

Maria da Graça Pereira Pimentel

**Método de Estimativa de Temperaturas Mínimas e
Máximas Médias Mensais Climatológicas do ar no Rio
Grande do Sul**

Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-Graduação da Faculdade de
Meteorologia da UNIVERSIDADE FEDERAL
DE PELOTAS, como requisito parcial à
obtenção do título de Mestre em Ciências (M.S.).

Orientadora: Prof^ª. Dra. Simone Vieira de Assis
Co-Orientador: Prof. Dr. Gilberto Barbosa Diniz

PELOTAS
Rio Grande do Sul - Brasil
Fevereiro de 2007

Banca Examinadora

Dr^a.Simone Vieira de Assis (Orientadora)

Dr.Julio Renato Quevedo Marques

Dr.Silvio Steinmetz (Externo)

Dr.Gilberto Barbosa Diniz (Co-Orientador)

Agradecimentos

À direção e aos colegas da área de Física e Matemática do Conjunto Agrotécnico Visconde da Graça (CAVG) da Universidade Federal de Pelotas (UFPEL) que oportunizaram e me incentivaram na realização deste curso.

À doutora e professora Simone Vieira de Assis, que além de orientadora se tornou uma amiga muito querida, pela idéia inicial da pesquisa e colaboração indispensável as quais demonstraram sua capacidade científica e profissional.

Ao doutor e professor Gilberto Barbosa Diniz, pela co-orientação, fornecimento dos dados e importantes contribuições neste trabalho.

Ao doutor e professor Julio Quevedo Marques pelos ensinamentos de estatística e sugestões para o enriquecimento desta dissertação.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia da UFPEL pelos ensinamentos e competentes exemplos.

Aos colegas das disciplinas pela vivência renovada e companheirismo durante a realização das disciplinas.

Aos meus familiares Marcelo, Roberto e Ramiro, pelo amor, dedicação, estímulo e paciência durante todo o período do curso.

Dados de catalogação na fonte:
Ubirajara Buddin Cruz – CRB-10/901
Biblioteca de Ciência & Tecnologia - UFPel

P644m Pimentel, Maria da Graça Pereira

Método de estimativa de temperaturas mínimas e máximas médias mensais climatológicas do ar no Rio Grande do Sul / Maria da Graça Pereira Pimentel ; orientador Simone Vieira de Assis ; co-orientador Gilberto Barbosa Diniz. – Pelotas, 2007. – 77f. : tab. – Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Meteorologia. Faculdade de Meteorologia. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2007.

1.Meteorologia. 2.Climatologia. 3.Temperaturas máximas e mínimas do ar. 4.Regressão linear múltipla. 5.Coordenadas geográficas. 6.Rio Grande do Sul. I.Assis, Simone Vieira. II.Diniz, Gilberto Barbosa. III.Título.

CDD: 551.698165

Resumo

PIMENTEL, Maria da Graça Pereira. **Método de Estimativa de Temperaturas Mínimas e Máximas Médias Mensais Climatológicas do ar no Rio Grande do Sul**. 2007. 68p. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Meteorologia. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

Um modelo de equações de regressão linear múltiplas, foi utilizado para realização de estimativas das temperaturas mínimas (T_{min}) e máximas (T_{max}) médias mensais do ar. As variáveis independentes adotadas como preditores, foram latitude, longitude e altitude e valores de temperaturas mínimas e máximas médias mensais da ar de noventa anos de dados (1913-1992) de quarenta estações meteorológicas de Estado do Rio Grande do Sul, como variáveis dependentes ou preditantes. A altitude influi significativamente na determinação das temperaturas mínimas e máximas. A latitude contribui em ambas de forma significativa mas atua mais intensamente sobre as temperaturas máximas. A longitude, é um fator pouco relevante e praticamente negligenciável sobre as temperaturas mínimas mas sobre as temperaturas máximas é mais intenso. O modelo faz boas estimativas das temperaturas mínimas e máximas, com exceção de alguns meses, e para algumas estações, nas quais o efeito da oceanidade/continentalidade se manifesta. Os baixos dos coeficientes de correlação para as temperaturas máximas nas sub-séries 30 A, 30 B e 30 C indicam que as estimativas mais eficientes devem considerar séries longas de dados. O modelo realizou boas estimativas das temperaturas mínimas e máximas médias mensais apresentando pequenos erros absolutos.

