



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
FACULDADE DE AGRONOMIA ELISEU MACIEL

**RELAÇÃO ENTRE SEQUÊNCIAS DE TEMPERATURAS MÍNIMAS E RISCOS
DE GEADAS NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL**

ANTONIO SÉRGIO DOS SANTOS BONINI

Tese apresentada à Universidade Federal de Pelotas, sob a orientação da Professora Dra. Roberta Marins Nogueira Peil, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, como requisito para a obtenção do Título de Doutor.

PELOTAS
Rio Grande do Sul – Brasil
Setembro de 2008

Dados de catalogação na fonte:
(Marlene Cravo Castillo – CRB-10/744)

B715r Bonini, Antonio Sergio dos Santos

Relação entre seqüências de temperaturas mínimas e riscos de
geadas no estado Rio Grande do Sul / Antonio Sergio dos Santos
Bonini. - Pelotas, 2008.
108f. : il.

Tese (Doutorado) –Programa de Pós-Graduação em Agro-
nomia. Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel. Universidade Fe-
deral de Pelotas. - Pelotas, 2008, Roberta Marins Nogueira Peil,
Orientador.

1. Temperatura do ar 2. Probabilidade 3. Cadeia de Mar-
kov 4. Método Conrad & Pollak 5. Eventos extremos I Peil, Ro-
berta Marins Nogueira (orientador) II .Título.

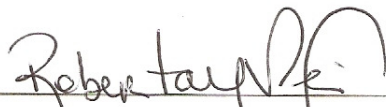
CDD 551.518

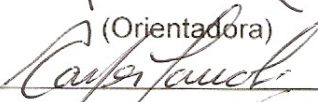
ANTONIO SÉRGIO DOS SANTOS BONINI

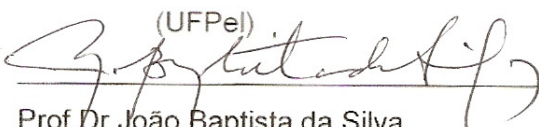
RELAÇÃO ENTRE SEQUÊNCIAS DE TEMPERATURAS MÍNIMAS E
RISCOS DE GEADAS NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

Tese apresentada à Universidade Federal de Pelotas, sob a orientação da Professora Dra. Roberta Marins Nogueira Peil, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, como requisito para a obtenção do Título de Doutor.

Aprovada: 23 de setembro de 2008


Prof.^a.Dra Roberta Marins Nogueira Peil
(Orientadora)


Prof.Dr.Carlos Rogério Mauch
(UFPel)


Prof.Dr.João Baptista da Silva
(UFPel)


Prof.Dr.Marcos Silveira Wrege
(Embrapa Florestas)

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Pelotas pela oportunidade de realizar o curso de Pós-Graduação.

Ao Conjunto Agrotécnico Visconde da Graça, UFPel, pela concessão de licença para realizar esta tese.

À Prof^a Dra.Roberta Marins Nogueira Peil pela valiosa orientação, confiança e amizade durante o curso e execução do trabalho, não poupando dedicação ao meu amadurecimento e formação profissional.

À Prof^a Dra.Simone Vieira de Assis pela co-orientação, permanente incentivo, postura e brilhante desempenho como educadora.

Ao Prof. Dr.Carlos Rogério Mauch pela incansável disponibilidade, prontidão e auxílio em todas as etapas da execução desta tese.

Um agradecimento muito especial aos professores Dr. Luiz Antônio Veríssimo Correa, Dr. Edgar Ricardo Schöffel e Dra. Marta Elena Gonzalez Mendes pelas valiosas informações profissionais.

Aos amigos Ricardo Osório Magalhães, Sandra Souza Franco, Maria Elizabeth Simões Rodrigues, Mery Elizabeth Couto, Maria Elaine Soares, Berenice Ramos, Sônia Duarte Pires, Maria Regina Barcellos, Julieta Antonio Jorge, Claudia Baillo, Doriane Brizolara Mechereffe, Regina Machado Iruzum, Kerstin Siewerdt, pela amizade, carinho, incentivo, paciência e auxílio, em todos os momentos.

A minha família, pela compreensão e permanente apoio carinhoso.

A todos, obrigado.

Nós somos a soma das nossas decisões.

Woody Allen

Ao meu pai
À minha mãe
Às minhas irmãs

RESUMO

BONINI, ANTÔNIO SÉRGIO DOS SANTOS. **Relação entre seqüências de temperaturas mínimas e riscos de geadas no Estado Rio Grande do Sul**. 2008. 108f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

A temperatura mínima do ar é uma das variáveis meteorológicas que exerce relevante influência sobre as condições ambientais, sendo um dos fatores determinantes do crescimento e desenvolvimento das plantas. A avaliação da temperatura mínima do ar, na Região Sul do Brasil, está diretamente relacionada com a identificação dos períodos mais adequados para a semeadura/plantio das diversas culturas, pois permite estabelecer que as fases críticas da planta coincidam com o período de menor probabilidade de ocorrência de temperaturas prejudiciais à cultura. Através do estudo de 30 anos de dados diários de temperatura mínima do ar de doze estações meteorológicas de superfície, no Estado do Rio Grande do Sul, durante os meses do ano, foi feita a caracterização dos períodos com temperatura mínima do ar dentro do intervalo $t \leq 3^{\circ}\text{C}$. A probabilidade de a temperatura mínima se encontrar no referido intervalo foi obtida através dos cálculos de probabilidade condicional e da probabilidade de ocorrência de dias com temperatura mínima dentro de um período de sete dias, utilizando-se o modelo da Cadeia de Markov de primeira ordem. Os resultados obtidos mostraram que a probabilidade de um determinado dia encontrar-se com uma temperatura mínima particular, depende do estado precedente, comprovando

satisfatoriamente o ajuste do Modelo da Cadeia de Markov. O estudo promoveu o mapeamento das Regiões Ecoclimáticas do Rio Grande do Sul com base na descrição da seqüência de temperaturas mínimas e riscos de geadas, por meio do Método Cadeia de Markov, do uso do modelo de regressão linear múltipla e do Método Conrad & Pollak, identificando, dessa forma, as probabilidades das datas de ocorrência da primeira e da última geada do ano, para auxiliar no planejamento e épocas de cultivo.

Palavras-chave: temperatura do ar, probabilidades, Cadeia de Markov, Método Conrad & Pollak, eventos extremos

ABSTRACT

BONINI, ANTÔNIO SÉRGIO DOS SANTOS. **Relation between sequence of occurrence of the minimum air temperature and frost risk in the State of Rio Grande do Sul**. 2008. 108f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

The minimum air temperature is one of the meteorological variables which exercises relevant influence over environmental conditions, being one of the determining factors to the growth and development of the plants. The evaluation of the minimum air temperature, in the Southern Region of Brasil, is directly related to the identification of the more adequate periods for the sowing or planting of the various cultivation, for it permits the establishment of the critical plant phase to coincide with the period of a minor probability of harmful temperature occurrence to the cultivation. Through the thirty years of daily data study of the minimum air temperature, in twelve surface meteorological stations, in the State of Rio Grande do Sul, during the months of the year, the characterization period was done with a minimum temperature within the following interval $t \leq 3^{\circ}\text{C}$. The probability of minimum temperature to be found in the referred interval was obtained through the calculation of the conditional probability and the probability of occurrence of days with the minimum temperature within an interval of seven days, using the first-order Markov Chain Model. The results obtained showed that the probability of a determined day to be found at a minimum particular temperature depends on the precedent state, confirming, satisfactorily, the adjustment of the Markov Chain Model. The study promoted the mapping of the Ecoclimatic regions of Rio Grande do Sul based on description of the minimum temperature sequence and frost risk,

thought Markov Chain Model, the use of the multiple linear regression model and Conrad & Pollak Method, thus identifying the probability dates of occurrence of the first and the last frost of the year, to help in the planning and epoch of cultivation.

Keywords: air temperature, probabilities, Markov Chain, Conrad & Pollak Method, extreme events

LISTA DE FIGURAS

	Página
FIGURA 1 – Localização geográfica das Estações Meteorológicas de estudo por suas respectivas Regiões Ecoclimáticas.....	16
FIGURA 2 – Mapa do Rio Grande do Sul com a estimativa da data da primeira geada do ano.....	79
FIGURA 3 – Mapa do Rio Grande do Sul com a estimativa da data da última geada do ano.....	80

LISTA DE TABELAS

	Página
TABELA 1 – Estações Meteorológicas de estudo do Rio Grande do Sul com coordenadas geográficas e regiões ecoclimáticas	17
TABELA 2 – Períodos semanais para agrupamento de registros de temperaturas iguais ou inferiores a 3°C.....	18
TABELA 3 – Probabilidade de ocorrência de dias com temperatura mínima no intervalo I.....	24
TABELA 4 – Probabilidade de haver, pelo menos, dias com temperatura mínima fora do intervalo I.....	25
TABELA 5 – Probabilidade inicial e condicional à ocorrência de temperatura mínima do ar no Estado do Rio Grande do Sul, referente ao período: 1969 – 1998. Local: Bom Jesus ($t \leq 3^{\circ}\text{C}$).....	36
TABELA 6 – Probabilidade inicial e condicional à ocorrência de temperatura mínima do ar no Estado do Rio Grande do Sul, referente ao período: 1969 – 1998. Local: Torres ($t \leq 3^{\circ}\text{C}$)	37

TABELA 7 – Probabilidade inicial e condicional à ocorrência de temperatura mínima do ar no Estado do Rio Grande do Sul, referente ao período:1969 - 1998. Local: Porto Alegre ($t \leq 3^{\circ}\text{C}$)	37
TABELA 8 – Probabilidade inicial e condicional à ocorrência de temperatura mínima do ar no Estado do Rio Grande do Sul, referente ao período:1969 -1998. Local: Uruguaiana ($t \leq 3^{\circ}\text{C}$).....	38
TABELA 9 – Probabilidade inicial e condicional à ocorrência de temperatura mínima do ar no Estado do Rio Grande do Sul, referente ao período:1969 -1998. Local: Pelotas ($t \leq 3^{\circ}\text{C}$)	39
TABELA 10 – Probabilidade inicial e condicional à ocorrência de temperatura mínima do ar no Estado do Rio Grande do Sul, referente ao período:1969 -1998. Local: Santa Vitória do Palmar ($t \leq 3^{\circ}\text{C}$).....	40
TABELA 11 – Probabilidade inicial e condicional à ocorrência de temperatura mínima do ar no Estado do Rio Grande do Sul, referente ao período: 1969 – 1998. Local: Bagé ($t \leq 3^{\circ}\text{C}$).....	41
TABELA 12 – Probabilidade inicial e condicional à ocorrência de temperatura mínima do ar no Estado do Rio Grande do Sul, referente ao período: 1969 –1998. Local: Encruzilhada do Sul ($t \leq 3^{\circ}\text{C}$)	42
TABELA 13 – Probabilidade inicial e condicional à ocorrência de temperatura mínima do ar no Estado do Rio Grande do Sul, referente ao período:1969 –1998. Local: Iraí ($0^{\circ}\text{C} \leq t \leq 5^{\circ}\text{C}$)	43
TABELA 14 – Probabilidade inicial e condicional à ocorrência de temperatura mínima do ar no Estado do Rio Grande do Sul, referente ao período:1969 -1998. Local: Passo Fundo ($t \leq 3^{\circ}\text{C}$)	44
TABELA 15 – Probabilidade inicial e condicional à ocorrência de temperatura mínima do ar no Estado do Rio Grande do Sul, referente ao período:1969 -1998. Local: São Luiz Gonzaga ($t \leq 3^{\circ}\text{C}$)	45

TABELA 16 – Probabilidade inicial e condicional à ocorrência de temperatura mínima do ar no Estado do Rio Grande do Sul, referente ao período:1969 –1998. Local: Santa Maria ($t \leq 3^{\circ}\text{C}$)	46
TABELA 17 – Probabilidade de ocorrência de dias com temperatura mínima do ar dentro dos intervalos especificados, referente ao período: 1969 – 1998. Local: Santa Maria ($t \leq 3^{\circ}\text{C}$)	50
TABELA 18 – Probabilidade de ocorrência de dias com temperatura mínima do ar dentro dos intervalos especificados, referente ao período: 1969 – 1998. Local: Encruzilhada do Sul ($t \leq 3^{\circ}\text{C}$)	51
TABELA 19 – Probabilidade de ocorrência de dias com temperatura mínima do ar dentro dos intervalos especificados, referente ao período: 1969 – 1998. Local: Pelotas ($t \leq 3^{\circ}\text{C}$)	52
TABELA 20 – Probabilidade de ocorrência de dias com temperatura mínima do ar dentro dos intervalos especificados, referente ao período: 1969 – 1998. Local: Bom Jesus ($t \leq 3^{\circ}\text{C}$).....	53
TABELA 21 – Probabilidade de ocorrência de dias com temperatura mínima do ar dentro dos intervalos especificados, referente ao período: 1969 – 1998. Local: Porto Alegre ($t \leq 3^{\circ}\text{C}$)	54
TABELA 22 – Probabilidade de ocorrência de dias com temperatura mínima do ar dentro dos intervalos especificados, referente ao período: 1969 – 1998. Local: Torres ($t \leq 3^{\circ}\text{C}$).....	54
TABELA 23 – Probabilidade de ocorrência de dias com temperatura mínima do ar dentro dos intervalos especificados, referente ao período: 1969 – 1998. Local: Bagé ($t \leq 3^{\circ}\text{C}$)	55

TABELA 24 – Probabilidade de ocorrência de dias com temperatura mínima do ar dentro dos intervalos especificados, referente ao período: 1969 – 1998. Local: Iraí ($t \leq 3^{\circ}\text{C}$)	56
TABELA 25 – Probabilidade de ocorrência de dias com temperatura mínima do ar dentro dos intervalos especificados, referente ao período: 1969 – 1998. Local: Passo Fundo ($t \leq 3^{\circ}\text{C}$)	57
TABELA 26 – Probabilidade de ocorrência de dias com temperatura mínima do ar dentro dos intervalos especificados, referente ao período: 1969 – 1998. Local: São Luiz Gonzaga ($t \leq 3^{\circ}\text{C}$)	58
TABELA 27 – Probabilidade de ocorrência de dias com temperatura mínima do ar dentro dos intervalos especificados, referente ao período: 1969 – 1998. Local: Santa Vitória do Palmar ($t \leq 3^{\circ}\text{C}$)	59
TABELA 28 – Probabilidade de ocorrência de dias com temperatura mínima do ar dentro dos intervalos especificados, referente ao período: 1969 – 1998. Local: Uruguaiana ($t \leq 3^{\circ}\text{C}$)	60
TABELA 29 – Datas e probabilidades de ocorrência da primeira e última temperatura do ano menor ou igual a 3°C nas condições de Bom Jesus, RS.....	63
TABELA 30 – Datas e probabilidades de ocorrência da primeira e última temperatura do ano menor ou igual a 3°C nas condições de Torres, RS.....	64
TABELA 31 – Datas e probabilidades de ocorrência da primeira e última temperatura do ano menor ou igual a 3°C nas condições de Porto Alegre, RS.....	65

TABELA 32 – Datas e probabilidades de ocorrência da primeira e última temperatura do ano menor ou igual a 3°C nas condições de Uruguaiana, RS.....	66
TABELA 33 – Datas e probabilidades de ocorrência da primeira e última temperatura do ano menor ou igual a 3°C nas condições de Bagé, RS.....	67
TABELA 34 – Datas e probabilidades de ocorrência da primeira e última temperatura do ano menor ou igual a 3°C nas condições de Encruzilhada do Sul, RS.....	68
TABELA 35 – Datas e probabilidades de ocorrência da primeira e última temperatura do ano menor ou igual a 3°C nas condições de Iraí, RS.....	69
TABELA 36 – Datas e probabilidades de ocorrência da primeira e última temperatura do ano menor ou igual a 3°C nas condições de Pelotas, RS.....	70
TABELA 37 – Datas e probabilidades de ocorrência da primeira e última temperatura do ano menor ou igual a 3°C nas condições de Passo Fundo, RS.....	71
TABELA 38 – Datas e probabilidades de ocorrência da primeira e última temperatura do ano menor ou igual a 3°C nas condições de São Luiz Gonzaga, RS.....	72
TABELA 39 – Datas e probabilidades de ocorrência da primeira e última temperatura do ano menor ou igual a 3°C nas condições de Santa Maria, RS.....	73

TABELA 40 – Datas e probabilidades de ocorrência da primeira e última temperatura do ano menor ou igual a 3°C nas condições de Santa Vitória do Palmar,RS.....	74
TABELA 1 (Apêndice) – Coordenadas geográficas e percentuais de probabilidade da temperatura mínima do ar, no intervalo I, para um e dois dias consecutivos na semana 20 do ano.....	96
TABELA 2 (Apêndice) – Coordenadas geográficas e percentuais de probabilidade da temperatura mínima do ar, no intervalo I, para um e dois dias consecutivos na semana 25 do ano	96
TABELA 3 (Apêndice) – Coordenadas geográficas e percentuais de probabilidade da temperatura mínima do ar, no intervalo I, para um e dois dias consecutivos na semana 30 do ano.....	97
TABELA 4 (Apêndice) – Coordenadas geográficas e percentuais de probabilidade da temperatura mínima do ar, no intervalo I, para um e dois dias consecutivos na semana 35 do ano.....	97
TABELA 5 (Apêndice) – Coordenadas geográficas e percentuais de probabilidade da temperatura mínima do ar, no intervalo I, para um e dois dias consecutivos na semana 40 do ano	98

SUMÁRIO

	Página
Resumo	v
Abstract.....	vii
LISTA DE FIGURAS.....	ix
LISTA DE TABELAS.....	x
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	5
2.1 Temperaturas mínimas e riscos de geadas.....	5
2.2 O Método Cadeia de Markov.....	9
2.3 Modelo de Regressão Linear Múltipla.....	13
2.4 O Método Conrad & Pollak.....	14
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	15
3.1 Dados meteorológicos utilizados.....	15
3.2 Metodologia.....	18
3.2.1 Período utilizado.....	18
3.2.2 Fundamentação Teórica do Método Cadeia de Markov.....	20
3.2.3 Probabilidade inicial e condicional.....	21

3.2.4 Probabilidade de ocorrência de dias com temperatura mínima no intervalo I.....	23
3.2.5 Probabilidade de haver, pelo menos, dias com temperatura mínima fora do intervalo I.....	25
3.2.6 Modelos de estimativa das temperaturas mínimas baseado nas coordenadas geográficas.....	25
3.2.7 Funções que dão a probabilidade de ocorrência da primeira e da última data com temperatura menor ou igual a 3°C.....	27
3.2.8 Mapeamento das datas da primeira e da última geada no Estado do Rio Grande do Sul.....	28
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	30
4.1 Probabilidade Inicial e Condicional.....	31
4.2 Probabilidade de ocorrência de dias com temperatura mínima no intervalo I.....	46
4.3 Modelos de estimativa das probabilidades das temperaturas mínimas baseado nas coordenadas geográficas.....	61
4.4 Função que dá a probabilidade de ocorrência da primeira temperatura menor ou igual a 3°C e função que dá a probabilidade de ocorrência da última temperatura menor ou igual a 3°C.....	61
4.5 Mapeamento do modelo de estimativa das temperaturas mínimas por meio das coordenadas geográficas.....	75
5 CONCLUSÕES.....	81
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	83
7 REFERÊNCIAS.....	84
8 APÊNDICES.....	87

1 INTRODUÇÃO

Temperaturas muito baixas, quando ocorrem nas fases críticas de desenvolvimento das plantas, podem prejudicar a produção agrícola. Na Região Sul do Brasil, é uma das principais variáveis que afetam a agricultura, além do déficit hídrico. Quando se planejam atividades agrícolas, é necessário estudar as condições adversas do tempo, de modo a fornecer informações ou aprimorar as técnicas já existentes, a fim de minimizar os prejuízos resultantes da quebra de safra. O planejamento do calendário agrícola inclui a definição de épocas favoráveis ao plantio e à colheita, bem como o conhecimento de condições propícias para o desenvolvimento fenológico. Também a possível necessidade de adaptarem-se novas espécies vegetais à determinada região torna indispensável estudar com mais detalhes a influência meteorológica no comportamento vegetal.

