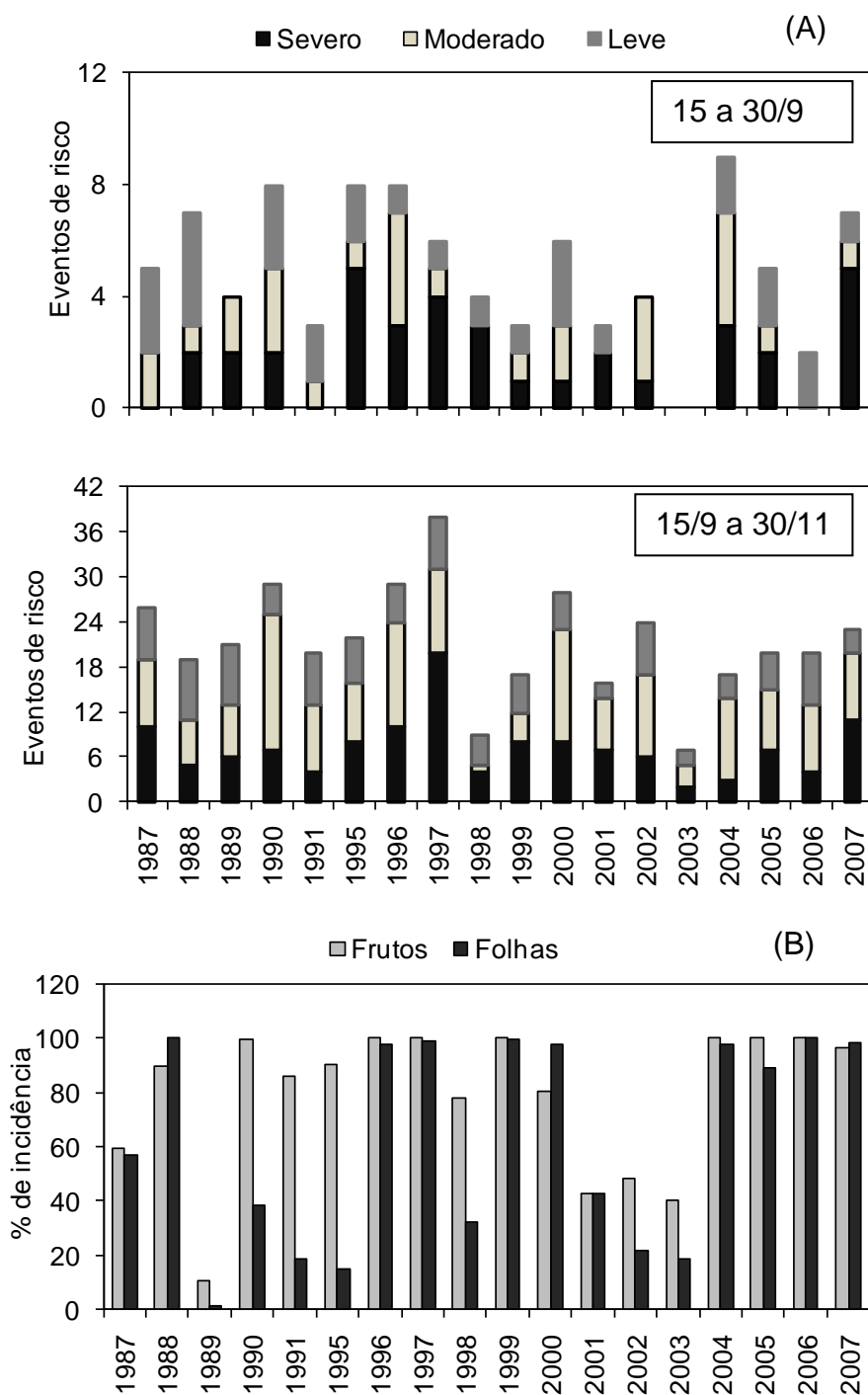


FIGURA 16. Número de eventos de risco de infecção por sarna da macieira, estratificados como leve, moderado e severo para dois períodos críticos de infecção que incluem o início da brotação (15 a 30 de setembro) e da brotação e frutificação (15 de setembro a 30 de novembro) (A). incidência de sarna da macieira em folhas e frutos (B). A série histórica de variáveis meteorológicas (1987 a 2007), usada para calcular os eventos de risco, e as observações de doença são oriundas da área experimental da EMBRAPA Uva e Vinho, em Vacaria-RS.

Corroborando com a análise visual da série temporal, em geral, as correlações entre eventos de risco e a incidência de sarna em folhas e frutos foram baixas, mesmo para o período crítico mais longo (Tabela 13). Isto pode ser devido à contribuição dos ER de infecção em diferentes momentos para a ocorrência da sarna da macieira, devido ao período suscetível da cultura ser longo e coincidir com períodos favoráveis à infecção em diferentes momentos. Convém ressaltar, que a incidência da doença não teve correlação com o número de ascósporos liberados e com o início e duração do período de liberação dos mesmos, assim como, não teve correlação direta com variáveis meteorológicas. Desta forma, a incidência da doença depende, simultaneamente, da contribuição dos aspectos envolvendo planta, patógeno e ambiente, sendo, planta e patógeno nas suas diferentes fases, influenciados pelo ambiente.

A planta hospedeira, o patógeno e o ambiente se constituem nos três elementos fundamentais que determinam a ocorrência de uma doença, sua incidência e sua severidade (Bergamim Filho & Amorim, 1996). Entretanto, os elementos do ambiente, principalmente meteorológicos, exercem papel preponderante sobre os demais elementos, uma vez que os influencia (Vale *et al.*, 2004). Desta forma, a incidência de sarna em folhas e frutos, na série histórica, esteve dependente da influência do ambiente sobre o ciclo de vida do patógeno, em diferentes momentos, desde a esporulação aos períodos infectivos, além da disponibilidade de tecido hospedeiro suscetível.

TABELA 13. Coeficientes de correlação (Pearson) entre o número de eventos de risco de infecção nas classes leve, moderado e severo, de diferentes períodos, e a incidência (%) de sarna da macieira em folhas e frutos, em epidemias monitoradas no período de 1987 a 2007, em Vacaria-RS.

Incidência %	Períodos	Eventos de Risco		
		Leve	Moderado	Severo
Frutos	15/9 a 30/9	0,51	0,31	0,32
	15/9 a 30/11	0,31	0,35	0,26
Folhas	15/9 a 30/9	0,34	0,19	0,15
	15/9 a 30/11	0,32	0,36	0,36

Para o período crítico mais longo, os números de ER nas classes leve e moderado tiveram correlação significativa com a umidade relativa média diária, com a precipitação pluvial acumulada no período crítico e com o número de dias cuja umidade relativa média foi superior a 90%, embora fosse mais fracamente correlacionada (Tabela 14). O número de ER severos, neste período, esteve associado positivamente com a umidade relativa média diária e com o número de dias com umidade relativa média superior a 90%, seguidos pela precipitação acumulada.

Dentro do curto período crítico de 15 dias, em setembro, o número de eventos leves teve maior associação com a média diária de umidade relativa e com número de dias de chuva (Tabela 14). Já para ER moderados deste período, o número de dias com umidade relativa média superior a 90% teve maior grau de associação, seguido pelo número de dias de chuva. Finalmente, para ER severos houve maior correlação com o número de dias de chuva e dias com umidade relativa média superior a 90%, além da precipitação pluvial acumulada.

TABELA 14. Coeficientes de correlação (Pearson) entre o número de eventos de risco (ER), para cada classe de infecção, e variáveis meteorológicas, para dois períodos críticos em 21 anos (1987 a 2007), em Vacaria-RS.

ER	Período crítico	Variáveis meteorológicas						
		UR ¹ (%)	NDUR>90 ²	P ³ (mm)	NDP ⁴	Tmáx ⁵ (°C)	Tmín ⁶ (°C)	Tméd ⁷ (°C)
Leve	15/9 a 30/9	0,67	0,62	0,52	0,65	-0,16	0,30	-0,05
	15/9 a 30/11	0,71	0,61	0,66	0,46	-0,03	0,32	0,33
Moderado	15 a 30/9	0,41	0,62	0,54	0,62	-0,04	0,35	0,10
	15/9 a 30/11	0,76	0,66	0,69	0,58	0,00	0,43	0,41
Severo	15 a 30/9	0,51	0,70	0,63	0,63	-0,26	0,36	-0,08
	15/9 a 30/11	0,77	0,71	0,69	0,48	-0,33	0,26	0,08

¹ umidade relativa média do ar; ² número de dias com umidade relativa média igual ou superior a 90%; ³ precipitação pluvial acumulada; ⁴ número de dias de chuva; ⁵ média da temperatura máxima do ar; ⁶ média da temperatura mínima do ar; ⁷ temperatura média do ar.

Apesar das variáveis relativas à temperatura do ar apresentarem os menores coeficientes de correlação, de maneira geral, a média das temperaturas mínimas foi a que melhor se correlacionou com o número de eventos de risco (Tabela 14). Ainda, a temperatura média do ar teve correlação similar à temperatura mínima com ER leves e moderados, entre 15 de setembro e 30 de novembro. De maneira geral, os maiores coeficientes de correlação foram verificados entre número de ER e variáveis relacionadas à umidade do ar. Conforme esperado, há uma tendência de aumento no número de eventos de risco na medida em que aumentam os valores das variáveis que proporcionam elevação da umidade no ambiente, que resultam em molhamento das folhas. Assim, o número de eventos de risco parece ser influenciado mais fortemente pela disponibilidade de umidade no ambiente e em menor proporção pela temperatura mínima do ar e, às vezes, também pela temperatura média.

Para que um evento de risco moderado seja classificado como severo é necessária uma maior duração do molhamento, para uma mesma faixa de temperatura. Este aspecto é relevante e mostra a associação entre molhamento foliar e temperatura mínima do ar. Com efeito, normalmente, o molhamento foliar ocorre nos horários com menor temperatura do ar, ou seja, do entardecer ao amanhecer, com exceção de dias chuvosos, em que ele também ocorre durante o dia. Além disso, quanto maior a temperatura durante o período de molhamento, menor será o número de horas de molhamento necessárias para que ocorra a infecção, até determinado limite.

A duração do período de molhamento (DPM) é de grande importância para epidemiologia de doenças de plantas, uma vez que a permanência de água sobre as superfícies vegetais desempenha papel fundamental em alguns processos epidemiológicos tais como a infecção e a esporulação (Vale *et al.*, 2004 e Huber & Gillespie, 1992). A germinação de ascósporos de *V. inaequalis* e a penetração do fungo nas plantas são altamente dependentes do período em que a folha permanece molhada, o que depende da umidade do ar. É provável que uma grande quantidade de esporos inicie o processo de infecção, mas poucos cheguem a completá-lo, especialmente quando ocorrem chuvas de curta duração, seguidas por umidade relativa inferior a 75% (MacHardy, 1996). O posterior desenvolvimento da doença, ou seja, a colonização dos tecidos das plantas é influenciada fortemente pela temperatura do ar, sendo acelerada a 19 °C. A macieira permanece vulnerável a novas infecções durante grande parte do seu ciclo, após a brotação, em razão de condições favoráveis de temperatura e de umidade do ar, além da continuidade da emissão de novas ramificações e folhas (Berton, 2004).

A intensidade da doença, que corresponde à porcentagem de incidência em folhas e em frutos, não apresentou alta correlação com o número de eventos de risco (Tabela 13). Contudo, os eventos de risco podem favorecer a doença em diferentes momentos, pelo longo período de suscetibilidade da cultura. Ainda, é importante considerar que a intensidade da doença depende de disponibilidade de inóculo, tecido hospedeiro susceptível e condições favoráveis de ambiente (microclima) para que ocorram eventos infectivos. Estudos realizados por Berton & Melzer (1989) demonstraram alta frequência de períodos de infecção na região do Vale do Rio do Peixe, Santa Catarina, que pode influenciar diretamente a severidade da doença. Um menor número de períodos de infecção se relacionou diretamente com baixa incidência da doença e, em consequência, com redução do número de aplicações de fungicidas. No estudo, os autores verificaram esporos disponíveis durante os estádios susceptíveis da cultura, tendo a liberação, predominantemente, iniciado em agosto e com término em novembro, nos anos avaliados.

4.4 Modelagem de epidemias de sarna da macieira em Vacaria, RS

4.4.1 Predição de início e duração da liberação de ascósporos de *V. inaequalis*

Dentre os modelos lineares ajustados para estimativa do início da liberação de ascósporos (ILA), foram consideradas variáveis preditoras de base meteorológica em dois períodos de tempo. O primeiro, compreendido entre o *biofix* (1º de junho) e o dia juliano para ILA, tendo como variáveis de entrada a precipitação pluvial e graus-dia. O outro período considera variáveis meteorológicas do mês de junho, como a temperatura máxima e sua variação e o número de dias com umidade relativa igual ou superior a 90%.

O dia juliano para início da liberação de ascósporos (ILA) pôde ser predito com maior acurácia e precisão em função do acúmulo térmico (GD) a partir do *biofix*, com R^2 de 0,92 e erro padrão de 5 dias (Tabela 15). Em função da variabilidade no dia juliano para ILA, na séria histórica, GD por sua vez apresentou grande variação entre anos (Figuras 9 e 10).

O modelo ajustado que considera graus-dia acumulados somente para dias com maior umidade, análogos a um mínimo de 8h de molhamento ($GD_{DPV < 4}$), associados à precipitação pluvial, permitiu estimativa relativamente precisa do início da liberação, sendo ambos os coeficientes parciais da regressão significativos, com R^2 (0,73) e R^2 ajustado (0,70), e muito próximos, não comprometendo a precisão do modelo, com erro padrão de 9 dias (Tabela 15).

Com relação aos modelos que utilizam variáveis meteorológicas para o mês de junho, o ILA pode ser estimado com precisão razoável utilizando-se a temperatura máxima do ar, associada a seu coeficiente de variação e ao o número de dias com umidade relativa igual ou superior a 90% ($R^2 = 0,78$). Além disso, a precisão do modelo foi pouco reduzida, com R^2 ajustado de 0,72, indicando que todas as variáveis contribuem na variação do ILA (Tabela 15). Neste caso, todos os coeficientes foram significativos e o erro padrão da estimativa (EP) foi de 9 dias (Tabela 15).

