

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**ANÁLISE NUMÉRICA DE RISCO CLIMÁTICO DE
OCORRÊNCIA DE REQUEIMA NA CULTURA DA
BATATA NA REGIÃO CENTRAL DO RIO GRANDE
DO SUL**

TESE DE DOUTORADO

Sidinei Zwick Radons

**Santa Maria, RS, Brasil
2012**

**ANÁLISE NUMÉRICA DE RISCO CLIMÁTICO DE
OCORRÊNCIA DE REQUEIMA NA CULTURA DA BATATA
NA REGIÃO CENTRAL DO RIO GRANDE DO SUL**

Sidinei Zwick Radons

Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-graduação em
Agronomia, Área de Concentração em Produção Vegetal, da Universidade
Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do
grau de
Doutor em Agronomia.

Orientador: Prof. Arno Bernardo Heldwein

**Santa Maria, RS, Brasil
2012**

Radons, Sidinei Zwick

Análise numérica de risco climático de ocorrência de requeima na cultura da batata na região central do Rio Grande do Sul / Sidinei Zwick Radons.-2012.

115 p.; 30cm

Orientador: Arno Bernardo Heldwein

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-graduação em Agronomia, RS, 2012

1. sistemas de alerta 2. Solanum tuberosum L. 3. molhamento foliar 4. estimativa de dados meteorológicos horários 5. probabilidade de pulverizações de fungicida
I. Heldwein, Arno Bernardo II. Título.

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo autor.

© 2012

Todos os direitos autorais reservados a Sidinei Zwick Radons. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante autorização por escrito do autor e citação da fonte.

End. Eletr.: sidineiradons@gmail.com.

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Agronomia**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Tese de Doutorado

**ANÁLISE NUMÉRICA DE RISCO CLIMÁTICO DE OCORRÊNCIA DE
REQUEIMA NA CULTURA DA BATATA NA REGIÃO CENTRAL DO
RIO GRANDE DO SUL**

elaborada por
Sidinei Zwick Radons

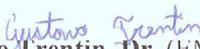
como requisito parcial para obtenção do grau de
Doutor em Agronomia

COMISSÃO EXAMINADORA:


Arno Bernardo Heldwein, Dr.
(Presidente/Orientador)


Cleber Maus Alberto, Dr. (UNIPAMPA - Itaqui)


Evandro Zanini Righi, Dr. (UFSM)


Gustavo Trentin, Dr. (EMBRAPA - Pecuária Sul)


Luciano Streck, Dr. (IFC - Sombrio)

Santa Maria, 10 de agosto de 2012.

DEDICO

A toda a minha família, em especial, a minha esposa Daiane.

AGRADEÇO

A Deus, em primeiro lugar, pois Ele me deu a vida e vem me conduzindo por seus caminhos até aqui.

Aos meus pais, Rubem Carlos Radons e Elenir Zwick Radons, ao meu irmão, Mateus Zwick Radons, e às demais pessoas da minha família que sempre estão ao meu lado e seguem me apoiando para que eu possa continuar minha caminhada.

Em especial, à minha querida esposa, Daiane Lindner Radons, que é minha motivação e a pessoa com quem quero dividir uma vida inteira.

À Universidade Federal de Santa Maria, pela possibilidade de cursar a graduação e a pós-graduação.

Ao Programa de Pós-graduação em Agronomia, extensivo a todos os docentes que contribuíram para a minha formação.

Ao mestre e amigo Arno Bernardo Heldwein e sua família, pela orientação, companheirismo e amizade ao longo desses dez anos, desde a iniciação científica.

Aos professores co-orientadores, Evandro Zanini Righi e Nereu Augusto Streck, pelos conselhos e pela ajuda.

Aos colegas e amigos do Setor de Agroclimatologia e do Departamento de Fitotecnia da UFSM, pelo apoio na realização desse trabalho.

Aos colegas de trabalho e amigos da Universidade Federal da Fronteira Sul, pelo apoio e compreensão ao longo desse período.

Ainda, aos amigos e a todos aqueles que cooperaram de alguma forma para que esse trabalho se concretizasse.

Muito obrigado!

"Não fiz o melhor, mas fiz tudo para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas não sou o que era antes."

Martin Luther King

RESUMO

Tese de Doutorado
Programa de Pós-Graduação em Agronomia
Universidade Federal de Santa Maria

ANÁLISE NUMÉRICA DE RISCO CLIMÁTICO DE OCORRÊNCIA DE REQUEIMA NA CULTURA DA BATATA NA REGIÃO CENTRAL DO RIO GRANDE DO SUL

AUTOR: SIDINEI ZWICK RADONS

ORIENTADOR: ARNO BERNARDO HELDWEIN

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 10 de agosto de 2012.

Doenças e ambiente estão intimamente relacionados, especialmente no que se refere à temperatura e umidade relativa do ar. Os elementos meteorológicos tendem a seguir um padrão de variação temporal diária, que deriva principalmente da variação diária do balanço de radiação da superfície. Com base nisso, o objetivo desse trabalho foi descrever qualitativa e quantitativamente do banco de dados da Estação Meteorológica Automática do Instituto Nacional de Meteorologia de Santa Maria (INMET), determinar os horários de maior frequência de ocorrência das temperaturas extremas diárias do ar em Santa Maria, desenvolver modelos para estimativa dos valores horários de temperatura (T) e umidade relativa do ar (UR) e determinar o risco de ocorrência de requeima no ciclo de desenvolvimento da batata, em diferentes datas de plantio. Foram ajustados modelos analíticos para estimativa da T e da pressão parcial de vapor no ar nos diferentes horários do dia. A UR foi obtida indiretamente, com base nos valores de pressão parcial de vapor no ar estimados e nos valores de pressão de saturação de vapor no ar, calculados com base na T estimada. O banco de dados da Estação Climatológica Principal de Santa Maria foi transformado em um banco de dados horários estimados de T e UR e foram obtidos os valores de severidade calculada (VSC) pelo sistema Blitecast em 14 datas de plantio da batata em 43 anos agrícolas. A estação meteorológica automática de Santa Maria, RS, pertencente ao INMET, apresenta 90,1% dos dias sem falhas de registros de dados em 10 anos, de 2002 a 2011. A temperatura mínima diária do ar em Santa Maria ocorreu com maior frequência às 09 h UTC, correspondendo às 06 h no horário oficial local, nos meses de setembro a fevereiro. De março até agosto, esse horário é atrasado, sendo a sua ocorrência mais frequente às 10 h UTC. A precisão das estimativas variou de 0,7 °C a 1,5 °C, com desvio médio de até 0,65°C para T do ar e de 0,7 % a 1,2 %, com desvio médio de até 4 %, para UR, dependendo do horário. Cultivos de batata no período de safrinha necessitam, em média, de um número 54 % maior de aplicações de fungicida em relação ao período de safra. Na safra o número mais provável de pulverizações oscila entre duas e quatro e na safrinha entre seis e sete. Plantios de batata realizados em agosto e em março exigiram um menor custo econômico, ecológico e de saúde do produtor na proteção da cultura contra a requeima do que plantios mais precoces (julho e fevereiro).

Palavras-chave: sistemas de alerta. *Solanum tuberosum* L. molhamento foliar. estimativa de dados meteorológicos horários. probabilidade de pulverizações de fungicida.

ABSTRACT

Doctoral Thesis
Graduate Program in Agronomy
Universidade Federal de Santa Maria

NUMERICAL ANALYSIS OF CLIMATIC RISK OF LATE BLIGHT OCCURRENCE IN POTATO CROP IN THE CENTRAL REGION OF RIO GRANDE DO SUL

AUTHOR: SIDINEI ZWICK RADONS

ADVISER: ARNO BERNARDO HELDWEIN

Defense Location and Date: Santa Maria, August 10th, 2012.

Diseases and environment are closely related, especially with regard to air temperature and relative humidity. The weather data tend to follow a daily pattern of temporal variation, which derives mainly from the daily variation of the surface radiation balance. Based on this, this study aimed to make a qualitative and quantitative description of the database of the Automatic Meteorological Station of the Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) in Santa Maria, RS, determine the hours of greatest frequency of occurrence of daily extreme air temperatures in Santa Maria, develop models to estimate hourly values of air temperature (T) and relative humidity (RH), based on values measured in "UTC standard times" and on the daily minimum air temperature and to determine the risk of fungal diseases occurrence during the developmental cycle of potato in different planting dates, using the Blitecast forecasting system. Models were fitted to estimate air T and partial vapor pressure of water at different times of the day. RH was indirectly obtained from partial vapor pressure of water and saturation vapor pressure, calculated from estimated T values. The database of Principal Climatological Station of Santa Maria was transformed to an hourly estimated T and RH database and the Blitecast's calculated severity values (CSV) were obtained for 14 planting dates in 43 years. The automatic weather station of Santa Maria, RS, belonging to INMET, shows 90.1% of the days of flawless data records in 10 years, from 2002 to 2011. The minimum daily air temperature in Santa Maria occurs more frequently at 09AM UTC, corresponding to 6AM on local official time, from September to February. From March through August, this time is delayed, and its occurrence to be more frequent at 10 h UTC. The precision of the estimates ranged from 0.7 °C to 1.5 °C, with average deviation of 0.65 °C for T and 0.7 % to 1.2 %, with average deviation of up to 4% for RH depending on the time. Potato crops during the Fall growing season require on average 54% more fungicide applications compared to the Spring season. In the Spring growing season the most probable number of sprayings ranged from two to four and from six to seven in the Fall growing season. Potato crops planted in August and March were demanded a lower economic, ecological and farmer health cost in crop protection against late blight than earlier crops (July and February).

Keywords: forecast system. *Solanum tuberosum* L. leaf wetness. hourly meteorological data estimation. fungicide sprays probability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 – Médias mensais de temperatura e umidade relativa do ar em Santa Maria/RS, calculadas para o período de julho de 1968 até junho de 2011 e fotoperíodo para o 15º dia de cada mês, calculado conforme Kiesling (1982), incluindo os crepúsculos civis. 36
- Figura 2 – Comparação dos dados de temperatura do ar registrados na Estação Climatológica Principal de Santa Maria (ECPSM) e na Estação Meteorológica Automática do Instituto Nacional de Meteorologia (EMA-INMET) de Santa Maria, RS, nos horários das 00 h UTC (A), 12 h UTC (B) e 18 h UTC (C) e seus respectivos desvios médio e padrão (D), no período de janeiro de 2002 a dezembro de 2011. 51
- Figura 3 – Comparação dos dados de umidade relativa do ar (UR) registrados na Estação Climatológica Principal de Santa Maria (ECPSM) e na Estação Meteorológica Automática do Instituto Nacional de Meteorologia (EMA-INMET) de Santa Maria, RS, nos horários das 00 h UTC (A), 12 h UTC (B) e 18 h UTC (C) e seus respectivos desvios médio e padrão (D), no período de janeiro de 2002 a dezembro de 2011. 52
- Figura 4 – Comparação das médias diárias de temperatura (A) e umidade relativa do ar (UR) (B) registradas na Estação Climatológica Principal de Santa Maria (ECPSM) e na Estação Meteorológica Automática do Instituto Nacional de Meteorologia (EMA-INMET) de Santa Maria, RS, no período de janeiro de 2002 a dezembro de 2011. 53
- Figura 5 – Frequência relativa de ocorrência da temperatura mínima do ar em diferentes horários do dia nos meses do primeiro semestre do ano em Santa Maria/RS, no período de janeiro de 2002 a junho de 2011. 55
- Figura 6 – Frequência relativa de ocorrência da temperatura mínima do ar em diferentes horários do dia nos meses do segundo semestre do ano em Santa Maria/RS, no período de janeiro de 2002 a junho de 2011. 56
- Figura 7 – Frequência relativa de ocorrência da temperatura máxima do ar em diferentes horários do dia nos meses do primeiro semestre do ano em Santa Maria/RS, no período de janeiro de 2002 a junho de 2011. 57
- Figura 8 – Frequência relativa de ocorrência da temperatura máxima do ar em diferentes horários do dia nos meses do segundo semestre do ano em Santa Maria/RS, no período de janeiro de 2002 a junho de 2011. 58
- Figura 9 – Desvio médio e desvio padrão das estimativas de temperatura do ar (°C) em relação aos valores medidos em estação automática, em diferentes horários do dia tendo como base os valores dos horários convencionados de medida (00 h, 12 h e 18 h UTC) e a temperatura mínima diária do ar, no período de janeiro de 2002 a junho de 2011. 63
- Figura 10 – Relação entre os valores de temperatura do ar (°C) estimada e observada em estação automática, nos horários das 01 h UTC (*Universal Time Coordinated*) até as 13 h UTC, excetuando-se o horário das 12 h UTC, para o período de janeiro de 2002 a junho de 2011. 65
- Figura 11 – Relação entre os valores de temperatura do ar (°C) estimada e observada em estação automática, nos horários das 14 h UTC (*Universal Time Coordinated*) até as 23 h UTC, excetuando-se o horário das 18 h UTC, para o período de janeiro de 2002 a junho de 2011. 66

Figura 12 – Frequência de ocorrência de desvios de diferentes magnitudes nas estimativas de temperatura do ar em relação aos valores medidos em estação automática, tendo como base os valores dos horários convencionados de medida (00 h, 12 h e 18 h UTC) e a temperatura mínima diária do ar, no período de janeiro de 2002 a junho de 2011.....	67
Figura 13 – Desvio médio e desvio padrão das estimativas de temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$), em relação aos valores medidos em estação automática, nas diferentes faixas de temperatura do ar da tabela do sistema Blitecast de previsão de doenças (KRAUSE; MASSIE; HYRE, 1975) em relação aos valores medidos de temperatura do ar, no período de janeiro de 2002 a junho de 2011.....	68
Figura 14 – Variação temporal diária da temperatura do ar observada em estação automática, e estimada ($^{\circ}\text{C}$), nos dias: 27/02/2003 (A), 11/05/2003 (B), 29/01/2009 (C) e 21/04/2006 (D).....	69
Figura 15 – Desvio médio e desvio padrão das estimativas de pressão parcial (e) (A) e de saturação (e_s) (B) de vapor d'água no ar em relação aos valores medidos em estação automática, em diferentes horários do dia, tendo como base os valores dos horários convencionados de medida em estação convencional, no período de janeiro de 2002 a junho de 2011.	75
Figura 16 – Desvio médio e desvio padrão dos valores estimados de umidade relativa do ar em relação aos valores medidos em estação automática, em diferentes horários do dia tendo como base os valores dos horários convencionados de medida e a temperatura mínima diária do ar, no período de janeiro de 2002 a junho de 2011.	76
Figura 17 – Relação entre os valores de umidade relativa do ar (UR) estimados e observados em estação automática, nos horários de 01h UTC (<i>Universal Time Coordinated</i>) até 13 h UTC, excetuando-se o horário das 12 h UTC, para o período de janeiro de 2002 a junho de 2011.	77
Figura 18 – Relação entre os valores de umidade relativa do ar (UR) estimados e observados em estação automática, nos horários das 14 h UTC (<i>Universal Time Coordinated</i>) até as 23 h UTC, excetuando-se o horário das 18 h UTC, para o período de janeiro de 2002 a junho de 2011.	79
Figura 19 – Frequência relativa de ocorrência de desvios de diferentes magnitudes nas estimativas de umidade relativa do ar em relação aos valores medidos em estação automática, tendo como base os valores dos horários convencionados de medida (00 h, 12 h e 18 h UTC) e a temperatura mínima diária do ar, no período de janeiro de 2002 a junho de 2011.	80
Figura 20 – Valores horários da umidade relativa do ar (%) observada em estação automática, e estimada, nos dias: 27/02/2003 (A), 11/05/2003 (B), 29/01/2009 (C) e 21/04/2006 (D).....	81
Figura 21 – Relação dos valores mensais de horas com umidade relativa do ar igual ou superior a 85% estimadas pelo modelo e registradas na estação automática, no período de janeiro de 2002 a junho de 2011.	82
Figura 22 – Relação entre valores de severidade calculada (VSC) acumulados mensais (A) e por ciclo de desenvolvimento da cultura da batata (B) com temperatura e umidade relativa do ar horárias estimadas e observadas, no período de janeiro de 2002 a junho de 2011.	83
Figura 23 – Número médio mensal de valores de severidade calculada (VSC) por dia pelo sistema Blitecast (A), temperatura média mensal do ar e número de horas diárias com umidade relativa do ar $\geq 85\%$ (B) em Santa Maria, RS, no período de julho de 1968 até junho de 2011.	92

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Datas consideradas para a emergência das plantas para cultivos de batata simulados em diferentes datas de plantio em Santa Maria, RS.	44
Tabela 2 – Critérios para computar o acúmulo de valores de severidade calculada (VSC) em função do número de horas de umidade relativa do ar (UR) maior ou igual a 85% e da temperatura média do ar nesse período, utilizando o sistema de previsão de requeima Blitecast* para a aplicação de fungicidas na cultura da batata.	46
Tabela 3 – Percentuais mensais e anuais e número de dias sem falhas de dados na estação meteorológica automática do Instituto Nacional de Meteorologia, localizada em Santa Maria, RS, no período de janeiro de 2002 a dezembro de 2011.	50
Tabela 4 – Funções utilizadas para a estimativa da temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$) em diferentes horários do dia e seus respectivos valores de raiz do quadrado médio do erro (RQME).	60
Tabela 5 – Funções utilizadas para a estimativa da pressão parcial de vapor d'água no ar (hPa) em diferentes horários do dia e seus respectivos valores de raiz do quadrado médio do erro (RQME).	72
Tabela 6 – Duração média (m), máxima (máx), mínima (mín) e desvio padrão (σ), em dias, do subperíodo vegetativo da cultura da batata para diferentes datas simuladas de plantio nos anos agrícolas de 1968/69 a 2010/11, em Santa Maria, RS.	85
Tabela 7 – Duração média (m), máxima (máx), mínima (mín) e desvio padrão (σ), em dias, do subperíodo de tuberação da cultura da batata para diferentes datas simuladas de plantio nos anos agrícolas de 1968/69 a 2010/11, em Santa Maria, RS.	86
Tabela 8 – Duração média (m), máxima (máx), mínima (mín) e desvio padrão (σ), em dias, do subperíodo de senescência da cultura da batata para diferentes datas simuladas de plantio nos anos agrícolas de 1968/69 a 2010/11, em Santa Maria, RS.	87
Tabela 9 – Duração média (m), máxima (máx), mínima (mín) e desvio padrão (σ), em dias, do ciclo total de desenvolvimento da cultura da batata para diferentes datas simuladas de plantio, nos anos agrícolas de 1968/69 a 2010/11, em Santa Maria, RS.	88
Tabela 10 – Valores médios de severidade calculada (VSC) pelo sistema Blitecast e número médio de aplicações de fungicidas para o controle da requeima da batata em Santa Maria, RS, com plantio em diferentes datas de plantio nos períodos de safra e safrinha, simuladas nos anos agrícolas de 1968/69 a 2010/11.	90
Tabela 11 – Número médio mensal de valores de severidade calculada (VSC) diários pelo sistema Blitecast e de horas diárias com umidade relativa do ar $\geq 85\%$ em Santa Maria, RS, no período de julho de 1968 até junho de 2011.	91
Tabela 12 – Probabilidade empírica isolada da necessidade de aplicações de fungicidas para o controle da requeima da batata plantada em diferentes datas em Santa Maria, RS, com base na série histórica de julho de 1968 a 2011.	94
Tabela 13 – Probabilidade empírica acumulada da necessidade de aplicações de fungicidas para o controle da requeima da batata plantada em diferentes datas em Santa Maria, RS, com base na série histórica de julho de 1968 a 2011.	96

LISTA DE APÊNDICES

Apêndice A –	Frequência mensal relativa de dias com nevoeiro para o período de janeiro de 2002 até junho de 2011, e precipitação pluvial média mensal, calculada para o período de julho de 1968 até junho de 2011, em Santa Maria/RS.....	109
Apêndice B –	Quadro de análise de variância (ANOVA) da duração em dias, do subperíodo vegetativo da cultura da batata para diferentes datas simuladas de plantio no período de safra nos anos agrícolas de 1968/69 a 2010/11, em Santa Maria, RS.....	110
Apêndice C –	Quadro de análise de variância (ANOVA) da duração em dias, do subperíodo de tuberização da cultura da batata para diferentes datas simuladas de plantio nos anos agrícolas de 1968/69 a 2010/11, em Santa Maria, RS.	110
Apêndice D –	Quadro de análise de variância (ANOVA) da duração em dias, do subperíodo de senescência da cultura da batata para diferentes datas simuladas de plantio nos anos agrícolas de 1968/69 a 2010/11, em Santa Maria, RS.	111
Apêndice E –	Quadro de análise de variância (ANOVA) da duração em dias, do ciclo total de desenvolvimento da cultura da batata para diferentes datas simuladas de plantio nos anos agrícolas de 1968/69 a 2010/11, em Santa Maria, RS.	111
Apêndice F –	Quadro de análise de variância (ANOVA) do número de aplicações de fungicidas para o controle da requeima da batata em Santa Maria, RS, com plantio em diferentes datas de plantio nos períodos de safra e safrinha, simuladas nos anos agrícolas de 1968/69 a 2010/11.....	112
Apêndice G –	Quadro de análise de variância (ANOVA) do número de valores de severidade calculada pelo sistema Blitecast para o controle da requeima da batata em Santa Maria, RS, com plantio em diferentes datas de plantio nos períodos de safra e safrinha, simuladas nos anos agrícolas de 1968/69 a 2010/11.	112
Apêndice H –	Quadro de análise de variância (ANOVA) do número de valores de severidade calculada (VSC) diários pelo sistema Blitecast e de horas diárias com umidade relativa do ar $\geq 85\%$ em Santa Maria, RS, no período de julho de 1968 até junho de 2011.....	113
Apêndice I –	Quadro de análise de variância (ANOVA) do número de horas diárias com umidade relativa do ar $\geq 85\%$ em Santa Maria, RS, no período de julho de 1968 até junho de 2011.....	113
Apêndice J –	Duração média dos subperíodos vegetativo e de tuberização da cultura da batata em diferentes datas simuladas de plantio na safra e na safrinha, nos anos agrícolas de 1968/69 a 2010/11, em Santa Maria, RS.....	114
Apêndice K –	Duração média do subperíodo de senescência e do ciclo total da cultura da batata em diferentes datas simuladas de plantio na safra e na safrinha, nos anos agrícolas de 1968/69 a 2010/11, em Santa Maria, RS.....	115

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	23
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	25
2.1 Agroclimatologia da cultura da batata	25
2.1.1 Fenologia	25
2.1.2 Sistemas de previsão de doenças	25
2.2 Variação temporal diária dos elementos meteorológicos	27
2.2.1 Temperatura do ar	28
2.2.2 Variação de outros elementos meteorológicos relacionada à variação da temperatura do ar	31
2.2.2.1 Pressão de saturação de vapor d'água no ar	31
2.2.2.2 Umidade relativa no ar	32
3 MATERIAL E MÉTODOS	35
3.1 Localização e principais características climáticas da região	35
3.2 Análise dos dados da Estação Meteorológica Automática do Instituto Nacional de Meteorologia (EMA-INMET) de Santa Maria, RS	37
3.3 Modelagem da variação temporal diária da temperatura e da umidade do ar	39
3.3.1 Determinação da temperatura horária do ar	41
3.3.2 Umidade relativa do ar	42
3.4 Probabilidade de ocorrência de condições favoráveis a requeima em função da data de plantio	43
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
4.1 Análise dos dados da Estação Meteorológica Automática do Instituto Nacional de Meteorologia (EMA-INMET) de Santa Maria, RS	49
4.1.1 Análise quantitativa dos dados da EMA-INMET	49
4.1.2 Análise qualitativa dos dados	50
4.2 Modelagem da variação temporal diária da temperatura e da umidade do ar	54
4.2.1 Temperatura do ar	54
4.2.1.1 Horário de ocorrência das temperaturas extremas diárias do ar	54
4.2.1.2 Funções para estimativa da temperatura do ar	59
4.2.2 Umidade relativa do ar	70
4.2.3 Análise de sensibilidade na estimativa do tempo com $UR \geq 85\%$ e nos valores de severidade calculada	82
4.3 Duração dos subperíodos e do ciclo total da cultura da batata	83
4.4 Valores de severidade calculada e número provável de aplicações de fungicida	89
5 CONCLUSÕES	99
6 REFERÊNCIAS	101
7 APÊNDICES	109

1 INTRODUÇÃO

A Região Sul do Brasil produziu 1,2 mil toneladas de batata em 2010, sendo que o Rio Grande do Sul (RS) foi responsável por 31% dessa produção (IBGE, 2012). Dentre as três regiões produtoras de batata no RS (sul, central e norte/nordeste) a central é destaque, estimando-se que cerca de 60% das áreas dessa região tenham finalidade comercial (FIOREZE, 2003). Essa cultura tem importância socioeconômica para a agricultura familiar, particularmente nessa região (BISOGNIN, 1996), sendo a principal fonte de renda de muitas famílias em pequenas propriedades rurais. Apesar de a região central ser destaque dentre as três regiões produtoras de batata no RS, inexistem estudos detalhados a respeito do efeito de datas de plantio em relação às doenças, principalmente a requeima (*Phytophthora infestans* (Mont.) De Bary), que é uma das que causam maiores prejuízos na região.

Doenças e ambiente estão intimamente relacionados, especialmente no que se refere à temperatura e umidade relativa do ar. A temperatura do ar atua como catalisador nas reações biológicas dos patógenos, acelerando seu crescimento e desenvolvimento, enquanto que a umidade relativa do ar é um dos elementos que mais influencia o tempo de molhamento foliar, necessário para que o processo de infecção inicie, se complete e a doença progrida de forma rápida. Assim, o conhecimento da variação temporal diária dos elementos meteorológicos é muito importante, principalmente em análises de probabilidade ou risco de ocorrência de doenças e, em agrometeorologia operacional, principalmente em serviços de alerta.

Os elementos meteorológicos tendem a seguir um padrão de variação temporal diária, que deriva principalmente da variação diária do balanço de radiação da superfície. Com base nisso, esse trabalho foi desenvolvido sob a hipótese de que, utilizando modelos analíticos ou semi-analíticos, os valores horários de temperatura e de umidade relativa do ar podem ser estimados a partir das observações feitas nos horários convencionados, às 00 h, 12 h e 18 h do horário de Greenwich (Universal Time Coordinated – UTC) e dos valores extremos diários.

A utilização de valores horários dos elementos meteorológicos permite que se melhorem estimativas de período diário de molhamento foliar, ou do tempo em que a umidade relativa do ar permanece acima de certo valor, sendo essas variáveis importantes em sistemas de previsão de doenças, para locais onde não há disponibilidade de estações automáticas para realização de medidas horárias. Também se torna possível transformar bancos de dados

históricos de estações convencionais, como o da Estação Climatológica Principal de Santa Maria (ECPSM), que só contém os valores dos horários convencionados, em bancos de dados com valores horários estimados. Utilizando esses dados é possível determinar a probabilidade de ocorrência de doenças durante o ciclo de desenvolvimento de culturas agrícolas, como a batata, em diferentes datas de plantio, utilizando sistemas de previsão de doenças, como o sistema Blitecast, aplicados a séries históricas de dados meteorológicos. Dessa forma, pode ser avaliado o risco de ocorrência de determinada doença para cada data de plantio, uma vez que são consideradas condições meteorológicas horárias de muitos anos em uma análise numérica.

Trabalhos dessa natureza permitem refinar o zoneamento agrícola para a cultura na região, levando em conta a questão doenças *versus* datas de plantio na tomada de decisão quando da escolha da data de plantio dos tubérculos de batata semente.

Este estudo objetivou: (i) fazer uma descrição qualitativa e quantitativa do banco de dados de temperatura e umidade relativa do ar da Estação Meteorológica Automática do Instituto Nacional de Meteorologia (EMA-INMET) de Santa Maria, RS; (ii) Determinar, em cada mês, os horários de maior frequência de ocorrência das temperatura extremas diárias do ar em Santa Maria; (iii) desenvolver modelos para estimativa dos valores horários dos elementos meteorológicos temperatura e umidade relativa do ar e (iv) determinar o risco de ocorrência de requeima no ciclo de desenvolvimento da batata, em diferentes datas de plantio, na região central do RS.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Agroclimatologia da cultura da batata

2.1.1 Fenologia

Há na bibliografia científica disponibilidade de parâmetros fenológicos próprios para a cultura da batata nas condições climáticas subtropicais da Depressão Central do RS. Os trabalhos de Paula (2005), Paula et al. (2005) e Streck et al. (2007) modelaram a duração dos diferentes subperíodos de desenvolvimento da batata, nas condições de Santa Maria/RS. Esses autores propõem um modelo não linear para a modelagem do desenvolvimento da cultura, dividindo o ciclo em três subperíodos. No subperíodo vegetativo, o modelo considera os efeitos do fotoperíodo e da temperatura média diária do ar sobre o desenvolvimento da cultura. Nos subperíodos de tuberação e senescência, apenas a temperatura média diária do ar é levada em consideração no cálculo da taxa diária de desenvolvimento.

Dellai et al. (2005) expõem a variação do filocrono da batateira em diferentes condições de densidade de plantas, além de inferir informações a respeito de outros parâmetros. Essas informações podem ser utilizadas para a simulação do desenvolvimento da cultura a partir das diferentes datas de plantio ou emergência, conforme realizaram Streck et al. (2006), simulando o desenvolvimento da batata em cinco cenários de mudança climática em Santa Maria/RS. Em outros trabalhos, Nied (2003), Silva (2005, 2008) e Trentin (2009) utilizaram informações similares de outras culturas, analisando a condição hídrica com base em uma série histórica de dados meteorológicos.

2.1.2 Sistemas de previsão de doenças

Sistemas de previsão, baseados em variáveis agrometeorológicas, tem se constituído ferramentas importantes para o manejo das doenças da batateira em diferentes regiões

produtoras dessa cultura no mundo (GARCIA, 2005). Costa et al. (2002) descrevem que os bataticultores da região de Viçosa, MG, especialmente ao cultivarem genótipos suscetíveis à requeima (*Phytophthora infestans* (Mont.) De Bary), como o cultivar Bintje, realizam de duas a três pulverizações semanais de fungicida, chegando a realizar pulverizações diárias quando as condições meteorológicas são favoráveis a sua ocorrência. Testando diferentes tratamentos com o sistema de previsão Wallin modificado, esses autores verificaram ser viável uma redução entre 16 % e 33 % no número de aplicações de fungicida em relação ao controle com uma aplicação semanal, dependendo da estação de cultivo.

Garcia et al. (2008) utilizaram o modelo de Hyre para previsão de doenças, que considera as temperaturas extremas diárias do ar e a precipitação pluvial diária, para a determinação das datas de plantio com os menores riscos climáticos para a ocorrência da requeima na região andina venezuelana. Esses autores concluíram que, com o uso desse sistema de previsão de doenças, seria possível reduzir o número de pulverizações em grande parte das regiões produtoras de batata no País. Isso contribui para se racionalizar o uso de fungicidas, colaborando para a redução dos custos de produção e reduzindo a contaminação dos alimentos e do ambiente.

Existem, também, estudos relacionados ao ajuste de sistemas de previsão de doenças para diferentes genótipos de batata na região central do RS (TRENTIN, 2006; BOSCO, 2008; TRENTIN et al., 2009; BOSCO et al., 2010). Esses testes de sistemas de previsão de doenças estabeleceram o intervalo mais indicado de valores de severidade calculada acumulados a ser respeitado como intervalo entre aplicações de fungicidas para genótipos com maior e menor grau de resistência às doenças.

Trentin et al. (2009) concluíram que a utilização de dezoito valores de severidade acumulados no sistema Blitecast, como índice de contabilização do tempo entre duas pulverizações sucessivas de fungicida, promoveu redução de 25% até 70% no número de pulverizações por ciclo em relação à aplicação semanal de fungicidas para o controle da requeima. Ainda, a utilização desse intervalo proporcionou eficiência similar a da aplicação semanal de fungicidas no controle da requeima e a consequente preservação da produtividade do cultivar Asterix.

No entanto, apesar da região central do RS ser destaque dentre as três regiões produtoras de batata no estado, inexistem estudos a respeito do efeito de datas de plantio em relação ao risco climático de ocorrência de doenças, principalmente requeima, que é uma das que causam maiores prejuízos na região. Utilizando trabalhos como esse é possível realizar o refinamento regional do zoneamento agrícola para a cultura da batata, considerando a questão

datas de plantio *versus* doenças para a escolha da data de plantio dos tubérculos de batata semente.