As culturas de inverno, embora adaptadas a baixas temperaturas, sofrem quando a temperatura passa a ser menor do que aqueles valores que a planta pode suportar, uma vez que os efeitos são letais, principalmente, para as frutíferas, hortaliças e para as florestas no primeiro ano de implantação. Da mesma forma, pode-se fazer uma analogia com as culturas de verão, as quais terão, como fator limitante ao seu perfeito desenvolvimento, temperaturas menores do que as características da época.

O regime térmico do Rio Grande do Sul é desuniforme devido a sua posição geográfica e à influência do Oceano Atlântico. A sua localização, além do paralelo 27º, condiciona o clima da região ao domínio mesotérmico do tipo temperado, ou seja, está

totalmente na zona temperada, cuja característica principal é a nitidez do ritmo estacional. Em conjunção, há a proximidade do Rio Grande do Sul da orla marítima, o que exerce um papel muito importante no condicionamento climático da região (NIMER, 1989 apud PIMENTEL, 2007). Diante do que foi exposto, deduz-se que as temperaturas extremas são marcantes e bem diferenciadas, conquanto o inverno não seja muito rigoroso, isto é, sem a ocorrência de temperaturas mínimas excessivamente baixas e, durante o verão, a temperatura máxima possa aproximar-se dos 40°C.

Um dos mais importantes aspectos do clima é a ocorrência de eventos extremos, por exemplo, com temperaturas máximas muito elevadas ou temperaturas mínimas muito baixas.

O conhecimento da temperatura do ar é de extrema relevância para o zoneamento climático assim como na classificação climática, pois a temperatura do ar é um dos mais importantes fatores que afetam a fisiologia das plantas e a produção.

Se, por um lado, a variabilidade climática representa a grande riqueza rio-grandense, por outro lado é necessário conhecê-la e identificar as regiões com características mais adequadas para cada espécie vegetal, a fim de que se atinja o potencial máximo produtivo. Dessa maneira, o presente trabalho será direcionado para o Rio Grande do Sul, com foco na temperatura mínima do ar, variável meteorológica fundamental para o sucesso da produtividade.

A obtenção de informações sobre temperatura e sua variação sazonal conduz à necessidade da utilização de modelos estatísticos para estabelecimento antecipado das condições climáticas e do tempo de uma determinada região. Um importante aspecto desses modelos, tanto para os pesquisadores quanto para os usuários, é a medida da precisão e confiabilidade que tais modelos apresentam, pois poderão influir em decisões políticas, econômicas e sociais.

Existem numerosos modelos para estimativas de dados meteorológicos. A escolha da metodologia, segundo Pimentel (2007), está relacionada a uma série de fatores como: variável meteorológica considerada, área geográfica, distribuição espacial das observações da redondeza e mês/estação do ano para o qual a variável alvo será estimada.

O fato de o tempo, em um certo dia, não ser estatisticamente independente do tempo no dia precedente tem sido analisado de diversas formas. Um modo simples consiste na utilização de um modelo cuja seqüência de dias seja considerada como uma cadeia. Essa teoria foi desenvolvida pelo matemático russo Andrei Markov, em 1907, levando em conta dois estados sucessivos.

O princípio básico no qual se baseia a Cadeia de Markov é a probabilidade de um determinado dia encontrar-se em um estado particular, dependendo exclusivamente do estado do dia precedente (HILDEBRAND, 1975).

Muitos pesquisadores têm dedicado seus estudos ao desenvolvimento de métodos para estimativas de temperaturas máximas e mínimas médias do ar, com avaliação mensal ou anual à superfície, através de várias técnicas matemáticas e estatísticas, mas se tem verificado que a regressão linear múltipla (RLM), pela sua simplicidade, é preferida. Consiste no estabelecimento de equações lineares, sendo que a variável dependente, aquela a ser estimada, é denominada preditante, e as variáveis independentes são chamadas preditores.

A avaliação da temperatura mínima do ar terá ampla aplicação nos estudos relacionados com a identificação dos melhores períodos para o plantio tornando possível a redução de riscos nas várias regiões ecoclimáticas do Estado.

Os estudos de probabilidades, por seu turno, são importantes na definição das épocas mais apropriadas de semeadura/plantio, buscando que as fases críticas das culturas coincidam com o período de menor probabilidade de ocorrência de temperaturas prejudiciais.

Considerando o exposto, o presente trabalho será desenvolvido tendo em vista os seguintes objetivos:

Geral:

promover o mapeamento das Regiões Ecoclimáticas do Rio Grande do Sul com base na descrição da seqüência de temperaturas mínimas e riscos de geadas, através do Método Cadeia de Markov, do uso de modelo de regressão linear múltipla e do Método Conrad & Pollak, determinando, dessa forma, as datas da primeira e da última geada do ano, para auxiliar no planejamento de épocas de cultivo.

Específicos:

- a) obter o número de dias com intervalos de temperatura mínima do ar preestabelecida;
- b) calcular a probabilidade de ocorrência de seqüências de dias com intervalos de temperatura mínima do ar preestabelecida;
- c) identificar o mês ou os meses que apresentam temperatura mínima do ar dentro dos limites estabelecidos;
- d) mapear as datas da primeira e da última geada, em função dos riscos de geadas, calculadas sobre as temperaturas mínimas do ar preestabelecidas, utilizando a latitude, longitude e altitude no Rio Grande do Sul.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Temperaturas mínimas e riscos de geadas

Extensas regiões de produção agrícola no Brasil estão sujeitas à ocorrência de geadas. Como regra geral, as geadas destroem parcial ou completamente lavouras de plantas perenes e anuais, assim como de hortaliças. A intensidade da destruição depende da severidade do fenômeno, da resistência a temperaturas baixas e do ponto de congelamento de cada espécie. Nos locais situados a médias e altas latitudes, a agricultura torna-se atividade de risco durante o inverno, devido à ocorrência de temperaturas baixas.

Segundo Pereira et al. (2002), a suscetibilidade das culturas agrícolas às geadas varia com a espécie e com o estágio fenológico das plantas no momento da ocorrência. Mota (1981), apud Pereira (2002), considera que -2°C seja a temperatura crítica mínima da folha abaixo da qual se iniciam os danos nas plantas de espécies menos resistentes, como a bananeira, o mamoeiro e o arroz. Para espécies mais resistentes, como o cafeeiro, a cana-de-açúcar e os citros, o limite é de -4°C . Os danos serão mais graves e extensos quanto maior for a queda de temperatura abaixo desses limites.

No Brasil, a geada é um fenômeno freqüente nas latitudes maiores que 19°S , englobando os Estados de Minas Gerais (Triângulo Mineiro e Região Sul), São Paulo, Mato Grosso do Sul, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, onde sua ocorrência

resulta em graves prejuízos econômicos, principalmente quando ocorrem precocemente no outono, ou tardiamente na primavera.

Dentro do conceito da meteorologia, as geadas ocorrem quando a temperatura do ponto de orvalho atinge valores abaixo de 0°C e o vapor de água passa diretamente para o estado sólido, havendo formação de cristais de gelo, isto é, a geada é formada pela sublimação do vapor d'água próximo à superfície, quando o ponto de orvalho está abaixo de zero grau Celsius. A geada não é o orvalho congelado (BLAIR & FITE, 1964 apud KIM, 2003).

Na agricultura, a geada é entendida como a queda extrema da temperatura que causa danos à vegetação, acompanhada, ou não, de depósitos de gelo nas superfícies expostas. Essa denominação já é aceita para qualquer situação de baixa energia que venha a danificar as culturas. Portanto, geada é uma ocorrência de curta duração e de difícil previsão. Esse evento provoca alterações físicas nos componentes celulares dos tecidos vegetais, incompatíveis com suas funções fisiológicas. Dessa maneira, a planta é prejudicada, resultando em morte parcial ou, mesmo, total (ANDRÉ & VOLPE, 1984).

Segundo André & Volpe (1984), as geadas são classificadas como de irradiação ou de advecção. A geada de irradiação ocorre em noites de ar calmo e céu limpo, quando a radiação terrestre em direção ao espaço extra-terrestre é perdida devido tanto à ausência de nuvens como a de vapor d'água. A intensidade da geada de irradiação varia consideravelmente com as diferenças locais de topografia e vegetação. A geada de irradiação, que é essencialmente local em extensão, difere da geada de advecção, que resulta do transporte de uma massa de ar de um lugar para outro, em larga escala. No caso da Região Sul do Brasil, a geada de advecção ocorre durante a passagem sobre determinada área de massas polares frias de origem antártica. Sob condições de geada de irradiação, os ventos são normalmente fracos e ocorre inversão térmica, haja vista que as folhas das plantas e outros objetos radiantes se resfriam mais do que o ar. Nessa situação, o calor é retirado desse ar em contato, deixando-o frio e, portanto, mais denso. A geada de advecção ocorre com ventos fortes e, sob essa condição não há inversão de temperatura.

A existência e a quantidade do vapor d'água na atmosfera vêm caracterizar dois tipos diferentes de geadas: geada branca e geada negra. A geada branca é causada

pela sublimação do vapor d'água sobre os objetos, tais como folhas de plantas, matéria morta e demais obstáculos sobre o solo. Esses objetos precisam estar a uma temperatura abaixo do ponto de congelamento, assim como o ar, que, com o ponto de orvalho abaixo do ponto de congelamento, é levado à saturação pelo resfriamento. A geada negra ocorre quando a vegetação é danificada pelo frio devido à redução na temperatura do ar que não contém umidade para a formação de gelo. O nome geada negra é dado não propriamente à geada em si, mas à coloração da planta, que se torna escura e “queimada” após a ocorrência.

A geada de irradiação, independente de ser branca ou negra, é um fenômeno afeito ao balanço de radiação e é específico a cada ponto do vegetal. Existe um gradiente decrescente do saldo de radiação disponível no sentido do colo para o ápice do vegetal, o qual mostra que o nível energético na base é maior do que no ápice. Dessa maneira, na geada de radiação a planta começa a ser prejudicada pela gema terminal e pelas folhas extremas e superiores (ANDRÉ & VOLPE, 1984).

As geadas ocorrem mais facilmente nos locais baixos e de difícil escoamento de ar. A geada pode ocorrer na superfície mesmo que a temperatura do ar, no abrigo meteorológico, esteja positiva. A diferença entre a temperatura de relva e a temperatura do ar a 1,5 m acima do solo, no abrigo, pode atingir até 8°C ou mais (BOOTSMA, 1980 apud KIM, 2003).

As condições fisiográficas do Estado do Rio Grande do Sul caracterizam-se por apresentar variações em altitude e diferentes exposições, o que dificulta a tentativa de separar o Estado em regiões homogêneas. Em estudos climáticos de ocorrência de geadas no Estado do Paraná (Grodzki et al., 1996; Guetter & Zaicovski, 1999; Nery & Sansigolo, 2000 apud Kim, 2003), foi adotada a temperatura mínima (T_{min}) de 3°C no abrigo para a determinação de ocorrência de geada em nível de relva. Valores próximos a 3°C, no abrigo, também foram adotados para determinação de geada nos Estados de Santa Catarina e São Paulo (SENTELHAS et al., 1995; SILVA & SENTELHAS, 2001 apud KIM, 2003).

Uma análise das geadas ocorridas em 1979 foi apresentada por Vianello et al. (1981), apud André & Volpe (1984). Os autores deram um enfoque macro e micrometeorológico do fenômeno, tomando, como exemplo, a localidade de Presidente

Prudente, no Estado de São Paulo, valendo-se, para isso, de fotos de satélites meteorológicos na faixa do infravermelho, de cartas sinóticas, bem como de observações locais, cobrindo, assim, os parâmetros mais importantes. Verificaram que a combinação dos fenômenos macro e microclimáticos foram os responsáveis pela ocorrência de uma geada de grandes proporções no referido ano. A interação dos dois fenômenos originou uma formação mista, composta de geada de advecção (macroclimática) e irradiação (microclimática).

Ortolani et al. (1980), apud André & Volpe (1984), apresentaram o número de ocorrências de temperaturas mínimas inferiores a 2°C, obtidas em abrigo meteorológico padrão, no período de 1962 a 1980, para 8 localidades situadas em regiões cafeeiras do Estado de São Paulo. A adoção de 2°C como limite foi feita com base na diferença média entre a temperatura do ar medida no abrigo e a temperatura de relva em noites de geada, que é da ordem de 5,6°C. Adotando-se a temperatura da folha, tem-se, para esta, um valor de -3,6°C, próxima daqueles verificados por Camargo e Salati (1966) e por Ferraz (1968) como limites para o aparecimento de danos em cafeeiros.

Para o zoneamento climático da batata das águas – feito pelo IAPAR – foram considerados quatro parâmetros: 1º) ensaios de época de semeadura e produtividade e ensaios com as cultivares mais promissoras; 2º) deficiência hídrica, sendo utilizado um modelo que considera a capacidade de armazenamento de água dos solos, a camada de solo explorada pelo sistema radicular da planta e o grau de tolerância da batata ao estresse hídrico, no período compreendido entre a emergência das plântulas e a maturação dos tubérculos; 3º) temperaturas noturnas médias, sendo analisadas as possibilidades de ocorrência de temperaturas noturnas médias acima de 16 – 17°C, que são consideradas inadequadas ao bom desenvolvimento do tubérculo, e 4º) riscos de geadas, para tal foram utilizadas séries históricas de temperatura mínima do ar inferiores ou iguais a 2°C, observadas no interior do abrigo meteorológico de 32 estações do IAPAR, permitindo o cálculo desse risco. Esse limite corresponde à ocorrência de geadas severas, com temperaturas de superfície do solo inferiores a -2°C. Foram calculadas as probabilidades de ocorrência dessas temperaturas por decêndio, nos meses de janeiro a abril, as quais foram correlacionadas com altitude e latitude, obtendo-se regressões lineares múltiplas para cada decêndio. A partir dessas

regressões, foram mapeados os riscos de geadas em função da altitude e latitude para todo o Estado do Paraná.

Wrege et al. (2004), com a finalidade de determinar o período livre de geadas que caracteriza a estação de crescimento das culturas, no Estado do Paraná, determinaram as datas prováveis da primeira geada de outono e da última geada de primavera, com base em séries históricas de temperaturas mínimas de abrigo abaixo de 3°C. O critério usado para determinar a primeira e a última geada foi baseado nas ocorrências de temperaturas abaixo desse limite, com probabilidades cumulativas de 5% e 95%, respectivamente. As probabilidades para cada estação foram correlacionadas com altitude para gerar equações de estimativas da primeira e da última geadas, as quais foram mapeadas em um sistema de informação geográfica. As áreas mais elevadas do Sul e dos Campos Gerais, com altitudes acima de 900m, apresentaram as menores estações de crescimento, com as geadas iniciando-se em maio e estendendo-se até setembro. As áreas de menor altitude e localizadas ao Norte apresentaram a maior estação de crescimento, com ocorrência de geadas basicamente entre junho e agosto.

2.2 O Método Cadeia de Markov

Segundo Hildebrand (1975), um experimento que consiste em um número finito de resultados chamados estados, no qual o resultado de cada tentativa depende da tentativa precedente é chamado de Cadeia de Markov. A probabilidade de passar para o estado seguinte é completamente determinada pelo estado presente do sistema.

De acordo com a teoria de Lipschutz (1972), considera-se uma seqüência de tentativas cujos resultados $x_1, x_2 \dots$ satisfazem as seguintes propriedades:

- a) cada resultado pertence a um conjunto finito de resultados $(a_1, a_2, \dots, a_n)$, chamado de "espaço estado" do sistema;
- b) o resultado de qualquer tentativa depende mais do resultado imediato da tentativa precedente do que de qualquer outro resultado prévio; em cada par de

estado (a_i, a_j) , existe a probabilidade p_{ij} em que a_j ocorre imediatamente depois de a_i ocorrer.

Hoel (1972) explicou o processo da Cadeia de Markov do seguinte modo: $x_0, x_1, x_2, \dots$ também será chamada de Cadeia de Markov se, para qualquer seqüência de estado, $x_0, x_1, x_2, \dots, x_{n+1}$ obedecer-se à seguinte probabilidade:

$$P (x_{n+1} = x_{n+1} / x_0 = x_0, \dots, x_n = x_n) = P (x_{n+1} = x_{n+1} / x_n = x_n)$$

Em outras palavras, a probabilidade de mudar do n -ésimo estado x_n para o $(n+1)$ – enésimo estado x_{n+1} não depende de como se chegou ao n -ésimo estado, isto é, não depende de $x_1, x_2, \dots, x_n$.

Gabriel & Neumann (1962) utilizaram o modelo da Cadeia de Markov de primeira ordem para descrever a forte persistência entre dias secos consecutivos com os dados de Israel.

A utilização da Cadeia de Markov, após Gabriel & Neumann (1962), tem sido extensiva no desenvolvimento de modelos matemáticos para descrever a variabilidade de ocorrência de dias sem chuva e dias chuvosos.

Caskey (1963), com dados de Denver, fez estudo sobre a aplicação da Cadeia de Markov na obtenção da probabilidade de ocorrência de dias secos e dias chuvosos em diferentes intervalos de dias. Na comparação dos resultados com um modelo randômico de probabilidade, o melhor ajuste entre os dados observados e as estimativas obtidas foi o determinado pela Cadeia de Markov.

A exeqüibilidade da Cadeia de Markov na descrição, ou não, de chuva foi obtida por Weiss (1964), Hopkins & Robillard (1964) e Feyerherm et al. (1965).

Morey (1971) considerou, ao estimar o número de dias trabalháveis com tratores agrícolas para a colheita de milho, que dia trabalhável era aquele que tivesse, como valor de precipitação, uma lâmina menor do que 0,25mm e a umidade menor do que 95% da capacidade de campo nos 15 cm superiores do perfil do solo. Esse autor utilizou o modelo da Cadeia de Markov para obter a persistência e a probabilidade

inicial e a de transição para o intervalo de sete dias sucessivos, correspondente à semana climática, ao estimar o número de dias trabalháveis.

Medhi (1976) obteve resultados satisfatórios na análise dos dados do Centro Meteorológico do Aeroporto de Gauhati, Índia, para a obtenção da probabilidade de ocorrência de dias secos e dias úmidos, utilizando a Cadeia de Markov de primeira ordem. A Cadeia de Markov descreveu adequadamente os dados observados, e os resultados mostraram que tanto os dias secos quanto os úmidos seguem uma distribuição geométrica.

Silva et al. (1983) determinaram a probabilidade de dias secos e chuvosos com base em dados diários de precipitação de trinta estações meteorológicas do Rio de Janeiro. As probabilidades foram feitas pelo processo estocástico conhecido como Cadeia de Markov.

Roldan e Woolhiser (1982) compararam a Cadeia de Markov de primeira ordem com a distribuição geométrica truncada ajustada à seqüência de dias sem chuva em cinco locais dos Estados Unidos da América do Norte. Concluíram que a Cadeia de Markov foi superior às outras distribuições em termos probabilísticos e, também, em economia de tempo de computação dos parâmetros.

Agendes e Mota (1986), através do uso do modelo Cadeia de Markov, utilizaram o balanço hídrico diário na estimativa do número de dias em que a umidade do solo é inferior a 84% da capacidade de água disponível na camada superficial do solo (12cm), determinando, então, o número de dias trabalháveis com máquinas agrícolas para solos drenados natural ou artificialmente. Esse método já havia sido testado, obtendo resultados satisfatórios com medidas diretas do solo.

Assis (1988) determinou o número de dias trabalháveis por meio dos valores limites de precipitação: 0,2mm, 5,0mm e 10,0mm, observando-se os valores dos parâmetros climáticos dos dias anteriores e posteriores, combinados com os valores limites de água disponível no solo (ADS 90% DTA). Após a obtenção do número de dias trabalháveis, foi possível calcular a probabilidade de ocorrência de tais dias, usando-se a teoria de probabilidade da Cadeia de Markov, mediante a consideração da seqüência de dois dias.

Mehner et al. (1988) estimaram os dias úteis para a colheita do sorgo através de um modelo de simulação de eventos orientados, aplicando a Cadeia de Markov, através da análise dos dados de precipitação de trinta e dois anos. Esse modelo incorporava o método de cálculo de balanço hídrico baseado no índice de precipitação antecedente, o qual quantificava o conteúdo de água na camada superior do solo.

Jimoh e Webster (1996), utilizando, na Nigéria, uma série de dias chuvosos para cinco estações, determinaram a melhor seqüência - do Modelo Cadeia de Markov - para a ocorrência de chuvas diárias naquelas estações, bem como a melhor seqüência de dias úmidos e secos.