TABELA 15. Modelos de regressão simples e múltipla, suas variáveis independentes¹, qualidade do ajuste pelo coeficiente de determinação (R^2) e erro padrão (EP) para a predição do dia juliano para início da liberação de ascósporos (ILA) do fungo *Venturia inaequalis*. Vacaria-RS, 1987 a 2007.

Equação de regressão	R^2	R^2 ajustado	EP
$ILA_{GD} = 0,095.GD_{(Biofix-ILA)} + 145,85^{**}$ (a ** e b **)	0,92	0,91	5
$ILA_{GD DPV} = 153,75 + 0,06.GD_{DPV < 4 (Biofix-ILA)} + 0,077.P_{(Biofix-ILA)}^{**}$ (a**, b1*, b2*)	0,73	0,70	9
$ILA_{JUN} = 260,26 - 6,63.Tmáx_{jun} + 1,49.CVTmax_{jun} + 1,97.NDUR > 90_{jun}^{**}$ (a**, b1*, b2*, b3*)	0,78	0,72	9

¹ GD – graus-dia; $GD_{DPV < 4}$ – GD contabilizados em dias com déficit de pressão de vapor igual ou inferior a 4hPa ou precipitação pluvial igual ou superior a 0,2mm; P – precipitação pluvial (mm); $Tmáx$ – média da temperatura máxima do ar (°C); CVTmax – coeficiente de variação de Tmax (%); NDUR>90 – número de dias com umidade relativa média igual ou superior a 90%; Biofx-ILA – variáveis contabilizadas entre o *biofix* (1º de junho) e o início da liberação de ascósporos; Jun – variáveis contabilizadas no mês de junho. * significativo (5% de probabilidade de erro); ** altamente significativo, (1% de probabilidade de erro).

O início de liberação de ascósporos, raramente, ocorre no mês de junho (em apenas 6% dos anos), especialmente no final do mês (Figura 8). Desta forma, usando dados meteorológicos de junho pode ser possível fazer uma previsão razoável do dia juliano para o início mais provável da liberação dos ascósporos.

Convém ressaltar que os valores de erro padrão (EP) de 5 e 9 dias, decorrentes dos modelos de estimativa do ILA, são relativamente baixos (Tabela 15), considerando a variação das datas de ILA que constam na Figura 8. Contudo, para níveis de controle da sarna da macieira, em condições favoráveis, 5 ou 9 dias são suficientes para que ocorram eventos de risco de infecção. No entanto, utilizando-se da previsão antecipada a partir do modelo que utiliza variáveis meteorológicas do mês de junho, e como o início da liberação não ocorre antes do início da brotação da macieira (Figura 8), o erro padrão de 9 dias

não compromete o controle. Ainda, pode-se usar uma associação de modelos, aplicando-se dois deles ou até mesmo os três que constam na Tabela 15.

Para a estimativa da duração (dias) da liberação (DPL) de ascósporos foram utilizadas variáveis de dois períodos distintos. O primeiro considerou as variáveis dentro do período duração da liberação e o outro as variáveis meteorológicas fixas para o mês de junho. Para o primeiro período foi ajustado um modelo de regressão linear com base em graus-dia para predição da DPL. Para o segundo período foi ajustado um modelo com base na temperatura mínima do ar e na precipitação pluvial do mês de junho (Tabela 16).

O modelo de estimativa da DPL a partir do acúmulo térmico foi o mais preciso e acurado dentre os modelos ajustados (Tabela 16). Contudo, fazem-se necessárias as mesmas ressalvas mencionadas na relação entre o dia do início da liberação e seu respectivo acúmulo térmico. A média de acúmulo térmico entre início e fim da liberação foi de aproximadamente 1.700 GD (Figura 9), com coeficiente de variação de 22% (Apêndice 8).

O modelo de predição da DPL em função da temperatura média mínima do ar ($^{\circ}\text{C}$) e a precipitação pluvial acumulada (mm) de junho proporcionou uma estimativa antecipada e também acurada (Tabela 16). Para este modelo, todos os coeficientes foram significativos e o erro padrão da estimativa (EP) foi de 12 dias (Tabela 16). Neste caso, é possível fazer previsão, portanto antecipada, pois, normalmente, o ILA ocorre depois de junho, como já mencionado. Mesmo que a liberação já tenha começado, pode-se ter uma estimativa aproximada da DPL com base em variáveis do mês de junho.

Valores de erro padrão de 8 ou 12 dias dos modelos de estimativa da DPL, que constam na Tabela 16, são relativamente baixos considerando-se a variação da DPL entre anos (Figura 8). Para níveis de controle estes erros são suficientes

para risco de ocorrência da doença. Contudo, esses erros não são críticos por fornecerem uma informação aproximada do período de ocorrência da liberação dos ascósporos do fungo, devido à variabilidade entre anos. Assim, os erros podem fornecer informação da coincidência da liberação nas fases críticas para a cultura. Ainda, estes modelos podem ser aplicados conjuntamente, a partir da previsão antecipada com as variáveis do mês de junho, associadas ao modelo que utiliza o acúmulo térmico durante a liberação.

TABELA 16. Modelos de regressão simples e múltipla, suas variáveis independentes¹, qualidade do ajuste pelo coeficiente de determinação (R^2) e erro padrão (EP) para a predição do número de dias da duração do período de liberação (DPL) dos ascósporos de *Venturia inaequalis*. Vacaria-RS, 1987 a 2007.

Equação de regressão	R^2	R^2 ajustado	EP
DPL = 95,536 + 9,136Tmin _{Jun} - 0,21.P _{Jun} ** (a **, b1 ** e b2**)	0,75	0,72	12
DPL = 18,57 + 0,058GD _{DPL} ** (a** e b**)	0,90	0,89	8

¹ Tmin_{Jun} – média da temperatura do ar mínima de junho (°C); P_{Jun} – precipitação pluvial acumulada em junho (mm); GD_{DPL} – graus-dia acumulados durante o período de liberação dos ascósporos. ** altamente significativo, (1% de probabilidade de erro).

A predição do início e da duração da liberação de ascósporos foi testada utilizando-se um modelo disponível na literatura, desenvolvido por Rossi *et al.* (2000), em região produtora do norte da Itália. Este modelo produziu estimativas razoáveis para o início da liberação dos ascósporos (ILA) de *V. inaequalis* (Tabela 17, Figura 17), porém com baixa precisão e acurácia em estimar a duração da liberação de ascósporos. Para estimativa do ILA o modelo foi mais acurado do que preciso e apresentou erros médios inferiores a 10 dias (Tabela 17, Figura 17). A amplitude de erro do modelo variou entre 32 dias de subestimativa e -5 dia de superestimativa (Figura 18). O índice C, que leva em consideração a precisão e

acurácia, foi penalizado pelo valor do coeficiente de determinação (0,58), que indicou baixa precisão do modelo. Pelo índice C o modelo foi considerado “sofrível”, segundo critérios estabelecidos por Camargo & Sentelhas (1997). Contudo, o índice de concordância de Willmott (D) foi relativamente elevado (0,77). Nas Figuras 17 e 18 verifica-se que a acurácia do modelo foi penalizada por vários pontos distantes da linha 1:1 e pela distribuição dos erros do modelo.

Contudo, o modelo Italiano teve tendência de subestimar o dia do início da liberação dos ascósporos, como pode ser visualizado nas Figuras 17 e 18, sendo, aproximadamente metade dos pontos muito próximos à linha 1:1.

O modelo não teve precisão e acurácia para estimativa do término da liberação de ascósporos de *V. inaequalis* (Tabela 17). O mesmo considera uma curva sigmóide para o padrão de ascósporos liberados na temporada e foi desenvolvido para uma região de clima temperado típico (norte da Itália), onde as estações são bem definidas e características deste tipo de clima. Como discutido anteriormente, as condições que antecedem o início da liberação de ascósporos influenciam a duração da liberação, principalmente a temperatura do ar. Assim, o modelo pode fazer uma estimativa relativamente acurada para o início da liberação, nas condições de Vacaria, mas, o padrão de flutuação de ascósporos de *V. inaequalis*, nesta região, não seguem a mesma dinâmica proposta pelo modelo. Corroborando a estas informações, o acúmulo térmico apresentou elevada variabilidade entre anos, para o período entre início e fim da liberação. Em Vacaria, a DPL é maior (média de 110 dias) que na região onde o modelo foi desenvolvido, na Itália (Rossi *et al.*, 2000), onde DPL dura aproximadamente 30 dias.

TABELA 17. Erro padrão (EP), correlação (r), precisão (R^2), índice de concordância de Willmott (D), coeficiente de precisão e acurácia (C) e erros médio (EM) e absoluto médio (EAM) para estimativa do início (ILA) e fim (FLA) da liberação dos ascósporos de *Venturia inaequalis*, pelo modelo de Rossi *et al* (2000). Vacaria-RS, 1987 a 2007.

	EP	r	R^2	D	C	EM	EAM
ILA	7	0,76	0,58	0,77	0,51	8	9
FLA	20	0,05	0,00	-	-	49	49

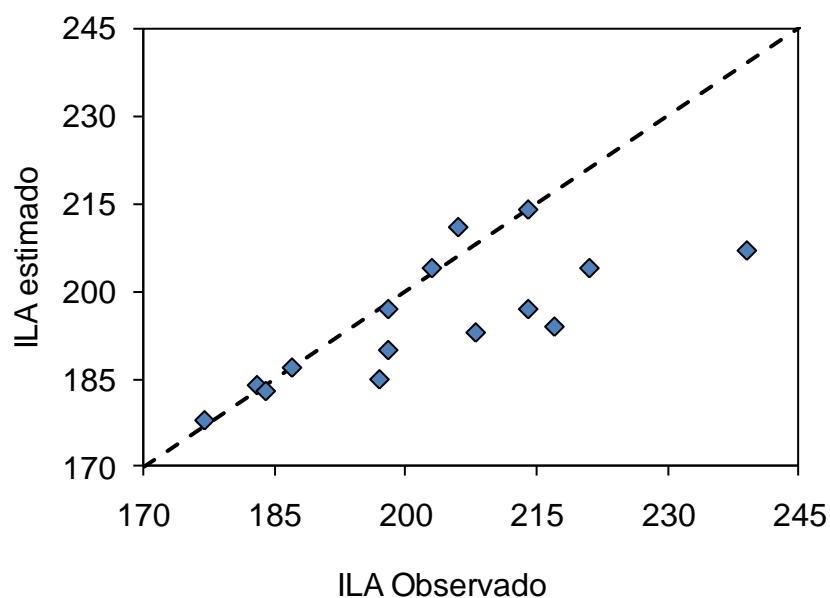


FIGURA 17. Relação entre datas (dia Juliano) de início da liberação dos ascósporos (ILA) de *Venturia inaequalis*, estimados pelo modelo de Rossi *et al* (2000) e observados, para 15 anos entre 1987 a 2007, em Vacaria-RS.

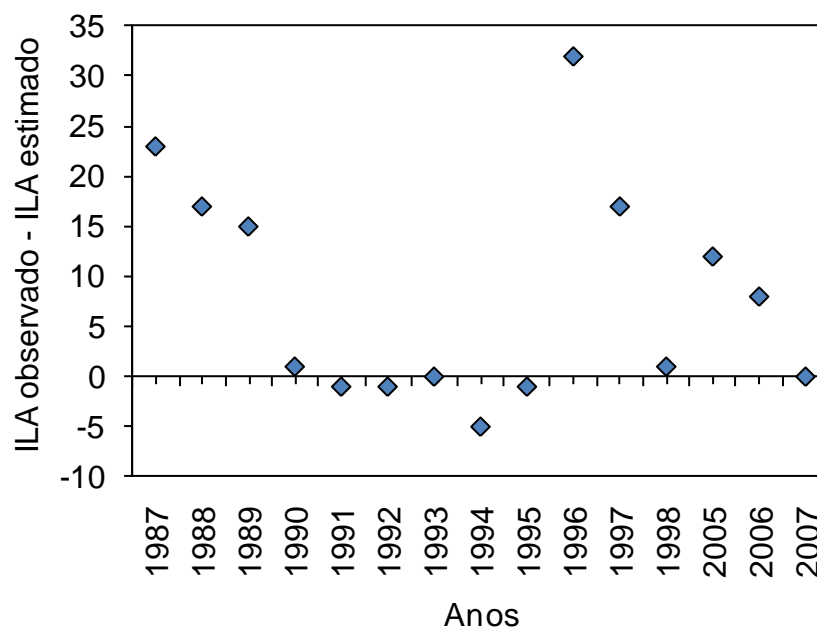


FIGURA 18. Diferenças (dias) entre datas de início da liberação de ascósporos de *V. inaequalis* observados e estimados pelo modelo de Rossi *et al* (2000), para 15 anos entre 1987 a 2007, Vacaria, RS.

O cálculo do acúmulo térmico (GD) somente para dias úmidos, excluídos os dias com temperatura do ar mínima negativa e máxima maior que 24°C ($GD_{DPV < 4SE}$), utilizado como variável de entrada no modelo de Rossi *et al* (2000), pode ter favorecido o desempenho do mesmo para estimar ILA, o que não ocorreu para DPL. O modelo estima, aproximadamente, o mínimo de condições necessárias para o início da liberação, mas não se ajusta para estimativa da DPL, que é influenciada tanto pelas condições que antecedem o início da liberação como por aquelas durante a liberação de ascósporos.

Para a região de Vacaria, foi difícil relacionar o período de duração da liberação dos ascósporos de *V. inaequalis* com condições meteorológicas do período. O que tudo indica é que, tendo o mínimo de condições favoráveis para maturação dos primeiros ascósporos, assim que ocorre um evento de chuva os mesmos são liberados. Desta forma, torna-se difícil caracterizar a taxa de

maturação e liberação em função de variáveis meteorológicas, com informações pontuais de início e fim.