2.2 Variação temporal diária dos elementos meteorológicos

A infecção e o progresso de doenças causadas por fitopatógenos é constantemente influenciada pela variação dos elementos meteorológicos ao longo do período diário (AGRIOS, 2004). Portanto, o conhecimento da variação temporal desses elementos do tempo e sua recorrência é importante, principalmente em análises de probabilidade ou risco de ocorrência de doenças e, em agrometeorologia operacional, em serviços de alerta. A disponibilidade de valores horários desses elementos permite descrever a ocorrência de diferentes níveis de severidade e danos por fitopatógenos nos cultivos, servindo como ferramenta básica em sistemas de previsão de doenças (HELDWEIN, 2006), conforme descrevem Trentin (2006) e Bosco (2008) para a cultura da batata e Maldaner (2009) e Radons (2010) para a cultura do girassol.

Ocorre que, por convenção entre os países membros da Organização Meteorológica Mundial, nas estações meteorológicas convencionais, pertencentes aos serviços oficiais de meteorologia desses países, as observações e medições dos diferentes elementos meteorológicos devem ser realizadas às 00 h, 06 h, 12 h e 18 h do horário de Greenwich (UTC – Universal Time Coordinated) (WMO, 2008), o que corresponde respectivamente às 21 h, 03 h, 09 h e 15 h no horário oficial de Brasília, devido ao fuso horário da Capital Federal (UTC - 3h). Contudo, na maioria dos casos, a leitura diária das 06 h UTC não é realizada, principalmente devido ao elevado custo com pessoal observador e a dificuldade de manter um serviço operacional dessa ordem em todo um país.

Além dos horários convencionados, também são realizadas medidas diárias de temperatura máxima e mínima do ar. A temperatura mínima do ar, que geralmente ocorre durante a noite ou ao amanhecer, tem sua leitura realizada às 12 h UTC e refeita às 00 h UTC do dia seguinte para confirmação, enquanto que a temperatura máxima do ar, que em geral ocorre durante a tarde (HELDWEIN et al., 1989), é lida na observação das 00 h UTC do dia seguinte.

Os horários de medida nas estações meteorológicas convencionais proporcionam uma descrição menos exata da variação temporal diária dos elementos meteorológicos do que o

registro horário, visto que esses elementos oscilam continuamente. A temperatura do ar, por exemplo, pode variar de 1 °C a 2 °C em alguns segundos dependendo do fluxo de ar próximo ao termômetro (WMO, 2008). Essa situação é agravada quando uma das quatro leituras diárias não é realizada, situação que é recorrente. Outro problema é a incerteza quanto aos horários de ocorrência das temperaturas extremas diárias do ar, sendo esses os únicos registros de temperatura do ar, além dos horários convencionados. Para os demais elementos meteorológicos não há nenhuma outra observação registrada além dos horários convencionados, o que leva a possíveis erros de cálculo em processos nos quais é necessário conhecer a variação temporal desses elementos durante todo o período diário.

Em estações meteorológicas automáticas, é possível fazer o acompanhamento da variação dos elementos meteorológicos praticamente em tempo real. Sentelhas et al. (1997), Souza, Galvani e Assunção (2003), Almeida, Souza e Alcântara (2008), Pereira et al. (2008) e Oliveira et al. (2010) descrevem que os dados, sobretudo de temperatura do ar, obtidos em estações meteorológicas automáticas apresentam boa correlação com os dados das estações meteorológicas convencionais. É possível, então, usar dados de estações meteorológicas automáticas para obter modelos que descrevam a variação temporal diária dos elementos meteorológicos e, posteriormente, aplicar esses modelos aos dados de estações meteorológicas convencionais.

2.2.1 Temperatura do ar

Os processos biológicos que ocorrem na natureza sofrem interferência da temperatura do ar. Esse elemento meteorológico determina a velocidade das reações metabólicas nos seres vivos, especialmente nos pecilotérmicos, seres que possuem a habilidade de regular apenas parcialmente a temperatura do próprio corpo, não dispondo de um mecanismo interno para realizar essa regulação (TAIZ; ZEIGER, 2004). Os exemplos mais associados à área agrônômica são as plantas, os insetos, os ácaros e os fitopatógenos.

A regulação parcial da temperatura dos vegetais ocorre pelo processo da transpiração (TAIZ; ZEIGER, 2004) e alteração do transporte de calor sensível em função de adaptações ou modificações morfofisiológicas, como por exemplo, da dimensão característica do órgão em sua direção exposta em relação ao fluxo de ar (PARKHURST et al., 1968). O somatório do processo físico de evaporação de água do solo e da superfície das plantas, com o processo

biofísico de transpiração da água transferida através das plantas até a atmosfera, principalmente através dos seus estômatos, é denominado evapotranspiração (PEREIRA; VILA NOVA; SEDIYAMA, 1997). A evapotranspiração diária é intensamente afetada pela variação dos elementos meteorológicos, que modificam os fluxos dos componentes do balanço de energia na superfície vegetada (HELDWEIN, 1993; PEREIRA; VILA NOVA; SEDIYAMA, 1997).

A temperatura do ar tem relação com a evapotranspiração. Quanto maior a temperatura do ar, maior a capacidade da camada de ar próxima à superfície conter vapor d'água e, portanto, menor o potencial de água no ar, aumentando o gradiente de pressão de vapor d'água entre folha e ar, tendendo a aumentar também a evapotranspiração (PEREIRA; VILA NOVA; SEDIYAMA, 1997; VAREJÃO-SILVA, 2006). No entanto, isso pode não acontecer quando a temperatura atingir níveis críticos para a planta, causando fechamento dos estômatos, estresse térmico e murcha foliar (TAIZ; ZEIGER, 2004) ou quando as folhas se resfriam a uma temperatura menor do que a temperatura do ponto de orvalho do ar, o que inverte a direção do fluxo de vapor d'água e promove a condensação (HELDWEIN, 1993).

Modelos que simulam crescimento e desenvolvimento vegetal também têm a temperatura do ar como um parâmetro importante. Esses modelos são úteis na agricultura, pois permitem a programação de atividades agrícolas e possibilitam um melhor planejamento de sistemas de rotação de culturas e de manejo de áreas de cultivo. Para descrever/medir o crescimento e o desenvolvimento vegetal, a unidade de tempo mais apropriada não é a de tempo civil, mas sim a de tempo térmico (°C dia), uma vez que a velocidade de crescimento e desenvolvimento dos vegetais tende a modificar-se com a variação da temperatura (McMASTER; SMIKA, 1988; STRECK et al., 2006).

O conhecimento da variação diária da temperatura do ar pode ser usado para melhorar a precisão no cálculo das temperaturas médias diárias, tendo consequências nas estimativas de crescimento e desenvolvimento vegetal. Em trabalho realizado com a cultura do algodoeiro, Pereira, Campelo Júnior e Ferronato (2010) constataram que a metodologia de cálculo da temperatura média diária influenciou a estimativa do plastocrono, obtendo-se resultados mais precisos ao considerar um número maior de leituras de temperatura do ar ao longo do dia, em relação ao cálculo com apenas as temperaturas extremas diárias do ar.

Há espécies de plantas típicas de clima temperado, especialmente frutíferas, como a pereira, a macieira, a ameixeira e o pessegueiro, que necessitam de certo número de horas de frio ou unidades de dormência, ou seja, um período em horas com temperatura abaixo de um determinado valor base, para que seja superada a dormência das gemas (FACHINELLO;

NACHTIGAL; KERSTEN, 2011). Para o cálculo do número de horas de frio existem diferentes metodologias (HELDWEIN et al., 1989; POLA; ANGELOCCI, 1993), mas a precisão destas é discutível, pois não consideram os diferentes tipos de dia e suas condições meteorológicas particulares (POLA; ANGELOCCI, 1993). No entanto, os modelos analíticos ou semi-analíticos ainda são os mais adequados (HELDWEIN et al., 1989; HELDWEIN et al., 2000). Conhecendo-se os valores das temperaturas do ar a cada hora por meio de estimativas, torna-se possível fazer uma melhor análise da disponibilidade anual de horas de frio de uma determinada região, para avaliar a qualidade térmica dos invernos para frutíferas de clima temperado, informação importante para a previsão da safra subsequente (HELDWEIN et al., 2000) e para o refinamento do zoneamento agrícola dessas frutíferas (BURIOL et al., 2000).

No caso das doenças de plantas, a temperatura atua como catalisador nas reações biológicas dos patógenos, acelerando seu crescimento e desenvolvimento. Porém, a umidade relativa do ar é um dos elementos que mais influencia o tempo de molhamento foliar, necessário para que o processo de infecção inicie e se complete e para que a doença progrida (AGRIOS, 2004).

A temperatura do ar a 1,5 m de altura, no abrigo meteorológico, é um elemento que geralmente apresenta uma variação periódica típica ao longo de um período de 24 horas. A principal causa dessa variação é o movimento aparente do sol sobre o plano do observador e a correspondente variação temporal diária do saldo de radiação em alternância com a noite, que faz com que, especialmente sob condições de céu límpido ou com pouca nebulosidade, a temperatura do ar seja mais elevada no período diurno e mais baixa durante a madrugada (DE FINA; RAVELLO, 1973; HELDWEIN et al., 1989).

Ramos et al. (2011) buscaram ajustar modelos para a estimativa horária da temperatura do ar em Petrolina, PE e Botucatu, SP. Verificaram que realizando as estimativas por meio do modelo esférico, tendo como referência as temperaturas medidas nos horários convencionados, a média dos desvios chegou a aproximar-se de 5 °C no horário das 09 h UTC para Petrolina e ultrapassou os 3 °C para Botucatu nesse mesmo horário.

A tendência diária de variação da temperatura do ar pode sofrer modificações, tornando-se aperiódica. Isso pode ocorrer devido a diversos fenômenos meteorológicos que interferem na sua variação temporal diária por alterações dos diferentes fluxos de energia que compõe o balanço de energia da superfície exposta, como aquelas devido às mudanças de grau de nebulosidade, passagem de sistemas frontais e mudanças de direção e/ou velocidade do vento (DE FINA; RAVELLO, 1973; HELDWEIN, 1993). Tais fenômenos dificultam a

aplicação de modelos únicos de estimativa de importantes parâmetros agrometeorológicos dependentes da variação temporal de temperatura do ar. São exemplos o número de horas de frio e unidades de dormência, o tempo de temperaturas letais, o tempo de molhamento foliar, os valores de severidade estimada de doenças, entre outros, que estão atrelados a diferentes processos biológicos e biofísicos altamente dependentes da temperatura do ar.

2.2.2 Variação de outros elementos meteorológicos relacionada à variação da temperatura do ar

Uma vez que a variação temporal da temperatura do ar na estação meteorológica seja passível de modelagem, é possível também obter modelos para descrever a variação temporal de outros elementos que têm relação com a temperatura do ar, partindo de seus valores pontuais obtidos nas leituras dos horários convencionados. Para a umidade do ar, por exemplo, poderiam ser modelados: a pressão de saturação de vapor d'água no ar, a pressão parcial de vapor d'água no ar, a umidade relativa do ar e a temperatura do ponto de orvalho do ar (HELDWEIN, 1993).

2.2.2.1 Pressão de saturação de vapor d'água no ar

A pressão de saturação de vapor d'água no ar (e_s) é uma grandeza que expressa a pressão máxima que pode ser exercida pelo vapor d'água em um volume de ar a uma determinada temperatura (T , em °C) (VAREJÃO-SILVA, 2006). O valor de e_s varia exponencialmente em função da temperatura do ar, conforme estabelecido pela equação de Tetens (BOLTON, 1980):

$$e_s = 6,1078 \cdot \exp\left(\frac{17,269 \cdot T}{T+237,3}\right) \quad (1)$$

Para Bolton (1980), a equação de Tetens apresenta resultados satisfatórios na estimativa de e_s , exceto quando é exigida extrema exatidão em condições de temperaturas do

ar muito baixas. Por exemplo, a $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ a equação de Tetens apresenta um erro médio de 2%. Uma vez que a pressão de saturação de vapor d'água no ar depende da temperatura do ar, ao se obter modelos que descrevam a variação diária da temperatura do ar, pode-se obter modelos que descrevam a variação diária da pressão de saturação de vapor d'água no ar ou, simplesmente, estimar e_s com os valores de temperatura do ar estimados.

2.2.2.2 Umidade relativa no ar

A umidade relativa do ar (UR) é uma representação percentual de quanto vapor d'água o ar contém em relação ao máximo que poderia conter se estivesse saturado na temperatura em que se encontra. Sendo assim, é o resultado da razão entre o conteúdo de vapor de água que o ar contém, indicado pela pressão parcial de vapor d'água no ar (e), e o conteúdo que poderia conter naquela temperatura, expresso por e_s (COSTA, 2003).

Inúmeros processos biológicos sofrem influência da umidade relativa do ar. Esse é um dos elementos determinantes no processo de evapotranspiração, pois é uma das variáveis meteorológicas de representação da condição da demanda atmosférica por vapor d'água. Quanto maior a umidade relativa do ar, mais próximo o ar está da saturação com vapor d'água, tendendo a evaporação e a transpiração a serem menos intensas (VAREJÃO-SILVA, 2006). Quando a umidade relativa do ar atinge o valor de 100 %, assume-se que o ar está saturado com vapor d'água e o resultado do somatório das trocas de vapor d'água entre cultura/superfície e o ar adjacente é geralmente igual à zero (PEREIRA; VILA NOVA; SEDIYAMA, 1997), pois a temperatura da superfície geralmente está muito próxima da temperatura do ar adjacente.

Em sistemas de previsão de doenças, também é comum o uso da umidade relativa do ar como um indicador de ocorrência de molhamento foliar. Streck (2006), buscando estimar a duração do período de molhamento foliar em batata utilizando a UR, obteve diversos critérios para a estimativa, sendo que o limite de $UR \geq 90\%$ mostrou-se inadequado quando a medida é realizada a 1,5 m de altura do solo. O mais adequado para essa altura de medida foi considerar o limite de UR 87 %, com extensão até 70 %. Esse critério considera o início do período de molhamento quando, entre 70 % e 87 % de UR, ocorre um acréscimo de pelo menos 3 % na UR em 30 minutos, e o final do período de molhamento quando, nessa mesma faixa de UR, esta decresce pelo menos 2 % em 30 minutos. Os limites de $UR \geq 85\%$ e $UR \geq 87\%$ para

medida acima do dossel também revelaram desempenho similar ao critério anterior. Portanto, Streck (2006) concluiu que os valores de umidade relativa do ar podem ser usados para estimar o tempo de molhamento foliar, tendo-se o cuidado de ajustar as estimativas conforme a altura de instalação do sensor de umidade relativa do ar.

Para Heldwein (1993) o início da formação de orvalho sobre as folhas de batata ocorre quando o valor de 86 % de UR é atingido no topo do dossel das plantas. Esse autor verificou também que esse valor pode ser corrigido em função do saldo de radiação, da radiação solar global incidente e da raiz quadrada da pressão parcial de vapor d'água no ar junto às plantas durante períodos de 15 minutos.

A variação temporal diária da UR depende, substancialmente, da variação de e_s – função da temperatura do ar – e da variação da pressão parcial de vapor d'água no ar (COSTA, 2003), que depende principalmente do fluxo de vapor d'água entre a superfície e o ar, altamente dependente da velocidade do vento e do saldo de radiação no topo do dossel de plantas (HELDWEIN, 1993). Assim, obtendo modelos que descrevam a variação temporal diária da pressão parcial de vapor d'água no ar, torna-se possível estimar a UR com base nesses valores e nos valores de e_s , calculados com base nos valores de temperatura do ar estimados. Com essas informações, séries históricas de dados de UR e temperatura do ar, observadas nos horários convencionados de medida em estações meteorológicas convencionais dos serviços de meteorologia, podem ser transformadas em séries horárias de UR e temperatura do ar estimadas. Esse banco de dados permite realizar a alimentação de um algoritmo para previsão de doenças e o estabelecimento numérico do risco climático de ocorrência de determinada doença em uma região em função da data de plantio.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização e principais características climáticas da região

Os dados foram utilizados nesse estudo foram obtidos na Estação Climatológica Principal de Santa Maria (ECPSM) e na Estação Meteorológica Automática pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia (EMA-INMET). Essas estações meteorológicas localizam-se na área experimental do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria (29°43'23" S; 53°43'15" W; 95 m), em Santa Maria, região fisiográfica da Depressão Central do Estado do Rio Grande do Sul (RS), Brasil.

A temperatura do ar medida na ECPSM foi obtida com termômetro de mercúrio e a umidade relativa do ar com psicrômetro não ventilado composto de termômetros de elemento sensível mercúrio. A temperatura mínima diária do ar foi registrada por termômetro de mínima, tendo como elemento sensível o álcool etílico (WMO,2008). Na EMA-INMET os dados de temperatura do ar foram obtidos por sensores de resistência elétrica de platina (Pt-100) e os de umidade relativa do ar por meio da medida eletrônica de tensão (MOURA et al., 2011).

O estudo compreende a área de abrangência da ECPSM, a qual considera-se representativa do espaço geográfico entre as latitudes de 29°23'15" S e 30°22'17" S e as longitudes de 53°05'20" W e 54°32'07" W, totalizando 6.640 km² (CARDOSO, 2005). Na área de estudo, além do município de Santa Maria, se incluem inteiramente os municípios de Dilermando de Aguiar, Formigueiro, Itaara, Restinga Seca, São João do Polêsine, São Martinho da Serra, São Pedro do Sul e Silveira Martins e uma parcela das áreas limítrofes dos municípios de Cacequi, Faxinal do Soturno, Ivorá, Júlio de Castilhos, São Gabriel, Santa Margarida do Sul e São Sepé.

De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima da região é do tipo Cfa, subtropical úmido, com verões quentes e sem estação seca definida (MORENO, 1961). As médias mensais de temperatura do ar, calculadas com base no período de julho de 1968 até junho de 2011, variam de 13,6 °C no mês de julho até 24,6 °C no mês de janeiro (Figura 1). A umidade relativa do ar varia de 68,1 % em dezembro a 82,9 % em junho (Figura 1). O fotoperíodo, calculado conforme o algoritmo de Kiesling (1982), incluindo os crepúsculos

civis, ou seja, os momentos em que os raios solares formam um ângulo de até 6° abaixo do plano do observador, varia 3,9 h ao longo do ano, sendo de 11,1 h no solstício de inverno e 15,0 h no solstício de verão (Figura 1).

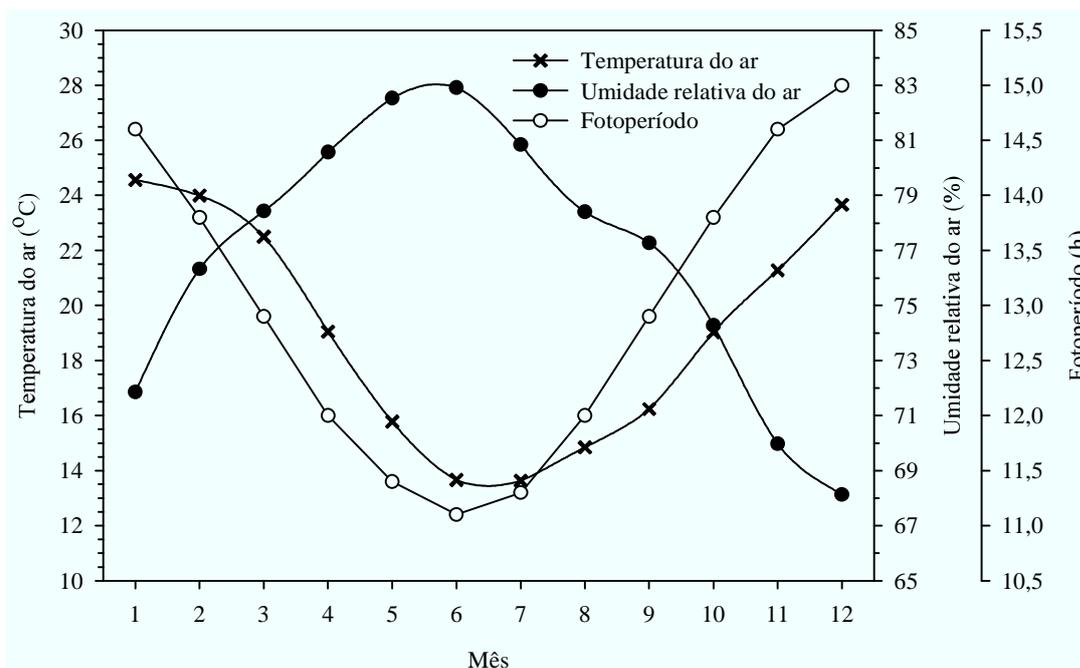


Figura 1 – Médias mensais de temperatura e umidade relativa do ar em Santa Maria/RS, calculadas para o período de julho de 1968 até junho de 2011 e fotoperíodo para o 15° dia de cada mês, calculado conforme Kiesling (1982), incluindo os crepúsculos civis.

A precipitação pluvial média mensal em Santa Maria, calculada com base no período de julho de 1968 até junho de 2011, é bem distribuída ao longo do ano, variando entre 125,2 mm no mês de agosto e 160,8 mm no mês de janeiro (Figura 2), com um total médio anual nesses 43 anos de 1.756,6 mm. Embora não se caracterize climaticamente uma estação seca definida na região (MORENO, 1961), devido à variabilidade interanual e a má distribuição espacial da precipitação, frequentemente ocorre deficiência hídrica no período de primavera/verão (BURIOL et al., 1980; CARDOSO, 2005), causando oscilações na produtividade das culturas agrícolas (BERLATO, 1992).

Durante o período considerado, o mês em que foi registrado o menor acumulado mensal de precipitação pluvial foi maio de 1996 (5,2 mm) e o maior valor ocorreu novembro

de 2009 (519,6 mm). Esses valores representam, respectivamente, desvios de -96% e 285% em relação às médias mensais. O menor acumulado anual ocorreu em 2004 (1.063,9 mm) e o maior em 2002 (2.691,5 mm). Esses valores representam, respectivamente, desvios de -39% e 53% em relação à média anual do período de julho de 1968 até junho de 2011.

Buriol et al. (2006) referem que os totais mensais de chuva registrados no período de 1912 até 2004 na estação meteorológica de Santa Maria são homogêneos e que a série é estacionária, ocorrendo períodos com valores acumulados anuais de chuva maiores e menores, de forma dispersa. Esses autores relatam que os cinco valores anuais mais altos foram de 2.953,4 mm, 2.691,5 mm, 2.485,9 mm, 2.434,7 mm e 2.399,5 mm, respectivamente nos anos de 1941, 2002, 1984, 1940 e 1919 e os cinco menores valores de 640,0 mm, 984,3 mm, 992,3 mm, 1.058,2 mm e 1.063,9 mm, respectivamente em 1917, 1924, 1962, 1913 e 2004.

Essa também é uma das regiões do RS com maior frequência de nevoeiros, fenômeno que geralmente altera a variação temporal diária da temperatura do ar durante a sua presença, principalmente durante a madrugada e ou início da manhã. O período de maior ocorrência de nevoeiros vai de março a julho, sendo que as maiores frequências de ocorrência do fenômeno são registradas nos meses de abril, junho e maio, com 31,3 %, 27,3 % e 21,0 % dos dias desses meses com nevoeiro, respectivamente (Apêndice A).

3.2 Análise dos dados da Estação Meteorológica Automática do Instituto Nacional de Meteorologia (EMA-INMET) de Santa Maria, RS

Foram utilizados para a análise qualitativa e quantitativa os dados meteorológicos obtidos na EMA-INMET, localizada a 7 m de distância da Estação Climatológica Principal de Santa Maria, coletados no período de janeiro de 2002 até dezembro de 2011, totalizando dez anos. A análise quantitativa baseou-se na apuração de quantos dos dias no período são considerados sem falhas, ou seja, têm-se registros dos vinte e quatro valores horários de temperatura e umidade relativa do ar da EMA-INMET, depois de eliminados os períodos com falhas ou que não apresentaram consistência meteorológica/física (valores fora da faixa de variação dos respectivos elementos meteorológicos para o local de estudo). Foram excluídos essencialmente registros de temperatura e umidade relativa do ar que apresentavam distorção, totalmente fora da tendência dos demais registros horários do dia. Para melhor compreensão

os dados foram representados na forma de percentuais de dias sem falha por mês, realizando-se médias do período.

Para analisar qualitativamente os dados, eles foram comparados aos elementos meteorológicos medidos na ECPSM (tomada nesse estudo como padrão), nos horários das 00 h UTC, 12 h UTC e 18 h UTC. Foi realizada análise de regressão, avaliando-se os coeficientes linear (a), angular (b) e de determinação (R^2), que representam exatidão máxima quando $a = 0$ e $b = 1$ e precisão máxima quando $R^2 = 1$. Também foi calculada a raiz quadrada do quadrado médio do erro (RQME) (JANSSEN; HEUBERGER, 1995), definida como:

$$RQME = \sqrt{\sum (s_i - o_i)^2 / n} \quad (2)$$

Em que s_i é o valor medido na EMA-INMET, o_i é o valor observado na ECPSM e n é o número de observações utilizado para a validação.

Também foi calculada a média das diferenças entre os dados das duas estações, denominada desvio médio, e o seu respectivo desvio padrão. Além disso, foi realizada a comparação das médias diárias de temperatura ($T_{méd}$) e umidade relativa do ar da EMA-INMET com as da ECPSM. Para os dados da EMA-INMET, o valor de $T_{méd}$ foi obtido pela média aritmética dos 24 valores horários de temperatura do ar. Para os dados da ECPSM, a média diária de temperatura do ar no abrigo meteorológico foi obtida pela equação padrão do INMET (RAMOS; SANTOS; FORTES, 2009):

$$T_{méd} = 0,2 (T_{12} + T_{máx} + T_{mín} + 2 \cdot T_{00\ n+1}) \quad (3)$$

em que T_{12} é a temperatura do ar às 12 h UTC do dia ($^{\circ}C$), $T_{máx}$ é a temperatura máxima diária do ar ($^{\circ}C$), $T_{mín}$ é a temperatura mínima diária do ar ($^{\circ}C$) e $T_{00\ n+1}$ é a temperatura do ar às 00 h UTC do dia seguinte ($^{\circ}C$), equivalente das 21 h do dia no horário oficial de Brasília.

Para os dados da EMA-INMET, de forma análoga à $T_{méd}$, o valor de $UR_{méd}$ foi obtido pela média aritmética dos 24 valores horários de temperatura do ar. A média diária de umidade relativa do ar ($UR_{méd}$) para a ECPSM foi calculada pela seguinte equação (RAMOS; SANTOS; FORTES, 2009):

$$UR_{méd} = 0,25 (UR_{12} + UR_{18} + 2 UR_{00\ n+1}) \quad (4)$$

em que UR_{12} é a umidade relativa do ar observada às 12 h UTC na ECPSM, UR_{18} é a umidade relativa do ar observada às 18 h UTC na ECPSM e $UR_{00\ n+1}$ é a umidade relativa do ar observada às 00 h UTC do dia seguinte na ECPSM.

3.3 Modelagem da variação temporal diária da temperatura e da umidade do ar

O banco de dados da EMA-INMET, após a análise crítica, foi utilizado para geração e teste dos modelos. Com base nos valores medidos nos horários convencionados internacionalmente (00 h, 12 h e 18 h UTC) e na T_{\min} diária, foram buscadas funções que se ajustassem a determinados padrões de variação diária dos elementos meteorológicos.

Modelos empíricos foram evitados, procurando-se encontrar equações analíticas ou semi-analíticas, que explicassem a variação dos elementos meteorológicos e que tivessem significado físico, isto é, baseadas nos processos físicos envolvidos e nos componentes de fluxos de energia, que compõem o balanço de energia na superfície vegetada de uma estação meteorológica.

Modelos baseados em regressão, tendo como variável independente o horário do dia, não foram empregados para a estimativa dos elementos meteorológicos, por representarem tão somente a descrição de uma condição estrita e não terem aplicabilidade direta fora das condições climáticas nas quais seus coeficientes são obtidos (FERNANDES et al., 2012). Foram testadas funções que abrangessem a tendência diária de variação da temperatura e da umidade do ar. A interpolação dos valores entre os pontos conhecidos da curva diária de variação temporal dos elementos meteorológicos foi testada utilizando interpolação linear simples e adequando equações senoidais, semelhantes às empregadas por Pola e Angelocci (1993) na estimativa de horas de frio, em que os coeficientes dos modelos são uma função do tipo de variação, decorrente da condição meteorológica. Esses autores utilizaram as seguintes equações para a estimativa dos valores horários de temperatura do ar no período entre o momento da ocorrência da temperatura máxima do ar em um dia e o momento de ocorrência da temperatura mínima do ar no dia subsequente:

$$T_{(t)} = T_{\max} + (T_{\min\ n+1} - T_{\max}) \text{sen} \left[\frac{\pi}{2} \left(\frac{t - t_{\max}}{t_{\min\ n+1} - t_{\max}} \right) \right] \quad (5)$$

em que $T_{(t)}$ é a temperatura estimada no horário t , $T_{\text{mín}(n+1)}$ é a temperatura mínima do ar no dia subsequente, t é o horário para o qual está sendo estimada $T_{(t)}$, $t_{\text{máx}}$ é o horário de ocorrência da $T_{\text{máx}}$, assumido com sendo às 18 h UTC e $t_{\text{mín } n+1}$ é o horário de ocorrência da $T_{\text{mín } n+1}$, assumido com sendo às 10 h UTC. Nesse trabalho, Pola e Angelocci (1993) tomaram como base para a medida de tempo o horário de ocorrência da $T_{\text{máx}}$, assumido este como base (zero) com a $T_{\text{mín}}$ ocorrendo 16 horas após.

De forma semelhante, a equação a seguir foi utilizada para descrever a variação horária da temperatura do ar entre o momento da ocorrência da temperatura mínima do ar e o momento de ocorrência da temperatura máxima do ar em um dia (POLA; ANGELOCCI 1993):

$$T_{(t)} = T_{\text{mín}} + (T_{\text{máx}} - T_{\text{mín}}) \text{sen} \left[\frac{\pi}{2} \left(\frac{t - t_{\text{mín}}}{t_{\text{máx}} - t_{\text{mín}}} \right) \right] \quad (6)$$

Foi utilizado para a estimativa dos elementos meteorológicos em cada horário o tipo de modelo que apresentou o menor valor da raiz do quadrado médio do erro (RQME) quando do teste do modelo. Caso as funções apresentassem o mesmo RQME, foi utilizada a função senoidal, em vista de ser esta uma função que representa mais o padrão de variação diária dos elementos meteorológicos do que a função linear (POLA; ANGELOCCI, 1993).

Os valores dos elementos meteorológicos estimados pelas equações descritas foram comparados com os valores reais (registrados pela EMA-INMET) para verificar a acurácia da estimativa, utilizou-se regressão linear entre os valores estimados e os reais, o desvio médio e o desvio padrão das diferenças entre valores reais e estimados. Também foram elaboradas figuras da variação temporal dos elementos meteorológicos em alguns dias típicos e atípicos para que se pudesse visualizar melhor o desempenho dos modelos de estimativa.

Para verificar se a precisão e a exatidão obtidas nas estimativas horárias de temperatura e umidade do ar foram suficientes para os fins desse trabalho, foi feita uma análise de sensibilidade, calculando o número de horas de umidade relativa do ar maior ou igual a 85% e de valores de severidade calculada pelo sistema Blitecast, por ciclo da cultura da batata e por mês, utilizando os dados horários de temperatura e umidade do ar estimados pelos modelos e os registrados na EMA-INMET. Esses valores foram comparados por meio de análise de regressão.

3.3.1 Determinação da temperatura horária do ar

Para obter os modelos de estimativa horária da temperatura do ar (T) fora dos três horários convencionados de medida de temperatura do ar, foram utilizados os dados dos registros das 00 h, 12 h e 18 h UTC da EMA-INMET, por corresponderem aos horários convencionados de medida nas estações meteorológicas convencionais, e a temperatura mínima diária do ar, por representar um dos momentos de inflexão da curva diária de temperatura do ar, assumindo-se um horário para a ocorrência da temperatura mínima para cada época do ano. O horário assumido foi o que apresentou a maior frequência de ocorrência desta variável em cada mês.