Punyawardena e Kulasiri (1997) compararam o desenvolvimento de dois modelos de Markov na descrição da ocorrência semanal de chuva para a zona seca de Sri Lanka, com base em cinquenta e um anos de observações climatológicas. Ambos os modelos, de primeira e segunda ordem, apresentaram performance similar, mas, devido ao grande número de computações necessárias à elaboração do modelo de segunda ordem, o modelo de primeira ordem foi considerado o mais adequado para a maioria dos trabalhos agrícolas, com boa confiança para estudos e projeção de ocorrência de chuva na zona seca de Sri Lanka.

Dantas et al. (1998), através da Cadeia de Markov, estudaram a distribuição de freqüência de períodos secos de diferentes durações, usando dados de algumas estações meteorológicas do Estado da Paraíba.

Castro (1999) determinou a seqüência de estados de umidade em solos - descrita pela Cadeia de Markov - para a região de Botucatu, São Paulo. Os resultados obtidos comprovaram que a probabilidade de um determinado solo encontrar-se em um estado particular depende do estado precedente, demonstrando satisfatoriamente o ajuste do modelo da Cadeia de Markov de primeira ordem.

Conforme o relato precedente, o assunto tem sido objeto de inúmeras pesquisas que buscam soluções para uma melhor exploração do potencial agrícola por meio da utilização da metodologia mais adequada. Verifica-se, ainda, que a cadeia de Markov tem sido uma metodologia amplamente aplicada, logrando resultados satisfatórios.

2.3 Modelo de Regressão Linear Múltipla

O objetivo principal do trabalho desenvolvido por Leffler (1981) apud Pimentel (2007) foi gerar equações de regressão relacionando a variação da temperatura média diária mensal e anual com a latitude e elevação do terreno. Seus resultados mostraram que o método gerou estimativas confiáveis dessas temperaturas, contribuindo também para a avaliação dos valores dentro dos limites do microclima mais quente e mais frio de qualquer elevação local.

Para o mapeamento das probabilidades de ocorrência de temperaturas mínimas absolutas no Estado de São Paulo, Astolfho et al. (2004) utilizaram a análise de regressão linear múltipla (RLM) entre as probabilidades estimadas e as coordenadas geográficas: altitude (m), latitude (minutos) e longitude (minutos) para 21 localidades. Conhecendo-se as probabilidades a partir das coordenadas, utilizaram um mapa-base altimétrico, obtido por sensoriamento remoto orbital, da plataforma RADARSAT-I (VALERIANO et al., 2002 apud ASTOLPHO et al., 2004). A partir do mapa-base altimétrico, aplicaram um modelo de RLM para a geração da variação contínua do percentual de probabilidade de ocorrência de geada. Concluíram que os modelos desenvolvidos para a estimativa da probabilidade de ocorrência de temperaturas mínimas absolutas pontuais e os modelos digitais de elevação obtidos por sensoriamento remoto orbital demonstraram boa capacidade para o mapeamento da distribuição espacial de ocorrência de geadas no Estado de São Paulo.

Kemp et al. (1983) estudaram sete modelos para a estimativa das temperaturas mínimas e máximas para estações meteorológicas de Idaho e vizinhança nos Estados Unidos da América. Os autores comentam que a seleção apropriada do modelo mais adequado irá depender do objetivo final para o qual os dados serão utilizados, da lacuna existente nos dados e da eficácia das informações de todas as estações incluídas nas análises. Dentre os métodos avaliados, o de RLM foi o mais preciso e o que apresentou erros menores quando comparado com os demais.

2.4 O Método Conrad & Pollak

Hoffmann et al. (1994), através do Método Conrad & Pollak (1950), estimaram as probabilidades empíricas de ocorrência da primeira data do outono e da última data da primavera com temperatura do ar menor ou igual a 0°C em Pelotas, RS. O período em que, numa série de 99 anos, ocorreu, pelo menos em um ano, temperatura menor ou igual a 0°C estende-se desde 15 de maio até 3 de setembro, com pequenas probabilidades de ocorrência nos extremos do intervalo e maiores probabilidades dentro dos meses de junho e julho. Num conjunto de 100 anos, em 60,6%, ocorre temperatura menor ou igual a 0°C.

Reis et al. (1986) usaram a metodologia de Conrad & Pollak para determinar as probabilidades de ocorrência da primeira geada do ano, em qualquer lugar do Rio Grande do Sul e, com base nela, desenvolveram uma fórmula análoga para determinar a probabilidade de ocorrência da última geada. Admitiram uma relação direta entre as respectivas ocorrências de geadas em determinado local e as respectivas latitudes e altitudes, e ponderaram esse modelo para corrigir o efeito do diferente número de anos de observação em cada local. O modelo matemático desenvolvido permitiu estimar, para qualquer localidade do Estado do Rio Grande do Sul, conhecidas suas latitude e altitude, a data na qual ou após a qual, e a data na qual ou antes da qual, existe a probabilidade de ocorrência de geadas em 20% dos anos. Tais dados permitiram a determinação das épocas de semeadura e plantio e da duração do melhor ciclo vegetativo para escapar das geadas prejudiciais, sendo úteis, em geral, para conhecerem os períodos do ano em que é necessária a proteção das culturas contra geadas.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Dados meteorológicos utilizados

Para a realização desta pesquisa, foram estudadas 12 (doze) estações meteorológicas de superfície que representam as regiões distintas do Estado do Rio Grande do Sul. Dentre essas, dez são pertencentes à rede de estações do 8º Distrito de Meteorologia (8ºDISME); Porto Alegre, RS, integrante do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), e duas pertencem à rede de estações da Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (FEPAGRO).

As estações e as suas respectivas regiões do Estado do Rio Grande do Sul são mostradas na Figura 1. As coordenadas geográficas das estações são apresentadas na Tabela 1.

O período escolhido para o desenvolvimento deste trabalho foi de 1969 a 1998, com dados diários de temperatura mínima, medida em graus Celsius (°C), na sequência dos meses do ano.

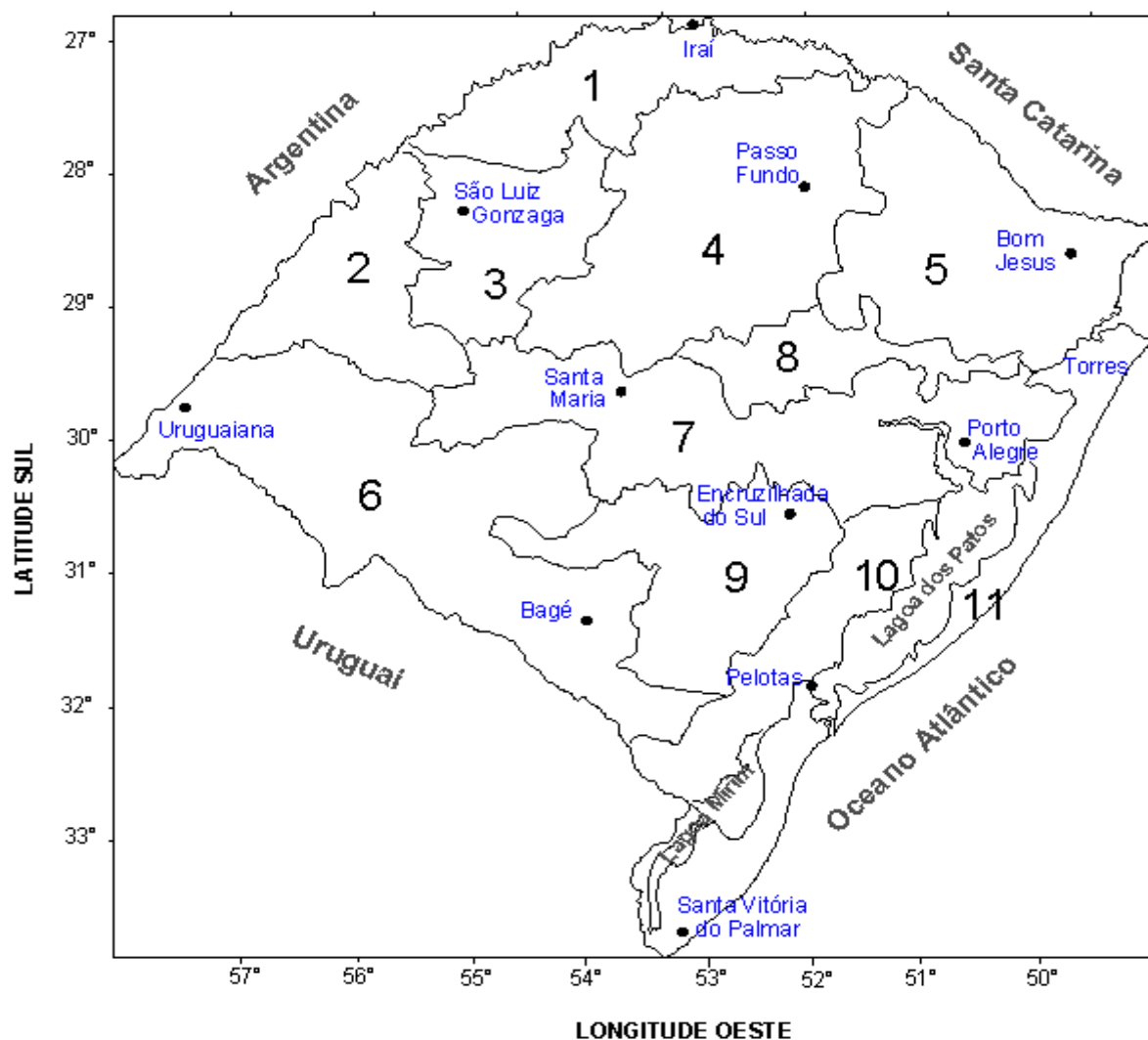


FIGURA 1. Localização geográfica das Estações Meteorológicas de estudo e suas respectivas Regiões Ecoclimáticas. Fonte : Rio Grande do Sul (1994)

- | | |
|---|--------------------------------|
| 1 - Alto Vale do Uruguai | 9 – Serra do Sudeste |
| 2 - Baixo Vale do Uruguai | 10 – Região das Grandes Lagoas |
| 3 – Missões | 11 – Litoral |
| 4 - Planalto Médio | |
| 5 - Planalto Superior e Serra do Nordeste | |
| 6 - Campanha | |
| 7 - Depressão Central | |
| 8 - Encosta Inferior da Serra do Nordeste | |

TABELA 1 – Estações Meteorológicas de estudo do Rio Grande do Sul com coordenadas geográficas e regiões ecoclimáticas.

Estações	Latitude (S)	Longitude (W)	Altitude (m)	Região Ecoclimática
● Iraí	27°11'	53°14'	247,1	Alto Vale do Uruguai
* Bagé	31°20'	54°06'	241,5	Campanha
● Uruguiana	29°45'	57°05'	74	Campanha
* Porto Alegre	30°01'	51°13'	46	Depressão Central
* Santa Maria	29°42'	53°48'	95	Depressão Central
* Santa Vitória do Palmar	33°31'	53°21'	24	Litoral
* Torres	29°20'	49°44'	30,6	Litoral
* São Luiz Gonzaga	28°24'	55°01'	245,1	Missões
* Passo Fundo	28°15'	52°24'	684	Planalto Médio
* Pelotas	31°51'	52°21'	13,2	Região das Grandes Lagoas
* Bom Jesus	28°40'	50°26'	1047,5	Planalto Superior e Serra do Nordeste
* Encruzilhada do Sul	30°32'	52°31'	427,7	Serra do Sudeste

Fonte :

* INMET/ 8°DISME

● FEPAgro

3.2 Metodologia

Para o estudo da variabilidade das temperaturas mínimas diárias, em regiões distintas do Estado do Rio Grande do Sul, durante os meses do ano, foram utilizados o Método Cadeia de Markov, o modelo de regressão linear múltipla e, posteriormente, o método Conrad & Pollak.

3.2.1 Período utilizado

O período utilizado no presente trabalho teve seu início em 1º de janeiro e seu término em 31 de dezembro, sendo que o Método Cadeia de Markov foi aplicado para todo o período estabelecido, observando o intervalo de temperatura inferior ou igual a 3°C para estimar os riscos de geada em cada região.

Os registros foram agrupados em períodos de 7 dias, iniciando-se no dia primeiro de janeiro e seguindo a contagem exposta na Tabela 2.

TABELA 2 – Períodos semanais para agrupamento de registros de temperaturas iguais ou inferiores a 3°C.

Período Semanal	Mês/Meses	Período Semanal	Mês/Meses
1º	(1º - 7) janeiro	11º	(12 - 18) março
2º	(8 - 14) janeiro	12º	(19 - 25) março
3º	(15 - 21) janeiro	13º	(26mar. - 1º abril)
4º	(22 - 28) janeiro	14º	(2 - 8) abril
5º	(29 jan. - 4 fev.)	15º	(9 - 15) abril
6º	(5 - 11) fevereiro	16º	(16 - 22) abril
7º	(12 - 18) fevereiro	17º	(23 - 29) abril
8º	(19 - 25) fevereiro	18º	(30 abril - 6 maio)
9º	(26 fev. - 4 mar.)	19º	(7 - 13) maio
10º	(5 - 11) março	20º	(14 - 20) maio

TABELA 2 – Períodos semanais para agrupamento de registros de temperaturas iguais ou inferiores a 3°C.

21º	(21 - 27) maio	37º	(10 – 16) setembro
22º	(28 maio – 3 junho)	38º	(17 – 23) setembro
23º	(4 – 10) junho	39º	(24 – 30) setembro
24º	(11 - 17) junho	40º	(1º - 7) outubro
25º	(18 - 24) junho	41º	(8 – 14) outubro
26º	(25 junho – 1º julho)	42º	(15 – 21) outubro
27º	(2 – 8) julho	43º	(22 - 28) outubro
28º	(9 – 15) julho	44º	(29 out.– 4 nov.)
29º	(16 – 22) julho	45º	(5 – 11) novembro
30º	(23 – 29) julho	46º	(12 - 18) novembro
31º	(30 julho – 5 agosto)	47º	(19 – 25) novembro
32º	(6 – 12) agosto	48º	(26 nov. – 2 dez.)
33º	(13 - 19) agosto	49º	(3 – 9) dezembro
34º	(20 - 26) agosto	50º	(10 – 16) dezembro
35º	(27 agosto – 2 set.)	51º	(17 – 23) dezembro
36º	(3 – 9) setembro	52º	(24 – 30) dezembro

Dessa forma, utilizou-se o Modelo Cadeia de Markov, o qual considera que a ocorrência de determinado evento meteorológico, em qualquer dia, é dependente sempre do dia anterior, mostrando que existe uma relação das condições do tempo envolvendo somente um dia. Nesse caso, tem-se uma Cadeia de Markov de ordem 1; se delimitamos o período de estudo a determinada estação ou época do ano, diz-se que ela é homogênea.

3.2.2 Fundamentação Teórica do Método Cadeia de Markov

Um processo estocástico (ou processo aleatório) é uma coleção de variáveis aleatórias definidas num mesmo espaço de probabilidades.

Geralmente, representa-se um processo estocástico por:

$$\left\{ Y_t : t ; T \right\}$$

Em geral, a variável t representa o tempo, Y_t é o estado do processo no instante t .

O conjunto T é o conjunto de índices ou espaço paramétrico do processo estocástico.

O comportamento futuro de um processo estocástico só pode ser descrito probabilisticamente.

Uma Cadeia de Markov é um processo estocástico que tem a propriedade de que o valor do processo no tempo t , X_t , depende somente de seu valor no tempo $t-1$, X_{t-1} , e não da seqüência de valores $X_{t-2}, X_{t-3}, \dots, X_0$, cujo processo passou para chegar a X_{t-1} . Isso pode ser escrito como:

$$P(X_t = a_j, / X_{t-1} = a_i, X_{t-2} = a_k, X_{t-3} = a_l, \dots, X_0 = a_q) = P(X_t = a_j / X_{t-1} = a_i) \quad (1)$$

Onde P = probabilidade

A probabilidade condicional $P(X_t = a_j / X_{t-1} = a_i)$ dá a probabilidade de que o processo no tempo t estará no "estado" j , dado que, no tempo $t-1$, o processo estava no "estado" i .

Pela equação 1, a probabilidade condicional é independente do "estado" ocupado no tempo anterior a $t-1$. Se X_t representa a temperatura mínima do ar no dia t , um estado pode ser definido como aquele com temperatura mínima do ar dentro de um intervalo estabelecido, um outro com temperatura mínima do ar fora do intervalo estabelecido, e assim por diante.

A probabilidade ($X_t = a_j / x_{t-1} = a_i$) é comumente chamada de probabilidade de transição, isto é, a probabilidade em que o processo muda do estado a_i para o estado a_j , durante um período de tempo. A segunda parte da equação 1 é normalmente escrita como $p_{ij}(t)$, indicando a probabilidade de a_i passar para a_j no tempo t . Se $p_{ij}(t)$ é independente de t , então $p_{ij}(t) = p_{ij}(t + \tau)$ para todo t e τ . Logo, a Cadeia de Markov é dita ser homogênea. Nesse caso:

$$P(X_t = a_j / X_{t-1} = a_i) = p_{ij} \quad (2)$$

Cadeias de Markov de ordem mais alta podem ser definidas se representarem um processo estocástico tal, que o valor do processo no tempo t seja independente de seu valor em vários períodos de tempo imediatamente precedente.

Assim, uma Cadeia de Markov de n -ésima ordem é aquela em que:

$$P(X_t = a_j / X_{t-1} = a_i, X_{t-2} = a_k, X_{t-3} = a_l, \dots, X_0 = a_q) = P(X_t = a_j / X_{t-1} = a_i, X_{t-2} = a_k, \dots, X_{t-n} = a_p) \quad (3)$$

3.2.3 Probabilidades inicial e condicional

A temperatura mínima do ar não ocorre ao acaso, deve haver condições meteorológicas propícias, as quais podem perdurar por vários dias. Essa persistência é que permite a distinção entre as probabilidades inicial e condicional (ou de transição).

Aplicando o modelo da Cadeia de Markov e a teoria de probabilidade condicional, de acordo com a teoria de Lipschutz (1972), é possível determinar as seguintes equações, utilizadas na estimativa da probabilidade de ocorrência de estados de temperatura mínima, dentro dos intervalos especificados e em cada período semanal:

- a) Probabilidade de o 1º dia da semana estar no intervalo de temperatura I

$$P(I) = \frac{X}{n^{\circ}} \quad (4)$$

X = número de anos em que o 1º dia da semana apresentou temperatura mínima no intervalo I

nº = número de anos estudados

- b) Probabilidade de dois dias consecutivos estarem no intervalo I

$$P(I/I) = \frac{Y}{X} \quad (5)$$

Y = número de anos em que o 1º e o 2º dias da semana apresentaram temperatura mínima no intervalo I

X = número de anos em que o 1º dia da semana apresentou temperatura mínima no intervalo I

- c) Probabilidade de um dia da semana não estar no intervalo I

$$P(N) = 1,0 - P(I) \quad (6)$$

d) Probabilidade de um dia da semana não estar no intervalo I, dado que o dia anterior estava no intervalo I

$$P(N/I) = 1,0 - P(I/I) \quad (7)$$

e) Probabilidade de um dia da semana estar no intervalo I, dado que o dia anterior não estava no intervalo I

$$P(I/N) = [P(I)P(N/I)]/P(N) \quad (8)$$

f) Probabilidade de um dia da semana não estar no intervalo de temperatura I, dado que o dia anterior também não estava em I

$$P(N/N) = 1,0 - P(I/N) \quad (9)$$

3.2.4 Probabilidade de ocorrência de dias com temperatura mínima no intervalo I

Uma seqüência de dias com temperatura mínima no intervalo (I) de comprimento n, variando de 0 (nenhum dia com temperatura mínima no intervalo I) a sete dias com temperatura mínima no intervalo I, é definida como qualquer seqüência de nI's que seja precedida e seguida por dia com temperatura mínima no intervalo (I), como por exemplo:

$$\dots \mathbf{N} \underbrace{\mathbf{I \ I \ I \dots I}}_{n \text{ vezes}} \mathbf{N} \dots$$

Analogamente, pode-se obter uma seqüência de dias com temperatura mínima fora do intervalo (N), de comprimento n

$$\begin{array}{c} \dots I \underbrace{NNN\dots N}_n I \dots \\ \text{n vezes} \end{array}$$

Como o período foi dividido em semanas, calcular-se-á, para esse número de dias, a probabilidade de todos os dias apresentarem temperatura mínima no intervalo I; de 6 dias apresentarem temperatura mínima no intervalo I; de 5 dias apresentarem temperatura mínima no intervalo I; de 4 dias apresentarem temperatura mínima no intervalo I; ... ; até nenhum dia apresentar temperatura mínima no intervalo I, como são mostradas as expressões na Tabela 3.