No futuro, será importante desenvolver estudos que visem acompanhar, detalhadamente, a maturação e a liberação de ascósporos durante toda a estação, na região de Vacaria, através de análises laboratoriais, relacionando estes processos com o acúmulo térmico. Assim, pode-se conhecer melhor a dinâmica e o padrão segundo o qual seguem as curvas de maturação e liberação dos mesmos na Região.

4.4.2 Modelos empíricos para a predição do número de eventos sazonais de risco (ESR)

Para a predição do número de eventos sazonais de risco (ESR), em cada classe, foram ajustados modelos que usam variáveis meteorológicas do período compreendido entre 15 de setembro e 30 de novembro. Destes os melhores modelos ajustados estão apresentados na Tabela 18. Quando consideradas as variáveis de um período crítico mais curto, ou seja, no início da brotação da macieira, compreendido entre 15 e 30 de setembro, os ajustes de modelos não produziram resultados satisfatórios para a predição do número de eventos (dados não apresentados).

Para estimativa do número de eventos sazonais de risco (ESR) com dados do período de 15 de setembro a final de novembro (15/09-30/11) as variáveis umidade relativa do ar e precipitação pluvial contribuíram significativamente na variação dos ESR em todas as classes de risco (leve moderado e severo), para todos os modelos ajustados, com exceção da precipitação pluvial na estimativa de ESR severo (Tabela 18). O modelo teve menor precisão para estimar ESR leve (embora com R^2 igual a 0,70), além de possuir maior número de variáveis de

entrada, incluindo número de dias de chuva e temperatura média do ar, além de precipitação pluvial e umidade relativa do ar. No entanto, todas variáveis foram significativas, com pouca redução da precisão pelo R^2 ajustado (0,64).

O modelo que considera umidade relativa do ar e precipitação pluvial estimou adequadamente o número de ESR moderados ($R^2 = 0,76$), com erro padrão de 4 (Tabela 18). Contudo, a precisão da estimativa foi melhorada adicionando a variável temperatura média do ar ($R^2 = 0,80$), com erro padrão equivalente, mas com todos os coeficientes parciais da regressão significativos e pouca redução da precisão (R^2 ajustado = 0,76). Assim, o número de ESR moderados pode ser estimado com precisão a partir das variáveis umidade relativa média do ar, precipitação pluvial acumulada e temperatura média do ar.

TABELA 18. Modelos de regressão linear simples e múltipla, suas variáveis independentes¹, qualidade do ajuste pelo coeficiente de determinação (R^2) e erro padrão (EP) para a predição do número de eventos sazonais de risco (ESR) leve, moderado ou severo de sarna da macieira, usando dados meteorológicas do período de 15 de setembro a 30 de novembro (15/9 - 30/11). Vacaria-RS, 1987 a 2007.

Equação de regressão	R^2	R^2 ajustado	EP
ESR leve = $-165,9 + 1,25.UR + 0,03.P - 1,09.NDP + 6,11.Tmed$ ** (a**, b1**, b2*, b3*, b4*)	0,70	0,64	3
ESR moderado1 = $-90,245 + 1,336.UR + 0,02.P$ ** (a**, b1**, b2**, b3*)	0,76	0,73	4
ESR moderado2 = $134,738 + 1,3.UR + 0,017.P + 2,53.Tmed$ ** (a**, b1**, b2*, b3*)	0,80	0,76	4
ESR severo = $-34,488 + 0,598.UR + 0,01.P - 0,44.Tmáx$ ** (a ns, b1*, b2 ns, b3 ns)	0,73	0,66	3

¹ P – precipitação acumulada (mm); UR – umidade relativa média do ar (%); Tméd – temperatura média do ar (°C); Tmáx – média da temperatura máxima do ar (°C); Tmin – média da temperatura mínima do ar (°C); * significativo (5% de probabilidade de erro); ** altamente significativo, (1% de probabilidade de erro).

Para eventos sazonais de risco severo, além da umidade relativa do ar e precipitação pluvial, a temperatura máxima do ar foi selecionada no modelo (Tabela 18). Contudo, apesar do modelo ser significativo, com R^2 de 0,73, R^2 ajustado de 0,66 e erro padrão de 3, nem todos seus coeficientes parciais foram significativos.

De maneira geral, para estimativa do número de eventos de risco de setembro a final de novembro, as variáveis meteorológicas relacionadas à umidade do ar foram as que mais influenciaram, proporcionalmente, para que ocorresse maior número de eventos.

Estas regressões permitem estabelecer e compreender as relações entre o número de eventos de risco e as condições meteorológicas do período em que

elas ocorrem. As mesmas não permitem estimativa antecipada, mas sim, projetar um padrão destas relações. Desta forma, dependendo das previsões meteorológica e climática, com indicativos de períodos mais ou menos chuvosos e variações de temperatura e umidade relativa do ar, associados ou não a outros fenômenos, pode-se ter uma tendência quanto ao número de eventos de risco em determinada safra.

5 CONCLUSÕES

Em pomares de macieiras 'Royal Gala', utilizando-se porta enxerto de baixo vigor vegetativo em alta densidade, conduzidas em linhas de cultivo espaçadas e abertas, a duração do período de molhamento foliar (DPM) é maior no terço inferior do dossel, tanto em céu aberto como sob tela antigranizo.

A duração do período de molhamento foliar é maior em pomares de macieiras sob cobertura antigranizo que em céu aberto.

Em pomares de macieira cobertos por tela antigranizo as diferenças de DPM entre estratos do dossel são menores que em pomares em céu aberto.

A duração do período de molhamento no terço inferior do dossel de pomares de macieiras apresenta elevada relação com a DPM sobre gramado.

É possível estimar a duração do molhamento foliar em pomares de macieiras em função da umidade relativa do ar medida a 1,5 m de altura sobre solo gramado, em estação meteorológica.

Modelos lineares que utilizam a umidade relativa do ar igual ou superior a 90% como variável independente proporcionam estimativas adequadas da duração do molhamento foliar em pomares de macieiras.

O número de eventos de risco por infecção por *Venturia inaequalis* aumenta na medida em que houver elevação da umidade no ambiente, que resulta em molhamento das folhas. Em menor proporção, o número de eventos de risco aumenta à medida que se elevam as médias da temperatura mínima do ar e, eventualmente, da temperatura média do ar.

Os melhores modelos para estimar eventos de risco de infecção por sarna da macieira, entre 15 de setembro e 30 de novembro, são aqueles que consideram a umidade relativa média do ar e a precipitação pluvial acumulada, combinadas à temperatura média do ar, para eventos de risco leve e moderado, e à temperatura máxima do ar para eventos de risco severos.

De forma consistente, o início da liberação de ascósporos de *V. inaequalis* ocorre sempre em data anterior ao início da primavera e ao início da brotação da macieira.

A duração do período de liberação de ascósporos em Vacaria sempre coincidir com um ou mais estádios suscetíveis da macieira à sarna, como o início e desenvolvimento inicial da brotação (outubro e novembro).

O acúmulo térmico para início e fim da liberação de ascósporos de *V. inaequalis*, na região de Vacaria, RS, difere de regiões de clima mais frio, como no Norte da Itália, devido às temperaturas médias mais elevadas em Vacaria.

As condições meteorológicas do mês de junho são as que mais influenciam o início e a duração da liberação de ascósporos de *V. inaequalis*.

O início da liberação dos ascósporos é influenciado pela variação no acúmulo térmico e pela variação da temperatura do ar, do início de junho ao início da liberação dos ascósporos.

Quanto maiores as temperaturas médias de junho e menor a variação das suas médias diárias, mais cedo será o início da liberação de ascósporos de *V. inaequalis*.

Quanto menores as temperaturas médias de junho, maiores seus coeficientes de variação das médias diárias e maior a precipitação pluvial do mês, menor será a duração da liberação dos ascósporos de *V. inaequalis*.

A incidência da doença não se relaciona diretamente com variáveis meteorológicas, dependendo da interação de fatores como disponibilidade de esporos e eventos de risco de infecção.

A predição do início da liberação de ascósporos pode ser feita por modelos que consideram a precipitação pluvial e graus-dia contabilizados entre primeiro de junho e o início da liberação.

O início da liberação de ascósporos também pode ser estimado em função da média e da variação diária das temperaturas máximas de junho e do número de dias com umidade relativa média do ar igual ou superior a 90%.

A duração da liberação de ascósporos de *V. inaequalis* pode ser estimada a partir da média das temperaturas mínimas do ar e da precipitação pluvial acumulada de junho e, também, pelo o acúmulo térmico durante o período de liberação.

Nas condições de cultivo de macieiras em Vacaria, RS, o modelo de Rossi *et al.* (2000) permite estimar o início da liberação de ascósporos de *V. inaequalis*, porém não apresenta precisão em estimar sua duração.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGAPOMI - Associação Gaúcha dos Produtores de Maçã. **Dados estatísticos**. Disponível em: <<http://www.agapomi.com.br/dadosestatisticos.php>>. Acesso em: 12 jan. 2010.

AGRIOS, G. N. **Plant pathology**. 3. ed. San Diego, CA: Academic Press, 1988. 803 p.

ANALYTIS, S. Methods of analysing epidemics as exemplified by apple scab, *Venturia inaequalis* (Cooke) Hader. **Acta Phytomedica**, n. 1, Berlin (DE), 1973.

ARNESON, P. A.; OREN, T. R.; LORIA, R.; JENKINS, J.J.; GOODMAN, E.D.; COOPER, W.E. APPLE SCAB: a pest management game. **NACTAJ**, n. 23, p. 61–62, 1979.

ÁVILA, A. M. H.; BERLATO, M. A.; SILVA, J. B. DA; FONTANA, D. C. Probabilidade de ocorrência de precipitação mensal igual ou maior que a evapotranspiração para a estação de crescimento das culturas de primavera-verão no estado Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v. 2, n. 2, p. 149-154, 1996.

AYLOR, D. E.; SUTTON, T. B. Release of *Venturia inaequalis* ascospores during unsteady rain: relationship to spore transport and deposition. **Phytopathology**, Saint Paul, v.82, n.5; p.532-540, 1992.

AYLOR, D. E.; QIU, J. Micrometeorological determination of release rate of *Venturia inaequalis* ascospores from a ground-level source during rain. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 81, n. 3-4, p. 157-178, 1996.

AYLOR, D. E. The aerobiology of apple scab. **Plant Disease**, Saint Paul, v. 82, n. 8, p. 838-849, 1998.

BATZER, J. C.; GLEASON, M. L.; TAYLOR, S. E.; KOEHLER, K. J.; MONTEIRO, J. E. B. A. Spatial heterogeneity of leaf wetness duration in apple trees and its influence on performance of a warning system for sooty blotch and flyspeck. **Plant Disease**, Saint Paul, v. 92, n. 1, p. 164-170, 2008.

BERESFORD, R. M. Validation of an ascospore release prediction model for apple black spot (*Venturia inaequalis*). In: NEW ZEALAND PLANT PROTECTION CONFERENCE, 52., 1999, Auckland. **Anais...** Auckland, 1999. p. 148-152

- BERGAMIN FILHO, A.; AMORIM, L. **Doenças de plantas tropicais: epidemiologia e controle econômico**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1996. 299p.
- BERRIE, A. M.; XU, X. M. Managing apple scab (*Venturia inaequalis*) and powdery mildew (*Podosphaera leucotricha*) using Adem™. **International Journal of Pest Management**, London, v. 49, n. 3, p. 243-249, 2003.
- BERLATO, M. A.; FONTANA, D. C.; BONO, L. Tendência temporal da precipitação pluvial anual no Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.3, n.1, p. 111-113, 1995.
- BERLATO, M. A.; MELO, R. W.; FONTANA, D. C. Risco de ocorrência de granizo no Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 8, n. 1, p. 121-132, 2000.
- BERTON, O.; MELZER, R. Controle de sarna da macieira pelo sistema de MILLS. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 19, n. 10, p. 1211-1217, 1984.
- BERTON, O.; MELZER, R. **Sistema de alerta para controle da sarna da macieira**. Florianópolis: EMPASC, 1989. 75p.
- BERTON, O. **Ontogenic resistance**. Use of DMI fungicides, and late season scab of apples. Cornell University, Doctorate Dissertation, 2002, 62p.
- BERTON, O. Previsão e controle da sarna da macieira. In: REIS, E. M. **Previsão de doenças de plantas**. Passo Fundo: UPF, 2004. p. 291-316.
- BERTON, O.; MAY-DE-MIO, I. I.; SANTOS, H. A. A. Cyprodinil, pyrimethanil, propineb e trifloxystrobin no controle da sarna da macieira. **Scientia Agraria**, Curitiba, v.8, n. 2, p. 173-178, 2007.
- BLEICHER, J. Doenças da macieira e outras pomáceas. In: BERGAMIN FILHO, A.; KIMATI, H.; AMORIM, L. **Manual de fitopatologia: doenças de plantas cultivadas**, 3. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1997.
- BOSHUISEN, A. J.; VERHEYDEN, C. M. An agrometeorological network for warnings against scab in Belgium. **Norwegian Journal of Agricultural Sciences**, Faghtjenesten, Supplement 17. p. 429-441, 1994.
- BONETI, J. I. S.; KATSURAYAMA, Y. **A sarna da macieira**. Florianópolis: EMPASC, 1988. 39 p. (Boletim Técnico, 44).
- BONETI, J. I. S.; KATSURAYAMA, Y.; SANHUEZA, R. M. V. **Manejo da sarna na produção integrada de maçã**. Bento Gonçalves: EMBRAPA Uva e Vinho, 2001. (Circular técnica, 30)
- BONETI, J. I. S.; KATSURAYAMA, Y.; SANHUEZA, R. M. V. Manejo da sarna na produção integrada de maçã. In: PROSTAS, J. F S.; SANHUEZA, R. M. V. (Ed.). **Produção integrada de frutas: o caso da maçã no Brasil**. Bento Gonçalves: EMBRAPA Uva e Vinho, 2003. p. 35-51.

BONETI, J. I. S.; KATSURAYAMA, Y.; BLEICHER, J. Doenças da macieira. In.: EPAGRI. **A cultura da macieira**. Florianópolis, 2006. p. 527-608.