Para o melhor ajuste dos modelos, após pré-análise, foi realizada a tentativa de classificar os dias conforme o comportamento dos elementos meteorológicos e para cada tipo de dia foi obtido um modelo diferente para estimar a temperatura do ar durante a madrugada. O critério de separação de tipos de dia foi baseado na variação da temperatura do ar. Quando a temperatura do ar registrada às 12 h UTC foi menor ou igual à temperatura do ar registrada às 18 h UTC (T_{18}) e a temperatura do ar registrada às 00 h UTC diferiu em $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ou mais da temperatura mínima diária do ar, o dia foi considerado do tipo 1. Nos dias em que uma das condições anteriores não foi satisfeita, ou ambas, o dia foi considerado do tipo 2, conforme a demonstrado a seguir:

se $T_{12} \leq T_{18}$ e $T_{00} - T_{\min} \geq 1\text{ }^{\circ}\text{C}$, então tipo 1;

se $T_{12} > T_{18}$ e $T_{00} - T_{\min} < 1\text{ }^{\circ}\text{C}$, então tipo 2;

se $T_{12} > T_{18}$ e $T_{00} - T_{\min} \geq 1\text{ }^{\circ}\text{C}$, então tipo 2;

se $T_{12} \leq T_{18}$ e $T_{00} - T_{\min} < 1\text{ }^{\circ}\text{C}$, então tipo 2.

Nos dias tipo 1, foi considerada a ocorrência da temperatura mínima diária do ar, no seu respectivo horário assumido para cada mês, conforme metodologia própria. Caso o dia fosse considerado do tipo 2 a obtenção dos valores horários de temperatura durante o período compreendido entre as 00 h UTC e as 12 h UTC era realizada desconsiderando a ocorrência da temperatura mínima diária do ar nesse intervalo.

3.3.2 Umidade relativa do ar

A estimativa da umidade relativa do ar (UR, em %) ocorreu de forma indireta, obtendo-se modelos que descrevem a variação da pressão parcial de vapor d'água no ar (e , em hPa). A pressão de saturação de vapor d'água no ar (e_s , em hPa) foi obtida com os valores de temperatura do ar estimados. Os valores horários de e_s foram calculados conforme a equação de Tetens (BOLTON, 1980). A pressão parcial de vapor d'água no ar foi calculada nos horários convencionados de medida (00 h, 12 h e 18 h UTC) com a seguinte equação:

$$e = \frac{UR}{100} \cdot e_s \quad (7)$$

Para descrever a variação da pressão parcial de vapor d'água no ar nos intervalos horários entre 00 h e 12 h UTC foi testada uma modificação dos modelos utilizados para temperatura do ar. Para isso adotou-se a condição de contorno de que, se a pressão parcial de vapor d'água no ar na hora da temperatura mínima diária do ar ($e_{t_{\min}}$) interpolada entre as leituras de 00 h e 12 h UTC fosse maior que a pressão de saturação de vapor d'água no ar, calculada com base na temperatura mínima do ar ($e_{s_{t_{\min}}}$), seria assumido que a pressão parcial de vapor d'água no ar nesse horário ($e_{t_{\min}}$), por estar superestimada, passaria a ser igual à $e_{s_{t_{\min}}}$. Assim, essa condição de contorno pode ser descrita por: se $e_{t_{\min}} > e_{s_{t_{\min}}}$, então $e_{t_{\min}} = e_{s_{t_{\min}}}$. Essa dificuldade existe porque não há observações de valores extremos de UR nas estações meteorológicas convencionais.

Após a interpolação dos valores de pressão parcial de vapor d'água no ar, foram calculados os valores de UR para cada horário, tendo como base esses dados e os valores de e_s calculados com base nos valores de temperatura do ar estimados/reais. O termo “estimados/reais” indica que, dependendo do horário, os valores são registrados, como no caso dos horários convencionados de medida (00 h, 12 h e 18 h UTC), ou estimados nos demais horários. Também foram considerados valores reais todos os valores horários, medidos na EMA-INMET a partir de janeiro de 2002, aprovados na análise crítica.

Na análise de regressão para comparar os dados horários de UR estimados com os medidos foram utilizadas as mesmas estatísticas descritas para a temperatura do ar (coeficientes angular e linear da reta de comparação, R^2 e RQME).

3.4 Probabilidade de ocorrência de condições favoráveis a requeima em função da data de plantio

Com base em um banco de dados horários, medidos e estimados, do período de julho de 1968 até junho de 2011, foi realizado o cálculo dos valores de severidade calculada (VSC) pelo modelo Blitecast (KRAUSE; MASSIE; HYRE, 1975), considerando diferentes datas de plantio da batata (Tabela 1), simuladas para as estações de cultivo da safra e da safrinha em cada um dos 43 anos de dados meteorológicos disponíveis. Os dados foram separados em 43 anos agrícolas, sendo que cada ano agrícola iniciou no dia 01 de julho do ano anterior. Desse modo, o ano agrícola de 1969, por exemplo, abrange o período de 01 de julho de 1968 até 30 de junho de 1969.

Para o período de julho de 1968 até dezembro de 2001, foi utilizado, exclusivamente, o banco de dados da ECPSM. Essa série de dados é composta dos registros de medida real efetuada nos horários convencionados (00 h, 12 h e 18 h UTC), dos valores medidos máximo e mínimo diários de temperatura do ar ($T_{\text{máx}}$ e $T_{\text{mín}}$, respectivamente) e dados estimados de temperatura e umidade relativa do ar dos demais 21 horários do dia.

Para o período de janeiro de 2002 até julho de 2011, dispunha-se de dados horários de T e UR, registrados na EMA-INMET, sendo os dados da ECPSM usados apenas para os dias em que a EMA-INMET apresentou falhas de registro de dados ou dados registrados inconsistentes. A estimativa para os horários não convencionados foi realizada conforme a metodologia anteriormente descrita para o período de 1968 a 2001.

As datas de plantio foram simuladas nos períodos recomendados para o cultivo da batata na região (BISOGNIN, 1996; PEREIRA et al., 2005) em cada um dos 43 anos de dados meteorológicos da série histórica de 1968 a 2011. Sete datas (1 a 7) abrangeram o período de final de inverno/início de primavera (safra) e outras sete (8 a 14), o período de final de verão/início de outono (safrinha) (Tabela 1). O tempo decorrido entre o plantio e a emergência da cultura, momento em que se iniciou a simulação do desenvolvimento, foi assumido como sendo de aproximadamente 20 dias para o período de safra e 10 dias para a safrinha (STRECK et al., 2006).

Tabela 1 – Datas consideradas para a emergência das plantas para cultivos de batata simulados em diferentes datas de plantio em Santa Maria, RS.

Período	Data	Data de plantio (dia de ordem no ano)	Data de plantio	Data de emergência
Safra	1	182	01 de julho	20 de julho
	2	191	10 de julho	01 de agosto
	3	201	20 de julho	10 de agosto
	4	213	01 de agosto	20 de agosto
	5	222	10 de agosto	01 de setembro
	6	232	20 de agosto	10 de setembro
	7	243	31 de agosto	20 de setembro
Safrinha	8	32	01 de fevereiro	10 de fevereiro
	9	41	10 de fevereiro	20 de fevereiro
	10	51	20 de fevereiro	01 de março
	11	60	01 de março	10 de março
	12	69	10 de março	20 de março
	13	79	20 de março	01 de abril
	14	90	31 de março	10 de abril

O genótipo escolhido para as simulações foi o cultivar Asterix. Esta escolha deve-se à existência de parâmetros locais definidos para determinar o desenvolvimento das plantas desse cultivar (STRECK et al., 2007), por se dispor de resultados locais de testes de sistemas de previsão de doenças realizados com esse cultivar (TRENTIN, 2006; BOSCO, 2008; TRENTIN et al., 2009; BOSCO et al., 2010) e também por ser um dos principais genótipos de batata cultivados na região central do Rio Grande do Sul.

O desenvolvimento da cultura foi simulado de acordo com parâmetros fenológicos encontrados na bibliografia científica. Streck et al. (2007) propuseram um modelo não linear para estimar a duração do ciclo total e de diferentes subperíodos do ciclo da batata, tendo como base a temperatura média diária do ar e, no subperíodo vegetativo, também o fotoperíodo. O modelo utiliza o cálculo da taxa diária de desenvolvimento (r , dia⁻¹) para os subperíodos.

Para o subperíodo vegetativo, da emergência (EM) ao início da tuberização (IT), propõem:

$$r = r_{\text{máx,v}} \cdot f(T_{\text{méd}}) \cdot f(P) \quad (8)$$

No subperíodo de tuberização, do IT ao início da senescência (IS):

$$r = r_{\text{máx,t}} \cdot f(T_{\text{méd}}) \quad (9)$$

No subperíodo de senescência, do IS até a colheita (CO):

$$r = r_{\text{máx,s}} \cdot f(T_{\text{méd}}) \quad (10)$$

em que r é a taxa diária de desenvolvimento (dia^{-1}), $r_{\text{máx,v}}$ é a taxa máxima diária de desenvolvimento no subperíodo vegetativo (dia^{-1}), $r_{\text{máx,t}}$ é a taxa máxima diária de desenvolvimento no subperíodo de tuberização (dia^{-1}), $r_{\text{máx,s}}$ é a taxa máxima diária de desenvolvimento no subperíodo de senescência (dia^{-1}), $T_{\text{méd}}$ é a temperatura média diária do ar ($^{\circ}\text{C}$), $f(T_{\text{méd}})$ é a função de resposta da cultura à temperatura do ar e $f(P)$ é a função de resposta da cultura ao fotoperíodo.

Foram utilizados os valores de $r_{\text{máx,v}} = 0,0793 \text{ dia}^{-1}$, $r_{\text{máx,t}} = 0,026 \text{ dia}^{-1}$ e $r_{\text{máx,s}} = 0,012074 \text{ dia}^{-1}$ (PAULA, 2005; STRECK et al., 2007). Os momentos do IT, do IS e da CO foram estimados quando o somatório da taxa diária de desenvolvimento a partir da emergência da cultura atingiu, respectivamente, os valores de 1,0, 1,8 e 2,0 (STRECK et al., 2007).

A $T_{\text{méd}}$ foi calculada pelo método oficial do INMET/8° DISME, conforme a equação 4. A $f(T_{\text{méd}})$ (STRECK et al., 2007) é definida por:

$$f(T_{\text{méd}}) = [2 (T_{\text{méd}} - T_b)^{\alpha} (T_{\text{ót}} - T_b)^{\alpha} - (T_{\text{méd}} - T_b)^{2\alpha}] / (T_{\text{ót}} - T_b)^{2\alpha} \quad (11)$$

$$\alpha = \ln 2 / \ln [(T_B - T_b)/(T_{\text{ót}} - T_b)] \quad (12)$$

em que T_B é a temperatura cardinal superior de desenvolvimento da cultura ($^{\circ}\text{C}$), T_b é a temperatura cardinal inferior de desenvolvimento da cultura ($^{\circ}\text{C}$) e $T_{\text{ót}}$ é a temperatura ótima de desenvolvimento da cultura ($^{\circ}\text{C}$).

Durante os subperíodos vegetativo e de senescência foram assumidas T_b de 4 °C, T_{ot} de 15 °C e T_B de 28 °C. No subperíodo de tuberação foram assumidas T_b de 7 °C, T_{ot} de 21 °C e T_B de 30 °C (STRECK et al., 2007).

A $f(P)$ foi definida por:

$$f(P) = \exp [-\omega (P - P_c)] \quad (13)$$

em que ω é a coeficiente de sensibilidade ao fotoperíodo (h^{-1}), P é o fotoperíodo (h) e P_c é o fotoperíodo crítico (h).

Os valores de 10,7 h e 0,0645 h^{-1} foram assumidos para P_c e ω , respectivamente, por serem determinados como adequados para o cultivar Asterix por Streck et al. (2007). O fotoperíodo foi calculado para o local de acordo com o algoritmo de Kiesling (1982), incluindo os crepúsculos civis, ou seja, os momentos em que o sol encontra-se até 6° abaixo do plano do observador.

Nas 14 datas de plantio de cada um dos 43 anos agrícolas, foram obtidos os valores de severidade calculada (VSC) pelo sistema de previsão de doenças Blitecast, modificado em função dos resultados obtidos por Streck (2006). A determinação dos VSC considerou a duração do período, em horas, com umidade relativa do ar maior ou igual a 85 %, condição medida na altura do abrigo meteorológico que indica molhamento foliar no dossel de plantas de batata (STRECK, 2006), e faixas de temperatura média do ar durante esse período de molhamento foliar (Tabela 2).

Tabela 2 – Critérios para computar o acúmulo de valores de severidade calculada (VSC) em função do número de horas de umidade relativa do ar (UR) maior ou igual a 85% e da temperatura média do ar nesse período, utilizando o sistema de previsão de requieima Blitecast* para a aplicação de fungicidas na cultura da batata.

Temperatura do ar (°C)	Horas com UR \geq 85%					
	0 - 9	10 - 12	13 - 15	16 - 18	19 - 21	22 - 24
7,2 - 11,6	0 VSC	0 VSC	0 VSC	1 VSC	2 VSC	3 VSC
11,7 - 15,0	0 VSC	0 VSC	1 VSC	2 VSC	3 VSC	4 VSC
15,1 - 26,6	0 VSC	1 VSC	2 VSC	3 VSC	4 VSC	4 VSC

*Adaptação da tabela de Krause, Massie e Hyre (1975).

O limite de UR de 85 % também apresentou concordância dos VSC calculados baseando-se nos dados da EMA-INMET com o número de VSC obtidos em campo por Trentin (2006) e Bosco (2008). Do sistema de cômputo exposto na Tabela 2 resultaram os VSC diários, os quais foram acumulados ao longo do ciclo da cultura. Foi calculado o número provável de aplicações de fungicidas por data de plantio, respeitando-se uma aplicação de fungicidas a cada 18 VSC acumulados (TRENTIN et al., 2009).

A análise de variância (ANOVA) foi bifatorial, na qual os períodos de plantio (safra e safrinha) representaram um fator e as datas de plantio representaram outro fator, sendo cada ano agrícola uma repetição, em um delineamento inteiramente casualizado. As variáveis submetidas à ANOVA, em nível de 5% de significância pelo teste F, foram: duração dos subperíodos e do ciclo total da cultura (em dias), VSC e número de aplicações de fungicida necessárias para o controle das doenças previstas durante o ciclo de desenvolvimento simulado para cada data de plantio. Também foram submetidos à ANOVA o número médio de VSC diários calculado pelo sistema Blitecast e o número médio diário de horas com $UR \geq 85\%$ em cada mês. As médias foram comparadas pelo teste Scott-Knott, em nível de 5% de significância.

A probabilidade isolada de necessidade de cada número de aplicações de fungicida em cada data de plantio foi calculada pela razão entre o número de vezes que essa necessidade se repetiu e o número total de observações. A probabilidade acumulada foi obtida pela soma das probabilidades de necessidade de ser realizado um determinado número de aplicações ou mais.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise dos dados da Estação Meteorológica Automática do Instituto Nacional de Meteorologia (EMA-INMET) de Santa Maria, RS

4.1.1 Análise quantitativa dos dados da EMA-INMET

Dos 3.652 dias do período de análise dos dados da EMA-INMET, de janeiro de 2002 a dezembro de 2011, em 3.291 dias foram observados todos os 24 registros horários, sem falha ou inconsistência (Tabela 3). Esse valor equivale a 90,1 % de dias completos utilizáveis para as análises de modelagem da variação temporal diária da temperatura e umidade do ar e do risco climático de ocorrência de queima.

O ano com maior aproveitamento dos dados foi 2006, com 99,5 % dos dias., enquanto que 2007 foi o ano com menor aproveitamento, com apenas 81,0 % dos dados. No ano de 2007 ocorreu um período prolongado de falha de registro de dados na EMA-INMET, que se estendeu desde o dia 14 de fevereiro até o dia 01 de abril, totalizando 47 dias sem registros. Em 2011 houve interrupção similar por 45 dias, de 24 de junho a 09 de agosto, devido à falta de diárias para o deslocamento dos técnicos do INMET responsáveis pela manutenção da estação, decretada para o serviço público pela presidência da república por motivo de contingenciamento financeiro (Decreto nº 7.446, de 1º de março de 2011).

Mello et al. (2006) descrevem que, para a estação automática de Brasília, DF, também ocorreram períodos prolongados de pane, com interrupção do registro de dados, perfazendo até cinco meses consecutivos. Esses autores relatam que tais panes podem provocar sequelas ao sistema da estação meteorológica, causando mudança de patamar nos dados, levando a erros sistemáticos.

Por mês, o aproveitamento dos dados em todo o período foi de, no mínimo, 83,5 % (235 dias) no mês de fevereiro, até no máximo 96,7 % (290 dias) no mês de abril. Esses resultados e as mais diferentes causas de pane do sistema ou de sensores específicos e a difícil logística do serviço de manutenção, pela necessidade de percorrer grandes distâncias para atender toda rede de estações, reforçam a premissa de que as estações meteorológicas

convencionais devem ser mantidas para suprir as falhas operacionais de registro de dados nas estações meteorológicas automáticas. Indicam também a necessidade de modelos para a construção de séries completas quando ocorrem panes nos sistemas automáticos.

Tabela 3 – Percentuais mensais e anuais e número de dias sem falhas de dados na estação meteorológica automática do Instituto Nacional de Meteorologia, localizada em Santa Maria, RS, no período de janeiro de 2002 a dezembro de 2011.

Mês	Ano										Média (%)	Total (dias)
	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011		
Jan	93,5	83,9	100	93,5	100	100	71	100	100	100	94,2	292
Fev	100	82,1	93,1	96,4	100	46,4	31	85,7	100	100	83,5	235
Mar	87,1	93,5	93,5	80,6	100	0	100	96,8	100	100	85,2	264
Abr	96,7	93,3	100	86,7	100	96,7	100	100	93,3	100	96,7	290
Mai	100	93,5	96,8	64,5	96,8	54,8	96,8	100	100	100	90,3	280
Jun	66,7	83,3	90	96,7	100	93,3	96,7	96,7	100	76,7	90	270
Jul	80,6	87,1	96,8	96,8	100	90,3	90,3	100	100	0	84,2	261
Ago	77,4	87,1	87,1	100	100	96,8	96,8	96,8	93,5	71	90,6	281
Set	63,3	83,3	93,3	100	100	100	96,7	96,7	90	100	92,3	277
Out	67,7	77,4	90,3	93,5	100	96,8	100	96,8	100	96,8	91,9	285
Nov	66,7	93,3	93,3	96,7	100	100	83,3	96,7	100	100	93	279
Dez	83,9	80,6	48,4	100	96,8	96,8	90,3	100	96,8	100	89,3	277
Ano	82,0	86,6	90,2	92,1	99,5	81,1	87,7	97,2	97,8	86,8	90,1	3.291
Total (dias)	299	316	330	336	363	296	322	355	357	317		

4.1.2 Análise qualitativa dos dados

Dependendo do horário do dia, a tendência varia entre a subestimativa e a superestimativa dos elementos meteorológicos temperatura e umidade relativa do ar registrados pela EMA-INMET em relação a ECPSM (Figuras 2 e 3). Em acordo com o que foi observado por Strassburger et al. (2011), comparando temperaturas extremas e médias

diárias, a relação entre temperatura do ar medida nas duas estações, para os três horários avaliados, apresenta elevada precisão (R^2 acima de 0,96) (Figura 2 A, 2 B e 2 C).

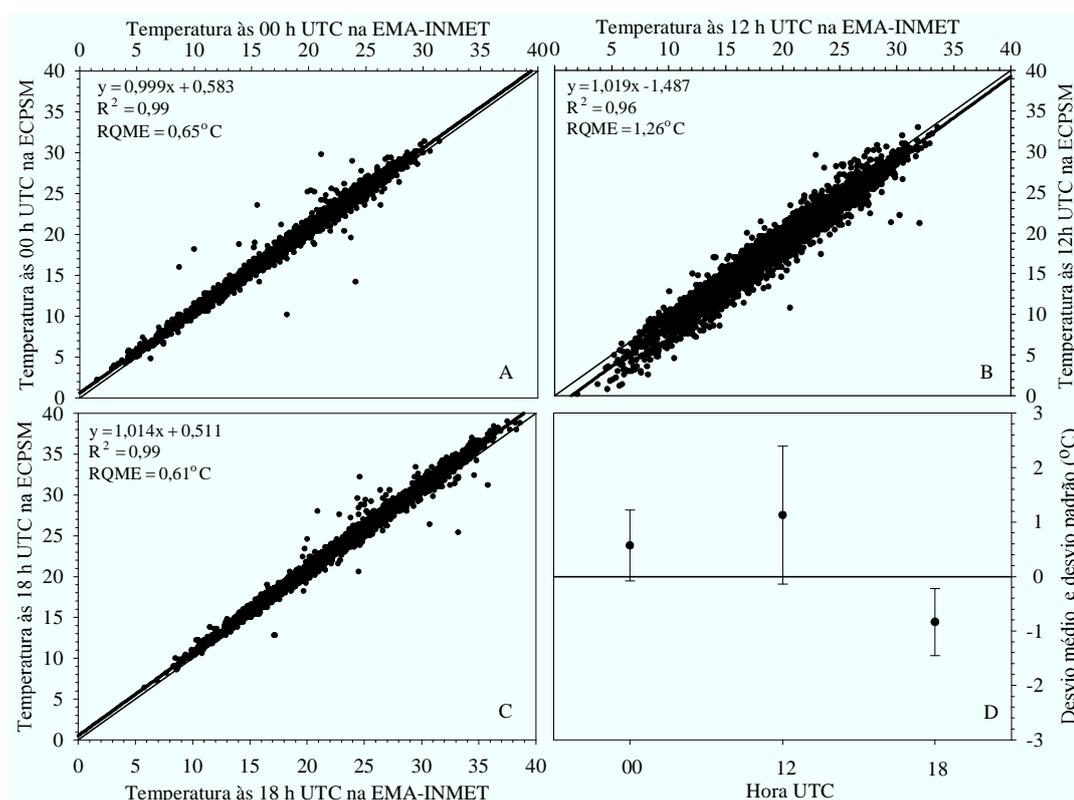


Figura 2 – Comparação dos dados de temperatura do ar registrados na Estação Climatológica Principal de Santa Maria (ECPSM) e na Estação Meteorológica Automática do Instituto Nacional de Meteorologia (EMA-INMET) de Santa Maria, RS, nos horários das 00 h UTC (A), 12 h UTC (B) e 18 h UTC (C) e seus respectivos desvios médio e padrão (D), no período de janeiro de 2002 a dezembro de 2011.

Para os registros de temperatura do ar às 00 h UTC e às 12 h UTC verifica-se a tendência de superestimativa nos valores da EMA-INMET em relação à ECPSM, com desvios médios de 0,56 °C e 1,12 °C, respectivamente. Às 18 h UTC o desvio médio foi de -0,84 °C, indicando subestimativa. Essas diferenças de temperatura do ar verificadas entre as duas estações podem decorrer do fato de as leituras ou registros nas estações não ocorrerem exatamente no mesmo horário. Ao contrário das estações meteorológicas automáticas, que registram eletronicamente os valores exatamente no horário convencional, nas estações

meteorológicas convencionais, o observador inicia a leitura dos elementos meteorológicos pouco antes do horário convencionado, para que os dados possam ser transmitidos ao distrito de meteorologia até o horário pré-determinado. Nesse intervalo de tempo a temperatura do ar pode mudar, originando desvios. Além disso, os termômetros de mercúrio e de álcool tem um maior tempo de resposta que sensores eletrônicos, resultando em superestimativa quando a temperatura do ar está aumentando e subestimativa quando está diminuindo.

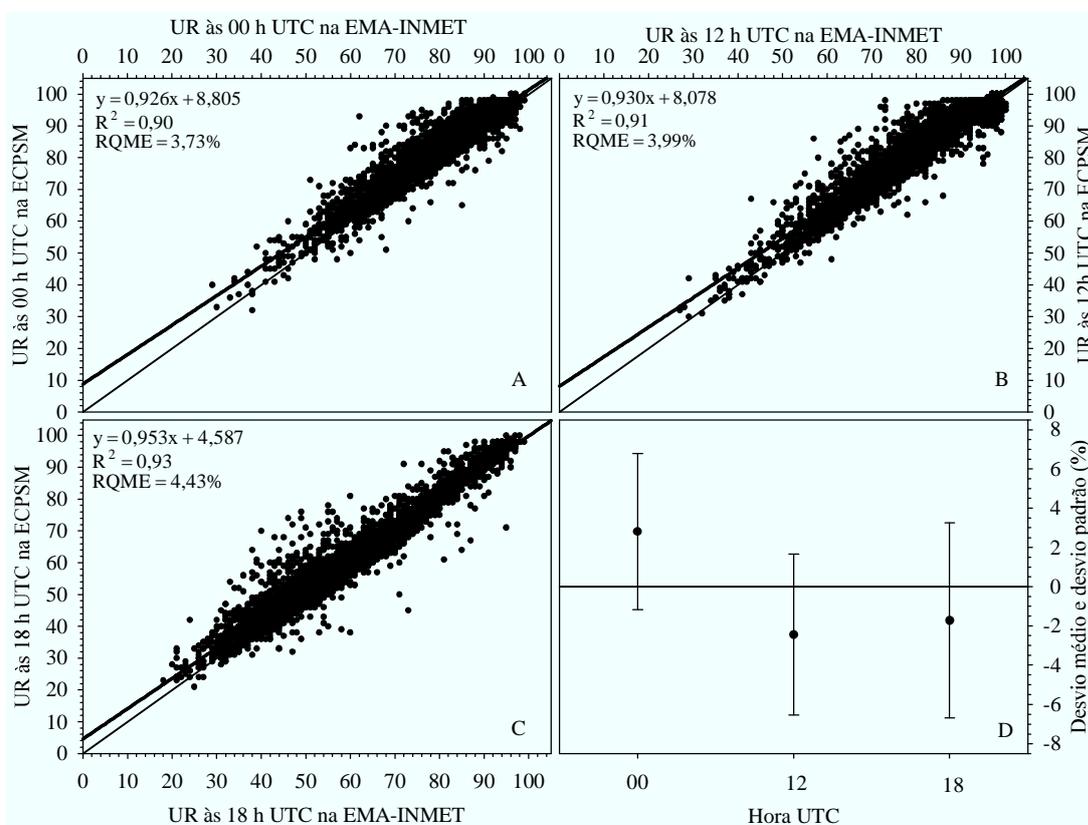


Figura 3 – Comparação dos dados de umidade relativa do ar (UR) registrados na Estação Climatológica Principal de Santa Maria (ECPSM) e na Estação Meteorológica Automática do Instituto Nacional de Meteorologia (EMA-INMET) de Santa Maria, RS, nos horários das 00 h UTC (A), 12 h UTC (B) e 18 h UTC (C) e seus respectivos desvios médio e padrão (D), no período de janeiro de 2002 a dezembro de 2011.

Comparada aos registros da ECPSM, a umidade relativa do ar (UR) registrada na EMA-INMET apresentou menor equivalência do que a temperatura do ar, indicada pelo menor coeficiente de determinação (Figuras 3 A, 3 B e 3 C). Ainda assim, os valores de R^2

foram de, no mínimo, 0,90. Oliveira et al. (2010) compararam valores medidos em estação automática e convencional, também encontraram menor coeficiente de determinação para UR do que para temperatura do ar. Para umidade relativa do ar esses autores encontraram R^2 de 0,93 e para temperatura do ar 0,97, valores que qualificaram como sendo de boa precisão.

Os desvios médios indicam superestimativa da umidade relativa do ar às 00 h UTC (2,8 %) e subestimativa às 12 h UTC (-2,4 %) e às 18 h UTC (-1,7 %) (Figura 3 D). Destaca-se que, em faixas de menor umidade relativa do ar, a tendência é de superestimativa, registrada pelos valores do coeficiente linear das equações de regressão. Conforme a umidade relativa se aproxima de 100 % aumenta a equivalência dos dados da EMA-INMET em relação aos dados da ECPSM (Figuras 3 A, 3 B e 3 C).

Em geral as médias diárias de temperatura do ar e UR calculadas para as duas estações apresentam equivalência. O valor de R^2 obtido (0,94) para a regressão linear no caso da temperatura do ar (Figura 4 A) se assemelha aos obtidos por Teramoto, Carvalho e Dantas (2009) ao compararem dados médios diários registrados em estação convencional e automática. Porém, as médias diárias de UR apresentaram menor R^2 se comparado à temperatura do ar (Figura 4 B), fato que é esperado, conforme Oliveira et al. (2010).

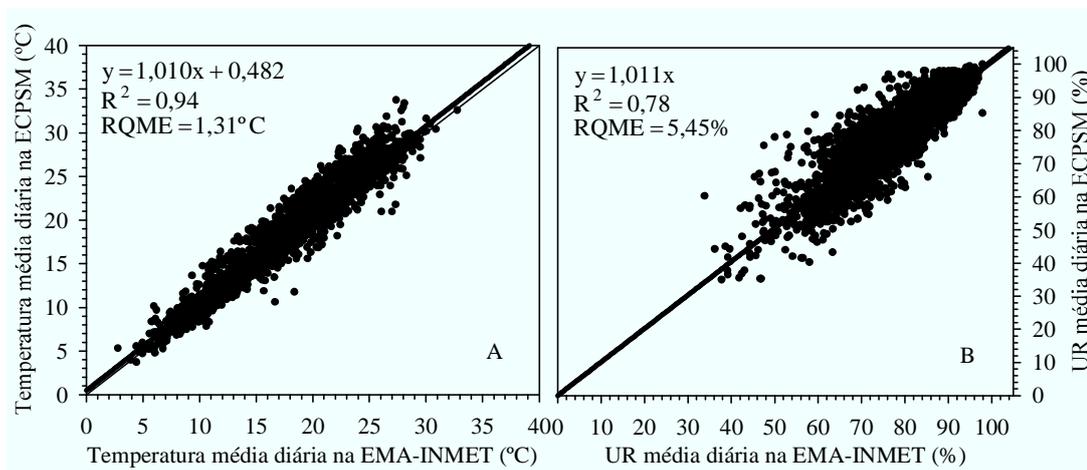


Figura 4 – Comparação das médias diárias de temperatura (A) e umidade relativa do ar (UR) (B) registradas na Estação Climatológica Principal de Santa Maria (ECPSM) e na Estação Meteorológica Automática do Instituto Nacional de Meteorologia (EMA-INMET) de Santa Maria, RS, no período de janeiro de 2002 a dezembro de 2011.

O coeficiente angular maior do que 1 (um) e o coeficiente linear positivo indicam que predominam temperaturas do ar superiores na ECPSM em relação à EMA-INMET, especialmente em temperaturas mais altas. Mesma tendência é verificada no caso da UR, sendo o coeficiente angular menor do que 1 e o coeficiente linear não significativo, havendo menor exatidão do que para temperatura do ar, demonstrada pelos menores valores de R^2 (Figura 4 B).

Esses resultados corroboram com os expostos por Sentelhas et al. (1997), Souza, Galvani e Assunção (2003), Almeida, Souza e Alcântara (2008), Pereira et al. (2008) e Oliveira et al. (2010). Esses autores afirmam que há equivalência entre os elementos meteorológicos obtidos em sistemas de medida automáticos e convencionais, especialmente quanto à temperatura do ar.

4.2 Modelagem da variação temporal diária da temperatura e da umidade do ar

4.2.1 Temperatura do ar

4.2.1.1 Horário de ocorrência das temperaturas extremas diárias do ar

As frequências de ocorrência da temperatura mínima diária do ar nos diferentes horários do dia são apresentadas nas Figuras 5 e 6. Nota-se que, de setembro a fevereiro, o horário em que a T_{\min} ocorreu mais frequentemente foi às 09 h UTC, correspondendo às 06 h no horário oficial local. De março até agosto, esse horário foi atrasado, predominando a sua ocorrência às 10 h UTC. Esse atraso se deve à diminuição do comprimento do dia com a aproximação do solstício de inverno no Hemisfério Sul. Em Capão do Leão, RS (31°52' S; 52°21' W; 13 m), Strassburger et al. (2011) determinaram que a maior frequência anual de ocorrência da temperatura mínima diária do ar ocorre às 09 h UTC, resultados que são compatíveis com os desse estudo. Contudo, esses autores não detalharam os horários mensais de maior frequência de ocorrência.