TABELA 3 – Probabilidade de ocorrência de dias com temperatura mínima no intervalo I

PROBABILIDADE	SEQÜÊNCIA	CÁLCULO
P (7 dias em I)	I I I I I I I	$P(I)P(I/I)^6$
P (6 dias em I)	I I I I I I N	$P(I)P(I/I)^5P(N/I)$
.....		
.....		
P(3 dias em I)	I I I N N N N I I N N N N I	$P(I)P(I/I)^2P(N/I)P(N/N)^3$ $P(I)P(I/I)P(N/I)P(N/N)^3P(I/N)$
.....		
.....		
P (0 dia em I)	N N N N N N N N	$P(N)P(N/N)^6$

3.2.5 Probabilidade de haver, pelo menos, dias com temperatura mínima fora do intervalo I

A partir dos resultados obtidos no item 3.2.4, será possível, dentro do período de sete dias, obter as probabilidades, mostradas na Tabela 4.

TABELA 4 – Probabilidade de haver, pelo menos, dias com temperatura mínima fora do intervalo I

PROBABILIDADE	CÁLCULO
P(pelo menos 1 dia fora de I)	$P(6 \text{ dias em I}) + P(5 \text{ dias em I}) +$ $+ P(4 \text{ dias em I}) + P(3 \text{ dias em I}) +$ $+ P(2 \text{ dias em I}) + P(1 \text{ dia em I}) +$ $+ P(0 \text{ dia em I})$
P(pelo menos 2 dias fora de I)	$P(5 \text{ dias em I}) + P(4 \text{ dias em I}) +$ $+ P(3 \text{ dias em I}) + P(2 \text{ dias em I}) +$ $+ P(1 \text{ dia em I}) + P(0 \text{ dia em I})$
.....	
.....	
.....	
P(pelo menos 6 dias fora de I)	$P(1 \text{ dia em I}) + P(0 \text{ dia em I})$

3.2.6 Modelos de estimativa das temperaturas mínimas baseados nas coordenadas geográficas

A partir dos resultados obtidos através do Método Cadeia de Markov, os quais foram pontuais, para as doze estações meteorológicas de superfície, utilizaram-se equações de regressão linear múltipla para a obtenção de estimativas das temperaturas mínimas, em todas as regiões representadas pelas estações.

Os percentuais da probabilidade de ocorrências de temperaturas mínimas do ar inferiores ou iguais a 3°C – calculados pelo modelo Cadeia de Markov para um dia e dois dias consecutivos – foram utilizados como variáveis dependentes ou preditantes, e os valores de latitude, longitude e altitude, das doze estações, como variáveis independentes ou preditores.

Assim, a equação usada foi a seguinte:

$$Y = a + bx_1 + cx_2 + dx_3$$

Onde:

Y = percentual da probabilidade da ocorrência da temperatura mínima $\leq 3^\circ\text{C}$

X₁ = latitude do lugar, em graus e décimos

X₂ = longitude do lugar, em graus e décimos

X₃ = altitude do lugar em metros

Os valores adotados de latitude e longitude, para as doze estações, foram negativos por convenção, já que todo o hemisfério Sul tem valores negativos para a latitude e toda a América do Sul tem valores negativos para a longitude. As regressões lineares múltiplas foram avaliadas através dos programas estatísticos SPSS, STATGRAF e STATÍSTICA.

Considerando que o intervalo de temperatura adotado como referência, foi muito baixo, os registros observados da temperatura mínima do ar, em cada estação meteorológica de superfície, no período de 30 anos, bem como as probabilidades de ocorrência de temperatura mínima dentro do intervalo I ($t \leq 3^\circ\text{C}$), de acordo com o Método Cadeia de Markov, tiveram valores significativos somente no intervalo compreendido entre a semana 20 e a semana 40 de modo que, para determinar a significância dos programas estatísticos aplicados através da análise do coeficiente de determinação (r^2), os dados de latitude, longitude, altitude e percentuais de probabilidades de um dia e dois dias consecutivos com temperatura mínima dentro do intervalo I foram agrupados em cinco tabelas (Apêndices), as quais mostram o comportamento da temperatura mínima - para as doze estações meteorológicas em estudo – durante as semanas 20, 25, 30, 35 e 40.

3.2.7 Funções que dão a probabilidade de ocorrência da primeira e da última data com temperatura mínima menor ou igual a 3°C

Foram destacadas as datas da primeira e última ocorrências de temperaturas menores ou iguais a 3°C, dentro do abrigo meteorológico, em cada um dos anos da série 1968-1997, para cada estação meteorológica de superfície. As datas foram ordenadas de modo a compor uma série crescente de dias para a primeira e a última ocorrência.

Seguindo o método desenvolvido por Conrad & Pollak (1950), foram calculadas as probabilidades empíricas de ocorrência da primeira e da última data com temperatura do ar menor ou iguais a 3°C, no abrigo meteorológico. Usando a teoria da distribuição acumulada e estatística de ordem, foi possível calcular a probabilidade de ocorrência de temperaturas menores ou igual a 3°C, desde a primeira até a última ocorrência, em cada estação meteorológica de superfície.

Foram utilizadas as seguintes expressões:

Para a primeira data de ocorrência:

$$H = I.p \quad (1)$$

sendo

$$I = \frac{K}{(m+1)} \quad \text{e} \quad p = \frac{m}{n} \quad (2)$$

onde:

p = probabilidade inicial e condicional;

I = probabilidade de ocorrência do evento em ordem crescente para a primeira data;

H = função que dá a probabilidade de ocorrência da primeira temperatura menor ou igual a 3°C;

n = número de anos de observação das temperaturas mínimas;

m = número de anos em que ocorreu temperatura menor ou igual a 3°C;

K = número de ordem das datas de ocorrência em ordem crescente de dia e mês.

Análogo à expressão que determina a função que dá a probabilidade de ocorrência da primeira temperatura menor ou igual a 3°C, foi obtida a probabilidade de ocorrência da última geada de primavera.

Para a última data de ocorrência:

$$H' = l' \cdot p \quad (3)$$

sendo

$$l' = \frac{(m+1-K)}{(m+1)} \quad \text{e} \quad p = \frac{m}{n} \quad (4)$$

onde:

l' = probabilidade de ocorrência do evento em ordem crescente para a última data;

H' = representa a função que dá a probabilidade de ocorrência da última temperatura menor ou igual a 3°C.

3.2.8 Mapeamento das datas da primeira e da última geada no Estado do Rio Grande do Sul

Com a finalidade de obter o mapeamento das datas da primeira e última probabilidade de gear no Estado do Rio Grande do Sul, foi aplicado o Modelo de Regressão Linear Múltipla, utilizando-se o registro da ocorrência de temperaturas mínimas absolutas diárias de acordo com a distribuição dos períodos semanais estabelecidos para a aplicação do Método Cadeia de Markov. Foram utilizados os dados dos 12 postos meteorológicos com séries de 30 anos (1969 a 1998) e considerada a temperatura mínima absoluta diária, menor ou igual a 3°C, no abrigo meteorológico.

Para o mapeamento das probabilidades de ocorrência de temperaturas mínimas absolutas, utilizou-se a análise de regressão linear múltipla entre as temperaturas mínimas observadas em cada posto meteorológico e as coordenadas geográficas: altitude (m), latitude (graus e décimos) e longitude (graus e décimos) para as 12 localidades.

O programa utilizado para gerar o mapeamento da primeira e última ocorrência de temperatura mínima do ar menor ou igual a 3°C, no Estado do Rio Grande do Sul, foi o ArcGIS, para o nível de significância de 5%.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Apresentam-se, a seguir, os resultados referentes à probabilidade inicial e à condicional de ocorrência de dias com temperatura mínima do ar dentro do intervalo estabelecido, isto é, $t \leq 3^{\circ}\text{C}$ e a probabilidade de ocorrência de dias com temperatura mínima no intervalo I de acordo com o Método Cadeia de Markov, dentro do período especificado, contado de 26 de março a 16 de dezembro. Posteriormente, expõem-se os resultados – seguindo o Método desenvolvido por Conrad & Pollak – das probabilidades empíricas de ocorrência da primeira e da última data com temperatura do ar menor ou igual a 3°C bem como o mapeamento do Estado do Rio Grande do Sul onde se estimam as probabilidades de ocorrência de temperatura do ar menor ou igual a 3°C , da primeira data do outono e última da primavera, com base nos modelos de estimativa das temperaturas mínimas baseados nas coordenadas geográficas.

Os resultados obtidos são apresentados em tabelas, para o intervalo de temperatura estabelecido e para cada uma das doze estações meteorológicas definidas na metodologia.

4.1 Probabilidade inicial e condicional

As tabelas de números 5 a 16 contêm os valores obtidos da probabilidade de ocorrência de dias com temperatura mínima dentro do seguinte intervalo: I ($t \leq 3^{\circ}\text{C}$).

As colunas das referidas tabelas, abrangem as seguintes informações:

- a) $P(I)$ = probabilidade de o primeiro dia da semana apresentar temperatura mínima no intervalo estabelecido;
- b) $P(N)$ = probabilidade de um dia não apresentar temperatura mínima no intervalo estabelecido;
- c) $P(I/I)$ = probabilidade de dois dias consecutivos apresentarem temperatura mínima no intervalo estabelecido;
- d) $P(N/I)$ = probabilidade de um dia não apresentar temperatura mínima no intervalo estabelecido, dado que o anterior apresentou;
- e) $P(I/N)$ = probabilidade de um dia apresentar temperatura mínima no intervalo estabelecido, dado que o anterior não apresentou;
- f) $P(N/N)$ = probabilidade de um dia não apresentar temperatura mínima no intervalo estabelecido, dado que o anterior não apresentou.

Os resultados são expostos e discutidos inicialmente para o intervalo de temperatura mencionado.

Cabe ressaltar que, para o intervalo de temperatura I , nem todas as localidades estudadas tiveram o mesmo número de semanas listados nas tabelas, devido à localização geográfica e, também, à época do ano, que não apresentava muitos dias (durante a semana) com temperaturas baixas no intervalo I preestabelecido.

Analisando os valores listados na coluna 1 (tabelas 5 a 16), nota-se que a probabilidade de o primeiro dia do período semanal estar no intervalo de temperatura I variou de zero a 40%, em trinta anos. A semana 23, para a estação Bom Jesus (Tabela 5), foi a que apresentou maior probabilidade dessa ocorrência: 40%. Isso significa que, somente em Bom Jesus, 12 dos 30 anos estudados apresentaram temperatura mínima no intervalo I no 1º dia do período semanal mencionado.

Contrapondo-se a Bom Jesus, a estação de Torres (Tabela 6) foi a que apresentou a menor probabilidade de o 1º dia do período semanal estar no intervalo de temperatura I, registrando um percentual de 3,33% e, apenas, no período semanal 27. Isso significa que, em Torres somente um dos trinta anos estudados apresentou temperatura mínima no intervalo I, no 1º dia do referido período semanal.

Excetuando-se as estações de Bom Jesus e Torres, as demais estações apresentaram a maior probabilidade de a temperatura mínima estar no intervalo I, no 1º dia de cada período semanal, nas semanas 23, 26, 28, 29 e 30, isto é, no período compreendido entre 4 de junho e 29 de julho, sendo registrado – em mais de 50% das estações estudadas – o período semanal 29 como o de maior incidência dessa condição, assumindo valores de 26,67% de probabilidade de a temperatura mínima ser menor ou igual a 3°C no primeiro dia desse período.

Os valores da segunda coluna foram derivados da primeira coluna, ou seja, $1 - P(I)$ obtendo-se, dessa forma, os valores da probabilidade de o primeiro dia de cada semana não apresentar temperatura mínima no intervalo estabelecido. Assim, a variação da probabilidade de o primeiro dia de cada semana não apresentar temperatura mínima no intervalo estabelecido foi de 60% na semana 23 (Bom Jesus – Tabela 5) até 100% na maioria das estações.

Convém observar que a estação Bom Jesus foi a única entre as doze estações estudadas que, no período semanal 41, ainda não possuía 100% de probabilidade de a temperatura mínima não estar no intervalo estabelecido, bem como a estação Torres (Tabela 6) foi a única que apresentou, em 29 dos 30 anos estudados, 100% de probabilidade de a temperatura mínima não estar no referido intervalo. Dessa maneira, evidenciou-se sua posição geográfica – próxima ao litoral - , onde, durante todo ano, não são constatadas temperaturas muito baixas para essa estação.

À exceção de Torres, as demais estações estudadas apresentaram, sempre, durante todo o período estudado, uma variação da probabilidade entre 60% e 100%, entre a semana 20 e a semana 38, de o 1º dia de cada semana não apresentar temperatura mínima no intervalo estabelecido.

A terceira coluna mostrou os valores referentes à probabilidade de permanência da temperatura, ou seja, de o primeiro e o segundo dias de cada semana apresentarem temperatura mínima no intervalo I. Os valores obtidos foram,

em algumas semanas, altos para a época do ano. A estação Porto Alegre (Tabela 7) apresentou 100% de probabilidade de persistência da temperatura somente duas vezes em trinta anos estudados, isto é, 100% dessa probabilidade tanto para a semana 26 como para a semana 28. Isso significa que, em Porto Alegre, somente um dos trinta anos estudados apresentou probabilidade de persistência da temperatura nas referidas semanas, sendo seguida da estação Uruguaiana (Tabela 8), que demonstrou 100% dessa probabilidade apenas nas semanas 24 e 30; 50%, nas semanas 25 e 27, e 33,33% na semana 28. A estação Torres (Tabela 6) foi a única, entre as doze em estudo, que não apresentou possibilidade de permanência da temperatura no intervalo I. A estação com maiores probabilidades de permanência da temperatura foi Bom Jesus (Tabela 5). Mesmo assim, teve, como limites para isso, o intervalo compreendido entre o décimo quinto período semanal, com 50% dessa probabilidade, e o trigésimo oitavo, com 33,33%. Constata-se, desse modo, que Bom Jesus é a única das doze estações na qual, na maioria dos períodos semanais, existe a probabilidade de permanência da temperatura, variando essa probabilidade de 0% nas semanas 16, 17, 18 e 19 a 100% na semana 33, em trinta anos. Conseqüentemente, de acordo com o limite máximo para Bom Jesus, dois dos trinta anos estudados apresentaram probabilidade de permanência da temperatura no período semanal mencionado.

Os valores mostrados na quarta e quinta colunas representam inversão da tendência nas condições de dias com temperatura mínima dentro do intervalo I. A quarta coluna define a probabilidade de ocorrência de um dia não apresentar temperatura mínima no intervalo estabelecido I, dado que o anterior apresentou. A estação Torres (Tabela 6) exibiu 100% dessa probabilidade em todos os períodos semanais, observando-se, assim, que 100% dos trinta anos estudados, nessa estação, possuem a probabilidade de um dia não apresentar temperatura mínima no intervalo I, dado que o anterior apresentou. Constatam-se, para todas as estações estudadas probabilidades significativamente elevadas relativas à inversão da tendência nas condições de dias com temperatura mínima dentro do intervalo I, isto é, probabilidade de ocorrência de um dia não apresentar temperatura mínima no intervalo estabelecido I, dado que o anterior apresentou. A estação Bom Jesus (Tabela 5) foi aquela que apresentou as menores probabilidades dessa condição e, mesmo assim, somente no período compreendido entre 14 de maio e 17 de

setembro, registrando-se uma variação, dessa probabilidade, entre 0% na semana 33 e 80% na semana 32, como limite máximo.

A situação pode ser mostrada de forma diferente, ou seja, dia anterior com temperatura mínima fora do intervalo I, passando à temperatura mínima dentro do intervalo I no dia seguinte. Nesse caso, Torres (Tabela 6) é a única estação que apresentou, somente uma vez, em trinta anos, possibilidade de mudarem as condições do tempo e de a temperatura mínima estar no intervalo I no dia seguinte, registrando um percentual de 3,44% no período semanal 27. Isso significa que, em Torres, apenas no período semanal 27, somente um dos trinta anos estudados apresentou temperatura mínima no intervalo estabelecido I, dado que o dia anterior não apresentou. Bom Jesus (Tabela 5) exibiu a maior probabilidade, em torno de 39% no vigésimo terceiro período semanal.

A última coluna representa a probabilidade de não ocorrência de dias consecutivos com temperatura mínima no intervalo I. Os valores de probabilidade apresentados nessa coluna são relativamente grandes e expressivos, maiores que 61%, em todos os períodos semanais e em todas as estações meteorológicas de superfície, visto que a probabilidade de mudança de dias com temperatura mínima fora do intervalo I para dias com temperatura mínima dentro do intervalo I foi muito pequena para a totalidade das estações. A probabilidade de não ocorrência de dias consecutivos com temperatura mínima no intervalo I variou de 61,11% a 100%, em trinta anos. A semana 23, para a estação Bom Jesus, foi a que apresentou menor probabilidade dessa ocorrência, conquanto todas as estações em estudo registrassem 100% dessa probabilidade em , pelo menos, 34 períodos semanais. Em Torres, afora a semana 27, os demais períodos semanais, em trinta anos, apresentaram 100% da probabilidade de persistência de não ocorrência de dias consecutivos com temperatura mínima no intervalo I.

Com exceção de Torres, portanto, as demais estações meteorológicas tiveram valores significativos de probabilidades inicial e de transição nos meses de maio, junho, julho, agosto e setembro, isto é, entre a semana 18 e a semana 39. Torres, por estar localizada no litoral, tanto sujeita à circulação local (brisas), como ao efeito termorregulador da água com a proximidade do oceano Atlântico, apresenta comportamento térmico diferente das demais.

Ressalta-se que a altitude não é fator determinante na ocorrência de temperaturas mínimas do ar na época do ano estudada. Como exemplo, têm-se

Pelotas e Santa Vitória do Palmar, as quais possuem altitude baixa e valores de temperatura mínima do ar no intervalo I, nos meses em questão, como mostram as probabilidades obtidas (Tabelas 9 e 10, respectivamente).