BONETI, J. I. S.; KATSURAYAMA, Y. **Maçã – é hora de controlar a sarna que não coça**. Disponível em: <http://www.grupocultivar.com.br/arquivos/hf07_sarmamaca.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2008.

BOSCO, L. C.; CARDOSO, L. S.; PAULA, V. A.; BERGAMASCHI, H.; BRAUNER, P. C.; CASAMALLI, B.; SANTOS, V. R.; MARODIN, F. A.; SANTOS, H. P.; MARODIN, G. A. B. Microclima e qualidade de frutos de macieira sob tela antigranizo. In: REUNIÓN ARGENTINA Y VI LATINOAMERICANA DE AGROMETEOROLOGÍA, 13., 2010, Bahia Blanca, Argentina. **Anais...** Bahia Blanca, Argentina, 2010. p. 43-44.

BOURGEOIS, G.; BOURQUE, A.; DEAUDELIN, G. Modelling the impact of climate change on disease incidence: a bioclimatic challenge. **Canadian Journal of Plant Pathology**, Saskatchewan, v. 26, n.3, p. 284-290, 2004.

BRDE – Banco Regional de Desenvolvimento do Extremo Sul. **Cadeia produtiva da maçã** - produção, armazenagem, comercialização, industrialização e apoio do BRDE na Região Sul do Brasil. Agência de Porto Alegre - Superintendência de Planejamento. Porto Alegre: BRDE, 2005. 65 p.

BUCK, A. L. New equations for computing vapour pressure and enhancement factor. **Journal of Applied Meteorology**, New York, v. 20, p. 1527-1532, 1981.

CAMARGO, A. P.; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 5, n. 1, p. 89-97, 1997.

CAMPBELL, C. L.; MADDEN, L. V. Temporal analysis of epidemics I: description and comparison of disease progress curves. In: CAMPBELL, C. L. **Introduction to Plant Disease Epidemiology**. New York: Wiley Interscience, 1990. p.161-202.

CARDOSO, L. S.; BOSCO, L. C.; PAULA, V. A.; BERGAMASCHI, H.; BRAUNER, P. C.; MARODIN, F. A.; SANTOS, V. R.; MARODIN, G. A. B. Alterações micrometeorológicas em pomares de macieira pelo uso de tela antigranizo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 16., 2009, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte, 2009. 5 p.

CARDOSO, L. S. **Modelagem aplicada à fenologia de macieiras ‘Royal Gala’ e ‘Fuji Suprema’ no sul do Brasil**. 2011. 166 f. Tese (Doutorado), Programa de Pós-graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

CARISSE, O.; MELOCHE, C.; TURECHEK, W.W. Spatial heterogeneity, incidence-incidence and incidence-lesion density relationship of apple scab (*Venturia inaequalis*) in managed orchards. **European Journal of Plant Pathology**, v. 130, n. 3, p. 349-365, 2011.

COSTA R. V.; ZAMBOLIM, L.; DO VALE, F. X. R.; MIZUBUTI, E. S. G. Previsão da requeima da batata. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 27, n. 4, p. 349-354, 2002.

DALLA MARTA, A.; ORLANDINI, S.; GHIRONI, M.; SABATINI, F. Influence of different sensor positions on leaf wetness measurements and their effect on the simulation of grapevine downy mildew (*Plasmopara viticola*). **Időjárás**, Budapeste, v. 108, n.4, p. 253-263, 2004.

DINIZ, G.; BERLATO, M. A.; CLARKE, R.; FONTANA, D. C. Identificação de regiões homogêneas de temperaturas máxima e mínima do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. Santa Maria, v. 11, n. 2, p. 303-312, 2003.

FERNANDES, J.M. SISALERT: tecnologia no alerta a epidemias no campo. Disponível em <http://www.cnpt.embrapa.br/obs_trigo/noticias/SISALERT-tecnologia_alerta_epidemias_campo.pdf> Acesso em: mar 2011.

GADOURY, D. M.; MACHARDY, W. E. A model to estimate the maturity of ascospores of *Venturia inaequalis*. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 72, n. 7, p. 901-904, 1982.

GADOURY, D. M.; MACHARDY, W. E. Effects of temperature on the development of pseudothecia of *Venturia inaequalis*. *Plant Disease*, Saint Paul, n.66, p. 464-468, 1982a.

GADOURY, D. M.; MACHARDY, W. E.; HU, C. Effects of temperature during ascus formation and frequency of ascospore discharge on pseudothecial development of *Venturia inaequalis*. **Plant disease**, Saint Paul, v.68, p. 223-225, 1984.

GADOURY, D. M.; SEEM, R. C.; ROSENBERGER, D. A.; WILCOX W. F.; MACHARDY W. E.; BERKETT, L. P. Disparity between morphological maturity of ascospores and physiological maturity of asci in *Venturia inaequalis*. **Plant Disease**, Saint Paul, v. 76, p. 277-282, 1992.

GILLESPIE, T.J.; SRIVASTAVA, B.; PITBLADO, R. E. Using operational weather data to schedule fungicide sprays on tomatoes in southern Ontario, Canadá. **Journal of Applied Meteorology**, New York, v. 32, n.3, p. 567-573, 1993.

GIOSUÈ, S.; ROSSI, V.; PONTI, I.; BUGIANI, R. Estimating the dynamics of airborne ascospores of *Venturia inaequalis*. **EPPO Bulletin**, Paris, v.30, n.1, p. 137-142, 2000.

GLEASON, M. L.; TAYLOR, S. E.; LOUGHIN, T. M.; KOEHLER, K. J. Development and validation of an empirical model to estimate duration of dew periods. **Plant disease**, Saint Paul, v. 78, n.10, p. 1011-1016, 1994.

HELDWEIN, A. B. **Ermittlung der Taubenetzung von Pflanzenbeständen durch Anwendung mikrometeorologischer Verfahren sowie mittels**

konventioneller Methoden. Berlin: TU-Berlin, 206p. Dissertação (Dr. Sci. Agrar.) – Fachbereich Internationale Agrarentwicklung, 1993.

HOFMAIER, C. BIOMAT - a smart tool for apple scab control. **Norwegian Journal of Agricultural Sciences**, Norway, suplemento 17, p. 253-256, 1994.

HUBER, L.; GILLESPIE, T. J. Modeling leaf wetness in relation to plant disease epidemiology. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v. 30, p. 553-577, 1992.

IPAGRO - Instituto de Pesquisa Agropecuário. **Atlas agroclimático do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre, 1989.

IUCHI, V. L. Botânica e fisiologia. In: EPAGRI. **A cultura da macieira.** Florianópolis, Brasil, p. 59-104, 2006.

JAMES, J. R.; SUTTON, T. B. Environmental factors influencing pseudothecial development and ascospore maturation of *Venturia inaequalis*. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 72, n. 8, p.1073-1080, 1982.

JONES, A. L. Analysis of apple scab epidemics and attempts at improved disease predictions. **Proceedings of the Apple and Pear Scab Workshop**, Cidade do Kansas, Michigan, p. 19–22, 1978.

JONES, A. L.; FISHER, P. D.; SEEM, R. C.; KROON, J. C.; VAN DE-MOTTER, P. J. Development and commercialization of an infield microcomputer delivery system for weather-driven prediction models. **Plant disease**, Saint Paul, v.68, n.6, p. 458-463, 1984.

KRANZ, J.; MOGK, M.; STUMPF, A. EPIVEN – a simulator for apple scab. **Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten**, n. 80, p. 181–187 (in German), 1973.

KREUZ, C. A.; FREIRE, J. M.; PROTAS, J. F. S. **Sistemas de produção.** 2003. Disponível em: <<http://www.cnpuv.embrapa.br/publica/sprod/ProducaoIntegradaMaca/mercado.htm>>. Acesso em : Abr. 2011.

KRUIT, R. J. W.; VAN PUL, W. A. J.; JACOBS, A. F. G.; HEUSINKVELD, B. G. Comparison between four methods to estimate leaf wetness duration caused by dew on grassland. In: AGROMETEOROLOGICAL CONFERENCE, 26., 2004, Vancouver. **Anais...** Vancouver, 2004. 1 CD-ROM.

LAGARDE, M. P. Etude sur la maturation des ascospores de *Venturia inaequalis* (Cke.) Wint. En vue de l'élaboration d'un modèle. Second International Conference on Plant Diseases, Palais des congrès Bordeaux-Lac, **Annales II/III (4)**, p. 1093 - 1098, 1988.

LEFFELAAR, P. A. **On systems analysis and simulation of ecological processes.** Kluwer, London (GB), 1993.

MACHADO, J. P.; BLANK, D. M. P.; ZONTA, J. H.; JUSTINO, F. B. Comportamento da precipitação e da temperatura no Rio Grande do Sul baseado

- na análise de agrupamento. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v.32, n.1, p. 49-63, 2010.
- MacHARDY, W. E. A simple, quick technique for determining apple scab infection periods. **Plant Disease Reporter**, v. 63, n.3, p.199 – 204, 1979.
- MacHARDY, W. E.; GADOURY, D. M. Patterns of ascospore discharge by *Venturia inaequalis*. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 76, n. 10, p. 985-990, 1986.
- MacHARDY, W. E.; GADOURY, D. M. A revision of Mills' criteria for predicting apple scab infection periods. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 79, n. 3, p. 304-310, 1989.
- MacHARDY, W. E. **Apple Scab: biology, epidemiology and management**. Saint Paul: The American Phytopathological Society, 1996. 545 p.
- MacHARDY, W. E.; GADOURY, D. M.; GESSLER, C. Parasitic and biological fitness of *Venturia inaequalis*: relationship to disease management strategies. **Plant Disease**, Saint Paul, v. 85, n. 10, p. 1036-1051, 2001.
- MADEIRA, A. C.; KIM, K. S.; TAYLOR, S. E.; GLEASON, M. L. A simple cloud-based energy balance model to estimate dew. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 111, n.1, p. 55-63, 2002.
- MATTEDI, L.; VARNER, M. **Produzione integrata attraverso la conoscenza delle principali malattie fungine del melo e della vite**. Arti Grafiche La Commerciale-Borgogno, Bolzano (IT), 2000.
- MESZKA, B.; MASNY, S.; BIELENIN, A. Study on *Venturia inaequalis* pseudothecia development, ascospore discharge and prediction of apple scab. **Zemdirbyste-Agriculture**, v. 95, n. 3, p. 116-122, 2008.
- MILLS, W. D. Efficient use of sulfur dusts and sprays during rain to control apple scab. **Cornell Extension Bulletin**, Ithaca, n. 630, p. 3-4, 1944.
- MILLS, W. D.; LA PLANTE, A. A. Diseases and insects in the orchard. **Cornell Extension Bulletin**, Ithaca, n. 711, p. 20-28, 1944.
- MINOGUE, K. P. **A mathematical model for epidemics of apple scab**. PhD Dissertation, MacGill University (CA), 1978.
- MONTEITH, J. L. Conservative behaviour in the response of crops to water and light. In: RABBINGE, R. (Ed.). **Theoretical production ecology: reflections and prospects**. Wageningen: Pudoc, 1990. p. 3-16.
- OMETTO, J. C. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981. 440p.
- PAULA, V. A.; BOSCO, L. C.; CARDOSO, L. S.; BERGAMASCHI, H.; DEL PONTE, E. M.; MARODIN, F. A.; BRAUNER, P. C.; SANTOS, V. R.; SANHUESA, R. M. V. Modelos empíricos para estimativa da duração do molhamento foliar em

pomares de macieira em Vacaria-RS. In.: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 17., Guarapari, ES. **Anais...** Guarapari, ES, 2011.

PEDRO JUNIOR, M. J.; GILLESPIE, T. J. Estimating dew duration II. Utilizing standard weather station data. **Agricultural Meteorology**, Amsterdam, v. 25, p. 297-310, 1982.

PEDROTTI, E. L.; VOLTOLINI, J. A. Enraizamento *ex vitro* e aclimatização do porta-enxerto de macieira M9. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal - SP, v. 23, n. 2, p. 234-239, 2001.

PEREIRA, T. P.; FONTANA, D. C.; BERGAMASCHI, H. O Clima da Região dos Campos de Cima da Serra, Rio Grande do Sul: condições térmicas e hídricas. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v. 15, n. 2. p. 145-157, 2009.

PETRI, J. L. Fatores edafoclimáticos. In.: A CULTURA da macieira. Florianópolis: EPAGRI, 2006. p. 105-112.

PROCTOR, J. T. A. Prediction of apple scab ascospore discharge using degree days. **HortScience**, Alexandria, v.17, p. 496, 1982.

RAO, P. S.; GILLESPIE, T. J., SCHAAFSMA, A.W. Estimating wetness duration on maize ears from meteorological observations. **Canadian Journal of Soil Science**, Québec, v.78, p. 149-154, 1998.

RANCANE, R.; EIHE, M.; JANKOVSKA, L. Adaption of Simulation Model RIMpro for Primary Apple Scab Control in Latvia.. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MODELLING IN FRUIT RESEARCH AND ORCHARD MANAGEMENT, 8., 2009., **Proceedings...** 2009. p. 69 – 76 (Acta Horticulturae (ISHS), n. 803)

RIO GRANDE DO SUL. **Macrozoneamento agroecológico e econômico do estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura e do Abastecimento / EMBRAPA-CNPT, 1994. 2v.

ROSSI, V.; PONTI, I.; MARINELLI, M.; GIOSUÈ S.; BUGIANI, R. A new model estimating the seasonal pattern of air-borne ascospores of *Venturia inaequalis* (Cooke) Wint. in relation to weather conditions. **Journal of Plant Pathology**, Bari, Itália, v. 82, n. 2, p. 111-118, 2000.

ROSSI, V.; GIOSUÈ, S.; BUGIANI, R. A model simulating deposition of *Venturia inaequalis* ascospores on apple trees. **EPPO Bulletin**, Paris, v. 33, n. 3, p. 407-414, 2003.

ROSSI, V.; GIOSUÈ, S.; BUGIANI, R. A-scab (apple-scab), a simulation model for estimating risk of *Venturia inaequalis* primary infections. **EPPO Bulletin**, Paris, v.37, p.300-308, 2007.