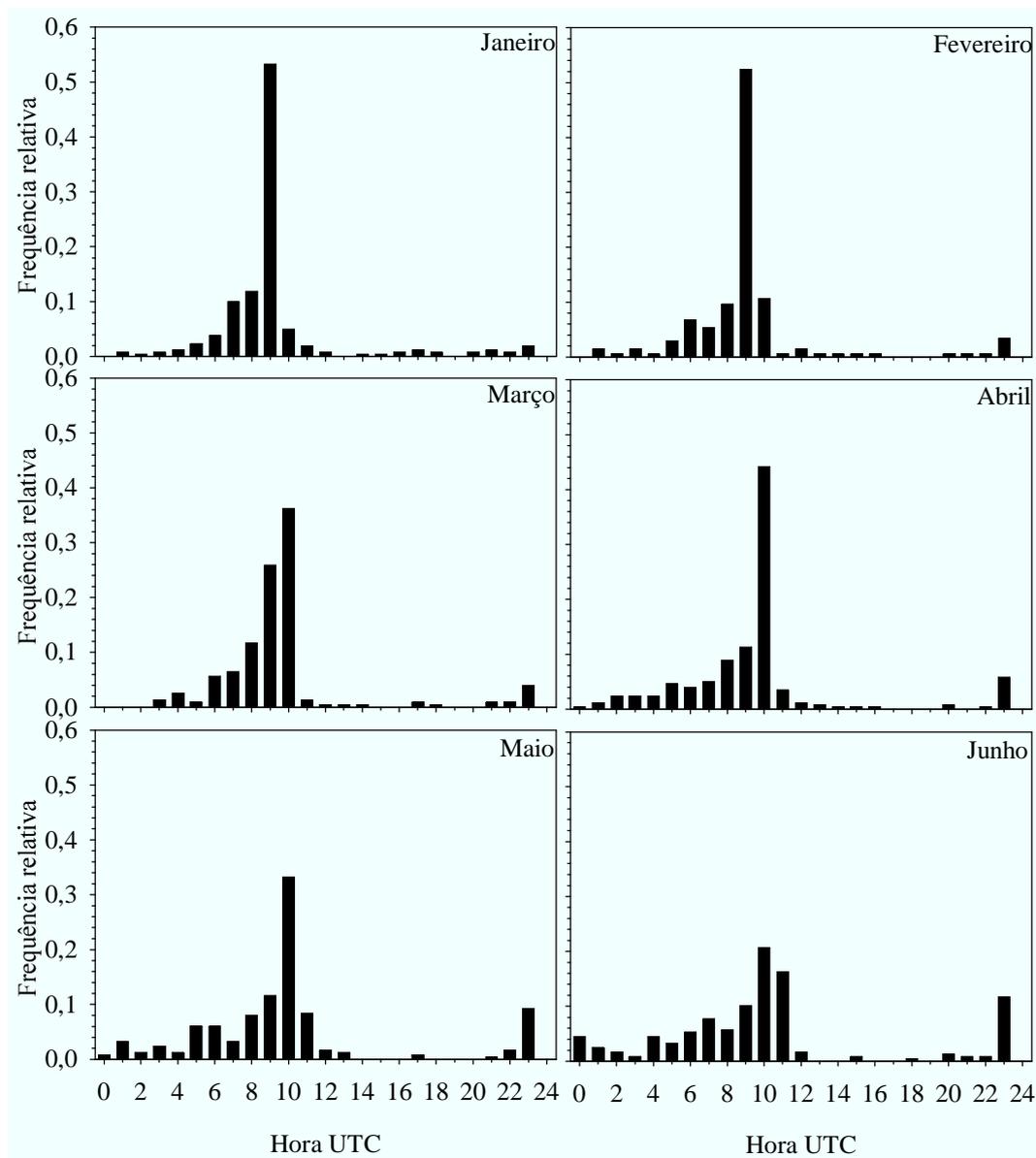


Figura 5 – Frequência relativa de ocorrência da temperatura mínima do ar em diferentes horários do dia nos meses do primeiro semestre do ano em Santa Maria/RS, no período de janeiro de 2002 a junho de 2011.

Salienta-se que a EMA-INMET geralmente registra a temperatura mínima do ar com atraso em relação ao real momento de ocorrência desta. Exemplificando, se o registro da EMA-INMET indica a ocorrência de T_{\min} às 09 h UTC, significa que esta ocorreu em algum momento no período compreendido entre as 08 h UTC e as 09 h UTC, não sendo possível discriminar o momento exato.

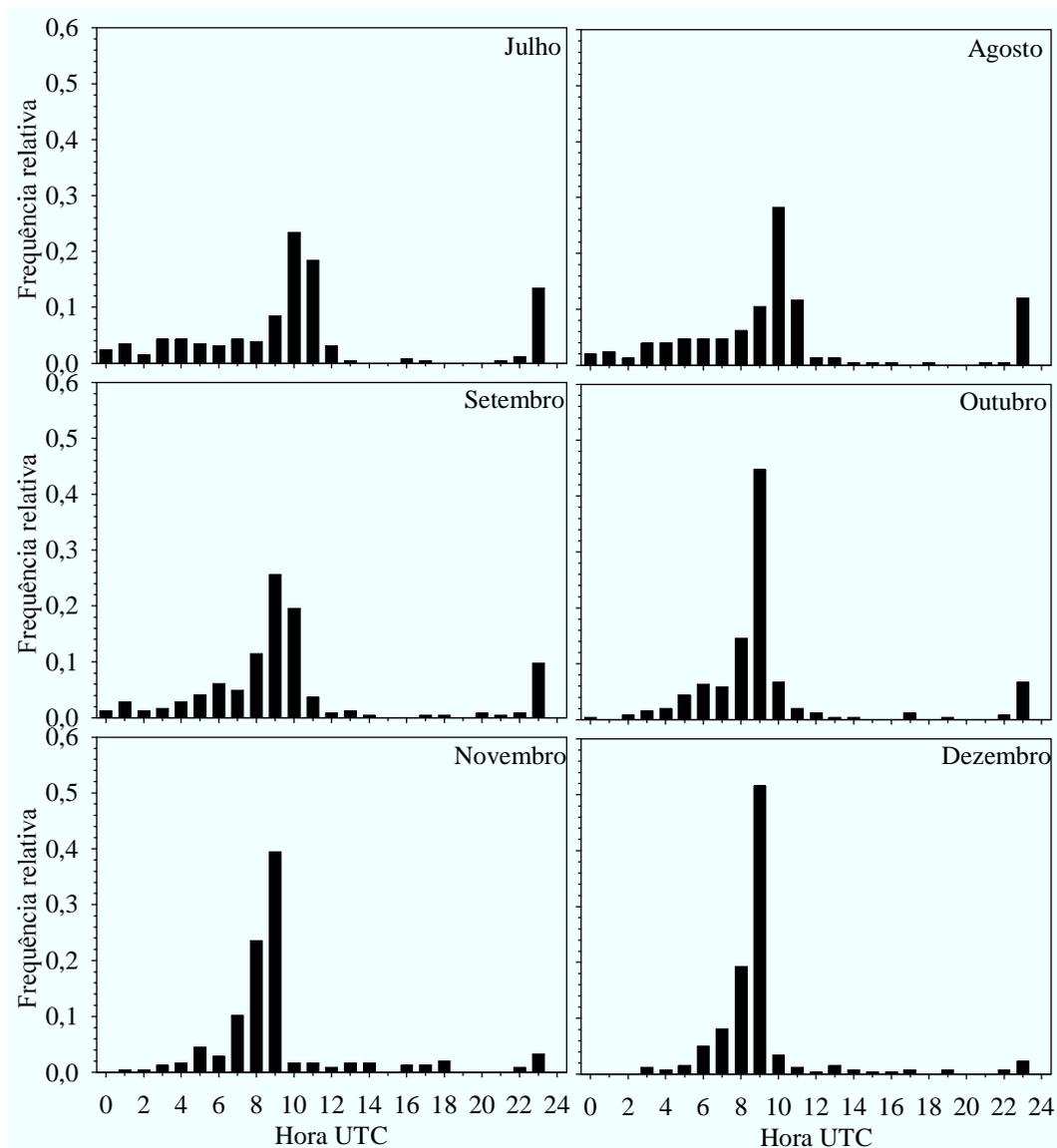


Figura 6 – Frequência relativa de ocorrência da temperatura mínima do ar em diferentes horários do dia nos meses do segundo semestre do ano em Santa Maria/RS, no período de janeiro de 2002 a junho de 2011.

Os meses que apresentam a tendência mais clara de que a temperatura mínima diária do ar fosse registrada em um determinado horário foram janeiro, fevereiro e dezembro, quando a frequência com que a T_{\min} foi registrada às 09 h UTC foi de 0,53, 0,52 e 0,52, respectivamente. Em junho, julho e setembro, a diferença de frequência entre os horários de registro da T_{\min} no dia foi menor, indicando maior variação no horário de seu registro. A diferença de frequência entre o horário predominante e o horário imediatamente posterior

nesses meses foi de até 0,06 (Figuras 5 e 6), sendo que essa incerteza no horário de ocorrência da $T_{mín}$ é uma fonte de desvio nas estimativas horárias dos elementos meteorológicos. É provável que essa distribuição diferente esteja associada à ocorrência de nevoeiros, pois nesse período a frequência desse fenômeno ainda é elevada, com 27 %, 17 % e 12 % dos dias com nevoeiro em junho, julho e setembro, respectivamente (Apêndice A).

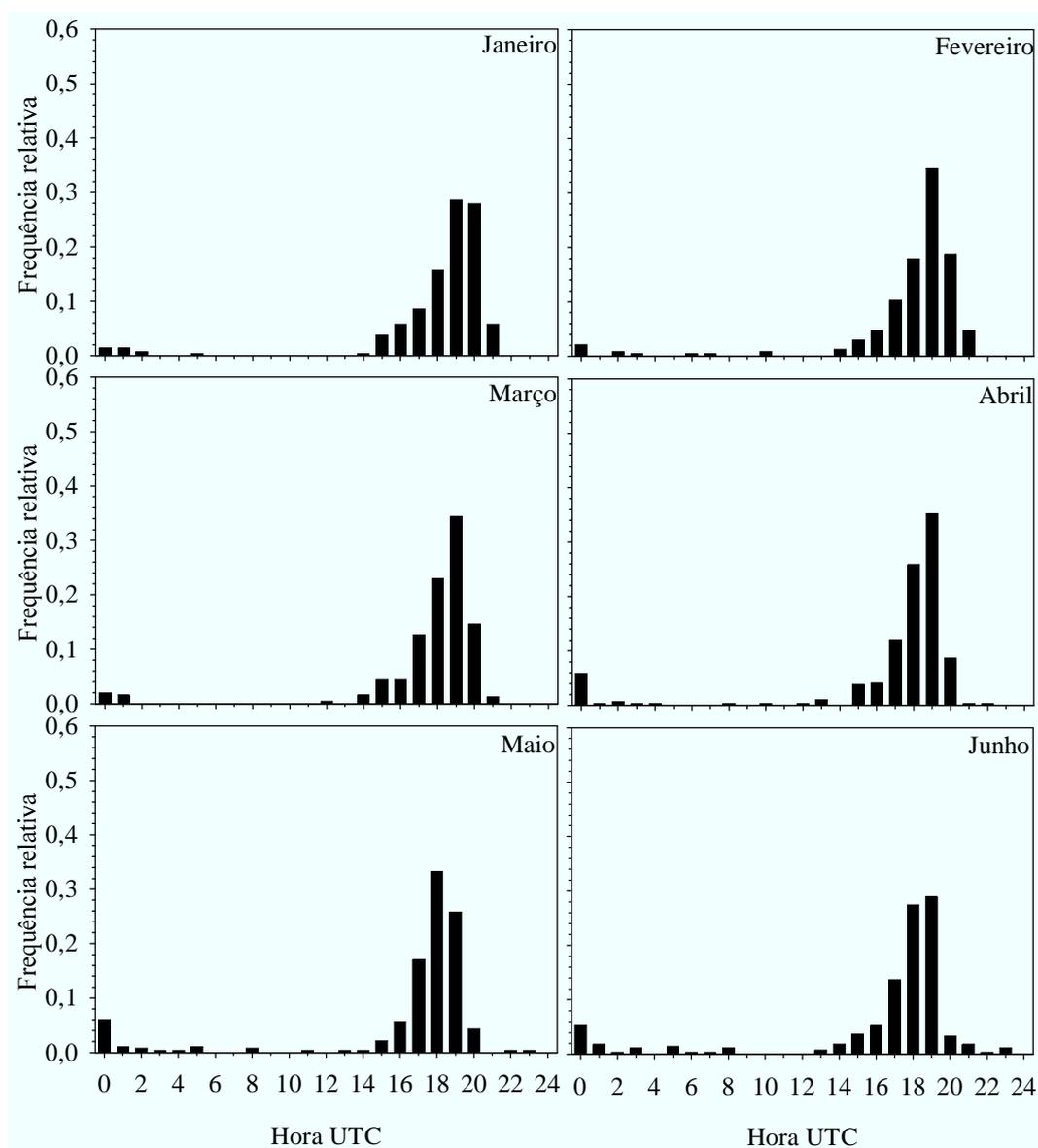


Figura 7 – Frequência relativa de ocorrência da temperatura máxima do ar em diferentes horários do dia nos meses do primeiro semestre do ano em Santa Maria/RS, no período de janeiro de 2002 a junho de 2011.

As Figuras 7 e 8 ilustram a frequência relativa de ocorrência da $T_{\text{máx}}$ nos diferentes horários. Em todos os meses do ano, a $T_{\text{máx}}$ ocorreu com maior frequência relativa às 18 h UTC ou às 19 h UTC. De abril a setembro a distinção do horário de ocorrência foi menos nítida do que nos demais meses, sendo que a diferença entre o horário predominante e o horário com a segunda maior frequência de ocorrência nesses meses foi pequena, não sendo maior do que 0,07. Isso provavelmente indique um desvio do horário médio de ocorrência da $T_{\text{máx}}$ em direção a esses horários com a segunda maior frequência relativa.

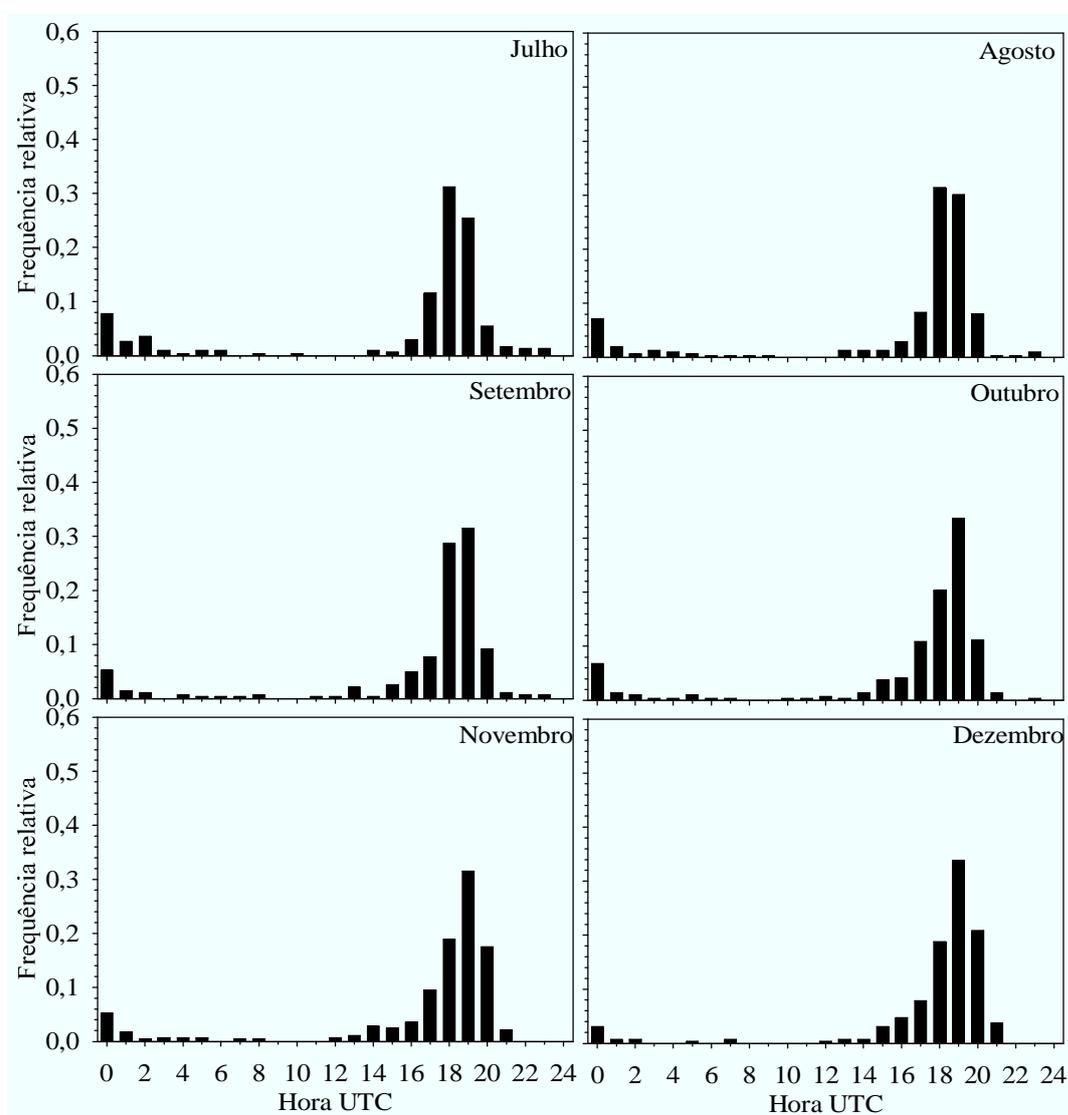


Figura 8 – Frequência relativa de ocorrência da temperatura máxima do ar em diferentes horários do dia nos meses do segundo semestre do ano em Santa Maria/RS, no período de janeiro de 2002 a junho de 2011.

De setembro a abril e em junho, a $T_{máx}$ ocorreu com maior frequência às 19 h UTC (16 h no horário oficial local). Em maio, julho e agosto esse horário é antecipado, predominando a ocorrência da $T_{máx}$ às 18 h UTC, embora a diferença de frequência não tenha ultrapassado 0,07. Em alguns meses, como junho e agosto, por exemplo, a diferença de frequência entre os dois horários em que a $T_{máx}$ mais ocorreu foi ainda menor, não passando de 0,02. Novamente, esses resultados apresentam concordância em relação aos apresentados por Strassburger et al. (2011), que observaram que a $T_{máx}$ ocorre com maior frequência nos horários próximos às 18 h UTC.

4.2.1.2 Funções para estimativa da temperatura do ar

As funções escolhidas, com base nos critérios estabelecidos para a estimativa da temperatura do ar estão expostas na Tabela 4. Observou-se que as funções senoidais, semelhantes às utilizadas por Pola e Angelocci (1993), apresentaram menor RQME na maioria dos horários (12 dos 21 horários). Em parte da madrugada e nos momentos imediatamente após os crepúsculos, quando as mudanças de temperatura do ar são mais acentuadas, a função linear, ou seja, a interpolação simples dos valores apresentou melhor desempenho se comparada à função senoidal. Para 00 h, 12 h e 18 h UTC não foi necessário efetuar a estimativa, visto que estes são dados disponíveis, pois são os horários convencionados de observação nas estações meteorológicas convencionais.

Nos meses de março a agosto, o horário assumido para a ocorrência da temperatura mínima diária do ar ($T_{mín}$) foi 10 h UTC. De setembro a fevereiro, o horário considerado para a ocorrência da $T_{mín}$ foi 09 h UTC. Esses horários foram definidos em função de serem os horários em que a $T_{mín}$ ocorre com a maior frequência nos respectivos meses, conforme resultados expostos nas Figuras 5 e 6. A função linear ajustou-se melhor para ser usada na estimativa da temperatura do ar às 09 h UTC e às 10 h UTC (Tabela 4), nos meses em que a temperatura considerada para este horário não foi a $T_{mín}$.

Os horários do dia em que foi possível obter os menores erros nas estimativas de temperatura do ar, indicados pelas menores RQMEs, foram às 01 h UTC e 23 h UTC, com o valor de 0,7 °C em ambos os horários. Os maiores valores da RQME, chegando a 1,6 °C às 21 h UTC, resultaram das estimativas para os horários mais distantes dos horários convencionados de medida. Verificou-se que, quanto mais distante, em termos de tempo, o

horário da estimativa está de um horário convencionado de medida na estação convencional, maior tende a ser o erro. Isso ocorre porque estimativas de temperatura do ar são baseadas nos valores observados nesses três horários. Nos horários imediatamente após os crepúsculos, as estimativas também tendem a ser menos precisas e exatas, tendo em vista que nesses horários geralmente a mudança de temperatura do ar é mais acentuada e as equações não são capazes de descrever tal mudança.

Tabela 4 – Funções utilizadas para a estimativa da temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$) em diferentes horários do dia e seus respectivos valores de raiz do quadrado médio do erro (RQME).

Hora UTC	RQME ($^{\circ}\text{C}$)		Função utilizada
	Linear	Senoidal	
0	-	-	-
1	0,8	0,7	Senoidal
2	1,1	1,0	Senoidal
3	1,2	1,2	Senoidal
4	1,3	1,3	Senoidal
5	1,4	1,5	Linear
6	1,4	1,5	Linear
7	1,4	1,5	Linear
8	1,4	1,5	Linear
9	1,3	1,4	Linear
10	1,2	1,4	Linear
11	0,9	1,2	Linear
12	-	-	-
13	1,1	0,9	Senoidal
14	1,6	1,3	Senoidal
15	1,8	1,4	Senoidal
16	1,6	1,3	Senoidal
17	1,1	0,9	Senoidal
18	-	-	-
19	1,3	1,0	Senoidal
20	1,9	1,3	Senoidal
21	1,7	1,6	Senoidal
22	1,2	1,4	Linear
23	0,7	1,0	Linear

Uma vez delimitado o tipo de função a ser utilizada para estimativa da temperatura em cada horário, os resultados permitiram a obtenção e a descrição das respectivas funções. Assim sendo, a partir da 01 h UTC até as 04 h UTC, as equações de estimativa da temperatura

do ar em cada horário, dependendo da variação temporal diária da temperatura do ar, conforme descrito no item Material e Métodos, são as seguintes:

se tipo 1:

$$T_t = T_{00} - (T_{00} - T_{\min}) \operatorname{sen} \left[\left(\frac{\pi}{2} \right) \left(\frac{t}{t_{\min}} \right) \right] \quad (14)$$

se tipo 2:

$$T_t = T_{00} - (T_{00} - T_{12}) \operatorname{sen} \left[\left(\frac{\pi}{2} \right) \left(\frac{t}{12} \right) \right] \quad (15)$$

em que T_t é a temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$) estimada para determinada hora t UTC, T_{00} é a temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$) às 00 h UTC, T_{12} é a temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$) às 12 h UTC, T_{\min} é a temperatura mínima diária do ar ($^{\circ}\text{C}$), t é a hora UTC para a qual é estimada a T_t e t_{\min} é a hora UTC considerada para a ocorrência da temperatura mínima diária do ar.

Das 05 h UTC até o horário de ocorrência da temperatura mínima do ar, a estimativa da temperatura do ar em cada horário ocorreu com os seguintes coeficientes nas funções de estimativa, dependendo da variação da temperatura do ar:

se tipo 1:

$$T_t = T_{00} - \left[(T_{00} - T_{\min}) \left(\frac{t}{t_{\min}} \right) \right] \quad (16)$$

se tipo 2:

$$T_t = T_{00} - \left[(T_{00} - T_{12}) \left(\frac{t}{12} \right) \right] \quad (17)$$

A partir do horário de ocorrência da temperatura mínima do ar até as 11 h UTC, a estimativa da temperatura do ar em cada horário ocorreu da seguinte forma:

se tipo 1:

$$T_t = T_{\min} + \left[(T_{12} - T_{\min}) \left(\frac{t - t_{\min}}{12 - t_{\min}} \right) \right] \quad (18)$$

se tipo 2:

$$T_t = T_{00} - \left[(T_{00} - T_{12}) \left(\frac{t}{12} \right) \right] \quad (19)$$

Das 13 h UTC as 17 h UTC, a estimativa da temperatura em cada horário ocorreu da seguinte forma:

$$T_t = T_{12} + (T_{18} - T_{12}) \operatorname{sen} \left[\left(\frac{\pi}{2} \right) \left(\frac{t-12}{18-12} \right) \right] \quad (20)$$

em que T_{18} é a temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$) às 18 h UTC.

Às 19 h UTC, às 20 h UTC e às 21 h UTC, a estimativa da temperatura em cada horário ocorreu da seguinte forma:

$$T_t = T_{00\ n+1} - (T_{00\ n+1} - T_{18}) \operatorname{sen} \left[\left(\frac{\pi}{2} \right) \left(\frac{24-t}{24-18} \right) \right] \quad (21)$$

em que $T_{00\ n+1}$ é a temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$) às 00 h UTC do dia seguinte.

Às 22 h UTC e às 23 h UTC, a estimativa da temperatura em cada horário ocorreu da seguinte forma:

$$T_t = T_{00\ n+1} - \left[(T_{00\ n+1} - T_{18}) \left(\frac{24-t}{24-18} \right) \right] \quad (22)$$

Na Figura 9, os pontos centrais das barras verticais indicam a média das diferenças entre as temperaturas estimadas pelas equações anteriormente descritas e os valores medidos na EMA-INMET em cada horário, referentes aos dados disponíveis dos anos 2002 a 2011. As extremidades das barras verticais descrevem o desvio padrão da média. A análise desses resultados confirma que quanto mais afastada temporalmente é a estimativa de um dos três horários de medida na estação convencional, maior é o módulo da diferença e o seu respectivo desvio padrão. Por outro lado, em horários mais próximos dos horários convencionados de medida, como às 01 h UTC, 23 h UTC, 11 h UTC e 13 h UTC, e nos horários do final da manhã e início da tarde (das 14 h UTC às 17 h UTC) a diferença média na maioria das vezes é menor do que nos demais horários, em geral, não ultrapassando $0,1\ ^{\circ}\text{C}$.

Há a tendência de subestimativa da temperatura do ar das 00 h UTC até às 04 h UTC e nos horários de ocorrência da $T_{\text{mín}}$ (09 h UTC e 10 h UTC), a qual chega ao seu maior valor em módulo às 04 h UTC (-0,19 °C). Ocorre, em média, superestimativa dos valores de temperatura do ar das 05 h UTC às 08 h UTC e às 11 h UTC, com o maior valor de desvio médio de superestimativa ocorrendo às 05 h UTC (0,43 °C).

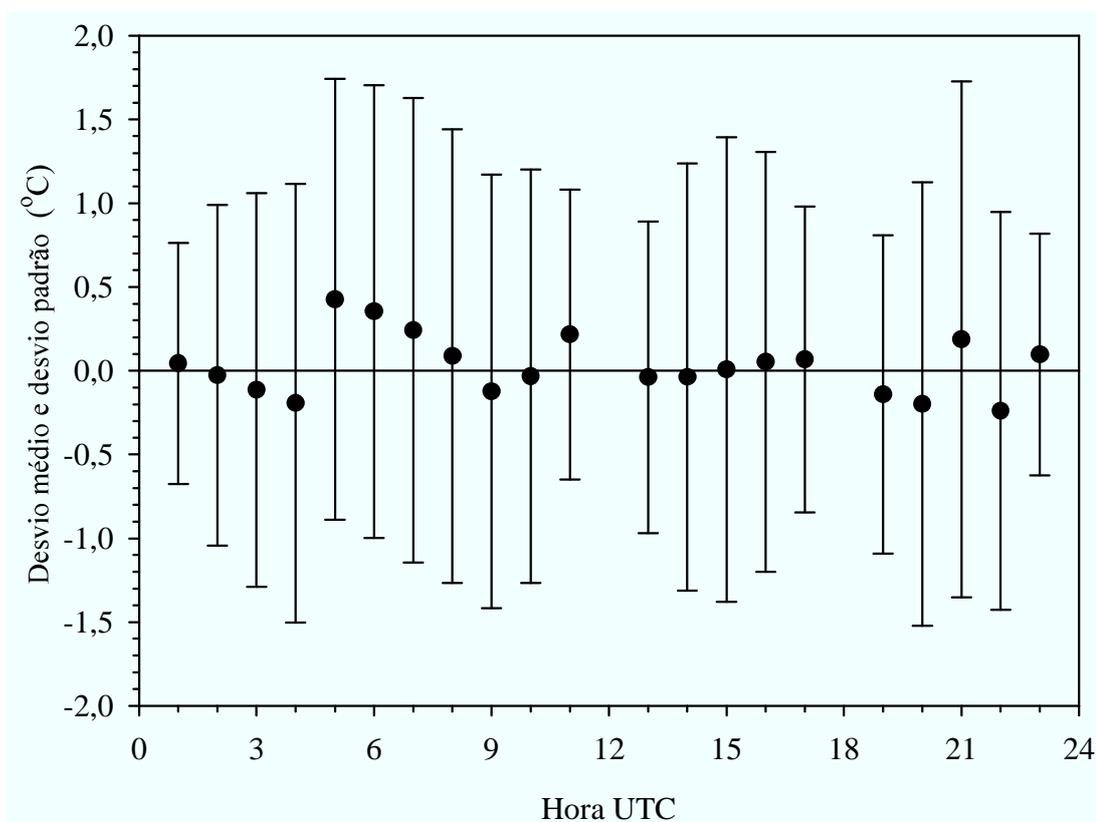


Figura 9 – Desvio médio e desvio padrão das estimativas de temperatura do ar (°C) em relação aos valores medidos em estação automática, em diferentes horários do dia tendo como base os valores dos horários convencionados de medida (00 h, 12 h e 18 h UTC) e a temperatura mínima diária do ar, no período de janeiro de 2002 a junho de 2011.

No período compreendido entre 12 h UTC e das 18 h UTC, o desvio médio, em módulo, não ultrapassa o valor de 0,07 °C, indicando que a função senoidal, utilizada para estimativa dos valores horários de temperatura do ar nesses horários foi exata. Contudo,

persistiu a tendência de maiores valores de desvio padrão da média nos horários mais distantes temporalmente dos horário convencionados de medida.

Ao final da tarde e início da noite houve, em média, subestimativa em alguns horários e superestimativa em outros. Nesse período do dia o desvio médio das estimativas variou entre $-0,24\text{ }^{\circ}\text{C}$ (22 h UTC) e $0,20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (20 h UTC). Também nesse período, às 21 h UTC, foi verificado o maior valor de desvio padrão em relação à média dentre todos os horários de estimativa ($1,54\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Os desvios médios obtidos nesse trabalho foram até 90 % menores do que os obtidos por Ramos et al. (2011). Assim, considerou-se que essas diferenças expressam precisão satisfatória para os fins das análises desejadas nesse trabalho, visto que os dados serão utilizados no sistema de previsão de doenças Blitecast, que conforme a Tabela 2 tem sua menor faixa de variação com $3,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ (entre $11,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $15,0\text{ }^{\circ}\text{C}$), valor 7,7 vezes maior que a maior diferença média de estimativa, verificada para as 05 h UTC (Figura 9).

Os dados de temperatura do ar estimados em cada horário do dia foram comparados aos valores observados para esses mesmos horários na EMA-INMET (Figuras 10 e 11). Em geral, o coeficiente de determinação (R^2) das regressões lineares em cada horário, tendo os dados estimados com variável independente (x) e os dados observados como variável dependente (y), variou de 0,94 até 0,98, indicando que a variância de y é explicada, no mínimo, em 94% pela variância de x.