TABELA 5 – Probabilidade inicial e condicional à ocorrência de temperatura mínima do ar no Estado do Rio Grande do Sul, Referente ao Período: 1969 – 1998.
Local: Bom Jesus ($t \leq 3^{\circ}\text{C}$)

Período Semanal	P(I)	P(N)	P(I/I)	P(N/I)	P(I/N)	P(N/N)
15	0,0667	0,9333	0,5000	0,5000	0,0357	0,9643
16	0,1000	0,9000	0,0000	1,0000	0,1111	0,8889
17	0,0333	0,9667	0,0000	1,0000	0,0334	0,9656
18	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000
19	0,0333	0,9667	0,0000	1,0000	0,0334	0,9656
20	0,1000	0,9000	0,6667	0,3333	0,0370	0,9630
21	0,1000	0,9000	0,6667	0,3333	0,0370	0,9630
22	0,2333	0,7667	0,8571	0,1429	0,0435	0,9565
23	0,4000	0,6000	0,4167	0,5833	0,3889	0,6111
24	0,2667	0,7333	0,6250	0,3750	0,1364	0,8636
25	0,2333	0,7667	0,8571	0,1429	0,0435	0,9565
26	0,2000	0,8000	0,8333	0,1667	0,0417	0,9583
27	0,2000	0,8000	0,3333	0,6667	0,1667	0,8333
28	0,2333	0,7667	0,7143	0,2857	0,0869	0,9131
29	0,3333	0,6667	0,6000	0,4000	0,2000	0,8000
30	0,2667	0,7333	0,6250	0,3750	0,1364	0,8636
31	0,2000	0,8000	0,8333	0,1667	0,0417	0,9583
32	0,1667	0,8333	0,2000	0,8000	0,1600	0,8400
33	0,0667	0,9333	1,0000	0,0000	0,0000	1,0000
34	0,3333	0,6667	0,6000	0,4000	0,2000	0,8000
35	0,1333	0,8667	0,5000	0,5000	0,0769	0,9231
36	0,2667	0,7333	0,3750	0,6250	0,2273	0,7727
37	0,2333	0,7667	0,4286	0,5714	0,1739	0,8261
38	0,1000	0,9000	0,3333	0,6667	0,0741	0,9259
39	0,0667	0,9333	0,0000	1,0000	0,0714	0,9286
40	0,0667	0,9333	0,0000	1,0000	0,0714	0,9286
41	0,0667	0,9333	0,0000	1,0000	0,0714	0,9286
42	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000
43	0,0667	0,9333	0,0000	1,0000	0,0714	0,9286
44	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000
45	0,0333	0,9667	0,0000	1,0000	0,0344	0,9656
46	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000
47	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000
48	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000
49	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000
50	0,0333	0,9667	0,0000	1,0000	0,0344	0,9656

TABELA 6 – Probabilidade inicial e condicional à ocorrência de temperatura mínima do ar no Estado do Rio Grande do Sul, referente ao período: 1969 – 1997.
Local: Torres ($t \leq 3^{\circ}\text{C}$)

Período Semanal	P(I)	P(N)	P(I/I)	P(N/I)	P(I/N)	P(N/N)
27	0,0333	0,9667	0,0000	1,0000	0,0344	0,9656
28	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000
29	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000

TABELA 7 – Probabilidade inicial e condicional à ocorrência de temperatura mínima do ar no Estado do Rio Grande do Sul, referente ao período 1969 – 1998.
Local: Porto Alegre ($t \leq 3^{\circ}\text{C}$)

Período Semanal	P(I)	P(N)	P(I/I)	P(N/I)	P(I/N)	P(N/N)
22	0,0333	0,9667	0,0000	1,0000	0,0344	0,9656
23	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000
24	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000
25	0,0333	0,9667	0,0000	1,0000	0,0344	0,9656
26	0,0333	0,9667	1,0000	0,0000	0,0000	1,0000
27	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000
28	0,0333	0,9667	1,0000	0,0000	0,0000	1,0000
29	0,1000	0,9000	0,0000	1,0000	0,1111	0,8889
30	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000
31	0,0333	0,9667	0,0000	1,0000	0,0344	0,9656
32	0,0333	0,9667	0,0000	1,0000	0,0344	0,9656

TABELA 8 – Probabilidade inicial e condicional à ocorrência de temperatura mínima do ar no Estado do Rio Grande do Sul, referente ao período: 1969 – 1998.
Local: Uruguaiana ($t \leq 3^{\circ}\text{C}$)

Período Semanal	P(I)	P(N)	P(I/I)	P(N/I)	P(I/N)	P(N/N)
21	0,0333	0,9667	0,0000	1,0000	0,0344	0,9656
22	0,0667	0,9333	0,0000	1,0000	0,0715	0,9285
23	0,0667	0,9333	0,5000	0,5000	0,0357	0,9643
24	0,0667	0,9333	1,0000	0,0000	0,0000	1,0000
25	0,0667	0,9333	0,5000	0,5000	0,0357	0,9643
26	0,0667	0,9333	0,0000	1,0000	0,0715	0,9285
27	0,0667	0,9333	0,5000	0,5000	0,0357	0,9643
28	0,1000	0,9000	0,3333	0,6667	0,0741	0,9259
29	0,1000	0,9000	0,0000	1,0000	0,1111	0,8889
30	0,0333	0,9667	1,0000	0,0000	0,0000	1,0000
31	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000
32	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000
33	0,0333	0,9667	0,0000	1,0000	0,0344	0,9656
34	0,0333	0,9667	0,0000	1,0000	0,0344	0,9656
35	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000
36	0,0333	0,9667	0,0000	1,0000	0,0344	0,9656

TABELA 9 – Probabilidade inicial e condicional à ocorrência de temperatura mínima do no Estado do Rio Grande do Sul, referente ao período 1969 – 1998.
Local: Pelotas ($t \leq 3^{\circ}\text{C}$)

Período Semanal	P(I)	P(N)	P(I/I)	P(N/I)	P(I/N)	P(N/N)
20	0,0333	0,9667	0,0000	1,0000	0,0344	0,9656
21	0,0333	0,9667	0,0000	1,0000	0,0344	0,9656
22	0,1000	0,9000	0,3333	0,6667	0,0741	0,9259
23	0,1000	0,9000	0,3333	0,6667	0,0741	0,9259
24	0,1333	0,8667	0,0000	1,0000	0,1538	0,8462
25	0,1000	0,9000	1,0000	0,0000	0,0000	1,0000
26	0,2000	0,8000	0,5000	0,5000	0,1250	0,8750
27	0,1000	0,9000	0,6667	0,3333	0,0370	0,9630
28	0,1000	0,9000	0,6667	0,3333	0,0370	0,9630
29	0,2333	0,7667	0,5714	0,4286	0,1304	0,8696
30	0,0667	0,9333	0,5000	0,5000	0,0357	0,9643
31	0,1000	0,9000	0,6667	0,3333	0,0370	0,9630
32	0,1000	0,9000	0,0000	1,0000	0,1111	0,8889
33	0,0333	0,9667	0,0000	1,0000	0,0344	0,9656
34	0,0667	0,9333	0,5000	0,5000	0,0357	0,9643
35	0,1000	0,9000	0,3333	0,6667	0,0741	0,9259
36	0,1333	0,8667	0,5000	0,5000	0,0769	0,9231
37	0,0667	0,9333	0,0000	1,0000	0,0715	0,9285
38	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000
39	0,0333	0,9667	0,0000	1,0000	0,0344	0,9656

TABELA 10 – Probabilidade inicial e condicional à ocorrência de temperatura mínima do ar no Estado do Rio Grande do Sul, referente ao período: 1969 – 1998.
Local: Santa Vitória do Palmar ($t \leq 3^{\circ}\text{C}$)

Período Semanal	P(I)	P(N)	P(I/I)	P(N/I)	P(I/N)	P(N/N)
20	0,0333	0,9667	0,0000	1,0000	0,0344	0,9656
21	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000
22	0,0667	0,9333	0,0000	1,0000	0,0715	0,9285
23	0,1667	0,8333	0,4000	0,6000	0,1200	0,8800
24	0,1000	0,9000	0,0000	1,0000	0,1111	0,8889
25	0,1000	0,9000	0,6667	0,3333	0,0370	0,9630
26	0,0667	0,9333	1,0000	0,0000	0,0000	1,0000
27	0,1000	0,9000	0,3333	0,6667	0,0741	0,9259
28	0,1000	0,9000	0,6667	0,3333	0,0370	0,9630
29	0,1667	0,8333	0,2000	0,8000	0,1600	0,8400
30	0,1000	0,9000	0,3333	0,6667	0,0741	0,9259
31	0,1000	0,9000	0,6667	0,3333	0,0370	0,9630
32	0,0667	0,9333	0,5000	0,5000	0,0357	0,9643
33	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000
34	0,0333	0,9667	0,0000	1,0000	0,0344	0,9656
35	0,1333	0,8667	0,0000	1,0000	0,1538	0,8462
36	0,1333	0,8667	0,2500	0,7500	0,1154	0,8846
37	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000
38	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000
39	0,0667	0,9333	0,0000	1,0000	0,0715	0,9285
40	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000
41	0,0333	0,9667	0,0000	1,0000	0,0344	0,9656

TABELA 11 – Probabilidade inicial e condicional à ocorrência de temperatura mínima do ar no Estado do Rio Grande do Sul, referente ao período: 1969 – 1998.
Local: Bagé ($t \leq 3^{\circ}\text{C}$)

Período Semanal	P(I)	P(N)	P(I/I)	P(N/I)	P(I/N)	P(N/N)
19	0,0333	0,9667	0,0000	1,0000	0,0344	0,9656
20	0,0667	0,9333	0,5000	0,5000	0,0357	0,9643
21	0,0333	0,9667	0,0000	1,0000	0,0344	0,9656
22	0,1000	0,9000	0,0000	1,0000	0,1111	0,8889
23	0,2000	0,8000	0,6667	0,3333	0,0833	0,9167
24	0,1667	0,8333	0,6000	0,4000	0,0800	0,9200
25	0,1333	0,8667	0,7500	0,2500	0,0385	0,9615
26	0,2333	0,7667	0,2857	0,7143	0,2174	0,7826
27	0,1667	0,8333	0,6000	0,4000	0,0800	0,9200
28	0,1667	0,8333	0,6000	0,4000	0,0800	0,9200
29	0,1667	0,8333	0,6000	0,4000	0,0800	0,9200
30	0,1667	0,8333	0,4000	0,6000	0,1200	0,8800
31	0,0667	0,9333	1,0000	0,0000	0,0000	1,0000
32	0,0667	0,9333	0,0000	1,0000	0,0714	0,9286
33	0,0333	0,9667	0,0000	1,0000	0,0344	0,9656
34	0,1333	0,8667	0,5000	0,5000	0,0769	0,9231
35	0,0667	0,9333	0,5000	0,5000	0,0357	0,9643
36	0,1000	0,9000	0,0000	1,0000	0,1111	0,8889
37	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000
38	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000
39	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000
40	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000
41	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000
42	0,0333	0,9667	0,0000	1,0000	0,0344	0,9656

TABELA 12 – Probabilidade inicial e condicional à ocorrência de temperatura mínima do ar no Estado do Rio Grande do Sul, referente ao período: 1969 – 1998.
Local: Encruzilhada do Sul ($t \leq 3^{\circ}\text{C}$)

Período Semanal	P(I)	P(N)	P(I/I)	P(N/I)	P(I/N)	P(N/N)
20	0,0333	0,9667	0,0000	1,0000	0,0344	0,9656
21	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000
22	0,0333	0,9667	0,0000	1,0000	0,0344	0,9656
23	0,0667	0,9333	1,0000	0,0000	0,0000	1,0000
24	0,0667	0,9333	0,5000	0,5000	0,0357	0,9643
25	0,1000	0,9000	1,0000	0,0000	0,0000	1,0000
26	0,1000	0,9000	0,0000	1,0000	0,1111	0,8889
27	0,1000	0,9000	0,6667	0,3333	0,0370	0,9630
28	0,1333	0,8667	0,7500	0,2500	0,0385	0,9615
29	0,1667	0,8333	0,6000	0,4000	0,0800	0,9200
30	0,1000	0,9000	0,6667	0,3333	0,0370	0,9630
31	0,1000	0,9000	0,3333	0,6667	0,0741	0,9259
32	0,0333	0,9667	0,0000	1,0000	0,0344	0,9656
33	0,0333	0,9667	0,0000	1,0000	0,0344	0,9656
34	0,0667	0,9333	0,5000	0,5000	0,0357	0,9643
35	0,0333	0,9667	0,0000	1,0000	0,0344	0,9656
36	0,0667	0,9333	0,0000	1,0000	0,0715	0,9285
37	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000
38	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000
39	0,0333	0,9667	0,0000	1,0000	0,0344	0,9656
40	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000
41	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000
42	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000
43	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000
44	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000
45	0,0333	0,9667	0,0000	1,0000	0,0344	0,9656

TABELA 13 – Probabilidade inicial e condicional à ocorrência de temperatura mínima do ar no Estado do Rio Grande do Sul, referente ao período 1969 – 1998.
Local: Iraí ($t \leq 3^{\circ}\text{C}$)

Período Semanal	P(I)	P(N)	P(I/I)	P(N/I)	P(I/N)	P(N/N)
21	0,0333	0,9667	1,0000	0,0000	0,0000	1,0000
22	0,1333	0,8667	0,2500	0,7500	0,1154	0,8846
23	0,1333	0,8667	0,7500	0,2500	0,0385	0,9615
24	0,1333	0,8667	0,0000	1,0000	0,1538	0,8462
25	0,1000	0,9000	0,6667	0,3333	0,0370	0,9630
26	0,1000	0,9000	0,6667	0,3333	0,0370	0,9630
27	0,0667	0,9333	0,0000	1,0000	0,0715	0,9285
28	0,1667	0,8333	0,8000	0,2000	0,0400	0,9600
29	0,1333	0,8667	0,2500	0,7500	0,1154	0,8846
30	0,1333	0,8667	0,5000	0,5000	0,0769	0,9231
31	0,1000	0,9000	0,3333	0,6667	0,0741	0,9259
32	0,0333	0,9667	0,0000	1,0000	0,0344	0,9656
33	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000
34	0,0333	0,9667	0,0000	1,0000	0,0344	0,9656
35	0,0667	0,9333	1,0000	0,0000	0,0000	1,0000
36	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000
37	0,0667	0,9333	0,0000	1,0000	0,0715	0,9285
38	0,0333	0,9667	0,0000	1,0000	0,0344	0,9656

TABELA 14 – Probabilidade inicial e condicional à ocorrência de temperatura mínima do ar no Estado do Rio Grande do Sul, referente ao período 1969 – 1998.
Local: Passo Fundo ($t \leq 3^{\circ}\text{C}$)

Período Semanal	P(I)	P(N)	P(I/I)	P(N/I)	P(I/N)	P(N/N)
20	0,0333	0,9667	0,0000	1,0000	0,0344	0,9656
21	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000
22	0,0667	0,9333	0,0000	1,0000	0,0715	0,9285
23	0,1667	0,8333	0,6000	0,4000	0,0800	0,9200
24	0,1000	0,9000	0,3333	0,6667	0,0741	0,9259
25	0,1000	0,9000	0,3333	0,6667	0,0741	0,9259
26	0,2333	0,7667	0,7143	0,2857	0,0869	0,9131
27	0,1000	0,9000	0,6667	0,3333	0,0370	0,9630
28	0,2000	0,8000	0,8333	0,1667	0,0417	0,9583
29	0,2667	0,7333	0,5000	0,5000	0,1818	0,8182
30	0,1667	0,8333	0,4000	0,6000	0,1200	0,8800
31	0,1333	0,8667	0,7500	0,2500	0,0385	0,9615
32	0,0333	0,9667	0,0000	1,0000	0,0344	0,9656
33	0,0333	0,9667	1,0000	0,0000	0,0000	1,0000
34	0,0667	0,9333	1,0000	0,0000	0,0000	1,0000
35	0,0667	0,9333	0,0000	1,0000	0,0715	0,9285
36	0,0333	0,9667	0,0000	1,0000	0,0344	0,9656
37	0,0667	0,9333	0,0000	1,0000	0,0715	0,9285
38	0,0333	0,9667	0,0000	1,0000	0,0344	0,9656

TABELA 15 – Probabilidade inicial e condicional à ocorrência de temperatura mínima do ar no Estado do Rio Grande do Sul, referente ao período 1969 – 1998.
Local: São Luiz Gonzaga ($t \leq 3^{\circ}\text{C}$)

Período Semanal	P(I)	P(N)	P(I/I)	P(N/I)	P(I/N)	P(N/N)
20	0,0333	0,9667	0,0000	1,0000	0,0370	0,9630
21	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000
22	0,1000	0,9000	0,0000	1,0000	0,0357	0,9643
23	0,0333	0,9667	0,0000	1,0000	0,0370	0,9630
24	0,1000	0,9000	0,0000	1,0000	0,0357	0,9643
25	0,1333	0,8667	0,5000	0,5000	0,0769	0,9231
26	0,1000	0,9000	0,6667	0,3333	0,0370	0,9630
27	0,1000	0,9000	0,6667	0,3333	0,0370	0,9630
28	0,1000	0,9000	0,3333	0,6667	0,0741	0,9259
29	0,1667	0,8333	0,6000	0,4000	0,0800	0,9200
30	0,1667	0,8333	0,2000	0,8000	0,1600	0,8400
31	0,0333	0,9667	1,0000	0,0000	0,0000	1,0000
32	0,0333	0,9667	0,0000	1,0000	0,0344	0,9656
33	0,0333	0,9667	0,0000	1,0000	0,0344	0,9656
34	0,0333	0,9667	1,0000	0,0000	0,0000	1,0000
35	0,0333	0,9667	0,0000	1,0000	0,0344	0,9656
36	0,0333	0,9667	0,0000	1,0000	0,0344	0,9656
37	0,0333	0,9667	0,0000	1,0000	0,0344	0,9656
38	0,0333	0,9667	0,0000	1,0000	0,0344	0,9656

TABELA 16- Probabilidade inicial e condicional à ocorrência de temperatura mínima do ar no Estado do Rio Grande do Sul, referente ao período 1969 – 1998.
Local: Santa Maria ($t \leq 3^{\circ}\text{C}$)

Período Semanal	P(I)	P(N)	P(I/I)	P(N/I)	P(I/N)	P(N/N)
20	0,0333	0,9667	0,0000	1,0000	0,0344	0,9656
21	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000
22	0,1000	0,9000	0,3333	0,6667	0,0741	0,9259
23	0,1333	0,8667	0,2500	0,7500	0,1154	0,8846
24	0,1333	0,8667	0,5000	0,5000	0,0769	0,9231
25	0,1000	0,9000	0,6667	0,3333	0,0370	0,9630
26	0,1667	0,8333	1,0000	0,0000	0,0000	1,0000
27	0,1000	0,9000	0,6667	0,3333	0,0370	0,9630
28	0,1000	0,9000	0,6667	0,3333	0,0370	0,9630
29	0,1667	0,8333	0,2000	0,8000	0,1600	0,8400
30	0,1333	0,8667	0,5000	0,5000	0,0769	0,9231
31	0,1000	0,9000	0,0000	1,0000	0,1111	0,8889
32	0,0333	0,9667	0,0000	1,0000	0,0344	0,9656
33	0,0333	0,9667	0,0000	1,0000	0,0344	0,9656
34	0,1667	0,8333	0,4000	0,6000	0,1200	0,8800
35	0,0667	0,9333	0,0000	1,0000	0,0715	0,9285
36	0,1000	0,9000	0,3333	0,6667	0,0741	0,9259
37	0,0667	0,9333	0,0000	1,0000	0,0715	0,9285
38	0,0333	0,9667	0,0000	1,0000	0,0344	0,9656

4.2 Probabilidade de ocorrência de dias com temperatura mínima no intervalo I

O período especificado foi o correspondente a sete dias ou período semanal. Foi calculada a probabilidade de ocorrência de sete dias com temperatura mínima dentro do intervalo I até nenhum dia com temperatura mínima dentro do intervalo I. As tabelas de número 17 a 28 expõem os valores obtidos da probabilidade de ocorrência de dias com temperatura mínima dentro do seguinte intervalo: $I(t \leq 3^{\circ}\text{C})$, as quais tiveram, como base para seus resultados, as probabilidades obtidas nas tabelas 5 a 16.

As colunas das referidas tabelas contêm as seguintes informações:

- a) $P(7 \text{ dias})$ – probabilidade de ocorrência de pelo menos 7 dias com temperatura mínima dentro do intervalo I
- b) $P(6 \text{ dias})$ – probabilidade de ocorrência de pelo menos 6 dias com temperatura mínima dentro do intervalo I;
- c) $P(5 \text{ dias})$ – probabilidade de ocorrência de pelo menos 5 dias com temperatura mínima dentro do intervalo I;
- d) $P(4 \text{ dias})$ – probabilidade de ocorrência de pelo menos 4 dias com temperatura mínima dentro do intervalo I;
- e) $P(3 \text{ dias})$ – probabilidade de ocorrência de pelo menos 3 dias com temperatura mínima dentro do intervalo I;
- f) $P(2 \text{ dias})$ – probabilidade de ocorrência de pelo menos 2 dias com temperatura mínima dentro do intervalo I;
- g) $P(1 \text{ dia})$ - probabilidade de ocorrência de pelo menos 1 dia com temperatura mínima dentro do intervalo I;
- h) $P(0 \text{ dia})$ - probabilidade de ocorrência de nenhum dia com temperatura mínima dentro do intervalo I.

Para facilitar a seqüência de raciocínio de como o cálculo foi efetuado, é mostrado, a seguir, um exemplo para cada probabilidade.

Para $P(7 \text{ dias})$, o cálculo é obtido por meio da expressão $P(I)P(I/I)^6$. No cálculo de $P(6 \text{ dias})$, foram obtidas sete combinações possíveis de como esses seis dias podem ser dispostos durante a semana, e suas respectivas expressões.

O número de combinações maior foi obtido para $P(4 \text{ dias})$ e $P(3 \text{ dias})$, o que resultou num total de 35 combinações e suas respectivas expressões para a estimativa das probabilidades de quatro e três dias com temperatura mínima no intervalo I. Após obtidos os valores dessas combinações, eles foram somados, conseguindo-se o resultado final.

Alguns valores, como mostra a expressão citada no parágrafo anterior, são elevados a potências altas e, algumas vezes, dando resultados muito pequenos, levando à obtenção de seqüências diferentes e, até mesmo, a valores muito próximos de zero.