ROSSI, V.; SALINARI, F.; PATTORI, E.; GIOSUÈ, S.; BUGIANI, R. Predicting the dynamics of ascospore maturation of *Venturia pirina* based on environmental factors. **Phytopathology**, Saint Paul, v.99, n. 4, p. 453-461, 2009.

SANHUEZA, R. M. V. Doenças. In: NACHTIGALL, G. R. (Ed.). **Maça**: produção. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. cap. 3, p. 116-134, (Série Frutas do Brasil, 37)

SANTOS, M. C. dos. **Controle da sarna da macieira com utilização da tabela de Mills, na região de Vacaria - RS**. 2003. 54 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2003.

SANTOS, M. C.; FURTADO, E. L.; SANHUEZA, R. M. V. Controle da sarna da macieira com utilização da Tabela de Mills, na região de Vacaria – RS. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v. 31, n. 3, p. 254-260, 2005.

SANTOS, E. A. **Duração do período de molhamento foliar: medida com sensores eletrônicos, variabilidade espacial em culturas e estimativa com modelos empíricos**. 2006. 56 f. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

SCHWABE, W. F. S.; JONES, A. L.; VAN BLERK, E. Relation of degree-day accumulations to maturation of ascospores of *Venturia inaequalis* in South Africa. **Phytophylactica**, v.21, n. 1, p.13-16, 1989.

SEEM, R. C.; SHOEMAKER, C. A.; REINOLDS, K. L.; ESCHENBACH E.A. Simulation and optimization of apple scab management. **IOBC/WPRS Bulletin**, n. 2, [S.l.], p. 66–87, 1989.

SENTELHAS, P. C. **Duração do período de molhamento foliar: aspectos operacionais de sua medida, variabilidade especial em diferentes culturas e sua estimativa a partir do modelo de Penman-Monteith**. 2004. 161 f. Tese (Livre-Docência), Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

SENTELHAS, P. C.; GILLESPIE, T. J.; GLEASON, M. L.; MONTEIRO, J. E. B. A.; HELLAND, S. T. Operational exposure of leaf wetness sensors. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 126, n. 1-2, p. 59-72, 2004.

SENTELHAS, P. C.; GILLESPIE, T. J.; BATZER, J. C.; GLEASON, M. L.; MONTEIRO, J. E. B. A.; PEZZOPANE, J. R. M.; PEDRO JUNIOR, M. J. Spatial variability of leaf wetness duration in different crop canopies. **International Journal of Biometeorology**, New York, v. 49, n. 6, p. 363-370, 2005.

SENTELHAS, P. C.; GILLESPIE, T. J.; GLEASON, M. L.; MONTEIRO, J. E. B. M.; PEZZOPANE, J. R. M.; PEDRO, M. J. Evaluation of a Penman–Monteith approach to provide “reference” and crop canopy leaf wetness duration estimates. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 141, p. 105 – 117, 2006.

SPANNA, F.; COTRONEO, A.; GALLIANO, A.; VITTONI, F. Validation of the model RIMpro for the spread of apple scab in the fruitgrowing area of Piemonte. **Notiziario sulla protezione delle piante**, 15 NS, p. 315–320, 2002.

ST-ARNAUD, M.; COULOMBE, L. J.; NEUMANN, P.; JACOB, A. La maturation et l'éjection des ascospores de *Venturia inaequalis* à Frelighsburg (Québec) en relation avec la température et la pluie. **Phytoprotection**, n. 66, p. 153–161, 1985.

STENSVAND, A., GADOURY, D. M., Amundsen, T., Seem, R. C. Recent research on ascospore discharge in *Venturia inaequalis*. **IOBC/WPRS Bulletin**, [S.I.], v. 23, n. 12, p. 39-51, 2000.

STRECK, L. **Determinação da duração do período de molhamento foliar em cultivos de batata**. 2006. 118 f. Tese (doutorado), Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

TRAPMAN, M. C. Control of scab on the basis of RIM. **De Fruitteelt**, [S.I.], v. 50, p. 31–34, 1993.

TRAPMAN, M. C.; POLFLIET, M. Management of primary infections of Apple scab with the simulation program RIMpro: review of four years field trials. **IOBC/WPRS Bulletin**, [S.I.], v. 20, p. 241-250, 1997.

VAN SANTEN, G.; BUTT, D. J. The East Malling apple scab model version 1. **Acta Phytopathologica et Entomologica Hungarica**, 27, (1–4 part II), p. 565–570, 1992.

VALE, F. X. R.; JESUS JUNIOR, W. C; ZAMBOLIM, L. Z. **Epidemiologia aplicada ao manejo de doenças de plantas**. Belo Horizonte: Perfil, 2004. 531p.

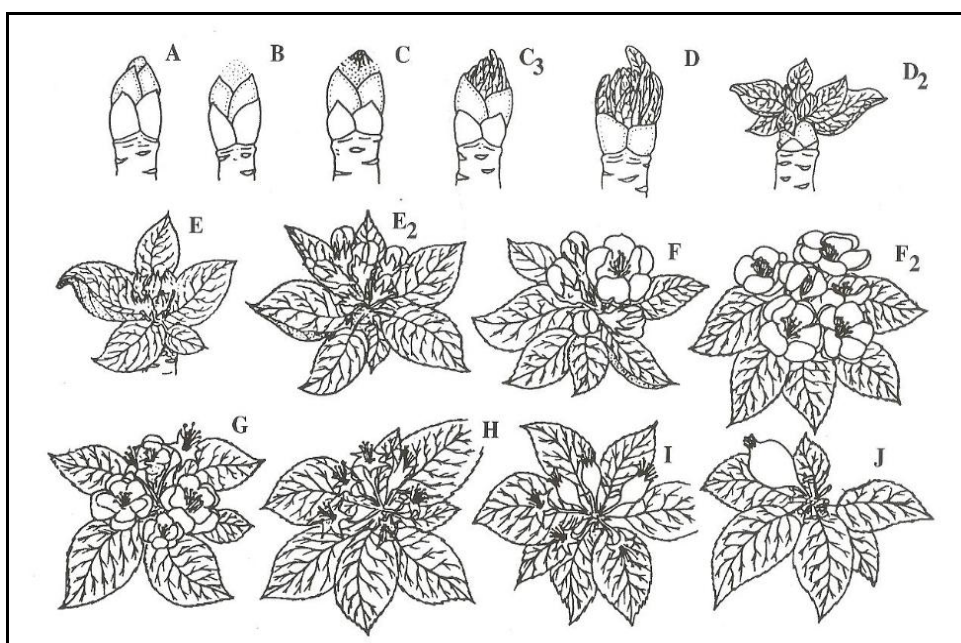
WESTPHALEN, S. L.; MALUF, J. R. T. Zoneamento agroclimático da macieira no Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 5, 1979, Pelotas. **Anais...** Pelotas, 1979, 535 p.

WITTICH, K. P. Some remarks on dew duration on top of an orchard. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.72, n. 3-4, p.167-180, 1995.

XU, X. M.; BUTT, D. J. PC-based disease warning systems for use by apple growers. **EPPO Bulletin**, Paris, v. 23, p. 595-600, 1993.

7 APÊNDICES

APÊNDICE 1. Escala de fenologia da macieira.



A - gemas dormentes; B - gemas inchadas; C - pontas verdes; C₃ - meia polegada verde; D - meia polegada verde sem folhas; D₂ - meia polegada verde com folhas; E - botão verde; E₂ - botão rosado; F - início da floração; F₂ - plena floração; G - final da floração; H - queda de pétalas; I - frutificação efetiva; J - frutos verdes; L - frutos maduros.

Fonte: Iuchi (2006)

APÊNDICE 2. Normal climatológica de Vacaria, RS, 1931-1960.

MESES	RADIAÇÃO GLOBAL (MJ m ² dia ⁻¹)	PRECIPITAÇÃO (mm)	T MAX (°C)	T MIN (°C)	T MED (°C)	TM RELVA (°C)	UR MED (%)
JAN	20,3	132	27,6	14,7	19,6	12,8	77
FEV	19,5	119	25,8	14,7	19,4	13,1	77
MAR	16,5	98	25,7	13,6	18,2	11,8	80
ABR	14,3	102	21,9	9,9	14,9	6,9	81
MAI	11,2	104	19,3	7,8	12,7	4,5	81
JUN	9,3	144	17,5	6,5	11,7	3,3	83
JUL	9,9	123	17,4	5,7	10,6	3,6	81
AGO	11,3	129	19	6,6	11,9	4,0	78
SET	14,0	148	20	8,5	13,3	5,7	79
OUT	17,3	132	22,4	10	15	8,1	79
NOV	18,3	76	24,6	11,3	17	9,5	73
DEZ	20,6	104	26,6	13	18,7	10,8	74
MED/TOT	15,2	1412	22,3	10,2	15,2	7,8	79

Adaptado de IPAGRO, (1989).

APÊNDICE 3. Sumários mensais das variáveis meteorológicas dos meses de abril a dezembro do período de 1987 a 2007. Vacaria, RS.

Variáveis	Mês de Abril										
	Anos										
	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
UR (%) ¹	87,1	82,5	85,3	87,8	81,0	85,2	84,0	82,2	80,7	85,0	73,0
DP UR (%) ²	7,9	12,5	7,6	7,1	9,9	10,0	10,0	10,5	12,2	5,5	10,7
CVUR (%) ³	9,1	15,1	8,9	8,1	12,2	11,7	11,9	12,7	15,1	6,5	14,7
P (mm) ⁴	322,2	254,5	124,3	203,4	129,0	128,7	151,3	170,8	87,0	78,1	79,9
NDP ⁵	8	9	8	11	10	11	11	7	10	9	9
T Max (°C) ⁶	23,5	20,6	22,1	22,7	23,3	21,6	23,3	22,4	21,8	22,9	23,0
DP Tmáx (°C) ⁷	2,7	3,0	2,7	3,3	4,3	3,8	3,9	3,9	4,5	4,1	3,3
CVT Max (°C) ⁸	11,5	14,5	12,1	14,4	18,6	17,4	16,6	17,4	20,6	17,8	14,3
T mín (°C) ⁹	11,8	9,5	11,8	12,1	10,3	10,0	11,9	10,3	8,8	11,3	8,3
DPT mín (°C) ¹⁰	2,5	3,9	3,1	3,2	4,1	2,9	3,9	2,7	4,4	4,9	4,7
CVT mín (%) ¹¹	21,6	40,4	26,6	26,6	39,5	28,9	32,5	26,3	50,2	43,9	56,0
T méd (°C) ¹²	17,9	15,9	17,7	17,7	17,4	16,4	17,4	16,5	15,8	17,0	15,8
DP Tméd (°C) ¹³	1,6	2,6	2,5	2,8	3,5	2,7	3,2	2,9	3,7	4,1	3,2
CVT méd (%) ¹⁴	8,9	16,3	13,9	16,0	20,2	16,3	18,5	17,8	23,7	24,1	20,1

Continuação APÊNDICE 3. Sumários mensais das variáveis meteorológicas dos meses de abril a dezembro do período de 1987 a 2007. Vacaria, RS.

Variáveis	Mês de Abril									
	Anos									
	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
UR (%) ¹	85,7	84,6	77,9	81,4	81,5	74,9	82,3	81,5	76,5	76,2
DP UR (%) ²	8,8	10,4	12,3	9,9	8,7	8,4	7,5	11,5	11,4	9,0
CVUR (%) ³	10,2	12,3	15,8	12,1	10,7	11,2	9,1	14,1	14,8	11,8
P (mm) ⁴	233,8	188,1	83,8	133,2	98,8	144,0	56,4	221,4	98,2	108,6
NDP ⁵	15	15	11	12	13	7	6	12	5	11
T Max (°C) ⁶	21,0	20,7	22,6	22,6	23,4	22,1	23,1	21,4	21,4	23,4
DP Tmáx (°C) ⁷	3,6	4,7	3,8	2,5	2,7	3,2	4,1	4,6	3,1	3,3
CVT Max (°C) ⁸	17,1	22,5	16,8	11,0	11,3	14,4	17,8	21,5	14,7	14,0
T mín (°C) ⁹	10,3	10,9	11,2	12,9	13,3	10,5	12,9	12,0	9,6	13,2
DPT mín (°C) ¹⁰	3,6	4,6	2,5	2,3	2,4	3,4	3,3	3,6	3,2	3,5
CVT mín (%) ¹¹	34,9	42,1	22,8	18,0	18,4	32,9	25,8	29,6	33,7	26,5
T méd (°C) ¹²	15,7	15,7	16,6	17,5	18,4	16,6	18,4	16,4	15,6	18,4
DP Tméd (°C) ¹³	3,1	3,8	2,9	1,9	2,2	2,8	3,3	3,3	2,3	3,3
CVT méd (%) ¹⁴	19,9	24,1	17,2	10,6	12,0	16,8	17,8	20,3	14,7	17,7

Continuação APÊNDICE 3. Sumários mensais das variáveis meteorológicas dos meses de abril a dezembro do período de 1987 a 2007. Vacaria, RS.