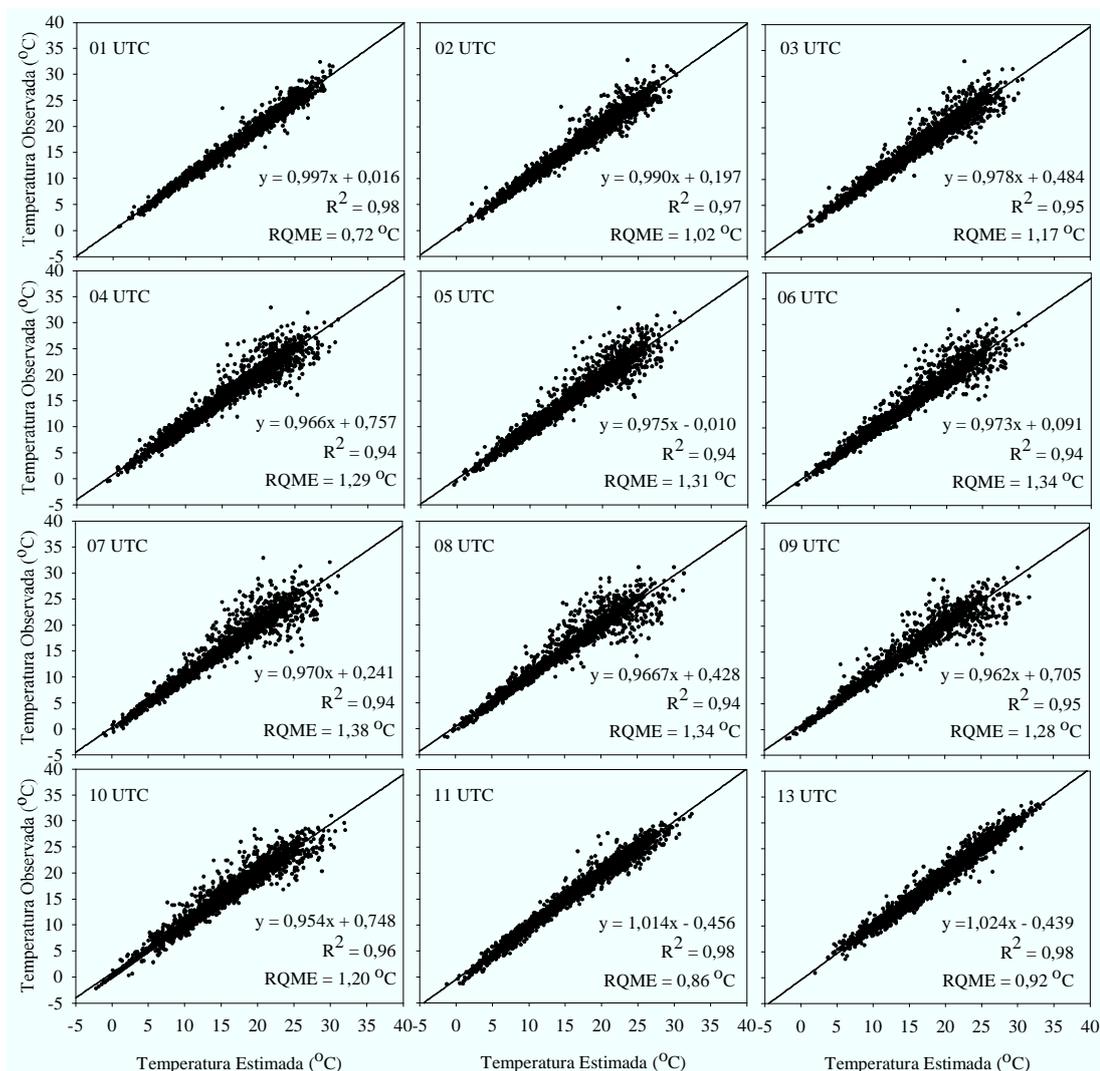


Figura 10 – Relação entre os valores de temperatura do ar (°C) estimada e observada em estação automática, nos horários das 01 h UTC (*Universal Time Coordinated*) até as 13 h UTC, excetuando-se o horário das 12 h UTC, para o período de janeiro de 2002 a junho de 2011.

Janssen e Heuberger (1995) descrevem que a raiz quadrada do quadrado médio do erro (RQME) é uma medida de precisão mais sensível a valores extremos, chamados de “outliers”, do que o erro médio e que quando um modelo descreve bem os dados o valor da RQME é baixo, semelhante ao valor do desvio padrão da média dos erros. Isso foi verificado, sugerindo que os modelos apresentaram boa precisão para a estimativa da temperatura do ar nos diferentes horários do dia.

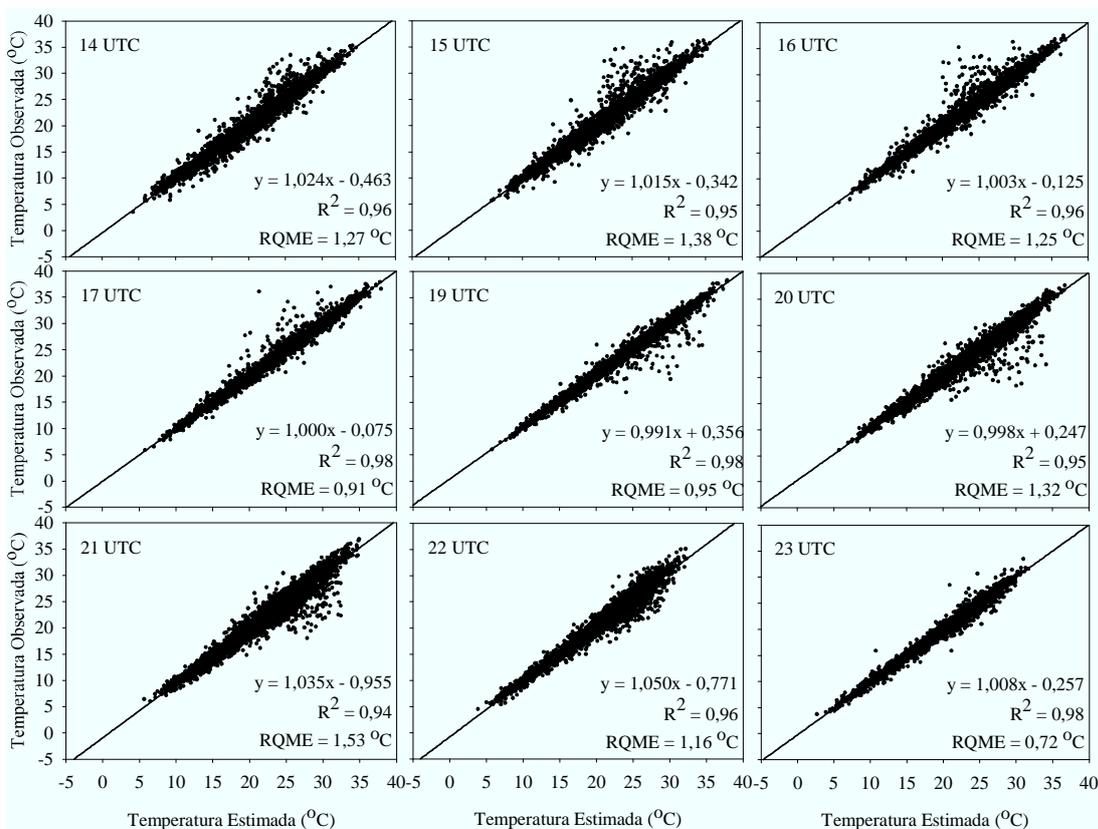


Figura 11 – Relação entre os valores de temperatura do ar (°C) estimada e observada em estação automática, nos horários das 14 h UTC (*Universal Time Coordinated*) até as 23 h UTC, excetuando-se o horário das 18 h UTC, para o período de janeiro de 2002 a junho de 2011.

Em 76 % dos horários de estimativa a temperatura do ar estimada pelos modelos diferiu em menos de 1 °C do valor observado para o mesmo horário na EMA-INMET (Figura 12). Adicionalmente, em 7 % dos momentos a diferença foi maior do que 2 °C, sendo que em apenas 3 % o erro foi superior a 3 °C. Assim, em 97 % das ocasiões, a temperatura do ar estimada apresentou um desvio menor do que a mais estreita faixa de temperatura do ar utilizada para o cômputo dos valores de severidade calculada pelo sistema Blitecast (Tabela 2). Além disso, a maioria dos desvios de temperatura do ar de magnitude superior a 3 °C ocorrem sob alta velocidade do vento e ou baixa umidade relativa do ar, geralmente causadas por vento norte, um vento com características de “Föhn” com condições meteorológicas desfavoráveis à requieima. De tal modo, considerou-se que a precisão das estimativas horárias de temperatura do ar é satisfatória para os fins desejados nesse trabalho.

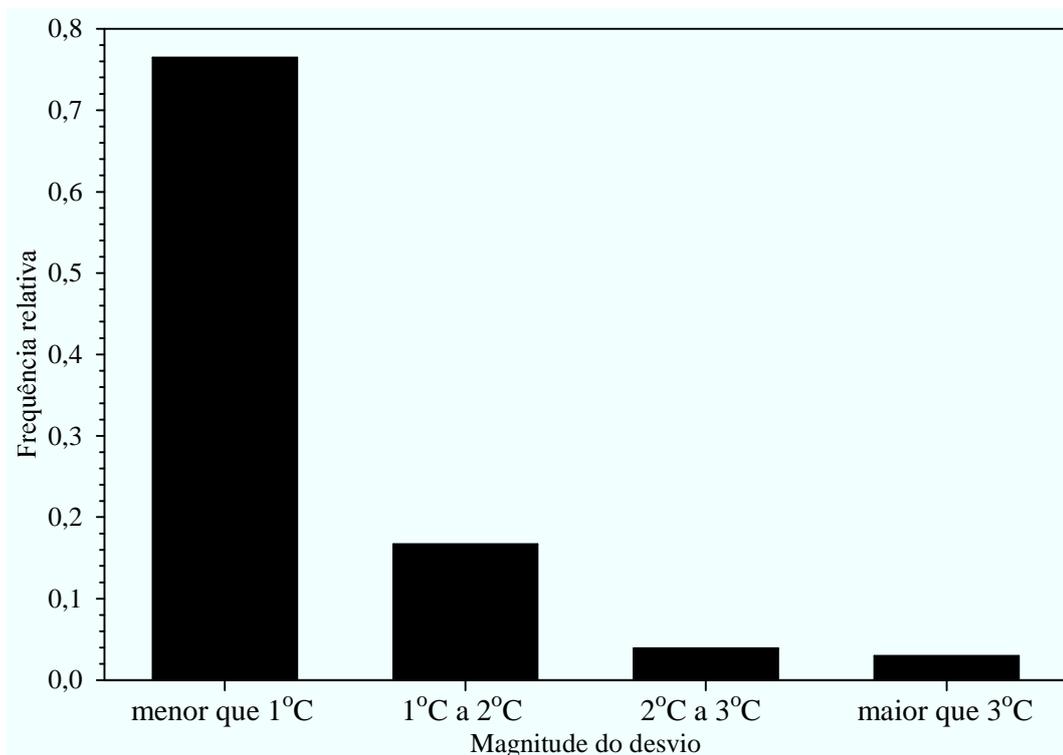


Figura 12 – Frequência de ocorrência de desvios de diferentes magnitudes nas estimativas de temperatura do ar em relação aos valores medidos em estação automática, tendo como base os valores dos horários convencionados de medida (00 h, 12 h e 18 h UTC) e a temperatura mínima diária do ar, no período de janeiro de 2002 a junho de 2011.

Os resultados de uma análise adicional, para entender melhor os efeitos que o erro nas estimativas de temperatura do ar pode ter sobre o cálculo dos valores de severidade calculada (VSC), são apresentados na forma de médias calculadas e desvios padrão das diferenças de estimativa nas diferentes faixas da Tabela de Krause, Massie e Hyre (1975) na Figura 13. Observou-se que a tendência em todas as faixas de temperatura do ar é de superestimativa. O maior valor do módulo da diferença acontece em temperaturas menores do que 7,2 °C (-0,24 °C).

Embora nos momentos em que a temperatura do ar esteve acima de 15 °C o desvio médio tenha sido praticamente nulo (0,01 °C) foi observado o maior desvio padrão dentre as faixas de temperatura do ar (1,28 °C), o que é esperado, visto que quanto maior for a temperatura, tanto maior tende a ser sua variação em um período de tempo, podendo assim incorrer em maiores erros na estimativa. Contudo, temperaturas acima de 15 °C predominam em período diurno, quando geralmente não há condição de molhamento foliar. O desvio

padrão tende a decrescer com o decréscimo da temperatura do ar. Assim, pode-se inferir que dificilmente os equívocos na estimativa da temperatura do ar ocasionarão erros diretos no cálculo dos VSC.

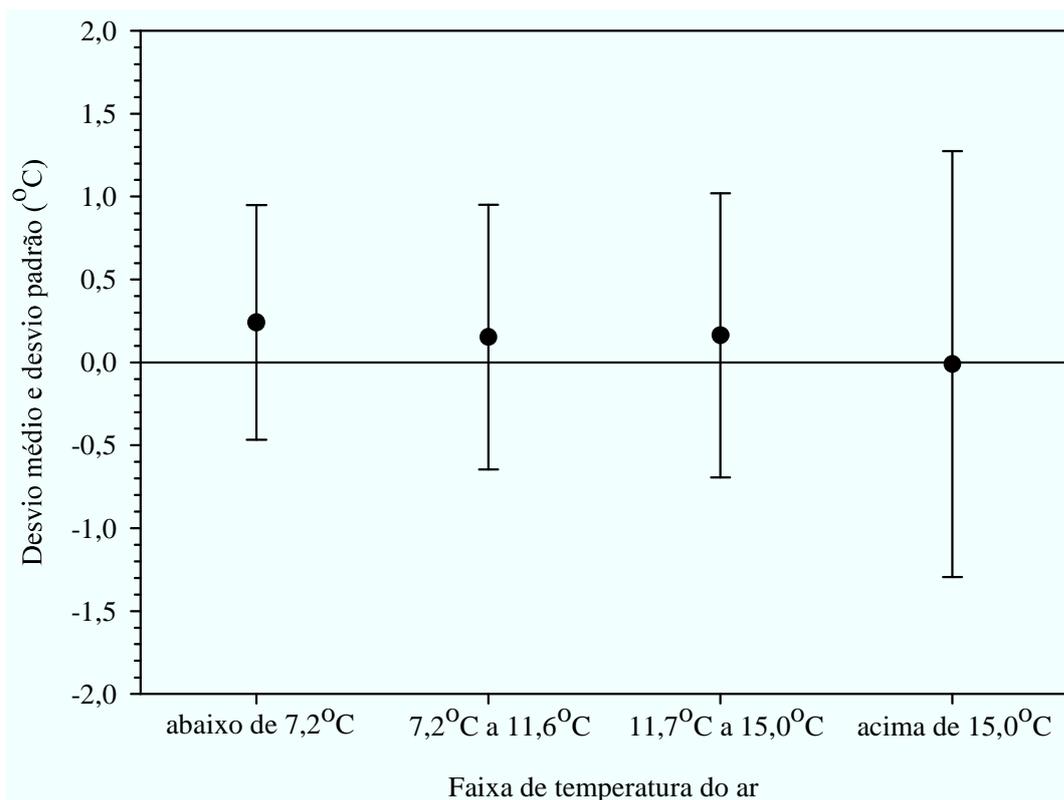


Figura 13 – Desvio médio e desvio padrão das estimativas de temperatura do ar (°C), em relação aos valores medidos em estação automática, nas diferentes faixas de temperatura do ar da tabela do sistema Blitecast de previsão de doenças (KRAUSE; MASSIE; HYRE, 1975) em relação aos valores medidos de temperatura do ar, no período de janeiro de 2002 a junho de 2011.

Em alguns tipos específicos de dias, especialmente em alguns horários, houve tendência de ocorrerem maiores valores de erros nas estimativas de temperatura do ar. Para representar esses dias de variação típica e atípica, na Figura 14 foi apresentada a variação temporal da temperatura do ar observada e da temperatura do ar estimada pelos modelos em quatro desses dias. Na Figura 14A tem-se a variação da temperatura do ar típica de um dia normal, em que os modelos foram eficientes em estimar a temperatura do ar a partir das

leituras nos três horários convencionados (00 h, 12 h e 18 h UTC) e da temperatura mínima diária do ar.

No dia 11/05/2003 a temperatura mínima do ar não ocorreu no horário assumido nos modelos de estimativa para sua ocorrência (10 h UTC), ocorrendo às 06 h UTC e passando a aumentar a partir desse horário (Figura 14 B) como consequência da advecção de calor. Como a temperatura do ar na madrugada foi estimada com base nesse horário de ocorrência, ocorreu superestimativa até o horário das 06 h UTC e subestimativa a partir das 08 h UTC até as 11 h UTC. Esse erro decorreu, portanto, do erro no horário de ocorrência da temperatura mínima diária do ar.

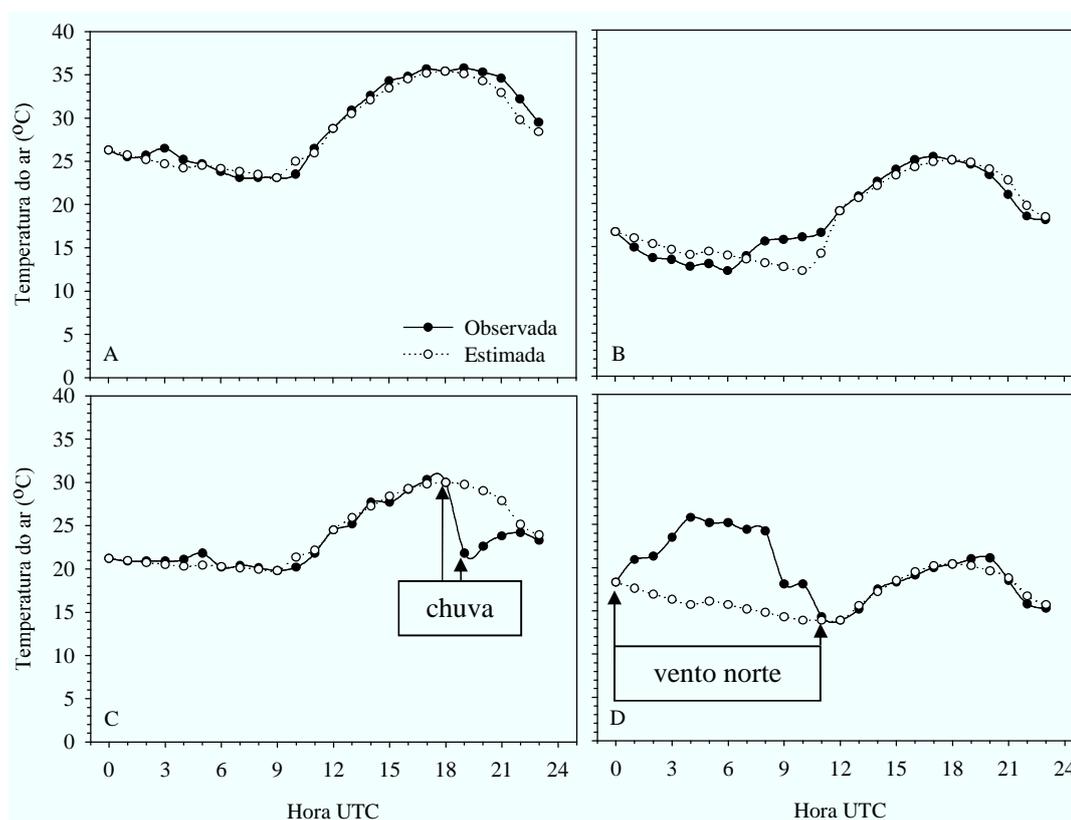


Figura 14 – Variação temporal diária da temperatura do ar observada em estação automática, e estimada ($^{\circ}\text{C}$), nos dias: 27/02/2003 (A), 11/05/2003 (B), 29/01/2009 (C) e 21/04/2006 (D).

Durante a tarde, após as 18 h UTC, eventualmente ocorrem chuvas em Santa Maria, especialmente no verão. Esses eventos provocam um decréscimo súbito da temperatura do ar,

conforme se visualiza na Figura 14 C, para o dia 29/01/2009. Nesses momentos, a estimativa é comprometida e verificam-se importantes superestimativas de temperatura do ar até por volta das 22 h UTC ou 23 h UTC. O efeito da chuva nos valores de severidade está indiretamente computado pelo aumento da UR, mas com a superestimativa da temperatura do ar (geralmente favorável à doença) estima-se maior pressão de saturação, resultando em subestimativa da UR e do molhamento foliar (desfavorável). Portanto, um erro favorável à doença é compensado por um erro desfavorável, o que em análise numérica de uma série histórica pode ser considerado como efeito neutro, ou desprezível.

Ao contrário do que geralmente ocorre em dias com variação típica, também há dias em que a temperatura do ar não decresce durante o período noturno e sim, aumenta (Figura 14 D). Nesses dias tem-se a tendência de subestimativa da temperatura do ar nesses horários. Em Santa Maria, na maior parte dos casos, esse acréscimo é registrado na madrugada devido ao efeito da advecção de calor, como consequência de vento Norte. Nessas condições o ambiente é desfavorável para a formação de orvalho sobre as folhas.

Uma hipótese para melhorar as estimativas de temperatura do ar nas situações descritas, seria a utilização dos valores registrados em pluviógrafos ou anemógrafos. Contudo, essas alternativas demandariam um excessivo trabalho manual, visto que a maioria desses dados não é digital e, por outro lado, traria poucos benefícios, visto que os modelos da forma como estão demonstram exatidão e precisão satisfatórias para os fins desejados nesse trabalho. Nesse caso seria mais prático cotar os valores horários de temperatura do ar diretamente dos termogramas, o que não é o objetivo do atual trabalho, em que se busca uma metodologia prática e simples de estimativa aplicável ao banco de dados não só de Santa Maria, mas que sirva para os dados de outros locais.

4.2.2 Umidade relativa do ar

Para a estimativa da umidade relativa do ar (UR), conforme descrito anteriormente no item Material e Métodos, os valores estimados da pressão parcial de saturação de vapor d'água no ar são os primeiros resultados a considerar. Esse valor é necessário para calcular a UR, uma vez feita a estimativa da temperatura do ar e a correspondente pressão de saturação de vapor d'água no ar.

A interpolação linear (função linear) dos valores de pressão parcial de vapor d'água no ar proporcionou valores menores, ou no máximo iguais, de RQME em relação às funções senoidais em todos os horários do dia (Tabela 5). Por isso a interpolação foi escolhida para a estimativa da pressão parcial de vapor d'água no ar. A melhor estimativa se explica pelo fato de que o teor de vapor d'água no ar é dependente principalmente da evapotranspiração da superfície vegetada, que é um processo lento, da densidade dossel e da taxa de renovação do ar junto ao dossel, causada pelo vento, da taxa de condensação e evaporação de orvalho (VAN EIMERN, 1964) e da limitação imposta pela temperatura do ar à sua capacidade de conter vapor d'água.

Em condições de vento as variações da pressão parcial de vapor d'água no ar são pequenas, com pequeno acréscimo no período diurno e decréscimo proporcional ao decréscimo da temperatura do ar durante a noite. Nos dias com vento, em que ao final do dia o movimento do ar tende a calmaria, ocorre um rápido aumento da pressão parcial de vapor d'água no ar, principalmente acima de dosséis de plantas de baixo porte, como batata e gramado (BERGER-LANDEFELDT; KIENDL; DANNENBERG, 1956; VAN EIMERN, 1964; HELDWEIN, 1993). Contudo, em geral esses aumentos são menores do que 1,5 hPa, sendo a duração desses picos menor do que duas horas (HELDWEIN, 1993). Também por isso a função linear apresentou valores de RQME menores, ou ao menos iguais, em relação a função senoidal.

Para os horários da noite e madrugada, verificou-se diminuição nos valores de RQME das estimativas de pressão parcial de vapor d'água no ar quando utilizada a seguinte condição de contorno: quando a pressão parcial de vapor d'água no ar na hora da temperatura mínima diária do ar ($e_{t_{\min}}$) interpolada entre as leituras de 00 h e 12 h UTC fosse maior que a pressão de saturação de vapor d'água no ar, calculada com base na temperatura mínima do ar ($e_{s_{t_{\min}}}$), seria assumido que a pressão parcial de vapor d'água no ar nesse horário ($e_{t_{\min}}$), por estar superestimada, passaria a ser igual à $e_{s_{t_{\min}}}$ e então foi feita uma nova interpolação de pressão parcial de vapor d'água no ar, considerando esse horário (Tabela 5). Assim, esse procedimento que foi semelhante ao utilizado para estimativa da temperatura do ar, sendo denominado "Linear c/ mín", proporcionou melhora nas estimativas. Também a estimativa pela da função senoidal, utilizando a metodologia do horário da temperatura mínima (Senoidal c/ mín), proporcionou um ganho em relação ao uso da mesma função sem a condição de contorno. Por isso, essa condição de contorno foi implementada, sendo os valores de pressão parcial de vapor d'água no ar estimados com essa correção os utilizados para calcular a UR utilizada no sistema Blitecast.

Tabela 5 – Funções utilizadas para a estimativa da pressão parcial de vapor d'água no ar (hPa) em diferentes horários do dia e seus respectivos valores de raiz do quadrado médio do erro (RQME).

Hora UTC	RQME (hPa)				Função utilizada
	Lin ¹	Sen ²	Lin c/ mín ³	Sen c/ mín ⁴	
0	-	-	-	-	-
1	0,7	0,7	0,7	0,7	Lin c/ mín
2	0,9	0,9	0,9	0,9	Lin c/ mín
3	1,1	1,1	1,0	1,0	Lin c/ mín
4	1,2	1,2	1,1	1,1	Lin c/ mín
5	1,3	1,4	1,1	1,1	Lin c/ mín
6	1,4	1,5	1,1	1,1	Lin c/ mín
7	1,5	1,6	1,1	1,2	Lin c/ mín
8	1,5	1,6	1,1	1,1	Lin c/ mín
9	1,5	1,6	1,0	1,0	Lin c/ mín
10	1,3	1,4	0,9	0,9	Lin c/ mín
11	0,9	0,9	0,7	0,7	Lin c/ mín
12	-	-	-	-	-
13	0,8	0,8	-	-	Lin
14	1,1	1,2	-	-	Lin
15	1,2	1,3	-	-	Lin
16	1,1	1,2	-	-	Lin
17	1,0	1,0	-	-	Lin
18	-	-	-	-	-
19	0,9	0,9	-	-	Lin
20	1,1	1,2	-	-	Lin
21	1,2	1,3	-	-	Lin
22	0,9	1,0	-	-	Lin
23	0,7	0,7	-	-	Lin

¹ Interpolação linear dos valores; ² Função senoidal; ³ Interpolação linear dos valores, com correção considerando que quando a pressão parcial de vapor d'água no ar estimada para o horário da temperatura mínima diária do ar (T_{\min}) foi maior do que a pressão de saturação de vapor d'água no ar calculada para T_{\min} , as pressões foram consideradas iguais, então feita uma nova interpolação de pressão parcial de vapor d'água no ar, considerando esse horário; ⁴ Função senoidal, considerando que quando a pressão parcial de vapor d'água no ar estimada para o horário da T_{\min} foi maior do que a pressão de saturação de vapor d'água no ar calculada para T_{\min} , as pressões foram consideradas iguais e então feita uma nova interpolação considerando esse horário.

Os menores valores de RQME, a exemplo do que aconteceu com a estimativa de temperatura do ar, foram obtidos nos horários contíguos às 00 h UTC e às 12 h UTC, indicando assim as faixas de horários em que foi possível obter maior precisão nas estimativas. Os maiores valores de RQME ($RQME \geq 1,1$ hPa) foram observados nas estimativas para os horários mais distantes dos convencionados de medida, a exemplo do que ocorreu com as estimativas de temperatura do ar.

Com base nos valores de pressão parcial de vapor d'água no ar nos horários convencionados, foi realizada a estimativa para os demais horários do dia. Assim, na estimativa a partir das 01 h UTC até as 11 h UTC a equação base definida na metodologia resultou em:

$$e_t = e_{00} - \left[(e_{00} - e_{12}) \left(\frac{t}{12} \right) \right] \quad (23)$$

em que e_t é a pressão parcial de vapor d'água no ar (hPa) estimada para determinada hora "t" UTC, e_{00} é a pressão parcial de vapor d'água no ar (hPa) às 00 h UTC, e_{12} é a pressão parcial de vapor d'água no ar (hPa) às 12 h UTC e t é a hora UTC para a qual foi estimada a e_t .

Quando a pressão parcial de vapor d'água no ar na hora da temperatura mínima diária do ar, interpolada pela equação anterior, foi maior que a pressão de saturação de vapor d'água no ar, calculada com base na temperatura mínima do ar, os resultados foram melhores quando se assumiu que a pressão parcial de vapor d'água no ar nesse horário é igual à pressão de saturação de vapor d'água calculada com a temperatura mínima do ar. Nesse caso, a interpolação a partir das 01 h UTC até o horário em que ocorre a temperatura mínima do ar resultou da equação:

$$e_t = e_{00} - \left[(e_{00} - e_{s_{T_{\min}}}) \left(\frac{t}{t_{\min}} \right) \right] \quad (24)$$

em que $e_{s_{T_{\min}}}$ é a pressão de saturação de vapor d'água no ar (hPa) calculada com a temperatura mínima diária do ar e t_{\min} é a hora UTC de ocorrência da temperatura mínima diária do ar.

Por consequência, nesse caso após o horário da temperatura mínima do ar até as 11 h UTC, a estimativa da pressão parcial de vapor d'água no ar em cada horário resultou na utilização da seguinte equação:

$$e_t = e_{s_{T_{\min}}} + \left[(e_{12} - e_{s_{T_{\min}}}) \left(\frac{t - t_{\min}}{12 - t_{\min}} \right) \right] \quad (25)$$

Das 13 h UTC às 117 h UTC, a pressão parcial de vapor d'água no ar em cada horário foi mais bem estimada com os seguintes parâmetros no modelo analítico:

$$e_t = e_{12} + \left[(e_{18} - e_{12}) \left(\frac{t - 12}{18 - 12} \right) \right] \quad (26)$$

em que e_{18} é a pressão parcial de vapor d'água no ar (hPa) às 18 h UTC.

Das 19 h UTC até as 23 h a estimativa da pressão parcial de vapor d'água no ar em cada horário foi computada com melhor acurácia, utilizando os parâmetros:

$$e_t = e_{18} - \left[(e_{18} - e_{00_{n+1}}) \left(\frac{t - 18}{24 - 18} \right) \right] \quad (27)$$

em que $e_{00_{n+1}}$ é a pressão parcial de vapor d'água no ar (hPa) às 00 h UTC do dia seguinte.

Nas estimativas de pressão parcial de vapor d'água no ar, verifica-se que, de forma semelhante ao que acontece com a temperatura do ar, quanto mais distante dos horários convencionados de medida, mais expressiva tende a ser o desvio médio e o desvio padrão da estimativa (Figura 15 A). Nos horários da madrugada são registradas as maiores diferenças, com superestimativa média de 0,6 hPa e desvio padrão de $\cong 1,0$ hPa, enquanto que no final da manhã e início da tarde existe a tendência de subestimativa que pode atingir -0,4 hPa às 15 h UTC, com desvio padrão de 1,1 hPa. Tal como ocorreu com a temperatura do ar, quanto mais próximo dos horários convencionados de medida, maior foi a precisão e a exatidão das estimativas da pressão parcial de vapor d'água no ar, sendo estas descritas pelas estatísticas RQME (Tabela 5) e pelas médias e desvio padrão das diferenças, respectivamente.