Observa-se, pelos resultados obtidos, que o maior valor de probabilidade de haver sete dias com temperatura mínima dentro do intervalo I foi constatado na

estação de Santa Maria (Tabela 17), no vigésimo sexto período semanal, com apenas 16,67%. Isso se deve ao fato de tal semana ter obtido, na Tabela 16, um alto valor de probabilidade de dois dias consecutivos apresentarem temperatura mínima dentro do intervalo I, ou seja, $P(I/I) = 100\%$; porém, por outro lado, foi constatada uma probabilidade muito baixa de o primeiro dia do vigésimo sexto período semanal apresentar temperatura mínima dentro do intervalo I, $P(I) = 16,67\%$. Além de Santa Maria, as estações de Encruzilhada do Sul (Tabela 18) e Pelotas (Tabela 19), demonstraram 10% dessa probabilidade apenas na semana 25, e Bom Jesus (Tabela 20), com 9,25% dessa probabilidade tanto para a semana 22 como para a semana 25.

Não se pode deixar de relacionar sempre os valores de $P(I)$ e $P(I/I)$, quando se analisa a probabilidade de todos os dias apresentarem temperatura mínima no intervalo I. Considerando essa informação e, excetuando-se os períodos semanais 26 e 28 da estação Porto Alegre (Tabela 21), pode-se verificar que as estações de Porto Alegre (Tabela 21) e Torres (Tabela 22) apresentaram, em todos os outros períodos semanais, probabilidade de 0% de ocorrência de sete dias com temperatura mínima dentro do intervalo I. Tal fato se deve a dois fatores: $P(I) = 0$ ou $P(I/I) = 0$ e ou $P(I) = 0$ e $P(I/I) = 0$, para todos os períodos semanais de Porto Alegre (Tabela 21) e Torres (Tabela 22). Conseqüentemente, $P(6 \text{ dias})$, $P(5 \text{ dias})$, $P(4 \text{ dias})$, $P(3 \text{ dias})$ e $P(2 \text{ dias})$ serão nulos para todos os períodos semanais e, desse modo, a probabilidade de ocorrência de nenhum dia com temperatura mínima dentro do intervalo I foi 100% em todos os períodos semanais, para as referidas localidades. Em Torres (Tabela 22), a probabilidade de ocorrência de nenhum dia com temperatura mínima dentro do intervalo I somente não foi de 100% no vigésimo sétimo período semanal, mesmo assim com probabilidade de 78,36%. Isso se deve ao fato de que, nesse período semanal, tanto a probabilidade de um dia da semana não estar no intervalo I como a probabilidade de um dia da semana não estar no intervalo de temperatura I, dado que o dia anterior também não estava em I, foram de 96,67% e 96,56%, respectivamente. Nesse mesmo período semanal, a probabilidade de um dia da semana estar com a temperatura dentro do intervalo especificado foi de 2,8%, portanto, muito baixa, resultado atribuído ao fato de que a probabilidade de o primeiro dia da semana estar no intervalo I foi de apenas 3,33%, a probabilidade de um dia da semana não estar no intervalo I, dado que o anterior estava no intervalo I alcançou 100% e, a probabilidade de um dia da semana não

estar no intervalo de temperatura I, dado que o anterior também não estava em I, foi de 96,56%.

A estação Porto Alegre (Tabela 21) apresentou características semelhantes àquelas descritas para Torres no intervalo I. Com relação às outras estações meteorológicas, observam-se valores muito baixos de probabilidades para $P(7 \text{ dias})$, $P(6 \text{ dias})$ até $P(1 \text{ dia})$.

Como o cálculo para $P(0 \text{ dia})$ envolve $P(N)$ e $P(N/N)$ e, sendo ambos de valores elevados, para todos os períodos semanais, em todas as estações, a probabilidade de ocorrência de nenhum dia com temperatura mínima no intervalo I também é elevada. Isso é devido ao intervalo de temperatura mínima do ar, que é baixo para qualquer época do ano.

[illegible]

Tabela 18 - Probabilidade de ocorrência de dias com temperatura mínima do ar dentro do intervalo especificado, referente ao período 1969 - 1998. Local: Encruzilhada do Sul ($t \leq 3^{\circ}\text{C}$)

[illegible]

Tabela 19 - Probabilidade de Ocorrência de Dias com Temperatura Mínima do Ar Dentro do Intervalo Especificado, Referente ao período 1969 - 1998. Local: Pelotas ($t \leq 3^{\circ}\text{C}$)

[illegible]

Tabela 20 - Probabilidade de ocorrência de dias com temperatura mínima do ar dentro do intervalo especificado, referente ao período 1969 - 1998. Local: Bom Jesus ($t \leq 3^{\circ}\text{C}$)

[illegible]

Tabela 23 - Probabilidade de ocorrência de dias com temperatura mínima do ar dentro do intervalo especificado, referente ao período 1969 - 1998. Local: Bagé ($t \leq 3^{\circ}\text{C}$)

[illegible]

Tabela 24 - Probabilidade de dias com temperatura mínima do ar dentro do intervalo especificado, referente ao Período 1969 - 1998. Local: Iraí ($t \leq 3^{\circ}\text{C}$)

[illegible]

Tabela 25 - Probabilidade de Ocorrência de Dias com Temperatura Mínima do Ar Dentro do Intervalo Especificado, referente ao Período 1969 - 1998. Local: Passo Fundo ($t \leq 3^{\circ}\text{C}$)

[illegible]

Tabela 26 - Probabilidade de dias com temperatura mínima do ar dentro do intervalo especificado, Referente ao período 1969 - 1998. Local: São Luiz Gonzaga ($t \leq 3^{\circ}\text{C}$)

[illegible]

Tabela 27 - Probabilidade de ocorrência de dias com temperatura mínima do ar dentro do intervalo especificado, Referente ao período 1969 - 1998. Local: Santa Vitória do Palmar ($t \leq 3^{\circ}\text{C}$)

[illegible]

Tabela 28 - Probabilidade de ocorrência de dias com temperatura mínima do ar dentro do intervalo especificado, referente ao período 1969 - 1998. Local: Uruguaiana ($t \leq 3^{\circ}\text{C}$)

[illegible]

4.3 Modelos de estimativa das probabilidades das temperaturas mínimas baseado nas coordenadas geográficas

Nas tabelas de números 1, 2, 3, 4 e 5 dos apêndices, são mostrados, para as doze estações meteorológicas de superfície, os percentuais de probabilidade de a temperatura mínima do ar estar no intervalo I ($t \leq 3^{\circ}\text{C}$), para um e dois dias consecutivos, nas principais semanas do estudo (semanas 20, 25, 30, 35 e 40), registrando, dessa forma, um elevado número de percentuais nulos para a probabilidade da temperatura mínima do ar estar no intervalo I ($t \leq 3^{\circ}\text{C}$), tanto para um dia como para dois dias consecutivos. Assim, os coeficientes de determinação (r^2) foram muito baixos, variando de 0,31 a 0,6, não sendo possível utilizar as equações avaliadas, principalmente pelos programas STATÍSTICA, STATGRAF e SPSS.

A regressão linear múltipla (RLM), estabelecida entre as probabilidades estimadas e coordenadas geográficas das estações meteorológicas de superfície envolvidas no estudo, não obteve êxito em função do número reduzido de locais (doze estações meteorológicas), pequeno intervalo de temperatura (fator limitante), uso de várias semanas de acordo com o estabelecido pelo Método Cadeia de Markov, bem como o uso da probabilidade de ocorrência diária e de dois dias sucessivos da temperatura mínima do ar ser menor ou igual a 3°C .

4.4 Função que dá a probabilidade de ocorrência da primeira temperatura menor ou igual a 3°C e função que dá a probabilidade de ocorrência da última temperatura menor ou igual a 3°C

A análise dos dados obtidos indica as datas de 28 de março e 10 de dezembro como os extremos da série de ocorrência de temperatura igual ou menor do que 3°C , a partir da observação dos registros das 12 estações meteorológicas de superfície estudadas. Nessas datas, as probabilidades de ocorrência do fenômeno são baixas, uma vez que ocorreram em apenas um dos 30 anos analisados e somente para a estação de Bom Jesus (Tabela 29). O mesmo comportamento se verifica com datas próximas aos extremos mencionados. Em Bom Jesus – não havendo registros de temperaturas mínimas durante o ano de 1968 – foi verificado um intervalo de 258 dias, como o mais longo, em 29 anos, entre a ocorrência mais

precoce da temperatura mínima do ar menor ou igual a 3°C e aquela mais tardia, fato associado à altitude da estação que, é de 1047,5m.

Contrapondo-se a Bom Jesus, a estação de Torres (Tabela 30) apresentou, entre as doze estações de estudo, o menor número de anos, em 30 anos, com temperatura mínima menor ou igual a 3°C, isto é, 13 dos trinta anos apresentaram essa condição, correspondendo, portanto, a 43,33% dos anos. Em Torres, nos 30 anos, o intervalo maior entre a ocorrência mais precoce da temperatura menor ou igual a 3°C e aquela mais tardia foi de 78 dias, fato atribuído à pequena altitude da estação (30,6m), bem como ao efeito termorregulador da água com a proximidade do oceano Atlântico.

Além de Torres, somente Porto Alegre (Tabela 31) e Uruguaiana (Tabela 32) não totalizaram 100% dos 30 anos analisados com temperatura mínima menor ou igual a 3°C. Para Porto Alegre, apenas 23 anos dos 30 anos satisfizeram essa condição, caracterizando, dessa forma, o aquecimento natural na região metropolitana pela formação da ilha de calor atribuída a sua construção, enquanto que, para Uruguaiana – que apresenta situação de continentalidade extrema –, em 28 anos, ocorreram registros de temperatura mínima menor ou igual a 3°C, ressaltando-se que, durante os anos de 1982 e 1991, as temperaturas mínimas do ar, registradas naquela estação, foram expressivamente mais altas em relação àquelas observadas e registradas nos outros anos em estudo. As demais estações, Bagé (Tabela 33), Encruzilhada do Sul (Tabela 34), Iraí (Tabela 35), Pelotas (Tabela 36), Passo Fundo (Tabela 37), São Luiz Gonzaga (Tabela 38), Santa Maria (Tabela 39) e Santa Vitória do Palmar (Tabela 40), registraram, em 100% dos anos analisados, períodos com temperatura mínima menor ou igual a 3°C. A ocorrência de temperaturas mínimas menores ou iguais a 3°C, para as referidas estações, dá-se em 100% dos anos em, pelo menos, um dos seguintes meses: junho, julho e agosto.

Tabela 29 - Datas e probabilidades de ocorrência da primeira e última temperatura do ano menor ou igual a 3°C nas condições de Bom Jesus, RS.

Primeira Ocorrência ¹		Última Ocorrência ²	
Data	Probabilidade	Data	Probabilidade
28/03	0,0322	02/09	0,9345
05/04	0,0645	03/09	0,9022
09/04	0,0967	09/09	0,8700
09/04	0,1289	10/09	0,8378
15/04	0,1611	10/09	0,8056
15/04	0,1933	11/09	0,7734
16/04	0,2255	12/09	0,7412
16/04	0,2578	12/09	0,7089
18/04	0,2900	16/09	0,6767
18/04	0,3222	20/09	0,6445
19/04	0,3545	20/09	0,6122
22/04	0,3867	21/09	0,5800
24/04	0,4189	23/09	0,5478
24/04	0,4512	26/09	0,5155
26/04	0,4834	26/09	0,4834
1º/05	0,5155	06/10	0,4512
02/05	0,5478	08/10	0,4189
07/05	0,5800	08/10	0,3867
09/05	0,6122	14/10	0,3545
13/05	0,6445	15/10	0,3222
14/05	0,6767	18/10	0,2900
16/05	0,7089	21/10	0,2578
20/05	0,7412	24/10	0,2255
22/05	0,7734	29/10	0,1933
02/06	0,8056	30/10	0,1611
03/06	0,8378	18/11	0,1289
04/06	0,8700	28/11	0,0967
09/06	0,9022	05/12	0,0645
20/06	0,9345	10/12	0,0322

¹ Probabilidade de ocorrência da primeira temperatura menor ou igual a 3°C, até a data indicada.

² Probabilidade de ocorrência da última temperatura menor ou igual a 3°C, a partir da data indicada.

Tabela 30 - Datas e probabilidades de ocorrência da primeira e última temperatura do ano menor ou igual a 3°C nas condições de Torres, RS.

Primeira Ocorrência ¹		Última Ocorrência ²	
Data	Probabilidade	Data	Probabilidade
02/06	0,0309	06/06	0,4024
06/06	0,0619	16/06	0,3714
16/06	0,0929	26/06	0,3404
28/06	0,1238	28/06	0,3095
30/06	0,1547	30/06	0,2786
14/07	0,1857	14/07	0,2476
14/07	0,2167	18/07	0,2167
18/07	0,2476	21/07	0,1857
21/07	0,2786	27/07	0,1547
27/07	0,3095	1º/08	0,1238
1º/08	0,3404	02/08	0,0929
02/08	0,3714	03/08	0,0619
19/08	0,4024	19/08	0,0309

¹ Probabilidade de ocorrência da primeira temperatura menor ou igual a 3°C, até a data indicada.

² Probabilidade de ocorrência da última temperatura menor ou igual a 3°C, a partir da data indicada.

Tabela 31 - Datas e probabilidades de ocorrência da primeira e última temperatura do ano menor ou igual a 3°C nas condições de Porto Alegre, RS.

Primeira Ocorrência ¹		Última Ocorrência ²	
Data	Probabilidade	Data	Probabilidade
26/05	0,0320	05/06	0,7347
28/05	0,0639	07/06	0,7028
02/06	0,0958	18/06	0,6709
05/06	0,1278	21/06	0,6389
05/06	0,1597	26/06	0,6070
06/06	0,1918	30/06	0,5750
17/06	0,2236	30/06	0,5431
21/06	0,2555	11/07	0,5112
27/06	0,2875	14/07	0,4792
28/06	0,3195	16/07	0,4472
29/06	0,3514	16/07	0,4153
29/06	0,3834	18/07	0,3834
30/06	0,4153	24/07	0,3514
07/07	0,4472	25/07	0,3195
10/07	0,4792	27/07	0,2875
11/07	0,5112	03/08	0,2555
14/07	0,5431	03/08	0,2236
14/07	0,5750	06/08	0,1918
18/07	0,6070	16/08	0,1597
19/07	0,6389	25/08	0,1278
28/07	0,6709	29/08	0,0958
05/08	0,7028	02/09	0,0639
02/09	0,7347	04/09	0,0320

¹ Probabilidade de ocorrência da primeira temperatura menor ou igual a 3°C, até a data indicada.

² Probabilidade de ocorrência da última temperatura menor ou igual a 3°C, a partir da data indicada.

Tabela 32 - Datas e probabilidades de ocorrência da primeira e última temperatura do ano menor ou igual a 3°C nas condições de Uruguaiana, RS.

Primeira Ocorrência ¹		Última Ocorrência ²	
Data	Probabilidade	Data	Probabilidade
04/05	0,0322	19/06	0,9011
17/05	0,0569	28/06	0,8689
21/05	0,0965	07/07	0,8368
23/05	0,1287	11/07	0,8046
25/05	0,1609	11/07	0,7724
27/05	0,1931	14/07	0,7402
31/05	0,2253	22/07	0,7080
1º/06	0,2575	25/07	0,6758
02/06	0,2896	26/07	0,6437
03/06	0,3218	31/07	0,6115
04/06	0,3540	02/08	0,5793
06/06	0,3862	05/08	0,5472
07/06	0,4184	05/08	0,5149
07/06	0,4506	09/08	0,4827
10/06	0,4827	11/08	0,4506
16/06	0,5149	21/08	0,4184
19/06	0,5472	26/08	0,3862
22/06	0,5793	31/08	0,3540
25/06	0,6115	1º/09	0,3218
26/06	0,6437	02/09	0,2896
26/06	0,6758	02/09	0,2575
28/06	0,7080	02/09	0,2253
07/07	0,7402	03/09	0,1931
07/07	0,7724	05/09	0,1609
08/07	0,8046	05/09	0,1287
20/07	0,8368	05/09	0,0965
05/08	0,8689	07/09	0,0569
02/09	0,9011	20/09	0,0322

¹ Probabilidade de ocorrência da primeira temperatura menor ou igual a 3°C, até a data indicada.

² Probabilidade de ocorrência da última temperatura menor ou igual a 3°C, a partir da data indicada.

Tabela 33 - Datas e probabilidades de ocorrência da primeira e última temperatura do ano menor ou igual a 3°C nas condições de Bagé, RS.

Primeira Ocorrência ¹		Última Ocorrência ²	
Data	Probabilidade	Data	Probabilidade
20/04	0,0323	23/07	0,9677
24/04	0,0645	28/07	0,9355
06/05	0,0968	03/08	0,9032
13/05	0,1290	18/08	0,8710
14/05	0,1613	22/08	0,8387
17/05	0,1935	26/08	0,8065
20/05	0,2258	26/08	0,7742
20/05	0,2581	28/08	0,7419
21/05	0,2903	28/08	0,7097
24/05	0,3226	31/08	0,6774
24/05	0,3548	02/09	0,6452
24/05	0,3871	03/09	0,6129
26/05	0,4194	03/09	0,5806
27/05	0,4516	05/09	0,5484
30/05	0,4839	09/09	0,5161
03/06	0,5161	09/09	0,4839
03/06	0,5484	11/09	0,4516
03/06	0,5806	14/09	0,4194
04/06	0,6129	16/09	0,3871
05/06	0,6452	16/09	0,3548
07/06	0,6774	19/09	0,3226
10/06	0,7097	19/09	0,2903
11/06	0,7419	21/09	0,2581
14/06	0,7742	22/09	0,2258
15/06	0,8065	26/09	0,1935
16/06	0,8387	04/10	0,1613
16/06	0,8710	05/10	0,1290
26/06	0,9032	15/10	0,0968
26/06	0,9355	17/10	0,0645
05/07	0,9677	26/10	0,0323

¹ Probabilidade de ocorrência da primeira temperatura menor ou igual a 3°C, até a data indicada.

² Probabilidade de ocorrência da última temperatura menor ou igual a 3°C, a partir da data indicada.

Tabela 34 - Datas e probabilidades de ocorrência da primeira e última temperatura do ano menor ou igual a 3°C nas condições de Encruzilhada do Sul, RS.

Primeira Ocorrência ¹		Última Ocorrência ²	
Data	Probabilidade	Data	Probabilidade
09/05	0,0323	06/07	0,9677
13/05	0,0645	30/07	0,9355
14/05	0,0968	04/08	0,9032
17/05	0,1290	14/08	0,8710
17/05	0,1613	18/08	0,8387
22/05	0,1935	21/08	0,8065
23/05	0,2258	26/08	0,7742
24/05	0,2581	26/08	0,7419
26/05	0,2903	31/08	0,7097
27/05	0,3226	31/08	0,6774
29/05	0,3548	1 ^o /09	0,6452
30/05	0,3871	02/09	0,6129
30/05	0,4194	02/09	0,5806
02/06	0,4516	07/09	0,5484
02/06	0,4839	09/09	0,5161
03/06	0,5161	09/09	0,4839
03/06	0,5484	09/09	0,4516
03/06	0,5806	09/09	0,4194
03/06	0,6129	11/09	0,3871
06/06	0,6452	16/09	0,3548
07/06	0,6774	16/09	0,3226
07/06	0,7097	19/09	0,2903
11/06	0,7419	20/09	0,2581
14/06	0,7742	24/09	0,2258
16/06	0,8065	25/09	0,1935
18/06	0,8387	26/09	0,1613
19/06	0,8710	30/09	0,1290
03/07	0,9032	05/10	0,0968
08/07	0,9355	05/10	0,0645
12/07	0,9677	23/10	0,0323

¹ Probabilidade de ocorrência da primeira temperatura menor ou igual a 3°C, até a data indicada.

² Probabilidade de ocorrência da última temperatura menor ou igual a 3°C, a partir da data indicada.

Tabela 35 - Datas e probabilidades de ocorrência da primeira e última temperatura do ano menor ou igual a 3°C nas condições de Iraí, RS.