Variáveis	Mês de Maio										
	Anos										
	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
UR (%) ¹	89,0	84,5	85,9	82,8	80,0	88,1	83,4	87,7	75,7	80,9	74,4
DP UR (%) ²	10,6	10,7	7,3	11,5	8,0	10,7	8,1	8,6	13,1	7,6	11,4
CVUR (%) ³	11,9	12,7	8,5	13,9	10,0	12,2	9,7	9,8	17,3	9,4	15,3
P (mm) ⁴	358,6	94,1	128,0	284,9	71,6	339,2	234,4	237,6	18,2	69,6	46,0
NDP ⁵	10	7	5	9	5	11	9	11	4	4	5
T Max (°C) ⁶	15,3	16,1	18,2	18,3	21,0	18,2	18,6	20,5	19,3	19,9	19,5
DP Tmáx (°C) ⁷	3,4	3,6	3,8	4,2	3,1	3,7	4,9	3,8	3,7	2,3	4,4
CVT Max (°C) ⁸	22,0	22,6	21,1	23,0	14,6	20,4	26,4	18,7	19,4	11,3	22,4
T mín (°C) ⁹	5,2	6,0	7,0	5,8	8,4	7,0	6,8	10,5	5,8	7,0	5,5
DPT mín (°C) ¹⁰	5,2	4,0	3,5	3,7	3,5	4,7	4,9	2,7	4,2	2,4	3,6
CVT mín (%) ¹¹	100,2	66,1	50,4	64,1	42,2	66,8	71,7	26,1	71,6	34,2	64,6
T méd (°C) ¹²	11,2	11,3	12,6	13,0	15,4	13,0	12,7	15,4	13,1	13,4	13,1
DP Tméd (°C) ¹³	3,4	3,3	3,2	3,3	2,2	3,2	4,3	2,8	3,5	2,0	3,1
CVT méd (%) ¹⁴	30,7	29,1	25,1	25,7	14,6	24,5	33,8	18,0	26,7	15,2	23,9

Continuação APÊNDICE 3. Sumários mensais das variáveis meteorológicas dos meses de abril a dezembro do período de 1987 a 2007. Vacaria, RS.

Variáveis	Mês de Maio									
	Anos									
	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
UR (%) ¹	83,7	83,4	79,0	85,4	85,8	72,7	86,2	69,5	81,8	83,5
DP UR (%) ²	9,7	10,4	12,2	9,3	8,7	11,0	10,0	14,0	8,8	11,0
CVUR (%) ³	11,6	12,5	15,4	10,9	10,1	15,1	11,6	20,1	10,8	13,1
P (mm) ⁴	118,9	125,9	82,7	187,8	141,0	59,0	113,9	250,0	48,3	229,4
NDP ⁵	13	11	9	15	10	7	10	12	9	15
T Max (°C) ⁶	19,0	17,3	17,3	16,4	19,8	18,9	16,2	19,6	16,7	15,4
DP Tmáx (°C) ⁷	3,0	4,4	3,8	4,4	3,4	3,7	3,1	3,7	3,5	4,6
CVT Max (°C) ⁸	15,9	25,5	21,8	26,7	17,1	19,5	19,0	18,9	20,8	29,7
T mín (°C) ⁹	7,4	6,4	7,1	7,3	9,9	7,2	6,7	9,4	6,2	7,1
DPT mín (°C) ¹⁰	2,4	3,6	3,6	3,5	2,7	3,8	4,1	5,0	2,2	4,6
CVT mín (%) ¹¹	32,3	56,5	50,8	48,3	27,0	51,9	61,8	52,5	36,1	65,0
T méd (°C) ¹²	12,9	12,0	12,1	11,9	14,9	13,3	11,6	14,6	11,3	11,6
DP Tméd (°C) ¹³	2,5	3,6	3,5	3,4	2,4	3,5	3,1	3,2	2,6	4,4
CVT méd (%) ¹⁴	19,1	29,8	28,5	28,8	16,3	26,2	26,8	22,0	23,2	37,9

Continuação APÊNDICE 3. Sumários mensais das variáveis meteorológicas dos meses de abril a dezembro do período de 1987 a 2007. Vacaria, RS.

Variáveis	Mês de Junho										
	Anos										
	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
UR (%) ¹	80,8	82	86,8	83	84,1	83,4	81,7	81	81,2	83,5	82,9
DP UR (%) ²	14,7	11	7,3	12	10,4	11,3	10,8	14	14,0	11,8	14,3
CVUR (%) ³	18,1	13,6	8,4	14,6	12,4	13,6	13,3	16,7	17,3	14,1	17,3
P (mm) ⁴	109,3	214,5	36,6	189,0	148,8	167,1	101,2	132,3	191,0	162,0	205,8
NDP ⁵	9	10	7	11	9	9	6	8	10	8	11
T Max (°C) ⁶	16,5	15,1	16,7	15,6	17	19,0	16,7	16,2	18,5	15,2	15,9
DP Tmáx (°C) ⁷	5,0	4,2	2,9	3,8	5	3,3	4,0	4,6	4,0	4,5	4,6
CVT Max (°C) ⁸	30,1	27,8	17,1	24,1	26	17,4	23,9	28,3	21,6	29,8	29,3
T mín (°C) ⁹	2,9	4,1	5,3	3,9	5,8	6,6	5,6	4,9	6,2	3,8	5,2
DPT mín (°C) ¹⁰	5,0	5,1	2,7	4,7	4,0	4,7	4,2	4,4	4,8	4,2	5,8
CVT mín (%) ¹¹	171,7	126,0	52,0	121,4	69,1	70,8	75,1	89,8	76,9	111,0	110,3
T méd (°C) ¹²	10,6	9,6	11,1	11	12,0	13,6	11,3	10,7	12,5	9	10,8
DP Tméd (°C) ¹³	4,5	4,0	2,0	3,3	3,7	3,5	3,7	3,9	3,7	3,7	4,7
CVT méd (%) ¹⁴	41,9	42,2	18,0	30,6	30,8	25,3	32,4	36,7	29,6	38,8	43,2

Continuação APÊNDICE 3. Sumários mensais das variáveis meteorológicas dos meses de abril a dezembro do período de 1987 a 2007. Vacaria, RS.

Variáveis	Mês de Junho									
	Anos									
	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
UR (%) ¹	76	84,6	80,3	80,1	86,5	87,6	82,3	88,3	83	77,3
DP UR (%) ²	10	8,0	13,2	11,8	10,1	9,0	11,4	7,1	10	12,4
CVUR (%) ³	13,3	9,5	16,5	14,7	11,7	10,3	13,8	8,1	11,4	16,0
P (mm) ⁴	136,2	83,0	137,0	173,6	275,8	123,1	49,4	195,3	114,9	53,5
NDP ⁵	8	9	16	10	15	10	5	14	14	9
T Max (°C) ⁶	17,1	16,5	18,4	17,2	17,1	19,6	18,0	18,3	17,5	17,9
DP Tmáx (°C) ⁷	3,5	3,3	4,3	5,8	4,9	3,1	3,9	3,8	4,0	5,4
CVT Max (°C) ⁸	20,6	19,9	23,1	33,6	28,8	15,6	21,5	20,7	22,6	30,2
T mín (°C) ⁹	4,5	5,3	8,8	6,8	7,3	9,0	7,0	9,6	7,5	7,6
DPT mín (°C) ¹⁰	3,1	4,1	4,5	5,0	5,5	2,4	5,1	3,6	3,8	4,8
CVT mín (%) ¹¹	69,7	76,7	51,5	72,7	75,4	26,4	72,7	37,9	50,0	63,7
T méd (°C) ¹²	11,1	10,8	13,5	11,7	12	14,0	12,5	13,9	12,6	12,7
DP Tméd (°C) ¹³	2,8	3,4	4,0	5,0	4,5	2,2	3,7	3,0	3,5	4,3
CVT méd (%) ¹⁴	24,8	31,7	29,6	42,6	37,0	15,7	29,6	21,6	27,5	34,0

Continuação APÊNDICE 3. Sumários mensais das variáveis meteorológicas dos meses de abril a dezembro do período de 1987 a 2007. Vacaria, RS.

Variáveis	Mês de Julho										
	Anos										
	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
UR (%) ¹	89,5	78,4	78,5	84,2	77,8	84,6	84,2	79,3	83,5	75,7	80,3
DP UR (%) ²	8,0	8,2	13,6	9,7	10,5	9,5	13,6	14,7	11,8	12,9	12,9
CVUR (%) ³	9,0	10,4	17,4	11,5	13,6	11,3	16,2	18,5	14,1	17,0	16,1
P (mm) ⁴	265,9	24,0	207,5	72,4	89,7	232,6	280,7	217,2	235,6	137,4	179,1
NDP ⁵	10	3	7	6	7	10	12	9	10	7	11
T Max (°C) ⁶	18,7	15,3	15,6	14,3	17,4	14,5	15,0	17,3	19,4	15,2	18,9
DP Tmáx (°C) ⁷	4,6	4,8	4,5	5,2	5,0	4,6	6,1	6,7	4,7	3,3	3,6
CVT Max (°C) ⁸	24,8	31,3	29,0	36,3	28,4	31,9	40,5	39,0	24,3	21,8	18,8
T mín (°C) ⁹	8,5	3,1	2,7	3,6	3,9	3,5	4,1	6,0	8,7	2,6	7,0
DPT mín (°C) ¹⁰	3,8	4,8	2,8	5,0	4,7	5,3	5,5	5,6	3,1	3,7	3,5
CVT mín (%) ¹¹	44,3	154,0	103,9	138,7	119,4	148,7	134,5	92,4	35,6	143,3	50,3
T méd (°C) ¹²	13,6	9,4	9,2	9,4	11,0	9,8	10,0	11,9	14,2	9,0	13,1
DP Tméd (°C) ¹³	4,0	4,7	3,4	4,5	4,4	4,2	5,5	5,7	3,7	2,8	2,8
CVT méd (%) ¹⁴	29,4	50,3	36,7	47,4	40,2	43,1	54,9	48,1	25,9	31,6	21,7

Continuação APÊNDICE 3. Sumários mensais das variáveis meteorológicas dos meses de abril a dezembro do período de 1987 a 2007. Vacaria, RS.

Variáveis	Mês de Julho									
	Anos									
	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
UR (%) ¹	84,7	87,1	69,2	79,1	80,8	80,4	83,8	81,5	81,8	80,0
DP UR (%) ²	9,4	10,2	14,6	10,7	11,7	10,9	11,6	10,4	10,9	12,9
CVUR (%) ³	11,1	11,7	21,1	13,5	14,4	13,5	13,8	12,8	13,3	16,2
P (mm) ⁴	178,3	260,2	149,3	357,5	231,9	128,2	166,7	77,3	182,7	293,2
NDP ⁵	11	15	8	12	12	6	9	7	8	12
T Max (°C) ⁶	17,7	16,0	14,3	17,9	16,9	18,9	15,6	14,9	18,6	14,7
DP Tmáx (°C) ⁷	3,3	3,2	6,4	5,3	3,9	3,9	3,9	6,2	4,5	4,5
CVT Max (°C) ⁸	18,5	19,9	44,7	29,5	23,0	20,8	25,1	41,9	24,1	30,6
T mín (°C) ⁹	6,8	6,0	1,8	6,5	6,1	6,3	4,5	5,3	7,8	3,7
DPT mín (°C) ¹⁰	3,5	3,2	5,5	4,8	4,0	4,9	4,3	4,5	4,4	5,2
CVT mín (%) ¹¹	51,6	53,3	312,1	73,2	66,4	77,8	95,4	85,9	56,2	139,0
T méd (°C) ¹²	12,1	10,9	8,2	12,5	11,5	12,9	10,3	10,8	13,3	9,8
DP Tméd (°C) ¹³	2,6	2,8	5,6	4,5	3,6	4,4	3,7	4,8	4,1	4,4
CVT méd (%) ¹⁴	21,4	25,4	67,9	36,1	31,0	34,1	36,3	44,6	30,6	44,7

Continuação APÊNDICE 3. Sumários mensais das variáveis meteorológicas dos meses de abril a dezembro do período de 1987 a 2007. Vacaria, RS.

Variáveis	Mês de Agosto										
	Anos										
	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
UR (%) ¹	89,4	75,4	79,1	75,6	73,2	83,9	69,8	74,0	75,4	73,2	74,5
DP UR (%) ²	7,8	11,9	13,7	10,0	15,5	9,2	13,5	12,8	16,2	18,7	18,6
CVUR (%) ³	8,8	15,7	17,3	13,2	21,2	11,0	19,3	17,3	21,4	25,5	24,9
P (mm) ⁴	188,8	17,1	244,6	32,8	98,0	180,0	37,3	32,7	99,6	230,5	253,4
NDP ⁵	11	3	10	6	7	11	4	6	8	10	8
T Max (°C) ⁶	16,1	19,2	18,4	19,2	19,0	17,0	19,3	20,0	20,1	20,1	20,5
DP Tmáx (°C) ⁷	5,6	5,0	3,3	3,9	5,2	4,7	5,8	5,3	7,1	4,7	6,2
CVT Max (°C) ⁸	34,8	26,3	18,2	20,6	27,5	27,4	30,2	26,6	35,0	23,4	30,5
T mín (°C) ⁹	5,0	7,0	5,0	5,4	6,5	5,0	5,0	5,6	7,3	6,2	7,5
DPT mín (°C) ¹⁰	4,7	3,3	3,6	4,1	5,4	4,6	4,9	4,7	5,6	3,2	4,3
CVT mín (%) ¹¹	94,4	46,9	72,3	75,9	83,1	92,3	99,0	83,6	76,9	51,6	56,4
T méd (°C) ¹²	11,0	13,1	12,2	12,7	13,0	10,9	12,4	13,1	14,1	13,5	14,5
DP Tméd (°C) ¹³	4,5	3,6	2,7	3,6	4,7	3,8	5,1	5,1	6,0	3,1	4,7
CVT méd (%) ¹⁴	41,5	27,6	22,5	28,3	36,4	34,9	41,4	38,8	42,6	23,2	32,7

Continuação APÊNDICE 3. Sumários mensais das variáveis meteorológicas dos meses de abril a dezembro do período de 1987 a 2007. Vacaria, RS.