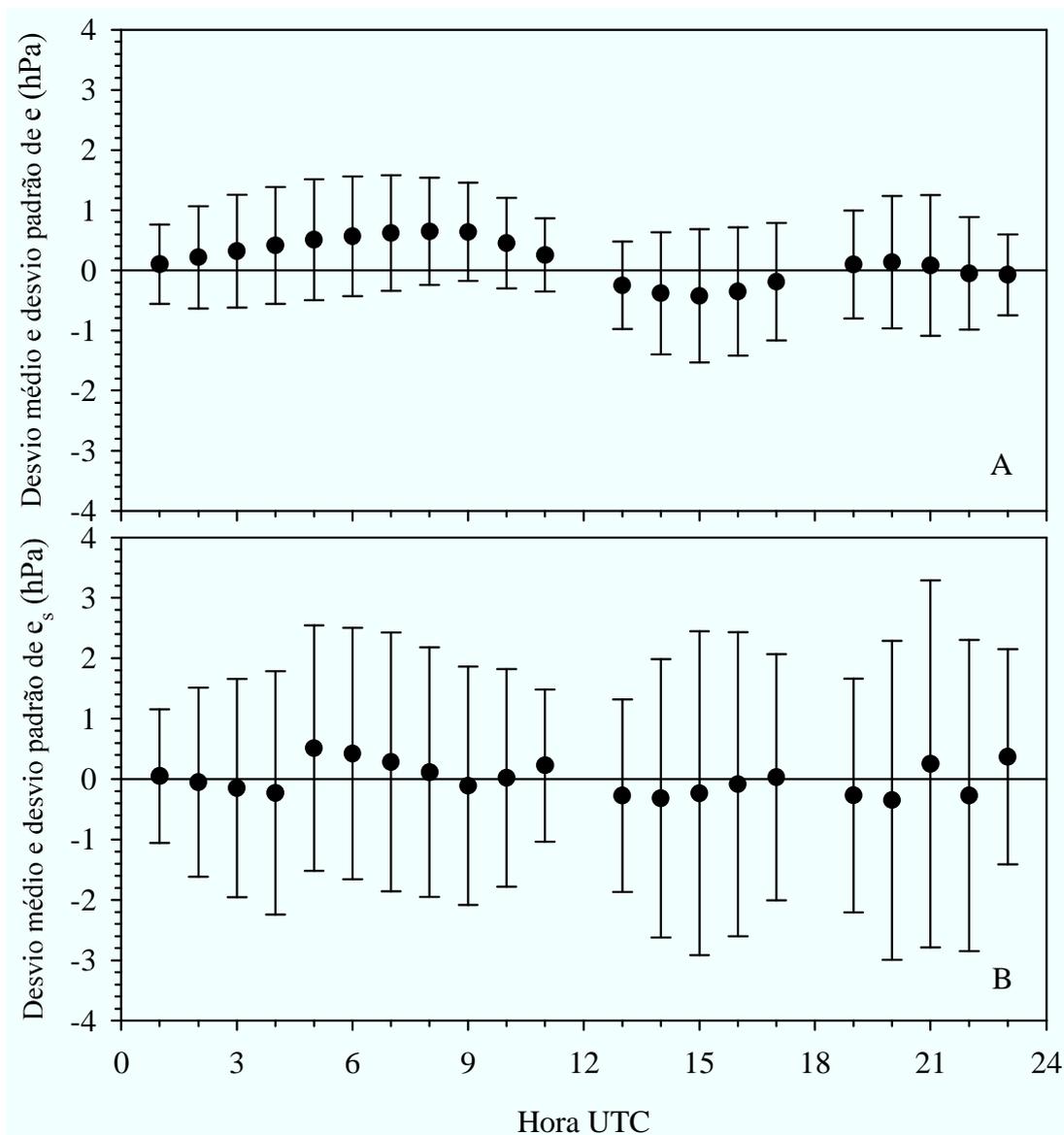


Figura 15 – Desvio médio e desvio padrão das estimativas de pressão parcial (e) (A) e de saturação (e_s) (B) de vapor d'água no ar em relação aos valores medidos em estação automática, em diferentes horários do dia, tendo como base os valores dos horários convencionados de medida em estação convencional, no período de janeiro de 2002 a junho de 2011.

Como consequência do erro na estimativa da temperatura do ar, a pressão de saturação de vapor d'água no ar também apresentou diferenças em relação aos valores reais, com o mesmo sinal da diferença de temperatura do ar para o respectivo horário de estimativa (Figura

15 B). A maior diferença média foi observada às 05 h UTC (0,51 hPa) e as menores diferenças ocorreram às 17 h UTC e às 01 h UTC (0,02 hPa e 0,04 hPa, respectivamente).

Os erros nas estimativas da pressão parcial e de saturação de vapor d'água no ar tiveram influência nos valores estimados de umidade relativa do ar. Durante a madrugada, a superestimativa de pressão parcial de vapor d'água no ar, aliada à subestimativa de pressão de saturação de vapor d'água no ar, resultou em superestimativa da UR, que atingiu desvio médio máximo de 4,0 %, observado às 09 h UTC, com desvio padrão de 7,1 % (Figura 16).

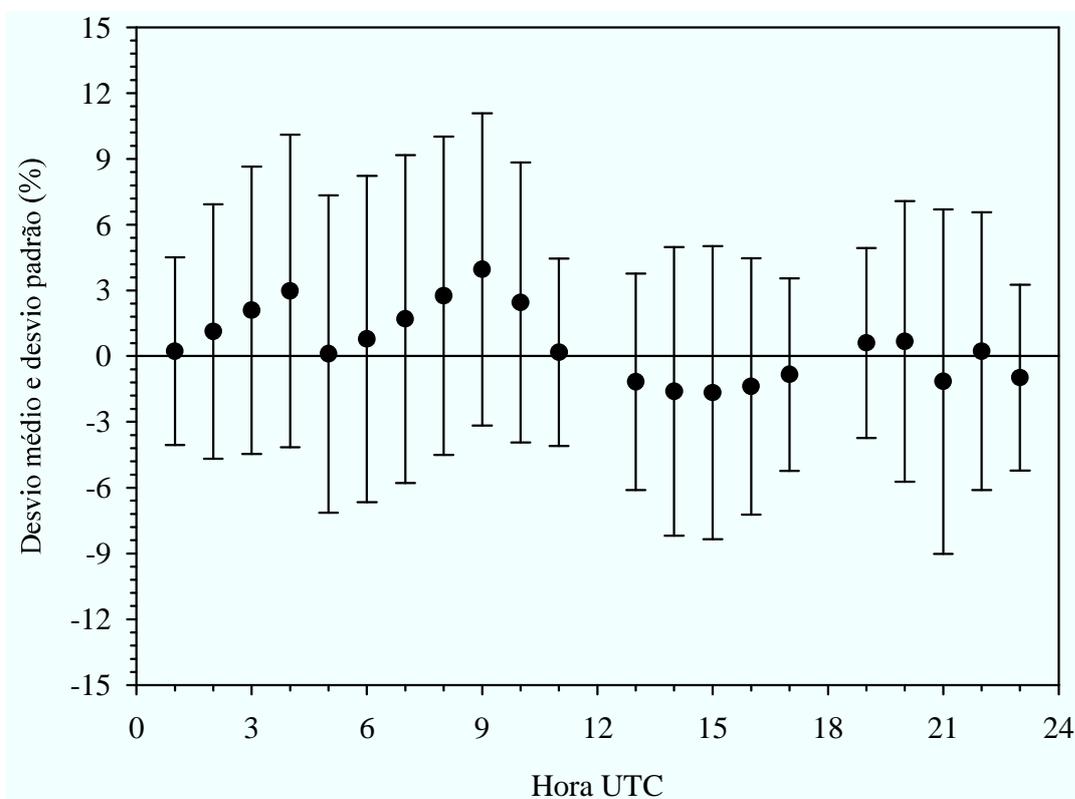


Figura 16 – Desvio médio e desvio padrão dos valores estimados de umidade relativa do ar em relação aos valores medidos em estação automática, em diferentes horários do dia tendo como base os valores dos horários convencionados de medida e a temperatura mínima diária do ar, no período de janeiro de 2002 a junho de 2011.

No final da manhã e início da tarde ocorreu o contrário, havendo tendência de subestimativa de UR, como consequência da predominância de subestimativa da pressão parcial de vapor d'água no ar. A maior diferença média observada nesse período do dia foi de

-1,7 %, às 15 h UTC, com desvio padrão de 6,7 %. Das 19 h UTC em diante, não há uma tendência definida de super ou subestimativa, ocorrendo apenas desvios médios menores que 1,2 %, ora de subestimativa, ora de superestimativa.

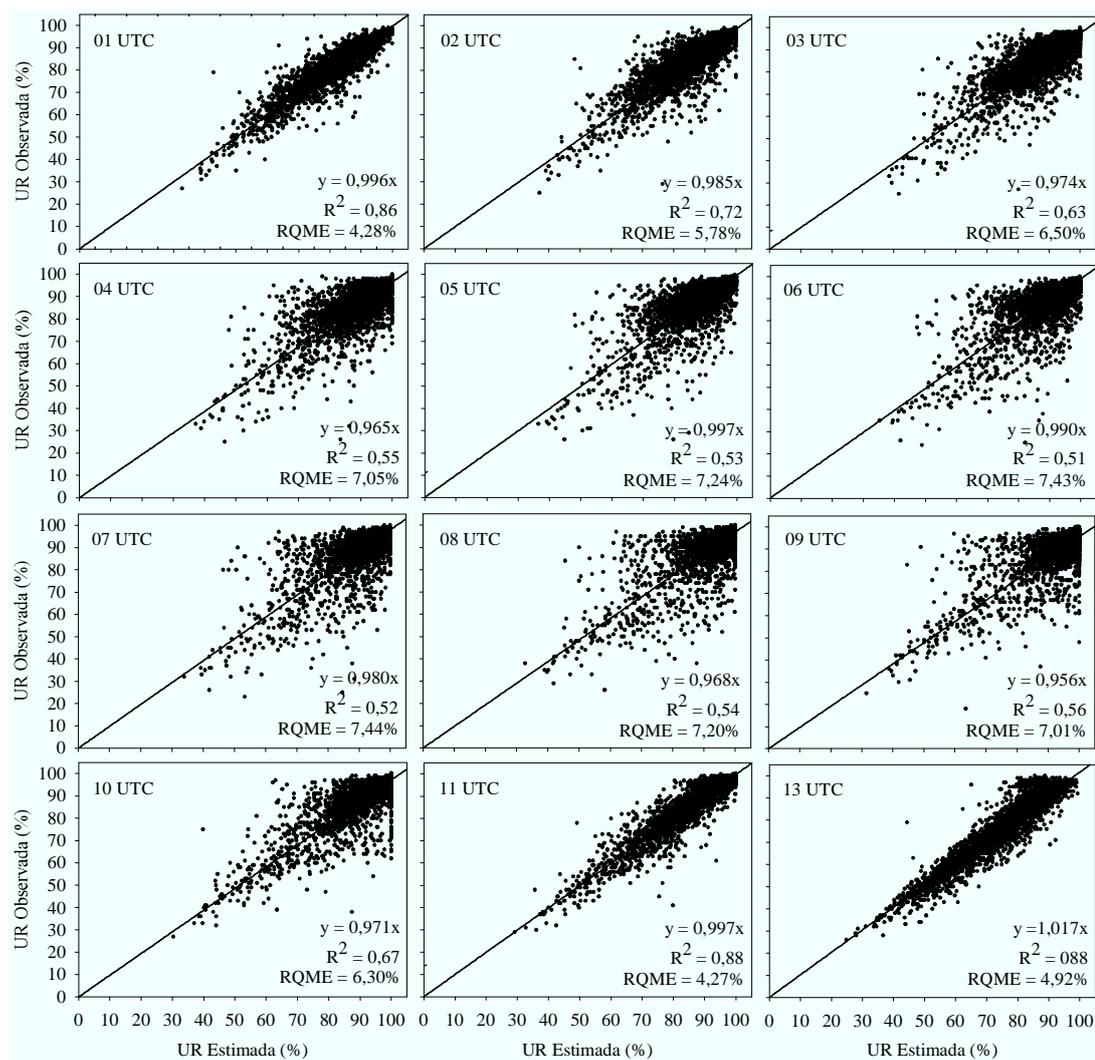


Figura 17 – Relação entre os valores de umidade relativa do ar (UR) estimados e observados em estação automática, nos horários de 01h UTC (*Universal Time Coordinated*) até 13 h UTC, excetuando-se o horário das 12 h UTC, para o período de janeiro de 2002 a junho de 2011.

Diante desses resultados, poderia ser aventado que, em virtude dos erros de estimativa de UR, predominantemente positivos a partir das 02 h UTC até 10 h UTC (23 h às 07 h, hora local), haveria também resultado de superestimativa do período de molhamento durante a madrugada e no amanhecer. Contudo, verificou-se que, nos horários em que normalmente se inicia e termina o período diário de molhamento por orvalho, que são os horários imediatamente posteriores aos crepúsculos, os desvios médios da UR não ultrapassam 2 %. Esse valor é menor do que o erro médio de registro da UR em termohigrógrafos, que é de 3 % (WMO,2008), valor que provavelmente não afeta a duração do período de molhamento a ponto de proporcionar um número diferente de valores de severidade calculada para o referido dia, visto que as menores faixas de duração do período de molhamento foliar da tabela de Krause, Massie e Hyre (1975) são de 3 horas.

A exatidão das estimativas de UR, expressa pelo R^2 , foi menor do que nas estimativas de temperatura do ar. O grau de explicação da variância dos dados registrados pela variância dos dados estimados variou de 51% (06 h UTC) a 94% (19 h UTC) (Figuras 17 e 18). Essa tendência é plenamente plausível, visto que a UR, além de depender indiretamente da temperatura do ar, depende também da pressão parcial de vapor d'água no ar (COSTA, 2003). Sendo assim, é natural que ocorram maiores erros nas estimativas de umidade relativa do ar em relação às estimativas de temperatura do ar. Os coeficientes angulares das regressões lineares, tendo os dados observados no eixo das ordenadas e os estimados no eixo das abcissas, demonstram haver tendência de superestimativa em 14 dos 21 horários de estimativa de UR (67%).

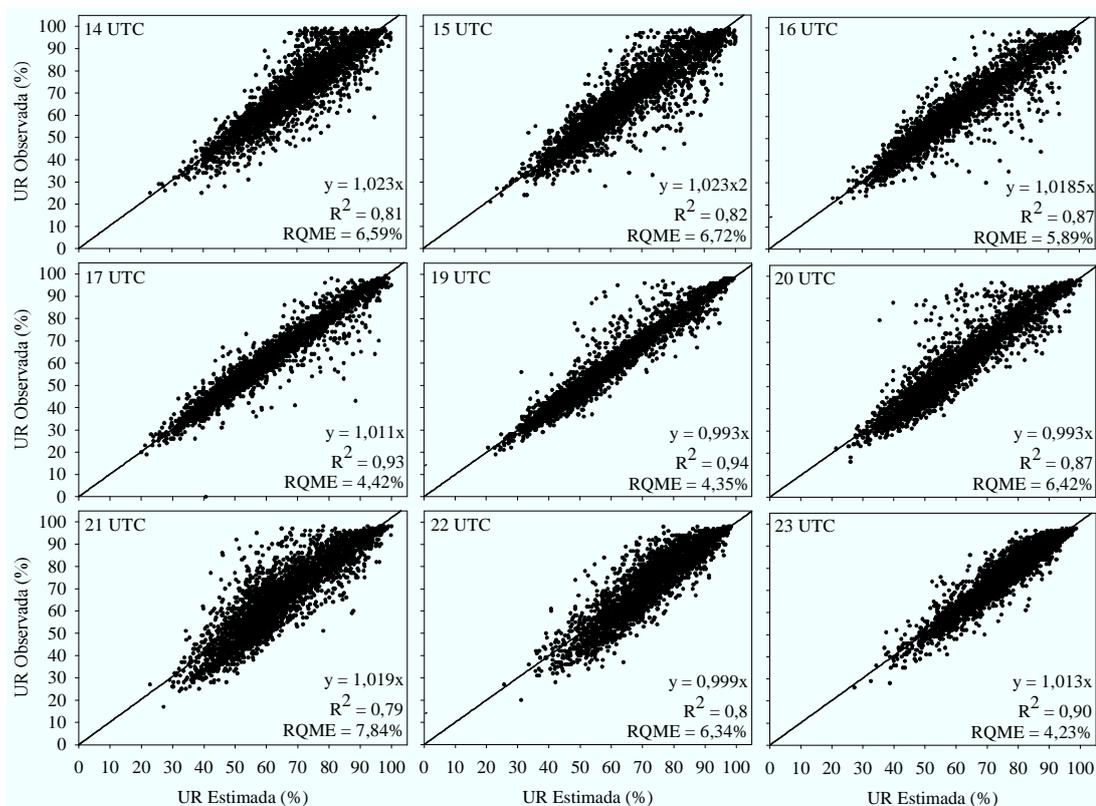


Figura 18 – Relação entre os valores de umidade relativa do ar (UR) estimados e observados em estação automática, nos horários das 14 h UTC (*Universal Time Coordinated*) até as 23 h UTC, excetuando-se o horário das 18 h UTC, para o período de janeiro de 2002 a junho de 2011.

Analisando os erros de estimativa em diferentes classes de magnitude (Figura 19) observou-se que, considerando todos os horários de estimativa, em 24% das ocasiões o desvio é superior a 6%, sendo que destes, em apenas 12% este é maior do que 9%. Assim em 88% dos momentos o módulo do desvio de estimativa da umidade relativa do ar não é maior do que 9%.

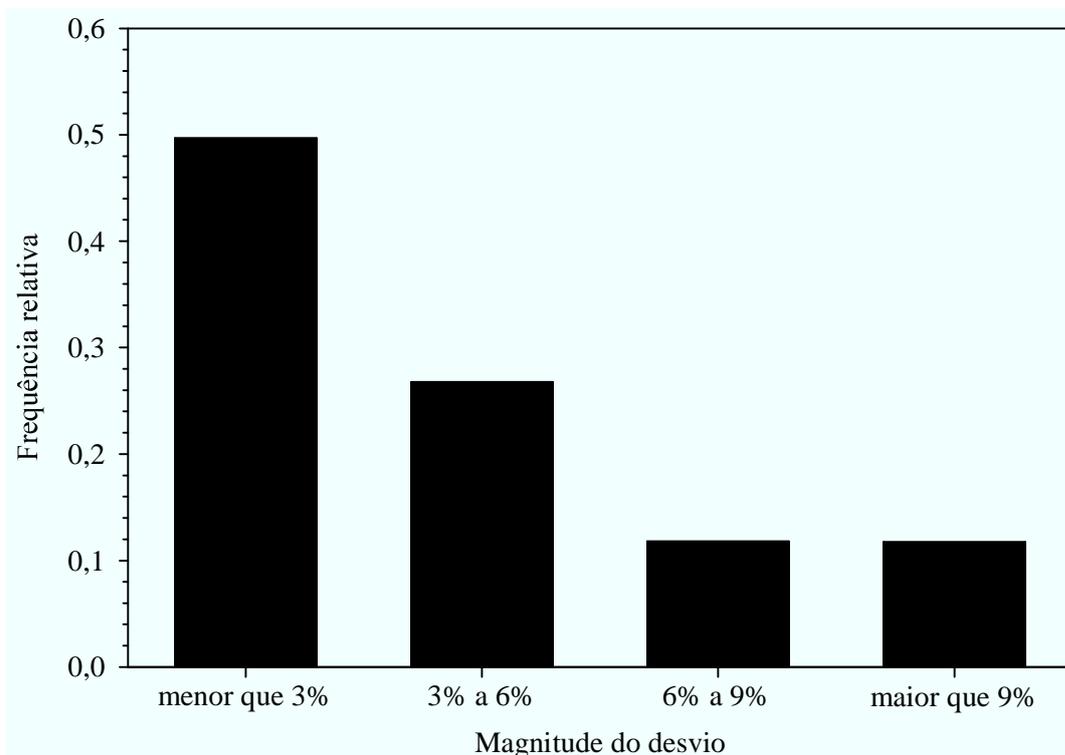


Figura 19 – Frequência relativa de ocorrência de desvios de diferentes magnitudes nas estimativas de umidade relativa do ar em relação aos valores medidos em estação automática, tendo como base os valores dos horários convencionados de medida (00 h, 12 h e 18 h UTC) e a temperatura mínima diária do ar, no período de janeiro de 2002 a junho de 2011.

A variação temporal da umidade relativa do ar nos mesmos dias descritos na Figura 14 para temperatura do ar é exposta da Figura 20. Assim como para temperatura do ar, no dia 27/02/2003 os modelos foram eficientes em estimar a UR, salvo em alguns horários próximos às 03 h UTC e às 09 h UTC (Figura 20 A). No primeiro momento, devido a um aumento momentâneo da velocidade do vento, a UR sofreu decréscimo e posterior acréscimo dentro de um curto período de tempo, não sendo os modelos capazes de descrever essa variação atípica.

Na maioria das situações o erro na estimativa da UR depende mais do erro na estimativa da temperatura do ar do que da pressão parcial de vapor d'água no ar. Comparando as Figuras 14 B, 14 C e 14 D com as figuras 20 B, 20 C e 20 D, respectivamente, nota-se que os momentos em que há desvios expressivos na estimativa de UR são, basicamente, os mesmos em que há erro nas estimativas de temperatura do ar. Sobretudo, conforme disposto anteriormente, esses desvios originam-se de mudanças nos padrões de outros elementos

meteorológicos, como a velocidade do vento, sua direção e a ocorrência de precipitação pluvial (Figura 20).

Ocorrem em alguns momentos, como às 05 h UTC do dia 29/01/2009 (Figura 20 C) e às 22 h UTC do dia 21/04/2006 (Figura 20 D), desvios de UR que não se devem aos erros na estimativa da temperatura do ar, conforme se constata avaliando a figura 14. Esses desvios são predominantemente resultantes de mudanças momentâneas na velocidade do vento. No dia 29/01/2009 houve um aumento da velocidade do vento próximo às 05 h UTC, causando a diminuição da pressão parcial de vapor d'água no ar e a consequente diminuição da UR. Já no dia 21/04/2006 ocorreu o contrário próximo ao horário das 22 h UTC. Em ambos os momentos os modelos não foram hábeis em descrever essas variações momentâneas.

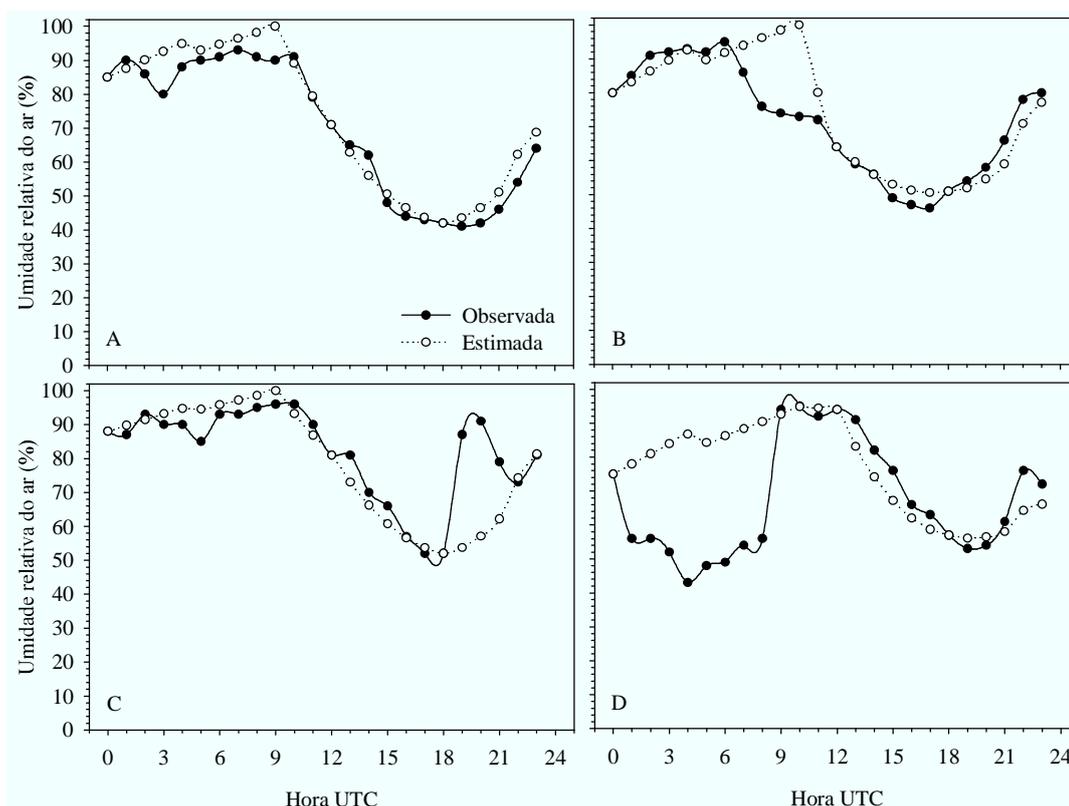


Figura 20 – Valores horários da umidade relativa do ar (%) observada em estação automática, e estimada, nos dias: 27/02/2003 (A), 11/05/2003 (B), 29/01/2009 (C) e 21/04/2006 (D).

4.2.3 Análise de sensibilidade na estimativa do tempo com $UR \geq 85\%$ e nos valores de severidade calculada

O número de horas mensais com umidade relativa do ar igual ou superior a 85% estimado pelos modelos se assemelhou ao registrado na EMA-INMET. Verifica-se que 93% da variância da variável real é descrita pela variância da variável estimada, conforme indica o valor do R^2 , de 0,93 (Figura 21). Os coeficientes, angular maior do que 1 e linear negativo, demonstram a tendência de subestimativa do número de horas com $UR \geq 85\%$.

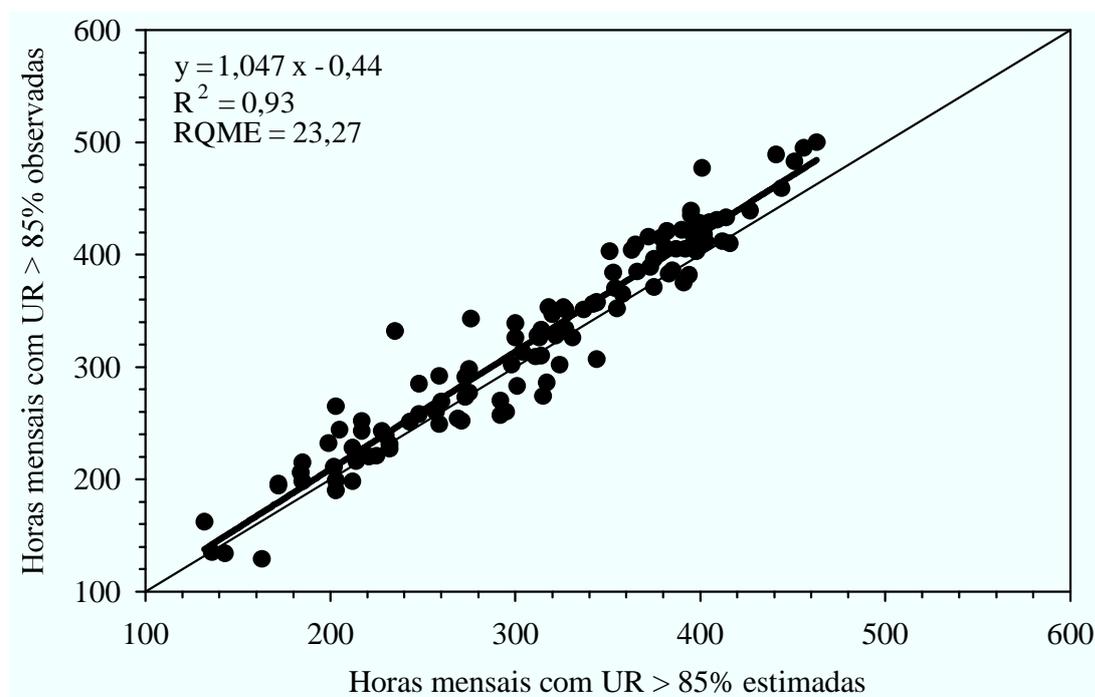


Figura 21 – Relação dos valores mensais de horas com umidade relativa do ar igual ou superior a 85% estimadas pelo modelo e registradas na estação automática, no período de janeiro de 2002 a junho de 2011.

O número mensal de valores de severidade calculada pelo sistema Blitecast apresentou menor equivalência aos dados reais do que no ciclo (Figura 22). No ciclo total, o valor do R^2 é de 0,90, diminuindo para 0,86 quando se trabalha em escala mensal. Em ambos os casos a

tendência é de subestimativa, indicada tanto pelo coeficiente linear quanto pelo angular. Contudo, a raiz quadrada do quadrado médio do erro, valor que quantifica a precisão e é mais sensível a “outliers”, é cerca de 19% menor na escala mensal. A possível explicação para um melhor ajuste dos dados estimados aos observados na escala de ciclo de desenvolvimento da cultura da batata é a compensação entre erros de superestimativa e subestimativa em um período mais longo de tempo.

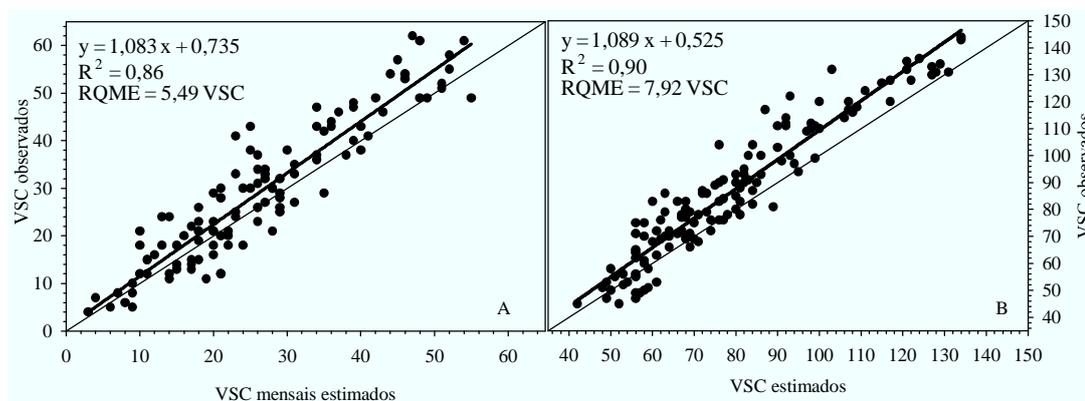


Figura 22 – Relação entre valores de severidade calculada (VSC) acumulados mensais (A) e por ciclo de desenvolvimento da cultura da batata (B) com temperatura e umidade relativa do ar horárias estimadas e observadas, no período de janeiro de 2002 a junho de 2011.

Considerou-se que os valores de severidade calculados com base nos dados estimados de temperatura e umidades relativa do ar, com o uso das metodologias anteriormente abordadas, apresentam equivalência satisfatória aos calculados com os dados meteorológicos horários reais, medidos na EMA-INMET. Assim, pondera-se que os modelos são adequados para a estimativa desses elementos meteorológicos, com fins a reconstituição do banco de dados históricos da ECPSM na escala horária.

4.3 Duração dos subperíodos e do ciclo total da cultura da batata

Os resultados da ANOVA para as durações simuladas do ciclo total e dos subperíodos da cultura da batata são apresentadas nas Tabelas 6 a 9 e nos Apêndices A até D. Para todos

os subperíodos e para o ciclo total, houve significância tanto do efeito do período de plantio (safra e safrinha) quanto das datas de plantio, bem como se constatou interação significativa entre as causas de variação, conforme se visualiza nos Apêndices A, B, C e D.

Analisando o efeito das datas de plantio em cada período, verificou-se que não houve diferença significativa entre as datas no período de plantio de safra (julho e agosto), variando a duração média do subperíodo vegetativo entre 16,3 e 17,0 dias (Tabela 6). Os valores extremos ocorridos nos 43 anos de simulação na safra foram 14 e 21 dias, sendo essa diferença devida à variabilidade interanual das condições meteorológicas no local, com a ocorrência de anos mais quentes e anos mais frios (HELDWEIN; BURIOL; STRECK, 2009).

No plantio do período de safrinha (fevereiro e março) houve diferença significativa de duração do subperíodo vegetativo entre as datas de plantio, com a tendência de diminuição do início para o final da época recomendada (Tabela 6). Os valores extremos nesse período variaram mais do que no período de safra, com o valor mínimo de 15 dias, que se repetiu em vários anos nas datas de plantio de 20 e 31 de março, e valor máximo de 45 dias observado no plantio simulado em 01 de fevereiro de 2001. Esses valores estão de acordo com os que observaram Trentin (2006) (23 dias) e Grimm (2007) (14 dias) a campo nos plantios de primavera em Santa Maria nos anos de 2004 e 2005, respectivamente.