Primeira Ocorrência ¹		Última Ocorrência ²	
Data	Probabilidade	Data	Probabilidade
24/04	0,0323	08/07	0,9677
25/04	0,0645	12/07	0,9355
1º/05	0,0968	22/07	0,9032
06/05	0,1290	24/07	0,8710
09/05	0,1613	26/07	0,8387
17/05	0,1935	30/07	0,8065
19/05	0,2258	1º/08	0,7742
27/05	0,2581	04/08	0,7419
28/05	0,2903	04/08	0,7097
28/05	0,3226	05/08	0,6774
31/05	0,3548	11/08	0,6452
1º/06	0,3871	11/08	0,6129
03/06	0,4194	12/08	0,5806
04/06	0,4516	18/08	0,5484
04/06	0,4839	28/08	0,5161
09/06	0,5161	1º/09	0,4839
11/06	0,5484	02/09	0,4516
12/06	0,5806	02/09	0,4194
18/06	0,6129	06/09	0,3871
22/06	0,6452	06/09	0,3548
24/06	0,6774	08/09	0,3226
26/06	0,7097	10/09	0,2903
26/06	0,7419	10/09	0,2581
28/06	0,7742	15/09	0,2258
29/06	0,8065	17/09	0,1935
03/07	0,8387	19/09	0,1613
05/07	0,8710	20/09	0,1290
09/07	0,9032	20/09	0,0968
19/07	0,9355	20/09	0,0645
05/09	0,9677	18/10	0,0323

¹ Probabilidade de ocorrência da primeira temperatura menor ou igual a 3°C, até a data indicada.

² Probabilidade de ocorrência da última temperatura menor ou igual a 3°C, a partir da data indicada.

Tabela 36 - Datas e probabilidades de ocorrência da primeira e última temperatura do ano menor ou igual a 3°C nas condições de Pelotas, RS.

Primeira Ocorrência ¹		Última Ocorrência ²	
Data	Probabilidade	Data	Probabilidade
20/04	0,0323	21/07	0,9677
06/05	0,0645	27/07	0,9355
14/05	0,0968	28/07	0,9032
15/05	0,1290	30/07	0,8710
18/05	0,1613	04/08	0,8387
20/05	0,1935	05/08	0,8065
21/05	0,2258	09/08	0,7742
24/05	0,2581	14/08	0,7419
25/05	0,2903	15/08	0,7097
27/05	0,3226	21/08	0,6774
28/05	0,3548	25/08	0,6452
29/05	0,3871	25/08	0,6129
02/06	0,4194	31/08	0,5806
02/06	0,4516	02/09	0,5484
03/06	0,4839	02/09	0,5161
04/06	0,5161	02/09	0,4839
04/06	0,5484	03/09	0,4516
05/06	0,5806	04/09	0,4194
06/06	0,6129	06/09	0,3871
06/06	0,6452	07/09	0,3548
06/06	0,6774	10/09	0,3226
09/06	0,7097	16/09	0,2903
15/06	0,7419	19/09	0,2581
16/06	0,7742	20/09	0,2258
23/06	0,8065	20/09	0,1935
24/06	0,8387	21/09	0,1613
04/07	0,8710	21/09	0,1290
05/07	0,9032	24/09	0,0968
05/07	0,9355	27/09	0,0645
11/07	0,9677	06/10	0,0323

¹ Probabilidade de ocorrência da primeira temperatura menor ou igual a 3°C, até a data indicada.

² Probabilidade de ocorrência da última temperatura menor ou igual a 3°C, a partir da data indicada.

Tabela 37 - Datas e probabilidades de ocorrência da primeira e última temperatura do ano menor ou igual a 3°C nas condições de Passo Fundo, RS.

Primeira Ocorrência ¹		Última Ocorrência ²	
Data	Probabilidade	Data	Probabilidade
24/04	0,0323	02/07	0,9677
1º/05	0,0645	26/07	0,9355
1º/05	0,0968	27/07	0,9032
03/05	0,1290	03/08	0,8710
05/05	0,1613	10/08	0,8387
09/05	0,1935	10/08	0,8065
13/05	0,2258	19/08	0,7742
14/05	0,2581	21/08	0,7419
15/05	0,2903	27/08	0,7097
18/05	0,3226	28/08	0,6774
19/05	0,3548	31/08	0,6452
20/05	0,3871	02/09	0,6129
22/05	0,4194	02/09	0,5806
22/05	0,4516	03/09	0,5484
23/05	0,4839	05/09	0,5161
24/05	0,5161	07/09	0,4839
25/05	0,5484	08/09	0,4516
26/05	0,5806	09/09	0,4194
29/05	0,6129	09/09	0,3871
1º/06	0,6452	10/09	0,3548
03/06	0,6774	11/09	0,3226
04/06	0,7097	19/09	0,2903
08/06	0,7419	20/09	0,2581
18/06	0,7742	20/09	0,2258
19/06	0,8065	21/09	0,1935
24/06	0,8387	23/09	0,1613
24/06	0,8710	25/09	0,1290
25/06	0,9032	26/09	0,0968
08/07	0,9355	28/09	0,0645
09/07	0,9677	05/10	0,0323

¹ Probabilidade de ocorrência da primeira temperatura menor ou igual a 3°C, até a data indicada.

² Probabilidade de ocorrência da última temperatura menor ou igual a 3°C, a partir da data indicada.

Tabela 38 - Datas e probabilidades de ocorrência da primeira e última temperatura do ano menor ou igual a 3°C nas condições de São Luiz Gonzaga, RS.

Primeira Ocorrência ¹		Última Ocorrência ²	
Data	Probabilidade	Data	Probabilidade
14/05	0,0323	29/06	0,9677
16/05	0,0645	02/07	0,9355
25/05	0,0968	07/07	0,9032
28/05	0,1290	11/07	0,8710
28/05	0,1613	22/07	0,8387
28/05	0,1935	22/07	0,8065
30/05	0,2258	23/07	0,7742
31/05	0,2581	26/07	0,7419
03/06	0,2903	27/07	0,7097
04/06	0,3226	03/08	0,6774
06/06	0,3548	05/08	0,6452
11/06	0,3871	06/08	0,6129
12/06	0,4194	09/08	0,5806
18/06	0,4516	10/08	0,5484
18/06	0,4839	10/08	0,5161
18/06	0,5161	10/08	0,4839
24/06	0,5484	18/08	0,4516
24/06	0,5806	20/08	0,4194
25/06	0,6129	25/08	0,3871
26/06	0,6452	29/08	0,3548
26/06	0,6774	31/08	0,3226
27/06	0,7097	1º/09	0,2903
28/06	0,7419	02/09	0,2581
29/06	0,7742	02/09	0,2258
30/06	0,8065	02/09	0,1935
1º/07	0,8387	07/09	0,1613
07/07	0,8710	09/09	0,1290
08/07	0,9032	10/09	0,0968
11/07	0,9355	17/09	0,0645
16/07	0,9677	19/09	0,0323

¹ Probabilidade de ocorrência da primeira temperatura menor ou igual a 3°C, até a data indicada.

² Probabilidade de ocorrência da última temperatura menor ou igual a 3°C, a partir da data indicada.

Tabela 39 - Datas e probabilidades de ocorrência da primeira e última temperatura do ano menor ou igual a 3°C nas condições de Santa Maria, RS.

Primeira Ocorrência ¹		Última Ocorrência ²	
Data	Probabilidade	Data	Probabilidade
26/04	0,0323	26/06	0,9677
10/05	0,0645	02/07	0,9355
16/05	0,0968	27/07	0,9032
18/05	0,1290	28/07	0,8710
20/05	0,1613	30/07	0,8387
23/05	0,1935	04/08	0,8065
23/05	0,2258	05/08	0,7742
24/05	0,2581	10/08	0,7419
26/05	0,2903	22/08	0,7097
27/05	0,3226	26/08	0,6774
29/05	0,3548	27/08	0,6452
31/05	0,3871	28/08	0,6129
1º/06	0,4194	28/08	0,5806
03/06	0,4516	28/08	0,5484
04/06	0,4839	31/08	0,5161
04/06	0,5161	02/09	0,4839
05/06	0,5484	02/09	0,4516
06/06	0,5806	03/09	0,4194
08/06	0,6129	04/09	0,3871
11/06	0,6452	07/09	0,3548
12/06	0,6774	08/09	0,3226
15/06	0,7097	08/09	0,2903
16/06	0,7419	09/09	0,2581
18/06	0,7742	10/09	0,2258
20/06	0,8065	14/09	0,1935
24/06	0,8387	17/09	0,1613
26/06	0,8710	20/09	0,1290
06/07	0,9032	20/09	0,0968
22/07	0,9355	20/09	0,0645
10/08	0,9677	26/09	0,0323

¹ Probabilidade de ocorrência da primeira temperatura menor ou igual a 3°C, até a data indicada.

² Probabilidade de ocorrência da última temperatura menor ou igual a 3°C, a partir da data indicada.

Tabela 40 - Datas e probabilidades de ocorrência da primeira e última temperatura do ano menor ou igual a 3°C nas condições de Santa Vitória do Palmar, RS.

Primeira Ocorrência ¹		Última Ocorrência ²	
Data	Probabilidade	Data	Probabilidade
03/05	0,0323	30/06	0,9677
04/05	0,0645	06/07	0,9355
14/05	0,0968	15/07	0,9032
15/05	0,1290	15/07	0,8710
23/05	0,1613	28/07	0,8387
24/05	0,1935	30/07	0,8065
25/05	0,2258	05/08	0,7742
26/05	0,2581	18/08	0,7419
27/05	0,2903	19/08	0,7097
31/05	0,3226	21/08	0,6774
04/06	0,3548	25/08	0,6452
04/06	0,3871	26/08	0,6129
04/06	0,4194	31/08	0,5806
05/06	0,4516	31/08	0,5484
06/06	0,4839	02/09	0,5161
06/06	0,5161	04/09	0,4839
08/06	0,5484	05/09	0,4516
10/06	0,5806	06/09	0,4194
12/06	0,6129	09/09	0,3871
12/06	0,6452	13/09	0,3548
14/06	0,6774	19/09	0,3226
14/06	0,7097	20/09	0,2903
16/06	0,7419	21/09	0,2581
20/06	0,7742	22/09	0,2258
29/06	0,8065	24/09	0,1935
02/07	0,8387	24/09	0,1613
09/07	0,8710	25/09	0,1290
10/07	0,9032	26/09	0,0968
17/07	0,9355	06/10	0,0645
23/07	0,9677	08/10	0,0323

¹ Probabilidade de ocorrência da primeira temperatura menor ou igual a 3°C, até a data indicada.

² Probabilidade de ocorrência da última temperatura menor ou igual a 3°C, a partir da data indicada.

4.5 Mapeamento do modelo de estimativa das temperaturas mínimas por meio das coordenadas geográficas

Os mapas mostram a estimativa das datas da primeira geada do ano (Figura 3) e da última geada do ano (Figura 4) para o Estado do Rio Grande do Sul, considerando o critério de a temperatura mínima do ar ser menor ou igual a 3°C no abrigo meteorológico para a determinação da ocorrência de geada em nível de relva – como fundamentado neste trabalho –, identificando-se, de acordo com o programa utilizado, os decêndios mais prováveis dessa ocorrência.

A altitude foi a coordenada geográfica mais significativa na determinação dos decêndios que determinam a probabilidade de ocorrência da primeira e da última geada do ano. Os municípios de maior altitude – localizados nas regiões do Planalto Superior e Serra do Nordeste – apresentam temperaturas mais baixas durante todo o ano e maior amplitude entre o dia e a noite, como é o caso da região dos municípios de Bom Jesus, Ibiraiaras e Silveira Martins, que, além de localizados numa região de clima temperado, estão situados em regiões de altitude elevada (Bom Jesus: 1047,5m, Ibiraiaras: 776m e Silveira Martins: 431m), o que compensa a latitude nas posições de Bom Jesus e Ibiraiaras, que é em torno de 28°. Silveira Martins, embora apresente uma altitude menor, é localizado mais ao sul, com latitude 29° 39’.

A estimativa da data mais provável da ocorrência da primeira e da última geada do ano, no Estado do Rio Grande do Sul, apresenta diversidade e depende das coordenadas geográficas de cada localidade, observando-se que – de acordo com os modelos estatísticos aplicados em sua determinação –, por ordem de importância, a altitude é uma coordenada geográfica mais significativa do que a latitude e que ambas se sobrepõem à longitude. A ocorrência mais precoce, em todo o Estado, da data da primeira geada do ano está no decêndio compreendido entre 21 de março e 31 de março, sendo exatamente para os municípios localizados nas regiões do Planalto Superior e Serra do Nordeste, os quais apresentam as maiores altitudes no Estado. Por esse motivo, também no primeiro decêndio do mês de abril, surge a probabilidade da ocorrência da primeira geada do ano nas regiões do Planalto Superior e Serra do Nordeste, porém num percentual maior do que no

terceiro decêndio do mês de março, atingindo 12,89% de probabilidade, segundo o Método Conrad & Pollak.

As regiões do Planalto Superior, Serra do Nordeste, Planalto Médio, Encosta Inferior da Serra do Nordeste, parte leste e nordeste do Alto Vale do Uruguai e Depressão Central apresentam, em comum, a estimativa de ocorrer a data da primeira geada do ano durante o segundo decêndio do mês de abril. Para a grande maioria das Regiões Ecoclimáticas, principalmente as Regiões das Missões, Planalto Médio, Serra do Sudeste, Região da Campanha e o extremo sul da Região Litoral, a data da primeira geada do ano é estimada com maior probabilidade de ocorrer durante o terceiro decêndio do mês de abril. Para as Regiões Alto Vale do Uruguai, Baixo Vale do Uruguai, oeste da Região das Missões, Depressão Central, Encosta Superior da Serra do Nordeste, parte central da Serra do Sudeste, Região das Grandes Lagoas e Litoral, os decêndios estimados para ocorrer a data da primeira geada do ano estão compreendidos entre as datas de 1º de maio e 20 de maio, isto é, primeiro e segundo decêndio do mês de maio. A parte norte da Região do Litoral rio-grandense, localizada entre as latitudes 29ºS e 31ºS, com longitude compreendida entre 49º30'W e 50º30'W – onde estão situados os municípios de Torres, São Pedro de Alcântara, Três Cachoeiras, Terra de Areia, Capão da Canoa, Barra do Ouro, Osório, Tramandaí, Passarinhos, Capivari e Palmares do Sul – é a única entre todas as regiões do Estado – em que a estimativa da ocorrência da data da primeira geada do ano está prevista para ocorrer no último decêndio do mês de maio, mesmo assim, com uma estimativa de probabilidade de ocorrer muito baixa, sendo essa estimativa corroborada tanto pelo Modelo Cadeia de Markov quanto pelo Método Conrad & Pollak.

O intervalo da previsão de ocorrer a data da última geada do ano está entre o terceiro decêndio do mês de agosto e o segundo decêndio do mês de dezembro, isto é, intervalo em que ocorrerá a geada mais tardia em todo o Estado do Rio Grande do Sul.

A região Litoral apresenta sete decêndios diferentes para a ocorrência da data da última geada do ano, dividindo o litoral rio-grandense em sete regiões que se diferenciam basicamente por suas latitudes, já que suas altitudes são as mesmas,

ou seja, ao nível do mar. A parte nordeste e leste da região Litoral, localizada entre as latitudes 29°S e 30°S – região onde está situada a estação meteorológica de superfície Torres – é bem diferenciada em relação às outras localidades da região Litoral, como também a todas as localidades das distintas regiões do Rio Grande do Sul. A estimativa de ocorrer a data da última geada do ano é prevista para o último decêndio do mês de julho e o primeiro decêndio do mês de agosto, mesmo assim, com um percentual muito baixo para essa ocorrência, constatando-se tanto pelo Modelo Cadeia de Markov quanto pelo Método Conrad e Pollak um percentual baixíssimo de a temperatura mínima do ar estar no intervalo inferior ou igual a 3°C no abrigo meteorológico. Observações pontuais na estação Torres registram essa condição em 13 dos 30 anos observados, correspondendo, portanto, a 43,33% dos anos.

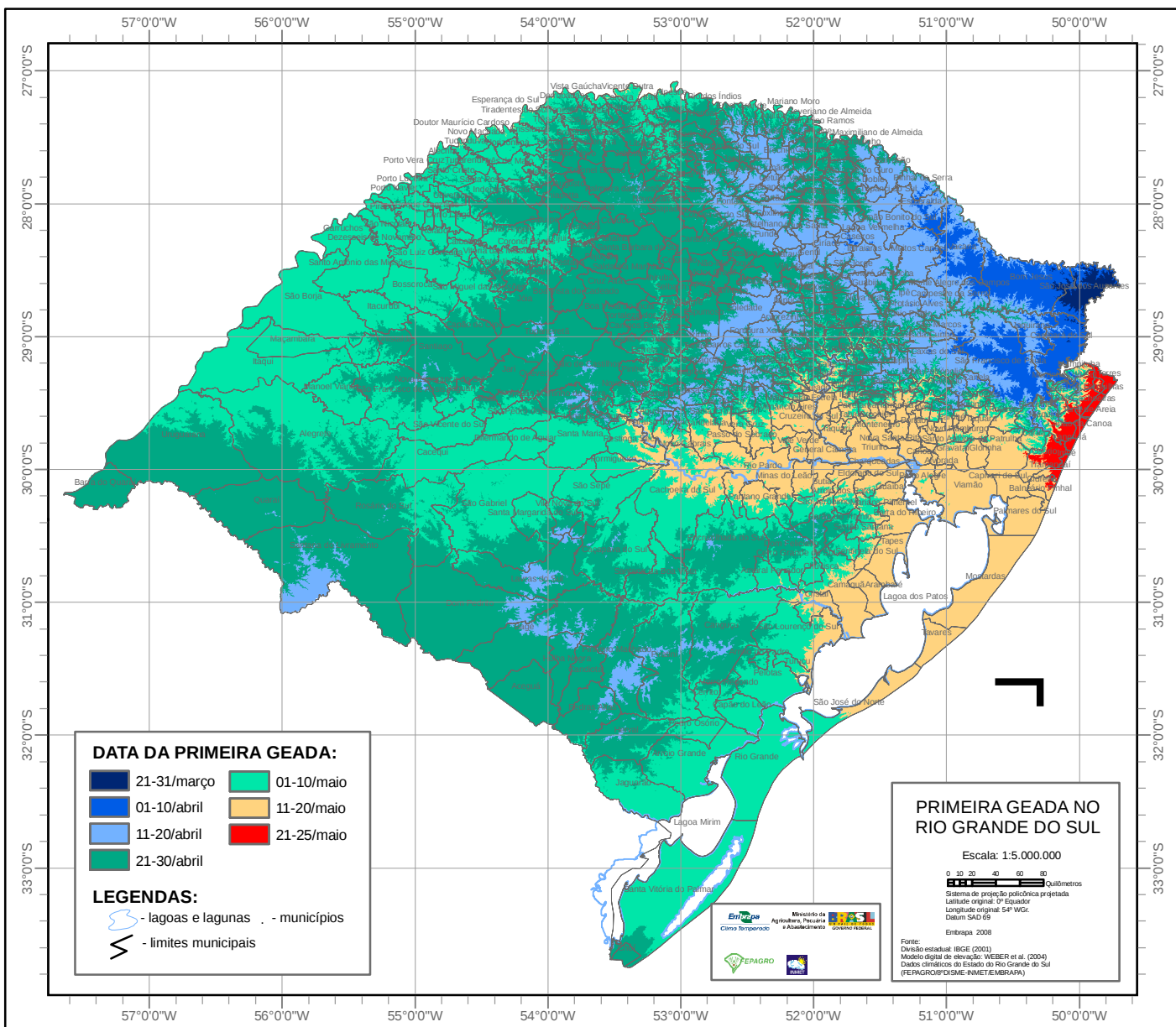
Contraopondo-se as regiões norte e leste da região Litoral, as regiões Planalto Superior e Serra do Nordeste apresentam os decêndios do ano mais tardios para a ocorrência da data da última geada do ano no Estado, sendo esta estimada para o último decêndio do mês de novembro e primeiro decêndio do mês de dezembro, fato esse justificado pela altitude de suas localidades – as mais elevadas em nosso Estado – como é o caso do município de Bom Jesus.