Variáveis	Mês de Agosto									
	Anos									
	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
UR (%) ¹	86,8	69,9	71,2	78,7	79,3	72,2	73,0	80,4	71,8	77,6
DP UR (%) ²	9,7	14,0	16,3	9,8	11,2	14,1	11,9	11,3	16,0	12,1
CVUR (%) ³	11,2	20,1	22,8	12,4	14,1	19,5	16,3	14,0	22,2	15,6
P (mm) ⁴	248,6	27,8	129,8	85,5	156,0	47,6	13,8	188,6	100,5	136,3
NDP ⁵	15	6	7	6	14	3	3	7	5	11
T Max (°C) ⁶	18,0	19,9	18,8	20,8	19,5	17,6	19,8	19,5	19,1	18,0
DP Tmáx (°C) ⁷	3,3	6,0	5,2	3,6	5,2	5,5	4,6	5,6	5,6	4,9
CVT Max (°C) ⁸	18,2	30,2	27,6	17,5	26,5	31,2	23,4	28,8	29,4	27,2
T mín (°C) ⁹	8,2	6,0	5,3	9,2	8,5	4,0	5,5	7,6	6,9	6,2
DPT mín (°C) ¹⁰	3,5	4,8	4,4	2,5	4,4	4,0	4,0	3,5	5,4	4,1
CVT mín (%) ¹¹	43,2	81,3	84,0	27,4	51,6	101,4	73,5	45,4	78,4	66,4
T méd (°C) ¹²	12,8	13,2	12,2	14,8	14,2	11,1	12,4	13,7	13,3	12,3
DP Tméd (°C) ¹³	2,7	5,1	4,6	2,8	4,2	4,8	3,8	4,6	5,2	3,7
CVT méd (%) ¹⁴	21,1	38,8	37,7	18,8	29,8	42,9	30,5	33,2	38,7	30,4

Continuação APÊNDICE 3. Sumários mensais das variáveis meteorológicas dos meses de abril a dezembro do período de 1987 a 2007. Vacaria, RS.

Variáveis	Mês de Setembro										
	Anos										
	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
UR (%) ¹	86,6	82,5	83,8	81,8	71,1	80,1	79,6	74,9	76,7	78,7	78,4
DP UR (%) ²	8,4	11,2	12,1	12,8	13,7	13,9	13,8	15,6	16,7	13,3	13,9
CVUR (%) ³	9,7	13,6	14,5	15,6	19,3	17,4	17,4	20,8	21,8	16,8	17,7
P (mm) ⁴	156,8	342,1	434,0	229,6	43,0	179,8	224,9	139,6	169,0	165,9	108,9
NDP ⁵	8	9	9	12	4	11	9	8	9	11	10
T Max (°C) ⁶	17,9	19,2	17,5	17,7	21,2	19,9	18,8	21,8	19,9	19,1	21,2
DP Tmáx (°C) ⁷	3,6	4,5	3,2	4,7	4,3	3,5	3,8	6,0	5,0	4,3	4,5
CVT Max (°C) ⁸	20,0	23,2	18,4	26,4	20,3	17,7	20,5	27,4	25,3	22,2	21,3
T mín (°C) ⁹	5,6	8,3	6,5	6,2	7,4	8,2	7,2	8,1	7,3	7,4	8,8
DPT mín (°C) ¹⁰	3,5	4,1	3,9	4,4	2,5	3,4	3,5	4,9	3,9	4,2	4,3
CVT mín (%) ¹¹	63,7	49,8	59,6	70,0	34,0	41,4	47,7	61,1	52,9	57,6	48,1
T méd (°C) ¹²	12,7	13,7	12,4	12,2	14,6	14,1	13,2	15,2	13,9	13,5	15,1
DP Tméd (°C) ¹³	2,8	3,4	2,6	3,7	3,0	2,5	2,7	5,1	4,4	3,6	3,9
CVT méd (%) ¹⁴	22,0	25,0	21,1	30,3	20,8	17,6	20,5	33,6	31,8	26,7	25,7

Continuação APÊNDICE 3. Sumários mensais das variáveis meteorológicas dos meses de abril a dezembro do período de 1987 a 2007. Vacaria, RS.

Variáveis	Mês de Setembro									
	Anos									
	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
UR (%) ¹	84,8	73,9	79,7	80,4	74,3	77,0	78,0	85,3	73,9	74,7
DP UR (%) ²	9,2	14,1	13,1	10,9	14,8	13,4	15,0	11,0	12,8	14,1
CVUR (%) ³	10,9	19,1	16,5	13,5	20,0	17,4	19,2	12,9	17,3	18,9
P (mm) ⁴	211,7	127,2	294,7	337,5	240,4	63,0	216,4	204,3	77,7	318,0
NDP ⁵	17	11	15	13	10	7	11	13	6	10
T Max (°C) ⁶	18,1	21,7	19,2	17,8	18,4	20,5	22,1	15,6	18,7	21,6
DP Tmáx (°C) ⁷	3,4	4,2	4,1	4,5	4,7	5,4	5,5	4,2	5,3	4,9
CVT Max (°C) ⁸	18,5	19,5	21,6	25,3	25,4	26,5	24,8	26,9	28,1	22,8
T mín (°C) ⁹	8,8	8,0	8,3	9,6	6,3	6,8	10,1	6,8	7,2	10,4
DPT mín (°C) ¹⁰	2,2	4,2	3,5	4,1	4,7	4,4	3,6	3,7	5,0	3,0
CVT mín (%) ¹¹	24,5	51,9	42,5	42,5	74,7	64,9	35,4	54,0	70,4	29,0
T méd (°C) ¹²	13,3	15,1	13,4	13,8	12,7	14,0	15,7	11,2	13,3	16,3
DP Tméd (°C) ¹³	2,0	3,7	3,4	3,9	4,7	4,4	4,7	3,5	5,1	3,5
CVT méd (%) ¹⁴	15,3	24,5	25,4	28,0	37,0	31,3	29,7	31,5	38,3	21,8

Continuação APÊNDICE 3. Sumários mensais das variáveis meteorológicas dos meses de abril a dezembro do período de 1987 a 2007. Vacaria, RS.

Variáveis	Mês de Outubro										
	Anos										
	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
UR (%) ¹	82,3	72,6	78,4	83,3	77,6	77,4	81,7	81,5	74,9	80,8	87,7
DP UR (%) ²	11,5	14,2	11,0	8,2	11,0	14,2	11,2	12,3	17,0	13,5	9,2
CVUR (%) ³	14,0	19,5	14,0	9,8	14,2	18,3	13,7	15,0	22,8	16,7	10,5
P (mm) ⁴	238,8	149,8	177,8	240,1	238,0	80,8	127,4	245,4	104,2	192,9	489,8
NDP ⁵	9	7	8	11	10	7	11	13	7	12	16
T Max (°C) ⁶	21,7	21,0	21,2	23,3	23,1	23,1	23,6	22,4	20,8	21,7	19,5
DP Tmáx (°C) ⁷	4,7	3,1	3,3	4,1	4,8	2,7	4,4	3,1	3,7	3,2	4,6
CVT Max (°C) ⁸	21,5	14,5	15,7	17,5	20,8	11,5	18,6	14,0	17,6	14,7	23,7
T mín (°C) ⁹	8,6	7,5	8,7	11,6	10,2	9,7	11,6	11,7	8,1	10,7	11,3
DPT mín (°C) ¹⁰	3,0	3,6	2,6	3,0	3,9	3,8	3,5	2,7	3,8	2,8	3,3
CVT mín (%) ¹¹	35,0	47,3	30,0	25,5	37,8	38,9	30,5	23,4	46,3	26,4	29,6
T méd (°C) ¹²	16,1	15,1	15,1	17,5	16,8	16,4	17,5	16,7	15,0	16,2	15,3
DP Tméd (°C) ¹³	3,3	3,1	2,7	2,6	4,0	2,8	3,7	1,9	3,0	2,2	2,7
CVT méd (%) ¹⁴	20,3	20,5	17,6	14,9	23,9	16,8	21,3	11,5	20,0	13,9	17,9

Continuação APÊNDICE 3. Sumários mensais das variáveis meteorológicas dos meses de abril a dezembro do período de 1987 a 2007. Vacaria, RS.

Variáveis	Mês de Outubro									
	Anos									
	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
UR (%) ¹	77,7	82,9	81,3	81,0	80,8	65,3	70,2	84,8	72,6	88,5
DP UR (%) ²	10,1	11,6	11,5	8,1	9,3	17,1	12,7	10,9	12,8	8,9
CVUR (%) ³	13,0	14,0	14,2	10,0	11,5	26,1	18,1	12,9	17,6	10,1
P (mm) ⁴	79,9	157,9	372,8	175,8	237,1	175,4	141,4	398,1	61,2	244,8
NDP ⁵	11	10	16	13	17	10	9	13	7	15
T Max (°C) ⁶	22,4	20,5	22,7	22,1	22,7	22,9	21,4	21,0	24,1	22,1
DP Tmáx (°C) ⁷	3,8	4,1	3,6	4,3	3,5	3,1	3,1	3,7	3,7	3,2
CVT Max (°C) ⁸	17,1	20,2	15,7	19,5	15,6	13,5	14,5	17,7	15,1	14,6
T mín (°C) ⁹	11,0	9,5	12,4	11,7	12,9	10,4	8,6	12,8	12,5	12,6
DPT mín (°C) ¹⁰	1,6	3,7	3,5	2,6	4,7	3,3	3,6	3,1	2,7	1,8
CVT mín (%) ¹¹	14,8	38,6	28,6	21,9	36,0	32,0	42,3	24,1	21,4	14,5
T méd (°C) ¹²	16,1	14,6	17,2	16,6	17,8	16,9	15,5	15,8	18,2	17,6
DP Tméd (°C) ¹³	2,0	3,6	2,7	3,0	3,1	3,2	2,7	2,9	2,9	1,9
CVT méd (%) ¹⁴	12,1	24,6	15,7	17,8	17,5	18,8	17,6	18,6	15,9	10,5

Continuação APÊNDICE 3. Sumários mensais das variáveis meteorológicas dos meses de abril a dezembro do período de 1987 a 2007. Vacaria, RS.

Variáveis	Mês de Novembro										
	Anos										
	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
UR (%) ¹	80,2	74,3	77,4	84,6	76,1	74,3	75,6	82,3	74,4	77,1	81,1
DP UR (%) ²	13,8	11,3	11,2	9,1	12,7	14,6	12,8	12,6	9,9	11,7	12,0
CVUR (%) ³	17,2	15,2	14,5	10,8	16,7	19,6	16,9	15,4	13,4	15,2	14,8
P (mm) ⁴	58,6	103,1	111,5	137,1	165,4	118,1	138,0	207,4	62,8	123,8	229,2
NDP ⁵	7	7	8	12	11	8	10	10	8	10	14
T Max (°C) ⁶	24,1	23,7	24,3	24,6	24,1	23,7	25,4	23,7	25,7	25,4	24,6
DP Tmáx (°C) ⁷	3,3	3,5	2,9	3,9	3,4	4,6	3,3	3,4	3,1	2,6	3,3
CVT Max (°C) ⁸	13,5	14,7	11,9	16,0	14,1	19,2	12,9	14,5	12,3	10,3	13,4
T mín (°C) ⁹	11,3	10,2	10,9	13,7	11,2	10,1	12,4	10,9	11,7	12,2	13,6
DPT mín (°C) ¹⁰	2,7	3,6	3,3	3,4	2,2	3,9	3,5	3,0	3,0	3,2	2,5
CVT mín (%) ¹¹	24,0	35,0	30,0	25,0	19,9	38,9	28,6	27,5	25,6	26,2	18,7
T méd (°C) ¹²	18,7	17,6	17,9	18,9	17,7	17,0	18,6	17,2	18,9	19,4	18,8
DP Tméd (°C) ¹³	2,6	2,8	3,2	3,5	2,4	4,1	2,4	2,4	3,2	1,9	2,1
CVT méd (%) ¹⁴	14,1	16,0	17,8	18,2	13,6	24,3	12,7	14,1	17,0	9,9	10,9

Continuação APÊNDICE 3. Sumários mensais das variáveis meteorológicas dos meses de abril a dezembro do período de 1987 a 2007. Vacaria, RS.

Variáveis	Mês de Novembro									
	Anos									
	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
UR (%) ¹	70,1	74,1	76,3	78,3	74,2	75,1	73,5	71,2	71,9	82,4
DP UR (%) ²	9,3	13,0	11,0	10,6	10,7	13,7	14,1	14,5	15,8	12,2
CVUR (%) ³	13,3	17,5	14,4	13,6	14,5	18,2	19,2	20,3	22,0	14,8
P (mm) ⁴	71,1	83,9	119,8	137,1	179,3	159,2	157,0	104,6	171,7	190,0
NDP ⁵	8	10	8	12	14	11	9	7	9	11
T Max (°C) ⁶	24,9	23,7	23,9	24,5	24,4	23,4	22,8	24,1	23,3	22,6
DP Tmáx (°C) ⁷	3,4	3,1	3,1	2,9	3,4	4,3	3,7	3,7	3,3	3,3
CVT Max (°C) ⁸	13,5	13,2	12,9	11,7	14,0	18,2	16,0	15,3	14,2	14,4
T mín (°C) ⁹	11,6	9,6	12,4	13,3	12,7	12,2	11,5	12,3	12,4	11,1
DPT mín (°C) ¹⁰	2,5	2,6	2,9	3,2	3,7	3,3	3,2	2,9	3,9	3,6
CVT mín (%) ¹¹	21,6	26,9	23,1	23,8	28,7	27,1	27,9	23,8	31,7	32,3
T méd (°C) ¹²	17,9	16,9	18,0	18,9	18,2	17,7	17,3	18,2	17,7	16,9
DP Tméd °C) ¹³	2,8	2,6	2,7	2,6	3,1	3,4	2,9	3,1	2,9	2,0
CVT méd (%) ¹⁴	15,5	15,5	14,8	13,7	17,0	19,1	16,9	16,8	16,7	11,8

Continuação APÊNDICE 3. Sumários mensais das variáveis meteorológicas dos meses de abril a dezembro do período de 1987 a 2007. Vacaria, RS.