A maior variação da duração do subperíodo vegetativo na safrinha ocorreu em função de dois fatores. Por um lado, o fotoperíodo, decrescente de fevereiro para março, contribuiu para que a função de resposta a esse fator resultasse valores crescentes no decorrer do período de safrinha, obtendo-se durações cada vez menores com o atraso do plantio (STRECK et al., 2007). Esse foi um dos fatores que fez com que o ciclo, contabilizado em dias do calendário civil, fosse mais prolongado para plantios simulados no início do período de safrinha em relação ao plantios mais tardios, conforme também verificaram Paula et al. (2005). Aditivamente, no início do período de plantio da safrinha ocorreram com maior frequência temperaturas médias diárias do ar elevadas, por vezes acima da temperatura cardinal superior da cultura (28 °C). Isso reduziu o valor da função de resposta à temperatura do ar, prolongando o ciclo (PAULA et al., 2005; STRECK et al., 2006). Ecofisiologicamente, essa resposta da planta faz sentido, já que em temperaturas acima da temperatura cardinal superior da cultura, o processo de fotossíntese não supre plenamente o carbono utilizado como substrato para a respiração celular, diminuindo as reservas energéticas da planta e a taxa de desenvolvimento (TAIZ; ZEIGER, 2004). O conhecimento da duração deste subperíodo é de grande valia ao produtor, uma vez que para a determinação do início de tuberação (IT) o método mais utilizado é destrutivo, por meio do arranquio de plantas, além de existirem

práticas do manejo, como a aplicação de nitrogênio em cobertura, que estão associadas ao momento do início da tuberação (BISOGNIN, 1996).

Tabela 6 – Duração média (m), máxima (máx), mínima (mín) e desvio padrão (σ), em dias, do subperíodo vegetativo da cultura da batata para diferentes datas simuladas de plantio nos anos agrícolas de 1968/69 a 2010/11, em Santa Maria, RS.

Data de plantio	M	Máx	mín	σ	Data de plantio	m	máx	mín	σ
01/jul	16,8 a *	21	14	1,8	01/fev	30,4 a	45	24	4,8
10/jul	16,3 a	20	14	1,7	10/fev	28,3 b	39	21	4,5
20/jul	16,4 a	21	14	1,3	20/fev	25,7 c	34	21	3,7
01/ago	16,7 a	21	15	1,4	01/mar	22,6 d	30	18	2,9
10/ago	16,6 a	21	15	1,4	10/mar	20,1 e	27	16	2,2
20/ago	16,5 a	21	15	1,4	20/mar	18,0 f	23	15	1,8
31/ago	17,0 a	21	16	1,2	31/mar	17,0 f	22	15	1,5
Média	16,6	-	-	-	Média	23,2	-	-	-

* Médias seguidas por mesma letra na coluna não diferem em nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste Scott-Knott.

No subperíodo de tuberação também observou-se efeito significativo das datas de plantio na duração do subperíodo, tanto na safra quanto na safrinha, pelo teste de comparação de médias. Na safra, conforme avança a data de plantio, tende a diminuir a duração do subperíodo. O valor máximo absoluto dos 43 anos no período de safra foi verificado para o plantio simulado em 01 de julho de 1974 (58 dias) e o mínimo (33 dias), repetiu-se em alguns anos para os plantios do final do período (Tabela 7).

Na safrinha a tendência é contrária à verificada na safra, aumentando a duração do subperíodo de tuberação conforme se avança na data de plantio (Tabela 7). Os valores extremos, de 32 e 48 dias, aconteceram, respectivamente, para plantios simulados no início e no final da safrinha. Nesse subperíodo a faixa de temperaturas cardinais é mais elevada quando comparada aos demais subperíodos, com temperatura cardinal inferior de 7 °C, ótima de 21 °C e cardinal superior de 30 °C (STRECK et al., 2007). Assim, essa resposta é consequência da ocorrência de temperaturas menores no início do período de safra e no final

da safrinha, em datas mais próximas do solstício inverno no Hemisfério Sul, as quais limitam o processo fotossintético e, conseqüentemente, o desenvolvimento da batata.

Grimm (2007) observou um valor de 30 dias para a duração do subperíodo de tuberação na safra de 2005 e 65 dias na safrinha de 2006, valores que excedem os limites das durações máxima e mínima anteriormente expostos. Contudo, relata que devido a problemas com excesso de chuva o plantio foi realizado fora do período recomendado. Trentin (2006) relatou durações de 31 e 36 dias para esse subperíodo nos plantio de safra de 2004 e safrinha de 2005.

Tabela 7 – Duração média (m), máxima (máx), mínima (mín) e desvio padrão (σ), em dias, do subperíodo de tuberação da cultura da batata para diferentes datas simuladas de plantio nos anos agrícolas de 1968/69 a 2010/11, em Santa Maria, RS.

Data de plantio	m	Máx	mín	σ	Data de plantio	m	máx	mín	σ
01/jul	48,7 a*	58	36	4,7	01/fev	34,1 a	39	32	1,6
10/jul	45,6 b	53	34	4,3	10/fev	34,3 a	38	32	1,3
20/jul	43,4 c	51	36	3,7	20/fev	35,0 a	40	33	1,8
01/ago	40,3 d	45	35	2,5	01/mar	36,0 a	46	33	2,5
10/ago	37,5 e	42	33	1,9	10/mar	38,3 b	49	34	3,6
20/ago	36,2 f	41	33	1,9	20/mar	43,0 c	70	36	7,5
31/ago	35,2 f	40	33	1,5	31/mar	48,0 d	72	36	8,7
Média	41,0	-	-	-	Média	38,4	-	-	-

* Médias seguidas por mesma letra na coluna não diferem em nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste Scott-Knott.

Na safra a duração do subperíodo de senescência foi crescente da primeira para a sétima data de plantio (Tabela 8). A maior duração foi de 53 dias, verificada para a última data de plantio de safra no ano de 1985. Nesse ano as temperaturas do ar no mês de dezembro, quando a cultura encontrava-se em senescência, foram elevadas, com médias diárias de até 31,5 °C, sendo a média das médias diárias do período de 25,7 °C, causando o prolongamento do ciclo. A menor ocorrência de duração deste subperíodo (17 dias), na safra, foi calculada para a primeira data de plantio de 1999, quando a temperatura média do ar no período de

senescência foi de 15,4 °C. No período de safrinha não houve diferença significativa de duração do subperíodo de senescência no teste de separação de médias.

O aumento na duração do subperíodo de senescência à medida que se avança a data de plantio no período de safra foi decorrente da ocorrência de temperaturas altas, superiores à temperatura ótima e até, em alguns dias, à temperatura cardinal superior da cultura, de maneira similar ao que aconteceu no final do subperíodo de tuberização na safra e no início desse mesmo subperíodo na safrinha. Na safrinha a duração da senescência variou pouco, com médias entre 18,7 e 20,1 dias, não diferindo significativamente entre as datas de plantio (Tabela 8).

Tabela 8 – Duração média (m), máxima (máx), mínima (mín) e desvio padrão (σ), em dias, do subperíodo de senescência da cultura da batata para diferentes datas simuladas de plantio nos anos agrícolas de 1968/69 a 2010/11, em Santa Maria, RS.

Data de plantio	m	máx	mín	σ	Data de plantio	m	máx	mín	σ
01/jul	19,2 a*	23	17	1,3	01/fev	19,7 a	25	17	1,6
10/jul	19,3 a	23	18	1,4	10/fev	19,2 a	23	17	1,3
20/jul	20,1 a	24	18	1,5	20/fev	18,7 a	23	17	1,3
01/ago	21,6 b	27	18	2,2	01/mar	19,1 a	24	17	1,5
10/ago	22,3 c	31	18	2,9	10/mar	19,5 a	23	17	1,5
20/ago	23,2 c	33	19	3,2	20/mar	19,9 a	24	17	1,5
31/ago	25,6 d	53	19	5,4	31/mar	20,1 a	26	17	2,0
Média	21,6	-	-	-	Média	19,5	-	-	-

* Médias seguidas por mesma letra na coluna não diferem em nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste Scott-Knott.

A duração do ciclo total integra o saldo das variações na duração dos subperíodos. Para o período de safra, há a tendência de que o ciclo diminua quando avança a data de plantio, em consequência da diminuição no subperíodo de tuberização, embora esse efeito seja amenizado pelo aumento do subperíodo de senescência. Na safrinha a variação é mais complexa, tendendo o ciclo a ser mais curto nas datas de plantio de 20 de fevereiro e 10 de março e maior nas extremidades do período (Tabela 9). Essa resposta das plantas é governada pela duração dos subperíodos vegetativo e de tuberização. Quando a tendência de aumento na

duração do subperíodo de tuberização passa a compensar a tendência de diminuição do subperíodo vegetativo, a duração do ciclo total para de diminuir, passando a aumentar.

Os maiores valores de duração de ciclo total verificados para a safra e a safrinha foram, respectivamente, 103 dias para o plantio simulado em 31 de agosto de 1986 e 110 dias para o plantio simulado em 31 de março de 1988. O valor mínimo foi de 67 dias, o qual se repetiu em alguns anos para os plantios simulados em 10 e 20 de agosto e 31 de março. A princípio pode parecer estranho que os valores extremos ocorram nas mesmas datas. Contudo, esses valores ocorreram em anos diferentes, sendo portanto, consequências da variabilidade interanual das condições meteorológicas no local, conforme já comentado anteriormente. Trentin (2006) e Grimm (2007) também registraram em seus experimentos de campo durações que variaram entre 66 e 93 dias.

Tabela 9 – Duração média (m), máxima (máx), mínima (mín) e desvio padrão (σ), em dias, do ciclo total de desenvolvimento da cultura da batata para diferentes datas simuladas de plantio, nos anos agrícolas de 1968/69 a 2010/11, em Santa Maria, RS.

Data de plantio	m	máx	mín	σ	Data de plantio	m	máx	mín	σ
01/jul	82,7 a*	92	72	4,9	01/fev	82,0 a	94	73	5,2
10/jul	79,3 b	89	68	4,9	10/fev	79,7 b	94	70	5,5
20/jul	77,9 c	85	70	4,1	20/fev	75,8 d	90	68	5,0
01/ago	76,7 c	86	68	3,7	01/mar	77,3 c	92	71	4,9
10/ago	74,3 d	82	67	3,7	10/mar	75,9 d	93	69	5,5
20/ago	73,9 d	83	67	3,7	20/mar	78,8 c	104	68	8,2
31/ago	75,7 d	103	69	5,8	31/mar	83,0 a	110	67	9,2
Média	77,2	-	-	-	Média	78,9	-	-	-

* Médias seguidas por mesma letra na coluna não diferem em nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste Scott-Knott.

Os Apêndices G e H apresentam equações ajustadas tendo como variável independente o número de ordem do dia de plantio no ano, na tentativa de estimar a duração provável dos subperíodos ou do ciclo total. As equações ajustaram-se aos dados, com valores de R^2 iguais ou superiores a 0,92 e RQME iguais ou inferiores a 0,96 dia. Ressalta-se que a estimativa da provável duração dos subperíodos e do ciclo total, usando tais equações,

restringe-se aos períodos avaliados e exprime valores médios, que podem variar em função das condições meteorológicas em cada ano, já que a unidade de dias do calendário civil não é a melhor para expressar a duração do ciclo de desenvolvimento da cultura da batata (PAULA et al., 2005).

Assim, fica demonstrado que a duração média dos subperíodos e do ciclo total da cultura da batata, na maioria das situações, varia conforme a data de plantio, excetuando-se a duração do subperíodo vegetativo no período de plantio de safra e do subperíodo de senescência no período de safrinha.

4.4 Valores de severidade calculada e número provável de aplicações de fungicida

O número de aplicações de fungicidas necessário para o controle da requeima da batata, assim como os valores de severidade calculada (VSC) pelo sistema Blitecast, obtidos em cada data de plantio são exibidos na Tabela 10. Houve diferenças significativas para ambas as variáveis nas duas épocas de plantio, exceto para o número de aplicações de fungicida no período de safra.

O número de VSC na safrinha foi, em média, 54 % maior do que na safra. Na safra, os valores médios variaram de 79,7 VSC para plantios no início do período até 64,6 VSC no plantio de 31 de agosto, enquanto que na safrinha variaram de 113,5 VSC no início do período até 99,0 VSC no plantio de 20 de março. Em média, na safrinha são necessárias 1,9 aplicações de fungicidas a mais no ciclo do que na safra. Esses resultados estão de acordo com o que verificou Trentin (2006), que constatou ser necessário o dobro do número de aplicações para o controle da requeima no período de safrinha de 2005 em relação à safra de 2004, utilizando o sistema Blitecast de previsão de doenças, com intervalo de 18 VSC entre aplicações.

Bosco (2008), em experimentos de campo em Santa Maria realizados nos períodos de safra de 2006 e safrinha de 2007, também obteve resultados que corroboram com os demonstrados na Tabela 10. Na ocasião, o cultivar Macaca, sem utilização de controle químico, apresentou na safrinha severidade final observada de requeima 163% maior do que no período de safra.

Não foram observadas, no período de safra, diferenças significativas no número de aplicações de fungicidas necessárias nas diferentes datas de plantio (Tabela 10). Assim, o

número médio de 3,5 aplicações de fungicida representa estatisticamente a demanda desse período de plantio. O número de VSC apresentou variação semelhante a esta variável, porém, apresentando diferença significativa entre as datas de plantio até 01 de agosto e as posteriores a essa data.

Tabela 10 – Valores médios de severidade calculada (VSC) pelo sistema Blitecast e número médio de aplicações de fungicidas para o controle da requeima da batata em Santa Maria, RS, com plantio em diferentes datas de plantio nos períodos de safra e safrinha, simuladas nos anos agrícolas de 1968/69 a 2010/11.

Data de plantio	VSC	Aplicações	Data de plantio	VSC	Aplicações
01/07	79,7 a	3,9 a	01/02	113,5 a	5,9 a
10/07	76,6 a	3,7 a	10/02	111,4 a	5,7 a
20/07	74,3 a	3,6 a	20/02	107,7 a	5,5 a
01/08	73,7 a	3,6 a	01/03	103,7 b	5,3 b
10/08	71,0 b	3,4 a	10/03	101,5 b	5,1 b
20/08	68,7 b	3,4 a	20/03	99,0 b	5,0 b
31/08	64,6 b	3,1 a	31/03	101,8 b	5,2 b
Média safra	72,6	3,5	Média safrinha	105,5	5,4

* Médias seguidas por mesma letra na coluna não diferem em nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste Scott-Knott.

Na safrinha, as datas de plantio de 01, 10 e 20 de fevereiro diferiram estatisticamente das demais datas, tanto em termos de VSC quanto no número médio necessário de pulverizações por ciclo de desenvolvimento da cultura (Tabela 10). Foi observado também que os valores médios absolutos tenderam a decrescer do início para o final dos dois períodos de plantio. No período de plantio de safra, essa diminuição se deveu, majoritariamente, à diminuição do número de horas diárias com umidade relativa do ar igual ou superior a 85% com a aproximação do solstício de verão (Tabela 11 e Figura 23). No período de safrinha a diminuição é decorrente da diminuição na temperatura do ar, com a aproximação do solstício de inverno.

Os meses que apresentaram períodos diários de molhamento foliar mais prolongados não são os mesmos que apresentaram maiores valores médios diários de VSC (Tabela 11). Enquanto os maiores períodos de molhamento, estimados pelos valores de horas com

UR \geq 85%, costumam ocorrer nos meses de maio e junho, as maiores médias diárias de VSC são verificadas nos meses de março e abril. Streck (2006) constatou, através de observações visuais a campo nos outonos de 2004 e 2005 e na primavera de 2004 em Santa Maria, que é próximo ao solstício de inverno que se têm períodos mais prolongados de molhamento foliar por orvalho.

Os períodos de menor acúmulo diário de VSC coincidem com os meses em que são verificados os menores períodos diários de molhamento foliar estimado, de novembro a janeiro, sendo significativamente menor em dezembro. Esses resultados confirmam o exposto por Agrios (2004), que relata que a umidade é indispensável para a germinação dos esporos de fungos e penetração nos tecidos vegetais por meio do tubo germinativo. Assim, em não havendo umidade, o processo de infecção não se inicia ou não se completa, pouco importando se a temperatura do ar é ou não favorável ao desenvolvimento do patógeno.

Tabela 11 – Número médio mensal de valores de severidade calculada (VSC) diários pelo sistema Blitecast e de horas diárias com umidade relativa do ar \geq 85% em Santa Maria, RS, no período de julho de 1968 até junho de 2011.

Mês	VSC diários	Horas diárias com UR \geq 85%
Janeiro	0,76 b*	8,6 b
Fevereiro	1,06 c	10,8 c
Março	1,39 e	11,8 d
Abril	1,41 e	13,0 e
Maio	1,19 d	13,5 f
Junho	1,06 c	13,7 f
Julho	0,92 c	12,8 e
Agosto	0,92 c	12,4 e
Setembro	0,99 c	11,8 d
Outubro	0,93 c	10,2 c
Novembro	0,69 b	8,3 b
Dezembro	0,55 a	7,5 a

* Médias seguidas por mesma letra na coluna não diferem entre si, em nível de 5% de probabilidade de erro, pelo teste Scott-Knott.

Agrios (2004) infere também que a temperatura do ar influencia essencialmente a taxa de progresso das doenças, mas não deixando de exercer efeito sobre a germinação dos esporos de *Phytophthora infestans* (MAZIERO; MAFFIA; MIZUBUTI, 2009). Dessa maneira, embora nos meses de maio e junho ocorressem longos períodos de molhamento foliar, os VSC diários seriam, em média, menores do que nos meses de março e abril. Nesses meses, os períodos diários de molhamento foram menores, mas ainda relativamente longos comparados com os meses de novembro a janeiro, e as temperaturas foram mais favoráveis à requeima, resultando em um maior número médio diário de VSC.

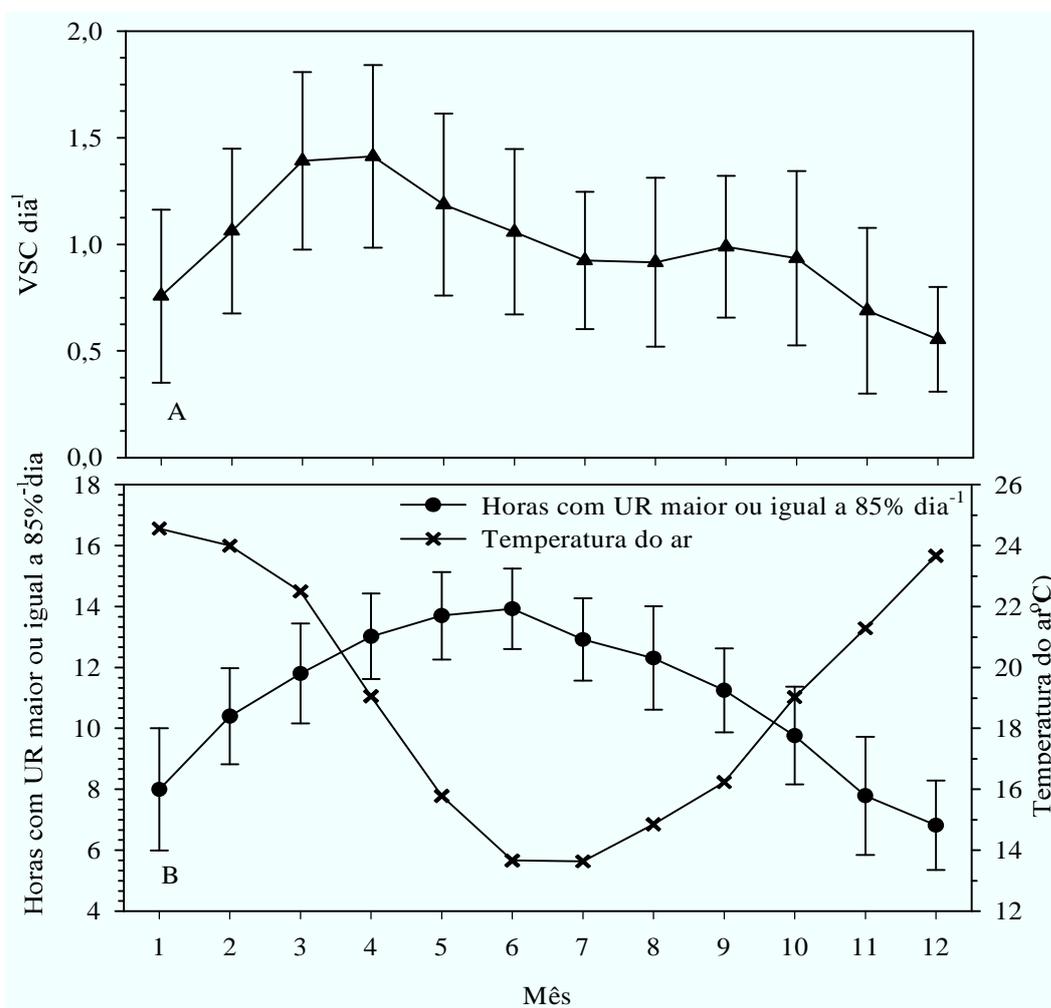


Figura 23 – Número médio mensal de valores de severidade calculada (VSC) por dia pelo sistema Blitecast (A), temperatura média mensal do ar e número de horas diárias com umidade relativa do ar $\geq 85\%$ (B) em Santa Maria, RS, no período de julho de 1968 até junho de 2011.

Os meses de desenvolvimento da batata no cultivo de safrinha (fevereiro até junho) são os que têm os maiores números médios de valores de severidade acumulados por dia (Tabela 11). Isso explica o fato de que nesse período o número provável de aplicações de fungicida necessárias para o controle da requeima tenha sido maior do que no período de safra. Na safra, provavelmente devido às condições menos favoráveis às doenças nos meses de novembro e dezembro, com menores períodos diários de molhamento foliar (Figura 23), o número de aplicações de fungicidas necessárias para o controle da requeima tendeu a ser menor do que na safrinha.

Ao produtor, pode ser mais interessante conhecer a probabilidade de ser necessário um determinado número de aplicações de fungicidas do que a média de um longo período, pois assim será possível planejar de uma maneira mais eficiente o provável custo do controle da requeima na sua lavoura. Segundo Lhomme e Rojas (1984), em agroclimatologia, uma média tem significado real apenas quando a dispersão em seu entorno é pequena. Do contrário, apenas a análise de frequência é capaz de descrever as características da série de dados.

A análise de probabilidade isolada e acumulada da necessidade de aplicações de fungicida nas diferentes datas de plantio é apresentada nas Tabelas 12 e 13. A probabilidade isolada indica a frequência relativa com que é necessário um determinado número de aplicações, enquanto que a probabilidade acumulada infere a frequência com que é necessário um número de aplicações de fungicidas igual ou superior a um determinado limiar.

Para o período recomendado de plantio de safra, na maioria das datas de plantio a maior probabilidade isolada é a de que sejam necessárias quatro aplicações de fungicida. Para 10 de julho e 20 de agosto é mais provável que sejam necessárias três aplicações de fungicidas e na última data do período recomendado para plantio na safra a maior probabilidade é de que se façam necessárias duas aplicações (Tabela 12). Essa tendência de decréscimo no número mais provável de aplicações à medida que se aproxima o final do período de plantio está de acordo com os resultados demonstrados anteriormente.

Na maioria das datas de plantio no período de safra, a probabilidade de ser necessária apenas uma aplicação de fungicida para o controle de requeima em todo o ciclo de desenvolvimento da cultura é nula. Apenas em duas datas de plantio (20/07 e 31/08) foi constatada probabilidade de 2,3% de isso ocorrer (Tabela 12). Isso quer dizer que, na prática, não há como conduzir plantios de batata na primavera sem ao menos uma aplicação de fungicida. Em contrapartida, a necessidade de realizar seis ou mais aplicações também tem probabilidade reduzida. Apenas na primeira data de plantio registrou-se essa necessidade em

mais de 2,3% dos anos, sendo que no plantio de 20 de agosto não se registrou em nenhum ano esse valor.

Tabela 12 – Probabilidade empírica isolada da necessidade de aplicações de fungicidas para o controle da requeima da batata plantada em diferentes datas em Santa Maria, RS, com base na série histórica de julho de 1968 a 2011.

Número de aplicações	Data de plantio						
	01/07	10/07	20/07	01/08	10/08	20/08	31/08
1	-	-	0,023	-	-	-	0,023
2	0,047	0,093	0,163	0,186	0,186	0,140	0,349
3	0,326	0,349	0,209	0,233	0,326	0,512	0,302
4	0,372	0,326	0,419	0,442	0,372	0,186	0,186
5	0,209	0,209	0,163	0,116	0,093	0,163	0,116
6	0,023	0,023	0,023	0,023	0,023	-	0,023
7	0,023	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-	-	-
	01/02	10/02	20/02	01/03	10/03	20/03	31/03
1	-	-	-	-	-	-	-
2	0,023	0,023	-	-	0,023	-	-
3	0,047	0,047	0,093	0,140	0,140	0,163	0,116
4	0,116	0,163	0,163	0,163	0,163	0,209	0,209
5	0,186	0,186	0,256	0,186	0,233	0,209	0,186
6	0,233	0,256	0,186	0,302	0,279	0,326	0,349
7	0,256	0,209	0,256	0,186	0,163	0,093	0,140
8	0,093	0,116	0,05	0,023	-	-	-
9	0,047	-	-	-	-	-	-

Na safrinha, o número mais provável de aplicações de fungicida, na maioria das datas de plantio é de seis, excetuando-se as datas de 01 e 20 de fevereiro quando a maior probabilidade é de serem necessárias sete aplicações (Tabela 12). A probabilidade de serem necessárias duas ou menos aplicações só não se mostrou nula em três datas simuladas de

plantio e, na primeira data de plantio, chega a haver 4,7% de probabilidade de serem necessárias nove aplicações de fungicidas. Nas demais datas nesse período de plantio o número máximo provável de aplicações variou entre sete e oito (Tabela 12).

Os resultados expostos na Tabela 12 reforçam, comparativamente, o que foi constatado com base nas médias em relação à necessidade de aplicações de fungicidas nos períodos de safra e safrinha. Enquanto na safra o número mais provável de aplicações oscila entre duas e quatro, na safrinha esse número varia entre seis e sete, confirmando assim a maior necessidade de utilização do controle químico da requeima na cultura da batata no período de safrinha em relação ao período de safra. Os resultados de Trentin et al. (2009) e Grimm et al. (2011) também apontaram para um maior número de aplicações de fungicida na safrinha em relação a safra.

A probabilidade acumulada evoluiu mais lentamente no final do período de safra em relação ao início. Por exemplo, no plantio de 01 de julho, a probabilidade de serem necessárias quatro aplicações ou mais é 0,628 (62,8% dos anos), enquanto que em plantios de 31 de agosto, essa probabilidade é de 0,326. Isso indica que as condições ambientais favoráveis à ocorrência da requeima para cultivos com plantios no início do período de safra são mais frequentes, em relação ao final.

A probabilidade acumulada para a safrinha apresentou a mesma tendência do período de safra, com aumento mais lento à medida que os plantios se aproximam do final do período recomendado. Assim, é menos provável que o número de aplicações de fungicida necessárias para o controle da requeima da batata na data de plantio de 20 de março seja de seis ou mais aplicações (41,9% dos anos), do que nos plantios de 01 de fevereiro (62,8% dos anos).

Os resultados obtidos também permitem inferir que para plantios realizados de 10/07 a 31/08, a probabilidade de serem realizadas seis ou mais aplicações de fungicidas é mínima, menor do que 2%. Os resultados obtidos em campo por Trentin et al. (2009) e Bosco et al. (2010), também apontam para um número de aplicações menor do que cinco durante o ciclo quando o plantio é realizado em agosto. Assim, considerando que a análise numérica de risco foi realizada com base em uma série histórica de 43 anos e diferentes datas de plantio no período recomendado de safra, fica demonstrado que o número médio de aplicações efetivamente realizado pelos produtores é maior do que o realmente necessário. Esse número chega a ser de duas a três aplicações por semana (COSTA et al., 2002), totalizando frequentemente mais de 10 aplicações por ciclo da cultura da batata.

Tabela 13 – Probabilidade empírica acumulada da necessidade de aplicações de fungicidas para o controle da requeima da batata plantada em diferentes datas em Santa Maria, RS, com base na série histórica de julho de 1968 a 2011.

Número de aplicações	Data de plantio						
	01/07	10/07	20/07	01/08	10/08	20/08	31/08
1 ou mais	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
2 ou mais	1,000	1,000	0,977	1,000	1,000	1,000	0,977
3 ou mais	0,953	0,907	0,814	0,814	0,814	0,860	0,628
4 ou mais	0,628	0,558	0,605	0,581	0,488	0,349	0,326
5 ou mais	0,256	0,233	0,186	0,140	0,116	0,163	0,140
6 ou mais	0,047	0,023	0,023	0,023	0,023	-	0,023
7 ou mais	0,023	-	-	-	-	-	-
8 ou mais	-	-	-	-	-	-	-
9 ou mais	-	-	-	-	-	-	-
	01/02	10/02	20/02	01/03	10/03	20/03	31/03
1 ou mais	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
2 ou mais	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
3 ou mais	0,977	0,977	1,000	1,000	0,977	1,000	1,000
4 ou mais	0,930	0,930	0,907	0,860	0,837	0,837	0,884
5 ou mais	0,814	0,767	0,744	0,698	0,674	0,628	0,674
6 ou mais	0,628	0,581	0,488	0,512	0,442	0,419	0,488
7 ou mais	0,395	0,326	0,302	0,209	0,163	0,093	0,140
8 ou mais	0,140	0,116	0,047	0,023	-	-	-
9 ou mais	0,047	-	-	-	-	-	-

A análise numérica aqui apresentada, embora baseada em valores horários de temperatura e umidade do ar estimados no período de 1968 a 2001 e medidos na maioria dos dias do período de 2002 a 2011, mostrou-se uma ferramenta adequada para obter parâmetros relativos ao manejo da requeima na cultura da batata em Santa Maria, RS e municípios vizinhos. Dela, ressalta-se que plantios de batata realizados em agosto e em março tem a vantagem de exigirem um menor custo econômico, ecológico e de saúde do produtor na proteção da cultura contra essa doença do que plantios mais precoces (julho e fevereiro) nas

respectivas épocas de safra e safrinha recomendadas pelo zoneamento agrícola. Também se identifica vantagem similar do cultivo de safra em relação ao de safrinha.

5 CONCLUSÕES

A estação meteorológica automática de Santa Maria, RS, pertencente ao INMET, apresenta 90,1% dos dias sem falhas de registros de dados em 10 anos, de 2002 a 2011. A temperatura e a umidade relativa do ar registradas por essa estação apresentam equivalência com os dados medidos na estação climatológica principal de Santa Maria, com maiores índices de correspondência para temperatura do ar.

A temperatura mínima diária do ar em Santa Maria ocorre com maior frequência às 09 h UTC, correspondendo às 06 h no horário oficial local, nos meses de setembro a fevereiro. De março até agosto, esse horário é atrasado, predominando a sua ocorrência às 10 h UTC. Para a temperatura máxima diária do ar não há uma tendência clara da ocorrência em um horário do dia em determinado período do ano, oscilando sua ocorrência entre as 18 h UTC e as 19 h UTC.

A temperatura do ar fora dos horários convencionados de medida em estações meteorológicas convencionais de superfície pode ser estimada tendo como base as temperaturas medidas nesses horários das 00 h, 12 h e 18 h UTC e a temperatura mínima diária do ar. A precisão das estimativas depende do horário, variando a raiz do quadrado médio do erro de 0,7 °C a 1,5 °C, com desvio médio de até 0,43°C.

É possível realizar a estimativa da umidade relativa do ar fora dos horários convencionados de medida, baseando-se na pressão de saturação de vapor d'água no ar, calculada a partir de temperaturas estimadas, e na pressão parcial de vapor d'água no ar, interpolada linearmente entre os horários convencionados, utilizando também a temperatura mínima diária do ar. A precisão das estimativas de umidade relativa do ar depende do horário, variando a raiz do quadrado médio do erro de 0,7 % a 1,7 %, com desvio médio de até 4 %.

Plantios de batata no período de safra (julho e agosto) necessitam de um número menor de aplicações de fungicida para o controle da requeima em relação ao período de safrinha (fevereiro e março). Em média, na safrinha são necessárias 1,9 aplicações de fungicidas a mais do que para plantios na safra, quando o número mais provável de aplicações oscila entre duas e quatro. Na safrinha esse número varia entre seis e sete.