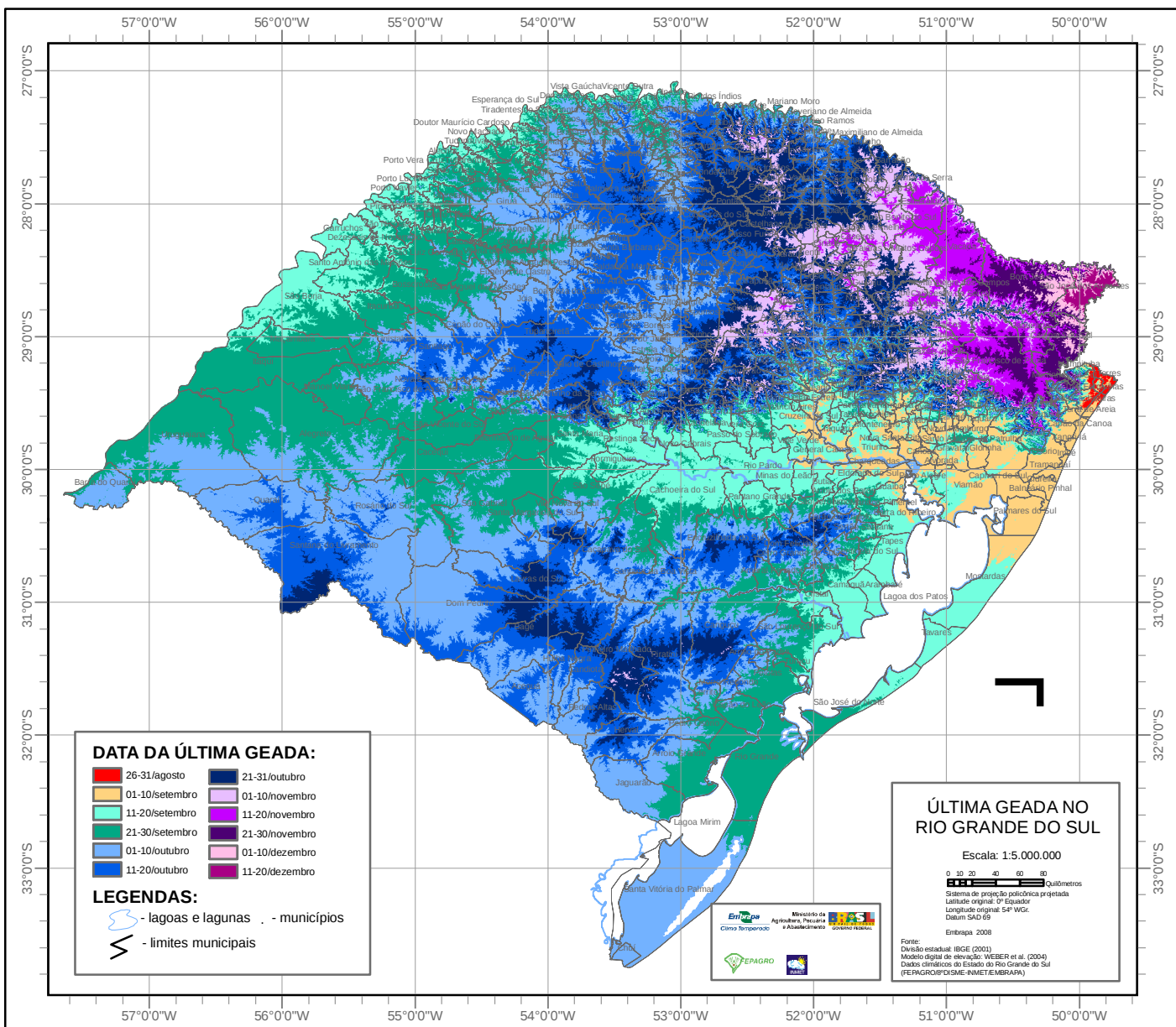
Para as regiões Depressão Central, parte norte do Alto do Vale Uruguai, nordeste do Baixo Vale do Uruguai, Missões e localidades das regiões Litoral e Grandes Lagoas situadas entre as latitudes 30°S e 32°S, os decêndios estimados para a ocorrência da data da última geada do ano ocorrem entre os dias 11 de agosto e 10 de setembro.

No sul das regiões Litoral e Grandes Lagoas – entre as latitudes 32°S e 33°S e entre os paralelos 52°W e 54°W –, a maior previsão de ocorrer a data da última geada do ano está entre os dias 11 de setembro e 30 de setembro, isto é, segundo e terceiro decêndio do mês de setembro. Essa previsão também se estende para algumas localidades da Serra do Sudeste, Depressão Central, oeste e norte da região da Campanha entre as latitudes 29°S e 31°S, e Baixo Vale do Uruguai entre as latitudes 29°S e 30°S.

No extremo sul da região Litoral – entre as latitudes 33°S e 34°S –, quase a totalidade da região da Campanha – entre as latitudes 30°S e 32°S –, a parte norte e oeste do Planalto Superior e Serra do Nordeste, o leste e nordeste do Planalto Médio, a Encosta Inferior da Serra do Nordeste e oeste da Depressão Central

apresentam estimativas de ocorrer a data da última geada do ano nos três decêndios do mês de outubro.





5 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos permitem concluir que:

- * O modelo da Cadeia de Markov possibilita a determinação das probabilidades inicial e condicional de apresentar temperatura mínima do ar dentro do intervalo de temperatura I ($t \leq 3^{\circ}\text{C}$) para doze estações meteorológicas de superfície no Estado do Rio Grande do Sul, durante os meses do ano. Os resultados dessas probabilidades são diferenciados em função da localização geográfica de cada estação. A maior parte das estações meteorológicas estudadas apresentam valores baixos de tais probabilidades nos dois primeiros meses de outono e na primavera.
- * O modelo Cadeia de Markov torna possível a identificação dos meses compreendidos entre abril e dezembro como aqueles que possuem a probabilidade de ocorrência de temperatura mínima do ar menor ou igual a 3°C para doze estações meteorológicas de superfície no Estado do Rio Grande do Sul.
- * A probabilidade de a temperatura mínima do ar ser encontrada no intervalo I ($t \leq 3^{\circ}\text{C}$) varia de acordo com a época do ano, assim como, de modo geral, a probabilidade de ocorrência de temperatura mínima do ar menor ou igual a 3°C é baixa no período de setembro a março.

- * A estação de Bom Jesus registra o maior intervalo de dias com temperaturas mínimas menores ou iguais a 3°C , 258 dias entre a ocorrência mais precoce e aquela mais tardia, num conjunto de 30 anos.
- * A estação de Torres registra o menor intervalo de dias com temperaturas mínimas menores ou iguais a 3°C , 78 dias entre a ocorrência mais precoce e aquela mais tardia, num conjunto de 30 anos.
- * A probabilidade de ocorrência de seqüências de dias com intervalo de temperatura mínima do ar menor ou igual a 3°C varia de acordo com o período semanal e a localização geográfica de cada estação. Os resultados dessas probabilidades são significativos apenas para dois dias consecutivos no período compreendido entre a semana 25 e a semana 30, isto é, entre 18 de junho e 29 de julho.
- * Os limites extremos de ocorrência (primeira e última data) de temperaturas do ar menores ou iguais a 3°C ocorrem, com baixa probabilidade, em 28 de março e 10 de dezembro na Estação de Bom Jesus.
- * Os modelos desenvolvidos para estimativa da probabilidade de ocorrência de temperaturas mínimas absolutas do ar menores ou iguais a 3°C possibilitam o mapeamento da distribuição espacial de ocorrências de geadas no Estado do Rio Grande do Sul.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

* A análise dos números de geadas, a análise das datas de geadas precoces e tardias, nas estações que representam as distintas regiões do Estado do Rio Grande do Sul, por meio do critério definido com temperatura mínima do ar, no abrigo meteorológico, menor ou igual a 3°C, deveria – em trabalhos futuros – ser comparada com o número de geadas observadas visualmente em cada estação meteorológica de superfície.

* A instalação de estações automáticas em um número maior de municípios, no Estado do Rio Grande do Sul, tornaria possível uma análise - com maior fidelidade - do comportamento da temperatura mínima do ar, bem como a aplicação de métodos estatísticos que só serão viáveis em função do número de informações que cada estação meteorológica de superfície oferece.

7 REFERÊNCIAS

ANDRÉ, R.G.B.,VOLPE,C.A. **Geadas: Prevenção e Combate.** Boletim Técnico,Universidade Estadual Paulista, Campus de Jaboticabal, São Paulo, n.2,p.1-18,1984.

AGENDES, M. O., MOTA, F. S. **Dias climaticamente aptos para trabalhos com máquinas agrícolas em planossolos bem drenados artificialmente, em Pelotas, RS.** Boletim Técnico, n.1, p.1-14, 1986.

ASSIS, S. V. **Modelo para estimar o número de dias trabalháveis com tratores agrícolas, em função de parâmetros do solo e do clima.** Dissertação (Mestrado em Agronomia/Meteorologia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa , Viçosa, 1988.

ASTOLPHO, F., CAMARGO ,M.B.P., PEDRO JR, M. J., PALLONE FILHO, W., J. **Probabilidade de ocorrência de geadas no Estado de São Paulo.** Informações Técnicas, O Agrônomo, Campinas, São Paulo, 56(1), p.10-11, 2004.

CASKEY JR, J. E. **A Markov Chain Model for the probability of precipitation occurrence in intervals of various lengths.** Monthly Weather Review, n.91, p.298-302, 1963.

CASTRO R. **Seqüência de estados de umidade em solos descrita pela cadeia de Markov para a região de Botucatu – SP** (Tese-Doutorado). São Paulo: Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrônômicas, 1999.

CONRAD, V. & POLLAK, L.W. **Methods in Climatology.** 2ed. Cambridge, Harvard University Press, 459p, 1950.

DANTAS, P. R. C. Frequency distribution of dry spells at some stations en Paraíba. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA 11; Brasília. **Anais...**Brasília, 1998.

FEYERHERM, A. M.,BARK, L. D., BURROWS, W. C. **Probabilities of sequence of wet and dry days in Indiana.** Manhattan: Kansas Station of Agricultural and Applied Science,50p, 1965.

GABRIEL, K. R., NEUMANN, J. **A Markov Chain Model for daily rainfall occurrences at Tel Aviv.** Quartely Journal Royal Meteorological Society, n.88, p. 90-95, 1962.

HILDEBRAND, F.H. **Finite mathematics**. 2ed., Boston, Massachussets, 537p, 1975.

HOEL, G.P. **Introduction to Stochastic Processes**. Los Angeles, University of California. 203p, 1972.

HOFFMANN, A., NACHTIGAL, J. C., ROSSAL, P. A.L., ASSIS, F. N. **Estimativa da primeira data de outono e última data da primavera com temperatura do ar menor ou igual a 0°C em Pelotas, RS**. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v.2, p.65-68, 1994.

HOPKINS, J. W., ROBILLARD, P. **Some statistics of daily rainfall occurrences for the Canadian prairie provinces**. Journal of Applied Meteorology, n.3, p.600-602, 1964.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. **Zoneamento climático da batata das águas**. Disponível em: <<http://www.iapar.br/zonpr/Batata.htm>>. Acesso em: 06 set.2005.

JIMOH O. D., WEBSTER, P. **The optimum order of a Markov chain model for daily rainfall in Nigéria**. Journal of Hydrology, n.185, p.45-69, 1996.

KEMP, W. P., BURNELL, D. G., EVERSON, D. O., THOMSON, A. J. **Estimating missing daily maximum and minimum temperatures**. Journal of Climate and Applied Meteorology, v.22, n.12, p.1587-1593, 1983.

KIM, I., GRODZKI, I., CARARNORI, P. H., VISSOTTO, S. **Análise da ocorrência de geadas no Estado do Paraná**, Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v.11, n.1, p. 99 –106, 2003.

LIPSCHUSTZ, S. **Probabilidade**. São Paulo, McGraw – Hill do Brasil. 211p, 1972.

MEDHI, J. **A Markov Chain Model for the occurrences of dry and wet days**. Indian Journal of Meteorology Hydrology and Geophysics, v.27, n.4, p.431-435, 1976.

MEHNER et al. Simulation/optimization of sorghum-methane production systems. **Transactions of the ASAE**, 21p., 1988.

MOREY, R.V. **Optimal policies for harvesting corn**. Indiana, Purdue University, 1971. (Unpublished Ph.D. Dissertation).

PEREIRA, A.R., ANGELOCCI, L.R., SENTELHAS, P.C. **Agrometeorologia – Fundamentos e Aplicações Práticas**. Guaíba, RS, p.386-408, 2002.

PIMENTEL, M.G.P. **Método de Estimativa de Temperaturas Mínimas e Máximas Médias Mensais Climatológicas do Ar no Rio Grande do Sul**. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, 2007.

PUNYAWARDENA, B. V. R., KULASIRI, D. On development and comparative study of two Markov models of rainfall in the dry zone of Sri Lanka. **Joint International Conference in Agricultural Engineering and Technology**, v. 1, p. 231-8, 1997.

REIS, N.A., MOTA, F.S. da, AMARAL, E.C. Metodologia para determinação do risco de geadas em qualquer local do Rio Grande do Sul. **Boletim de pesquisa**, nº4, Pelotas, UFPel, 1986.

ROLDAN, J., WOOLHISER, D. A. **Stochastic daily precipitation models II: a comparison of distribution of amounts**. Water Resources Research, v.18, n.5, p.1451-1459, 1982.

SILVA, M. M. P. **Probabilidade de ocorrência de dias secos e chuvosos no Estado do Rio de Janeiro**. Brasília: Instituto Nacional de Meteorologia, 30p, 1983.

SOUZA, Z.S. **Ecofisiologia**. Pereira & Daniels, O Cultivo da Batata na Região Sul do Brasil. P80-96, 2003.

WEISS, L. L. **Sequences of wet and dry days considered in relation to the logarithmic series**. Quarterly Journal Royal Meteorological Society, n.92, p.169-176, 1964.

WREGE, M.S., CARAMONI, P.H., GONÇALVES, A.C.A., BERTONHA, A., CAVIGLIONE, J.H., FARIA, R.T., FERREIRA, R.C., FREITAS, P.S.L., GONÇALVES, S.L. **Ocorrência da primeira geada de outono e última de primavera no Estado do Paraná**. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v.12, n.1, p. 143 –150, 2004.

8 APÊNDICES

Tabela 1 - Coordenadas geográficas e percentuais de probabilidade da temperatura mínima do ar, no intervalo I, para um e dois dias consecutivos na semana 20 do ano

Semana 20 ($T_{\min} \leq 3^{\circ}\text{C}$)		Latitude	Longitude	Altitude	P(2 dias)	P(1 dia)
	Locais					
1	Bagé	-31,33	-54,1	241,50	0,0144	0,0278
2	Bom Jesus	-28,66	-50,43	1047,50	0,0191	0,0276
3	Encruzilhada do Sul	-30,53	-52,52	427,70	0,0000	0,0280
4	Iraí	-27,18	-53,23	247,10	0,0000	0,0000
5	Porto Alegre	-30,02	-51,22	46,00	0,0000	0,0000
6	Pelotas	-31,85	-52,35	13,20	0,0000	0,0280
7	Passo Fundo	-28,25	-52,4	684,00	0,0000	0,0280
8	São Luiz Gonzaga	-28,4	-55,02	245,10	0,0000	0,0276
9	Santa Maria	-29,7	-53,8	95,00	0,0000	0,0280
10	Santa Vitória do Palmar	-33,52	-53,35	24,00	0,0000	0,2798
11	Torres	-29,33	-49,73	30,60	0,0000	0,0000
12	Uruguaiana	-29,75	-57,08	74,00	0,0000	0,0000

Tabela 2 - Coordenadas geográficas e percentuais de probabilidade da temperatura mínima do ar, no Intervalo I, para um e dois dias consecutivos na semana 25 do ano

Semana 25 ($T_{\min} \leq 3^{\circ}\text{C}$)		Latitude	Longitude	Altitude	P(2 dias)	P(1 dia)
	Locais					
1	Bagé	-31,33	-54,1	241,50	0,0214	0,0274
2	Bom Jesus	-28,66	-50,43	1047,50	0,0239	0,0267
3	Encruzilhada do Sul	-30,53	-52,52	427,70	0,0000	0,0000
4	Iraí	-27,18	-53,23	247,10	0,0191	0,0276
5	Porto Alegre	-30,02	-51,22	46,00	0,0000	0,0000
6	Pelotas	-31,85	-52,35	13,20	0,0000	0,0000
7	Passo Fundo	-28,25	-52,4	684,00	0,0163	0,0454
8	São Luiz Gonzaga	-28,4	-55,02	245,10	0,0242	0,0447
9	Santa Maria	-29,7	-53,8	95,00	0,0191	0,0276
10	Santa Vitória do Palmar	-33,52	-53,35	24,00	0,0191	0,0276
11	Torres	-29,33	-49,73	30,60	0,0000	0,0000
12	Uruguaiana	-29,75	-57,08	74,00	0,0144	0,0278

Tabela 3 - Coordenadas geográficas e percentuais de probabilidade da temperatura mínima do ar, no intervalo I, para um e dois dias consecutivos

Semana 30 ($T_{\min} \leq 3^{\circ}\text{C}$)		Latitude	Longitude	Altitude	P(2 dias)	P(1 dia)
	Locais					
1	Bagé	-31,33	-54,1	241,50	0,0240	0,0528
2	Bom Jesus	-28,66	-50,43	1047,50	0,0348	0,0480
3	Encruzilhada do Sul	-30,53	-52,52	427,70	0,0191	0,0276
4	Iraí	-27,18	-53,23	247,10	0,0242	0,0447
5	Porto Alegre	-30,02	-51,22	46,00	0,0000	0,0000
6	Pelotas	-31,85	-52,35	13,20	0,0144	0,0278
7	Passo Fundo	-28,25	-52,4	684,00	0,0240	0,0528
8	São Luiz Gonzaga	-28,4	-55,02	245,10	0,0133	0,0558
9	Santa Maria	-29,7	-53,8	95,00	0,0242	0,0447
10	Santa Vitória do Palmar	-33,52	-53,35	24,00	0,0163	0,0454
11	Torres	-29,33	-49,73	30,60	0,0000	0,0000
12	Uruguaiana	-29,75	-57,08	74,00	0,0000	0,0000

Tabela 4 - Coordenadas geográficas e percentuais de probabilidade da temperatura mínima do ar, no intervalo I, para um e dois dias consecutivos na semana 35 do ano

Semana 35 ($T_{\min} \leq 3^{\circ}\text{C}$)		Latitude	Longitude	Altitude	P(2 dias)	P(1 dia)
	Locais					
1	Bagé	-31,33	-54,1	241,50	0,0144	0,0278
2	Bom Jesus	-28,66	-50,43	1047,50	0,0242	0,0447
3	Encruzilhada do Sul	-30,53	-52,52	427,70	0,0000	0,0280
4	Iraí	-27,18	-53,23	247,10	0,0000	0,0000
5	Porto Alegre	-30,02	-51,22	46,00	0,0000	0,0000
6	Pelotas	-31,85	-52,35	13,20	0,0163	0,0454
7	Passo Fundo	-28,25	-52,4	684,00	0,0000	0,0460
8	São Luiz Gonzaga	-28,4	-55,02	245,10	0,0000	0,0280
9	Santa Maria	-29,7	-53,8	95,00	0,0000	0,0460
10	Santa Vitória do Palmar	-33,52	-53,35	24,00	0,0000	0,0578
11	Torres	-29,33	-49,73	30,60	0,0000	0,0000
12	Uruguaiana	-29,75	-57,08	74,00	0,0000	0,0000

Tabela 5 - Coordenadas geográficas e percentuais de probabilidade da temperatura mínima do ar, no intervalo I, para um e dois dias consecutivos na semana 40 do ano

Semana 40 ($T_{\min} \leq 3^{\circ}\text{C}$)		Latitude	Longitude	Altitude	P(2 dias)	P(1 dia)
	Locais					
1	Bagé	-31,33	-54,1	241,50	0,0000	0,0000
2	Bom Jesus	-28,66	-50,43	1047,50	0,0000	0,0461
3	Encruzilhada do Sul	-30,53	-52,52	427,70	0,0000	0,0000
4	Iraí	-27,18	-53,23	247,10	0,0000	0,0000
5	Porto Alegre	-30,02	-51,22	46,00	0,0000	0,0000
6	Pelotas	-31,85	-52,35	13,20	0,0000	0,0000
7	Passo Fundo	-28,25	-52,4	684,00	0,0000	0,0000
8	São Luiz Gonzaga	-28,4	-55,02	245,10	0,0000	0,0000
9	Santa Maria	-29,7	-53,8	95,00	0,0000	0,0000
10	Santa Vitória do Palmar	-33,52	-53,35	24,00	0,0000	0,0000
11	Torres	-29,33	-49,73	30,60	0,0000	0,0000
12	Uruguaiana	-29,75	-57,08	74,00	0,0000	0,0000