Variáveis	Mês de Dezembro										
	Anos										
	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
UR (%) ¹	84,4	78,5	76,8	78,7	79,8	74,7	82,0	76,0	68,2	77,9	80,3
DP UR (%) ²	11,0	13,2	11,7	9,8	9,2	9,9	9,4	13,1	15,8	11,5	11,9
CVUR (%) ³	13,1	16,8	15,3	12,5	11,6	13,2	11,4	17,3	23,2	14,7	14,8
P (mm) ⁴	155,9	145,2	114,4	140,1	287,4	84,6	198,2	224,0	54,6	137,1	206,7
NDP ⁵	11	10	6	9	15	8	14	11	11	9	14
T Max (°C) ⁶	25,5	26,8	27,2	25,2	27,1	27,6	26,0	28,3	27,7	27,2	26,7
DP Tmáx (°C) ⁷	3,2	2,9	2,9	3,0	2,5	2,4	2,5	3,2	3,5	2,8	2,7
CVT Max (°C) ⁸	12,7	10,7	10,8	11,7	9,1	8,8	9,6	11,1	12,7	10,2	10,2
T mín (°C) ⁹	13,0	13,6	13,1	12,4	13,5	12,9	14,1	14,7	13,7	14,5	15,0
DPT mín (°C) ¹⁰	3,0	1,8	3,1	2,7	2,5	2,4	3,3	2,4	3,1	2,3	2,7
CVT mín (%) ¹¹	23,3	13,2	23,3	21,7	18,4	18,4	23,1	16,2	22,7	15,6	17,8
T méd (°C) ¹²	19,4	20,7	20,7	19,1	20,6	19,6	20,1	21,1	21,5	20,9	20,4
DP Tméd (°C) ¹³	2,7	2,2	2,2	2,4	1,7	2,1	2,4	2,3	2,8	1,9	2,1
CVT méd (%) ¹⁴	13,7	10,5	10,7	12,6	8,1	10,8	12,0	11,1	12,9	9,0	10,5

Continuação APÊNDICE 3. Sumários mensais das variáveis meteorológicas dos meses de abril a dezembro do período de 1987 a 2007. Vacaria, RS.

Variáveis	Mês de Dezembro									
	Anos									
	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
UR (%) ¹	75,7	66,7	75,5	73,2	76,9	80,4	70,8	75,5	73,3	79,4
DP UR (%) ²	12,5	12,3	11,9	14,9	10,2	12,3	11,0	9,3	10,0	11,3
CVUR (%) ³	16,5	18,4	15,7	20,3	13,3	15,3	15,6	12,3	13,6	14,2
P (mm) ⁴	162,2	125,6	193,8	112,0	210,1	358,6	58,4	126,7	239,5	132,6
NDP ⁵	13	10	15	11	12	14	9	10	7	13
T Max (°C) ⁶	25,5	26,8	25,9	25,1	25,2	23,8	25,1	24,9	27,5	26,6
DP Tmáx (°C) ⁷	3,7	3,3	3,2	3,0	2,9	2,0	3,7	2,4	2,4	2,4
CVT Max (°C) ⁸	14,6	12,4	12,4	12,1	11,6	8,6	14,7	9,5	8,7	8,9
T mín (°C) ⁹	13,3	14,1	14,0	13,0	14,6	12,5	12,8	13,2	15,6	14,1
DPT mín (°C) ¹⁰	2,7	2,0	3,4	2,3	2,4	3,0	2,4	2,6	2,3	2,7
CVT mín (%) ¹¹	20,0	14,1	24,1	18,0	16,5	23,8	18,8	19,8	14,6	18,8
T méd (°C) ¹²	19,3	20,3	19,8	19,5	20,1	18,0	19,1	18,1	20,9	20,2
DP Tméd (°C) ¹³	2,6	2,7	2,8	2,8	2,1	2,0	2,7	1,9	1,9	1,4
CVT méd (%) ¹⁴	13,2	13,1	14,2	14,4	10,6	11,1	14,0	10,6	9,1	7,1

¹umidade relativa média do ar; ² desvio padrão da umidade relativa média do ar; ³ coeficiente de variação da umidade relativa média do ar; ⁴ precipitação acumulada; ⁵ número de dias com precipitação; ⁶ média da temperatura máxima do ar; ⁷ desvio padrão da temperatura máxima do ar; ⁸ coeficiente de variação da temperatura máxima do ar; ⁹ média da temperatura mínima do ar; ¹⁰ desvio padrão da temperatura mínima do ar; ¹¹ coeficiente de variação da temperatura mínima do ar; ¹² temperatura média do ar; ¹³ desvio padrão da temperatura média do ar; ¹⁴ coeficiente de variação da temperatura média do ar.

APÊNDICE 4. Correlações (Pearson) entre o dia do início da liberação de ascósporos (ILA) do fungo *Venturia inaequalis* e as variáveis meteorológicas dos períodos de 45 dias antes do início da brotação (45DAIB), de maio a agosto e entre o *biofix* de primeiro de junho e o ILA. De 1987 a 2007, em Vacaria, RS.

Variáveis	Períodos					
	45DAIB	Maio	Jun	Jul	Ago	Biofix-ILA
UR(%) ¹	-0,04	0,05	0,06	-0,32	0,10	-0,31
CV _{UR} (%) ²	0,09	-0,26	0,18	0,15	-0,20	0,39
NDUR>90 ³	0,04	-0,19	0,32	-0,29	-0,12	-
%NDUR>90 ⁴	-	-	-	-	-	0,10
P (mm) ⁵	0,16	-0,13	0,02	-0,26	0,12	0,79
NDP ⁶	-0,18	-0,32	-0,12	-0,41	-0,01	-
%NDP ⁷	-	-	-	-	-	-0,34
T _{máx} (°C) ⁸	0,00	-0,11	-0,67	0,00	-0,29	-0,47
CV _{T_{máx}} (%) ⁹	0,04	-0,19	0,75	-0,19	0,04	0,74
T _{mín} (°C) ¹⁰	-0,27	-0,08	-0,40	-0,21	-0,12	-0,46
CV _{T_{mín}} (%) ¹¹	0,06	-0,04	0,51	0,04	0,21	0,58
T _{méd} (°C) ¹²	-0,05	-0,07	-0,60	-0,16	-0,25	-0,43
CV _{T_{méd}} (%) ¹³	-0,03	-0,14	0,60	-0,07	0,18	0,64
GD ¹⁴	-	-	-	-	-	0,96
GD _{vpd<4} [*]	-	-	-	-	-	0,77
GD _{vpd<4SE} [*]	-	-	-	-	-	0,67

¹ umidade relativa média do ar; ² coeficiente de variação da umidade relativa média do ar; ³ número de dias com umidade relativa média do ar igual ou superior a 90%; ⁴ porcentagem do número de dias com umidade relativa média do ar igual ou superior a 90%; ⁵ precipitação acumulada; ⁶ número de dias com precipitação; ⁷ porcentagem do número de dias com precipitação; ⁸ média da temperatura máxima do ar; ⁹ coeficiente de variação da temperatura máxima do ar; ¹⁰ média da temperatura mínima do ar; ¹¹ coeficiente de variação da temperatura mínima do ar; ¹² temperatura média do ar; ¹³ coeficiente de variação da temperatura média do ar; ^{*}vpd<4: acúmulo térmico dos dias com precipitação $\geq 0,2$ mm ou déficit de pressão de vapor ≤ 4 hPa, sendo, vpd<4SE excluídos os dias com temperaturas mínima negativa e máxima maior que 24°C.

APÊNDICE 5. Correlações (Pearson) da duração do período de liberação (DPL) de ascósporos de *Venturia inaequalis* com o dia Juliano do início da liberação dos ascósporos (ILA), e com as variáveis meteorológicas dos períodos: do *Biofix* de primeiro de junho a ILA, do DPL e do *biofix* ao fim da liberação de ascósporos (FLA). De 1987 a 2007, em Vacaria, RS.

Variáveis	Período		
	Biofix - ILA	DPL	Biofix - FLA
UR(%) ¹	0,46	-0,21	0,16
CV _{UR} (%) ²	-0,54	0,04	-
%NDUR>90 ³	0,09	-0,32	-
P (mm) ⁴	-0,38	0,62	0,34
NDP ⁵	-0,28	0,58	0,39
% DCP ⁶	0,16	-0,28	-0,15
T _{máx} (°C) ⁷	0,19	0,18	0,33
CV _{T_{máx}} (%) ⁸	-0,24	0,12	-
T _{mín} (°C) ⁹	0,58	0,23	0,53
CV _{T_{mín}} (%) ¹⁰	-0,65	-0,05	-
T _{méd} (°C) ¹¹	0,43	0,17	0,62
CV _{T_{méd}} (%) ¹²	-0,33	0,15	-
GD ¹³	-0,32	0,95	0,76
GD _{vpd<4} ¹⁴	-0,14	0,62	0,49
GD _{vpd<4SE} ¹⁴	0,02	0,56	0,54
ILA	0,41	-	-

¹ umidade relativa média do ar; ² coeficiente de variação da umidade relativa média do ar; ³ porcentagem do número de dias com umidade relativa média do ar igual ou superior a 90%; ⁴ precipitação acumulada; ⁵ número de dias com precipitação; ⁶ porcentagem do número de dias com precipitação; ⁷ média da temperatura máxima do ar; ⁸ coeficiente de variação da temperatura máxima do ar; ⁹ média da temperatura mínima do ar; ¹⁰ coeficiente de variação da temperatura mínima do ar; ¹¹ temperatura média do ar; ¹² coeficiente de variação da temperatura média do ar; ¹³ graus-dia (GD); ¹⁴ vpd<4: acúmulo térmico dos dias com precipitação $\geq 0,2$ mm ou déficit de pressão de vapor ≤ 4 hPa, sendo, vpd<4SE excluídos os dias com temperaturas mínima negativa e máxima maior que 24°C.

APÊNDICE 6. Correlações (Pearson) da duração do período de liberação (DPL) de ascósporos de *Venturia inaequalis* com as variáveis meteorológicas dos períodos: 45 dias antes do início da brotação (45DAIB), 45 dias depois do início da brotação (45DDIB) e de junho a outubro. De 1987 a 2007, em Vacaria, RS.

Variáveis	Período						
	45DAIB	45DDIB	Jun	Jul	Ago	Set	Out
UR(%) ¹	0,14	-0,05	0,31	0,13	0,10	0,06	0,06
CV _{UR} (%) ²	-0,20	-0,08	-0,64	0,11	-0,20	-0,11	-0,16
NDUR>90 ³	0,01	-0,05	-0,01	0,07	-0,12	-0,07	0,03
P (mm) ⁴	0,24	-0,01	-0,52	0,31	0,12	0,17	-0,05
NDP ⁵	0,05	-0,19	0,14	0,25	-0,01	-0,07	-0,05
Tmáx (°C) ⁶	-0,29	0,02	0,60	-0,19	-0,29	-0,31	0,28
CV _{Tmáx} (%) ⁷	0,15	-0,09	-0,51	0,40	0,04	-0,06	-0,13
Tmín (°C) ⁸	0,02	0,20	0,72	-0,02	-0,12	-0,03	0,38
CV _{Tmín} (%) ⁹	0,13	-0,15	-0,70	-0,04	0,21	-0,10	-0,30
Tméd (°C) ¹⁰	-0,19	0,05	0,69	-0,06	-0,25	-0,21	0,28
CV _{Tméd} (%) ¹¹	0,20	0,02	-0,64	0,25	0,18	-0,07	0,08

¹ umidade relativa média do ar; ² coeficiente de variação da umidade relativa média do ar; ³ número de dias com umidade relativa média do ar igual ou superior a 90%; ⁴ precipitação acumulada; ⁵ número de dias com precipitação; ⁶ média da temperatura máxima do ar; ⁷ coeficiente de variação da temperatura máxima do ar; ⁸ média da temperatura mínima do ar; ⁹ coeficiente de variação da temperatura mínima do ar; ¹⁰ temperatura média do ar; ¹¹ coeficiente de variação da temperatura média do ar.

APÊNDICE 7. Data de ocorrência de 50% das folhas de macieiras 'Royal Gala' e 'Fuji Suprema' em Vacaria, RS.

Pomares ¹	Cultivar	Ano	Data
1	Fuji	2004	1/6
1	Fuji	2005	5/7
2	Gala	2005	4/6
3	Fuji	2005	8/6
1	Fuji	2006	30/5
2	Fuji	2006	25/5
3	Gala	2006	25/5
1	Fuji	2007	12/6
2	Gala	2007	12/6
3	Fuji	2007	16/5
1	Fuji	2008	20/7
2	Gala	2008	20/5
3	Fuji	2008	20/5
4	Gala	2008	12/4
5	Fuji	2008	9/5
1	Gala	2009	20/5
2	Fuji	2009	29/5
1	Fuji	2010	10/6
2	Gala	2010	10/5
3	Fuji	2010	25/5
4	Gala	2010	24/4
5	Fuji	2010	11/5
6	Gala	2010	22/4
7	Fuji	2010	15/5
Média			22/5

¹ Diferentes quadras de pomares da Empresa Schio Agropecuária Ltda. Localizada no município da Vacaria, RS.

APÊNDICE 8. Valores médios, mínimos, máximos, desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (CV) do graus-dia (GD) para os períodos do biofix em de 1º junho ao início da liberação dos ascósporos (*Biofix* - ILA), durante o período de liberação (DPL) e do *biofix* ao fim da liberação dos ascósporos (*Biofix* - FLA) de *Ventúria inaequalis*, entre 1987 e 2007 em Vacaria-RS.

		Máximo (°C)	Mínimo (°C)	Médio (°C)	DP (°C)	CV (%)
GD ¹	<i>Biofix</i> - ILA	936,8	361,3	583,4	162,3	27,8
	DPL	2261,7	1079,2	1701,9	377,0	22,1
	<i>Biofix</i> - FLA	2868,1	1612,9	2301,3	399,3	17,4
GD _{DPV<4} ²	<i>Biofix</i> - ILA	684,9	266,6	441,0	114,5	26,0
	DPL	1271,2	608,6	969,7	217,5	22,4
	<i>Biofix</i> - FLA	1865,0	962,7	1419,2	242,0	17,1
GD _{DPV<4SE} ³	<i>Biofix</i> - ILA	560,6	239,9	403,3	99,9	24,8
	DPL	1157,2	538,5	802,2	198,8	24,8
	<i>Biofix</i> - FLA	1512,1	861,0	1212,0	209,3	17,3

¹ GD – somatório da temperatura média do ar; ² GD_{VPD<4} - somente dias com precipitação maior que 0,2 mm ou déficit de pressão de vapor médio menor que 4 hPa, sendo, ³ GD_{VPD<4SE} excluídos os dias com temperatura mínima negativa e máxima maior que 24°C.