REFERÊNCIAS

- AGRIOS, G. N. Environmental effects on the development of infectious plant disease. In: _____. **Plant pathology**. 5th ed. San Diego: Academic Press, 2004. p. 251-262.
- ALMEIDA, H. A.; SOUZA, J. A.; ALCÂNTARA, H. M. Análise comparativa de dados meteorológicos obtidos por estação convencional e automática no semi-árido paraibano. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Sete Lagoas, v. 16, n. 1, p. 58-66, jan./abr. 2008.
- BERGER-LANDEFELDT, U.; KIENDL, J.; DANNENBERG, H. Beobachtungen über das Temperatur und Dampfdruckruhe über Pflanzenbeständen. **Meteorogische Rundschau**, Berlin, v. 90, n. 7/8, p. 120-130, jul./aug. 1956.
- BERLATO, M. A. As condições de precipitação pluvial no Estado do Rio Grande do Sul e os impactos da estiagem na produção agrícola. In: BERGAMASCHI, H. (coord.) **Agrometeorologia aplicada à irrigação**. Porto Alegre: UFRGS, 1992. p. 11-23.
- BISOGNIN, D. A. **Recomendações técnicas para o cultivo da batata no Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Santa Maria. Gráfica Universitária. 1996. 64 p. (Boletim técnico).
- BOLTON, D. The computation of equivalent potential temperature. **Monthly Weather Review**, Boston, v. 108, n. 7, p. 1046-1053, jul. 1980.
- BOSCO, L. C. **Sistemas de previsão de ocorrência de requeima em clones de batata suscetíveis e resistentes**. 2008. 112 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2008.
- BOSCO, L. C.; HELDWEIN, A. B.; BLUME, E.; TRENTIN, G.; GRIMM, E. L.; LUCAS, D. D. P.; LOOSE, L. H.; RADONS, S. Z. Sistemas de previsão de requeima em cultivos de batata em Santa Maria, RS. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 3, p. 649-660, jul./set. 2010.
- BURIOL, G. A.; ESTEFANEL, V.; SACCOL, A. V.; HELDWEIN, A. B.; SCHNEIDER, F. Disponibilidades hídricas do solo possíveis de ocorrerem no estado do Rio Grande do Sul. **Revista do Centro de Ciências Rurais**, Santa Maria, v. 10, suppl. 1980.
- BURIOL, G. A.; HELDWEIN, A. B.; SCHNEIDER, F. M.; ESTEFANEL, V.; OLIVEIRA, H. T.; DIDONÉ, I. Disponibilidade de horas de frio na região central do Rio Grande do Sul: 2

– Distribuição geográfica. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 5, p. 755-759, out./nov. 2000.

BURIOL, G. A.; ESTEFANEL, V.; SWAROWSKY, A.; D'ÁVILA; R. F. Homogeneidade e estatísticas descritivas dos totais mensais e anuais de chuva de Santa Maria, Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 11, n. 4, p. 89-97, out./dez. 2006.

CARDOSO, C. D. V. **Probabilidade de ocorrência de deficiência hídrica nos solos da região Central do Estado do Rio Grande do Sul**. 2005. 162 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

COSTA, E. V. Medidas da umidade relativa do ar em um ambiente fechado. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Porto Alegre, v. 25, n. 3, p. 346-348, jul./set. 2003.

COSTA, R. V.; ZAMBOLIM, L.; VALE, F. X. R.; MIZUBUTI, E. S. G. Previsão da queima da batateira. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 27, n. 4, p. 349-354, jul./ago. 2002.

DE FINA, A. L.; RAVELLO, A. C. **Climatología y fenología agrícolas**. Buenos Aires: EUDEBA. 1973. 281 p.

DELLAI, J.; TRENTIN, G.; BISOGNIN, D. A.; STRECK, N. A. Filocrono em diferentes densidades de plantas de batata. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 6, p. 1269-1274, nov./dez. 2005.

FACHINELLO, J. C.; NACHTIGAL, J. C.; KERSTEN, E. **Fruticultura: fundamentos e práticas**. 2011. Livro Digital. EMBRAPA Clima Temperado. Disponível em: <http://www.cpact.embrapa.br/publicacoes/download/livro/fruticultura_fundamentos_pratica/>. Acesso em: 14 de junho de 2012.

FERNANDES, D. S.; HEINEMANN, A. B.; PAZ, R. L. F.; AMORIM, A. O. Calibração regional e local da equação de Hargreaves para estimativa da evapotranspiração de referência. **Revista Ciência Agrônoma**, v. 43, n. 2, p. 246-255, abr./jun. 2012.

FIGUEIREDO, C. A batata no estado do Rio Grande do Sul. In: PEREIRA, S. A.; DANIELS, J. (Eds.). **O cultivo da batata na região sul do Brasil**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2003. p. 44-52.

GARCÍA, B. I. L. **Risco climático de ocorrência da requeima da batata na região dos Andes, Venezuela.** 2005, 132 p. Tese (Doutorado em agronomia) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba, 2005.

GARCÍA, B. I. L.; SENTELHAS, P. C.; TAPIA, L. R.; SPAROVEK, G. Climatic risk for potato late blight in the Andes region of Venezuela. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 65, n. especial, p. 32-39, 2008.

GRIMM, E. L. **Efeito de diferentes níveis de irrigação na produtividade e ocorrência de Requeima na cultura da batata.** 2007, 69 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

GRIMM, E. L.; HELDWEIN, A. B.; RADONS, S. Z.; MALDANER, I. C.; TRENTIN, G.; BOSCO, L. C. Produtividade da batata em função da irrigação e do controle químico da requeima. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 2, p.125–130, fev. 2011.

HELDWEIN, A. B.; ANGELOCCI, L. R.; ESTEFANEL, V.; SCHNEIDER, F. M.; BURIOL, G. A. Avaliação de modelos de estimativa de horas de frio para Santa Maria, RS. **Revista do Centro de Ciências Rurais**, Santa Maria, v. 19, n. 1-2, p. 45-92, jan./jul. 1989.

HELDWEIN, A. B. **Ermittlung der Taubenetzung Von Pflanzenbeständen durch Anwendung mikrometeorologischer Verfahren sowie mittels konventioneller Methoden.** 1993, 208 p. Tese (Doktor Scientiarum Agrariorum) Fachbereich Internationale Agrarentwicklung/TU-Berlin, Berlin, 1993.

HELDWEIN, A. B.; SCHNEIDER, F. M.; BURIOL, G. A.; ESTEFANEL, V.; PRESTES, S. D. Disponibilidade de horas de frio na região central do Rio Grande do Sul: 1 - Ocorrência de valores acumulados para diferentes níveis de probabilidade. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 5, p. 747-754, set./out. 2000.

HELDWEIN, A. B. Princípios para implementar alertas agrometeorológicos fitossanitários. In: Simpósio de Melhoramento Genético e Previsão de Epifitias em Batata, 1., 2006, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: UFSM, CCR, Departamento de Fitotecnia, 2006. p. 56-89.

HELDWEIN, A. B.; BURIOL, G. A.; STRECK, N. A. O clima de Santa Maria. **Ciência & Ambiente**, Santa Maria, v. 38, n.1, p. 43-58, jan./jun. 2009.

IBGE. **Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA.** Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/agric/default.asp?z=t&o=11&i=P>. Acesso em 23 ago. 2012.

JANSSEN, P. H. M.; HEUBERGER, P. S. C. Calibration of process-oriented models. **Ecological Modelling**, v. 83, p. 55-56, jan./ago. 1995.

KIESLING, T. C. Calculation of the length of the day. **Agronomy Journal**, Madison, v. 74, n. 4, p. 758-759, jul./ago. 1982.

KRAUSE, R. A.; MASSIE, L. B.; HYRE, R. A. BLITECAST a computerized forecast of potato late blight. **Plant Disease Reporter**, Beltsville, v. 59, n. 2, p. 95-98, 1975.

LHOMME J. P., ROJAS O. E. **Elementos de Agroclimatología**. IICA-ORSTOM. Serie Publicaciones Misceláneas, n. 531, Costa Rica, 1984, 92 p.

MALDANER, I. C. **Irrigação e aplicação de fungicida na ocorrência de doenças e produtividade do girassol**. 2009. 93 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2009.

MAZIERO, J. M. N.; MAFFIA, L. A.; MIZUBUTI, E. S. G. Effects of temperature on events in the infection cycle of two clonal lineages of *Phytophthora infestans* causing late blight on tomato and potato in Brazil. **Plant Disease**. Saint Paul, v. 39, n. 5, p. 459-466, may. 2009.

McMASTER, G. S.; SMIKA, D. E. Estimation and evaluation of winter wheat phenology in the central Great Plains. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 43, n. 1, p. 1-18, jan./mar. 1988.

MELLO, L. T. A.; FORTES, L. T. G.; LÚCIO, P. S.; MANHAES, F. P.; LUCAS, E. W. M. Uma análise comparativa de dados meteorológicos observados em estações automáticas e convencionais do INMET. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 10., 2006, Florianópolis. **Anais eletrônicos...** Florianópolis: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2006. Disponível em: <<http://www.cbmet.com/cbm-files/14-4bcc6c4edfedc66e65f019900248e31a.pdf>>. Acesso em 04 jul. 2012.

MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura do Rio Grande do Sul, Diretoria de Terras e Colonização, Secção de Geografia. 1961, 61 p.

MOURA, A. D.; LUCAS, E. W. M.; RODRIGUES, J. E.; REZENDE, J. M. **Nota técnica no. 001/2011/SEGER/LAIME/CSC/INMET**: Rede de Estações Meteorológicas Automáticas do INMET. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instituto Nacional de Meteorologia. 2011. 11 p. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/css/content/topo_iframe/pdf/Nota_Tecnica-Rede_estacoes_INMET.pdf>. Acesso em 20 ago. 2012.

NIED, A. H. **Balço hídrico diário do solo simulado para diferentes épocas de sementeira do milho em Santa Maria, RS.** 2003. 73 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

OLIVEIRA, A. D.; ALMEIDA, B. M.; CAVALCANTE JUNIOR, E. G.; ESPINOLA SOBRINHO, J.; VIEIRA, R. Y. M. Comparação de dados meteorológicos obtidos por estação convencional e automática em Jaboticabal-SP. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 23, n. 4, p. 108-114, out./dez., 2010.

PARKHURST, D. F.; DUNCAN, P. R.; GATES, D. M.; KREITH F. Wind-tunnel modeling of convection of heat between air and broad leaves plants. **Agricultural Meteorology**, v. 5, n. 1, p. 33-47, jan./fev. 1968.

PAULA, F. L. M. **Modelagem do desenvolvimento da batata (*Solanum tuberosum* L.) à campo.** 2005. 42 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2005.

PAULA, F. L. M.; STRECK, N. A.; HELDWEIN, A. B. BISOGNIN, D. A.; PAULA, A. L. DELLAI, J. Soma térmica de algumas fases do ciclo de desenvolvimento da batata (*Solanum tuberosum* L.). **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 5, p. 1034-1042, out./nov. 2005.

PEREIRA, A. R.; VILA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. **Evapo(transpi)ração.** Piracicaba: FEALQ, 1997.183 p.

PEREIRA, A. S.; DANIELS, J.; FREIRE, C. J. S.; BERTONCINI, O.; NAZARENO, N. R. X.; BRISOLLA, A. D.; SALLES, L. A. B.; MADAIL, J. C. M. **Produção de batata no Rio Grande do Sul.** EMBRAPA Clima Temperado. Circular Técnica 48. 2005. 14 p.

PEREIRA, L. C.; CAMPELO JÚNIOR, J. H.; FERRONATO, A. Comparação de métodos para estimativa do plastocrono em algodoeiro em condições tropicais. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 40, n. 2, p. 213-220, abr./jun. 2010.

PEREIRA, L. M. P.; CARAMORI, P. H.; RICCE, W. S.; CAVIGLIONE, J. H. Análise comparativa de dados meteorológicos obtidos por estação convencional e automática em Londrina. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 29, n. 2, p. 299-306, abr./jun. 2008.

POLA, A. C.; ANGELOCCI, L. R. Avaliação de modelos de estimativa do número diário de horas de frio para o Estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 1, n. 1, p. 105-116, jan./dez. 1993.

RADONS, S. Z. **Severidade de ocorrência de mancha de septória e produtividade do girassol irrigado**. 2010. 66 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2010.

RAMOS, A. M.; SANTOS, L. A. R.; FORTES, L. T. G. (Org.). **Normais climatológicas do Brasil 1961 – 1990**. Edição revista e ampliada. Brasília: INMET, 2009. 465 p.

RAMOS, C. M. C.; SILVA, A. F.; SARTORI, A. A. C.; ZIMBACK, C. R. L; BASSOI, L. H. Modelagem da variação horária da temperatura do ar em Petrolina, PE, e Botucatu, SP. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 9, p. 959–965, set. 2011.

SENTELHAS, P. C.; MORAES, S. O.; PIEDADE, S. M. S.; PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; MARIN, F. R. Análise comparativa de dados meteorológicos obtidos por estações convencional e automática. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 5, n. 2, p. 215-221, jul./dez. 1997.

SILVA, J. C. **Épocas de menor risco de estresse hídrico e térmico para o feijoeiro na região central do Rio Grande do Sul**. 2005. 64f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

SILVA, J. C. **Parâmetros de irrigação para o feijoeiro em diferentes solos e épocas de semeadura na região central do Rio Grande do Sul**. 2008. 112 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

SOUZA, I. A.; GALVANI, E.; ASSUNÇÃO, H. F. Estudo comparativo entre elementos meteorológicos monitorados por estações convencional e automática na região de Maringá, Estado do Paraná. **Acta Scientiarum: Technology**, Maringá, v. 25, n. 2, p. 203-207, jul./dez. 2003.

STRASSBURGER, A. S.; MENEZES, A. J. E. A; PERLEBERG, T. D.; EICHOLZ, E. D.; MENDEZ, M. E. G.; SCHÖFFEL, E. R. Comparação da temperatura do ar obtida por estação meteorológica convencional e automática. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 26, n. 2, 273-278, abr./jun. 2011.

STRECK, L. **Determinação e estimativa da duração do período de molhamento em cultivos de batata**. 2006. 107 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

STRECK, N. A.; LAGO, I.; ALBERTO, C. M.; BISOGNIN, D. A. Simulação do desenvolvimento da batata cultivar Asterix em cinco cenários de mudanças climáticas em Santa Maria, RS. **Bragantia**, Campinas, v. 65, n. 4, p. 693-702, out./dez. 2006.

STRECK, N. A.; PAULA, F. L. M.; BISOGNIN, D. A.; HELDWEIN, A. B.; DELLAI, J. Simulating the development of field grown potato (*Solanum tuberosum* L.). **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 142, n. 1, p. 1-11, jan./mar. 2007.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

TERAMOTO, E. T.; CARVALHO, L. G.; DANTAS, A. A. A. Comparação entre valores de temperatura média do ar de estação convencional com valores obtidos em estação automática e análise de equações para estimativas de médias da temperatura do ar em Lavras, MG. **Ciência e agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. spe, 2009.

TRENTIN, G. **Avaliação de sistemas de previsão de ocorrência de *Phytophthora infestans* em batata**. 2006, 100 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

TRENTIN, G. **Parâmetros de irrigação por análise numérica para a cultura do milho na Região Central do Rio Grande do Sul**. 2009, 192 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

TRENTIN, G.; HELDWEIN, A. B.; STRECK, L.; MAASS, G. F.; RADONS, S. Z.; TRENTIN, R. Controle da requeima em batata cv. 'Asterix' como base para modelos de previsão da doença. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 2, p. 393-399, mar-abr, 2009.

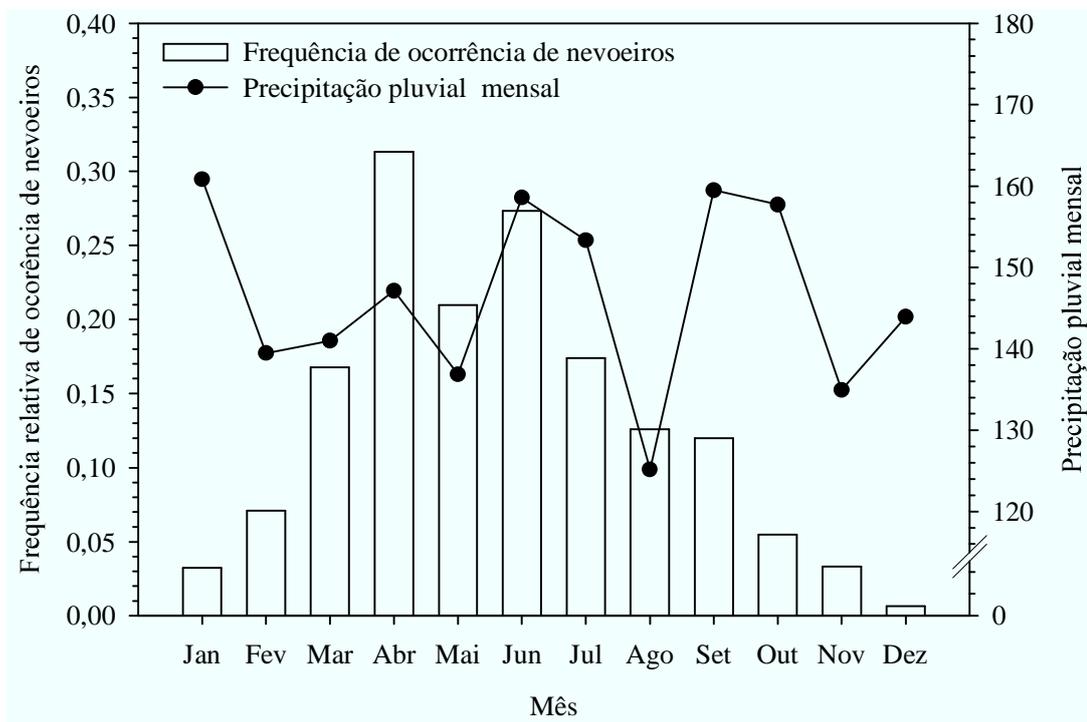
VAN EIMERN, J. Untersuchungen über das klima in pflanzenbeständen als grunlage einer agrarmeteorologischen beratung insbesonere für den pflanzenschutz. **Berichte des Deutschen Wetterdienstes**, n. 96, 1964. 76 p.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e climatologia**. Versão digital 2, Recife, 2006. 449 p. Disponível em: http://www.icat.ufal.br/laboratorio/clima/data/uploads/pdf/METEOROLOGIA_E_CLIMATOLOGIA_VD2_Mar_2006.pdf. Acesso: em: 04 jul. 2012.

WMO. WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation**. 7th ed. 2008. 681 p. Disponível em: <www.wmo.int/pages/prog/www/IMOP/publications/CIMO-Guide/CIMO%20Guide%207th%20Edition,%202008/CIMO_Guide-7th_Edition-2008.pdf>. Acesso em: 19 de maio de 2011.

APÊNDICES

Apêndice A – Frequência mensal relativa de dias com nevoeiro para o período de janeiro de 2002 até junho de 2011, e precipitação pluvial média mensal, calculada para o período de julho de 1968 até junho de 2011, em Santa Maria/RS.



Apêndice B – Quadro de análise de variância (ANOVA) da duração em dias, do subperíodo vegetativo da cultura da batata para diferentes datas simuladas de plantio no período de safra nos anos agrícolas de 1968/69 a 2010/11, em Santa Maria, RS.

Causas da variação	Graus de liberdade	Soma de quadrados	Quadrado médio	Valor F	Prob. > F
PERÍODOS	1	6.427,06	6.427,06	982,55	0,0000*
DATAS	6	3.344,67	557,44	85,22	0,0000*
PERÍODOS *DATAS	6	3.563,70	593,95	90,80	0,0000*
ERRO	588	3.846,23	6,54		
TOTAL	601	17.181,66			
CV(%)	12,87				

* Significativo em nível de 5 % de probabilidade de erro.

Apêndice C – Quadro de análise de variância (ANOVA) da duração em dias, do subperíodo de tuberização da cultura da batata para diferentes datas simuladas de plantio nos anos agrícolas de 1968/69 a 2010/11, em Santa Maria, RS.

Causas da variação	Graus de liberdade	Soma de quadrados	Quadrado médio	Valor F	Prob. > F
PERÍODOS	1	1.021,02	1.021,02	62,52	0,0000*
DATAS	6	1.052,41	175,40	10,74	0,0000*
PERÍODOS *DATAS	6	12.784,02	2.130,67	130,46	0,0000*
ERRO	588	9.603,06	16,33		
TOTAL	601	24.460,53			
CV(%)	10,18				

* Significativo em nível de 5 % de probabilidade de erro.

Apêndice D – Quadro de análise de variância (ANOVA) da duração em dias, do subperíodo de senescência da cultura da batata para diferentes datas simuladas de plantio nos anos agrícolas de 1968/69 a 2010/11, em Santa Maria, RS.

Causas da variação	Graus de liberdade	Soma de quadrados	Quadrado médio	Valor F	Prob. > F
PERÍODOS	1	706,15	706,15	130,77	0,0000*
DATAS	6	920,53	153,42	28,41	0,0000*
PERÍODOS *DATAS	6	529,92	88,32	16,35	0,0000*
ERRO	588	3.175,30	5,40		
TOTAL	601	5.531,90			
CV(%)	11,32				

* Significativo em nível de 5 % de probabilidade de erro.

Apêndice E – Quadro de análise de variância (ANOVA) da duração em dias, do ciclo total de desenvolvimento da cultura da batata para diferentes datas simuladas de plantio nos anos agrícolas de 1968/69 a 2010/11, em Santa Maria, RS.

Causas da variação	Graus de liberdade	Soma de quadrados	Quadrado médio	Valor F	Prob. > F
PERÍODOS	1	447,44	447,44	14,57	0,0001*
DATAS	6	3.098,68	516,45	16,82	0,0000*
PERÍODOS *DATAS	6	1.391,71	231,95	7,55	0,0000*
ERRO	588	18.056,09	30,71		
TOTAL	601	22.993,93			
CV(%)	7,10				

* Significativo em nível de 5 % de probabilidade de erro.

Apêndice F – Quadro de análise de variância (ANOVA) do número de aplicações de fungicidas para o controle da requeima da batata em Santa Maria, RS, com plantio em diferentes datas de plantio nos períodos de safra e safrinha, simuladas nos anos agrícolas de 1968/69 a 2010/11.

Causas da variação	Graus de liberdade	Soma de quadrados	Quadrado médio	Valor F	Prob. > F
PERÍODOS	1	517,2	517,2	342,39	0,0000*
DATAS	6	43,17	7,19	4,76	0,0001*
PERÍODOS *DATAS	6	4,67	0,78	0,51	0,7972 ^{ns}
ERRO	588	888,23	1,51		
TOTAL	601	1.453,29			
CV(%)	27,59				

* Significativo em nível de 5 % de probabilidade de erro. ^{ns} Não significativo em nível de 5 % de probabilidade de erro.

Apêndice G – Quadro de análise de variância (ANOVA) do número de valores de severidade calculada pelo sistema Blitecast para o controle da requeima da batata em Santa Maria, RS, com plantio em diferentes datas de plantio nos períodos de safra e safrinha, simuladas nos anos agrícolas de 1968/69 a 2010/11.

Causas da variação	Graus de liberdade	Soma de quadrados	Quadrado médio	Valor F	Prob. > F
PERÍODOS	1	162.511,43	162.511,43	366,77	0,0000*
DATAS	6	13.357,39	2.226,23	5,024	0,0000*
PERÍODOS *DATAS	6	954,46	159,08	0,36	0,9047 ^{ns}
ERRO	588	260.536,05	443,09		
TOTAL	601	437.359,33			
CV(%)	23,63				

* Significativo em nível de 5 % de probabilidade de erro. ^{ns} Não significativo em nível de 5 % de probabilidade de erro.

Apêndice H – Quadro de análise de variância (ANOVA) do número de valores de severidade calculada (VSC) diários pelo sistema Blitecast e de horas diárias com umidade relativa do ar $\geq 85\%$ em Santa Maria, RS, no período de julho de 1968 até junho de 2011.

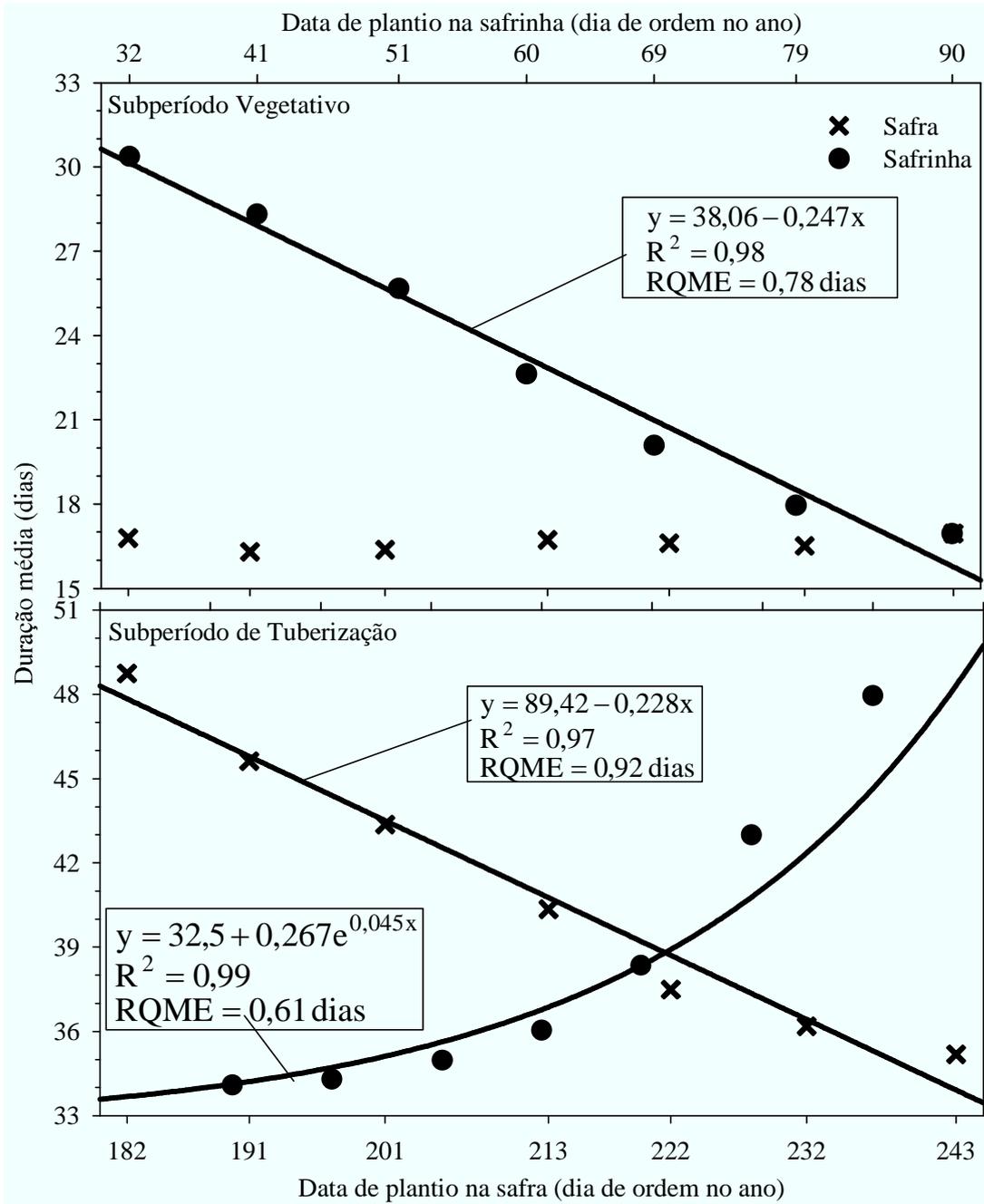
Causas da variação	Graus de liberdade	Soma de quadrados	Quadrado médio	Valor F	Prob. > F
MESES	11	2.089,99	190,00	75,69	0,0000*
ERRO	504	1265,20	2,51		
TOTAL	515	3.355,18			
CV(%)	14,38				

* Significativo em nível de 5 % de probabilidade de erro.

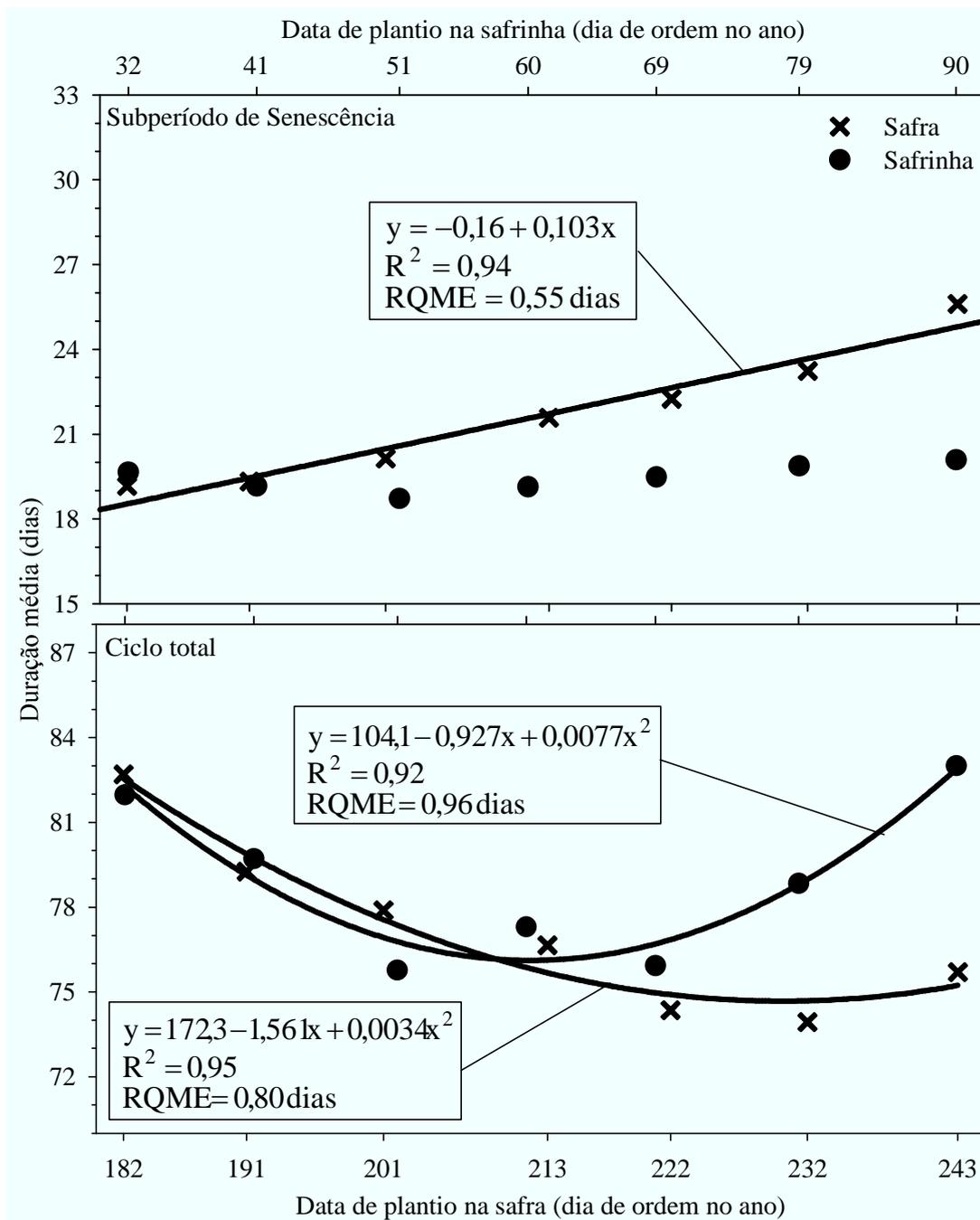
Apêndice I – Quadro de análise de variância (ANOVA) do número de horas diárias com umidade relativa do ar $\geq 85\%$ em Santa Maria, RS, no período de julho de 1968 até junho de 2011.

Causas da variação	Graus de liberdade	Soma de quadrados	Quadrado médio	Valor F	Prob. > F
MESES	11	31,62	2,87	19,67	0,0000*
ERRO	504	73,64	0,15		
TOTAL	515	105,26			
CV(%)	38,63				

* Significativo em nível de 5 % de probabilidade de erro.



Apêndice J – Duração média dos subperíodos vegetativo e de tuberização da cultura da batata em diferentes datas simuladas de plantio na safra e na safrinha, nos anos agrícolas de 1968/69 a 2010/11, em Santa Maria, RS.



Apêndice K – Duração média do subperíodo de senescência e do ciclo total da cultura da batata em diferentes datas simuladas de plantio na safra e na safrinha, nos anos agrícolas de 1968/69 a 2010/11, em Santa Maria, RS.