Palavras chaves: Temperaturas mínimas e máximas do ar, regressão linear múltipla, coordenadas geográficas.

Abstract

PIMENTEL, Maria da Graça Pereira. **Method to estimate the air average monthly maximum and minimum climatological temperatures in the state of Rio Grande do Sul.** 2007. 68p. Dissertação (Mestrado) – Post-Graduation in Meteorology. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas. Adviser: Prof^a. Dr^a. Simone Vieira de Assis.

Multiple linear regression model equations, to estimate the average monthly minimum (Tmin) and maximum air temperature (Tmax), were established using latitude, longitude and altitude as independent variables and 90 years (1913-2002) of minimum and maximum average monthly air temperature data from forty meteorological stations, situated in the State of Rio Grande do Sul (Brazil) as dependent variables. The altitude shows a great influence in minimum and maximum air temperature. The latitude makes contribution in both, but more strongly over maximum temperatures. The longitude, is a low relevant factor and practically negligible about the minimum temperatures but in the maximum temperatures is more relevant. The model make very good estimations of minimum and maximum temperatures, except for some months, and to some meteorological stations in which the continental-oceanic effect are present. The smaller values of correlations coefficients of the maximum temperatures in years interval 30 A, 30 B and 30 C sub-series denote that the more efficient estimations have to include long series of data.

Keywords: Minimum and maximum air temperature, Multiple linear regression, Geographics coordinates.

Lista de Tabelas

		Página
Tabela 1	Estações Meteorológicas do Rio grande do Sul com regiões ecoclimáticas e coordenadas	23
Tabela 2	Valores dos coeficientes das equações de regressão linear múltipla para estimativa da temperatura mínima média mensal no Estado do Rio Grande do Sul	26
Tabela 3	Valores dos coeficientes das equações de regressão linear múltipla para estimativa da temperatura máxima média mensal no Estado do Rio Grande do Sul	27
Tabela 4	Valores da significância estatística dos coeficientes b, c, d e do modelo das temperaturas mínimas mensais médias pelo erro padrão da estimativa (EPE), teste “t”(t), coeficientes de correlação (r) e determinação(r^2)	33
Tabela 5	Valores da significância estatística dos coeficientes b, c, d e do modelo das temperaturas máximas mensais médias pelo erro padrão da estimativa (EPE), teste “t”(t) e coeficientes (r) e (r^2).	33
Tabela 6	Valores dos coeficientes das equações de regressão linear múltiplas para estimativa da temperatura mínima média mensal no Estado do Rio Grande do Sul nos períodos 30 A, 30B, 30 C e do coeficiente de determinação (r^2)de cada modelo	43
Tabela 7	Valores dos coeficientes das equações de regressão linear múltiplas para estimativa da temperatura máxima média mensal no Estado do Rio Grande do Sul nos períodos 30 A, 30B, 30 C e do coeficiente de determinação (r^2)de cada modelo.	43

Lista de Figuras

		Página
Figura 1	Estações Meteorológicas do Rio Grande do Sul	21
Figura 2	Topografia do Estado do Rio Grande do Sul	22
Figura 3	Curvas de temperaturas mínimas médias mensais observadas e estimadas para (a) Alegrete, (b) Cachoeira e (c) Irai	35
Figura 4	Curvas de temperaturas mínimas médias mensais observadas e estimadas para (a)São Francisco, (b)São Gabriel e (c)Vacaria	36
Figura 5	Curvas de temperaturas mínimas médias mensais observadas e estimadas para (a) Caxias do Sul, (b)Marcelino Ramos e (c)Osório	37
Figura 6	Curvas de temperaturas mínimas médias mensais observadas e estimadas para (a) Pelotas, (b) Rio Grande e (c)Torres	38
Figura 7	Curvas de temperaturas máximas médias mensais observadas e estimadas para (a) Bagé, (b) Santa Cruz e (c)Cachoeira do Sul	40
Figura 8	Curvas de temperaturas máximas médias mensais observadas e estimadas para (a)Rio Grande, (b)Torres e (c)Uruguaiana.	41
Figura 9	Curvas de valores de coeficientes das equações de RLM para estimativa das temperaturas mínimas médias mensais nos períodos 30 A, 30 B e 30 C	46
Figura 10	Erros absolutos entre as temperaturas mínimas médias estimadas e observadas no mês de janeiro, nos períodos: (a) 30 A(1913-1942) e (b)30B(1943-1972).	47
Figura 11	Erros absolutos entre as temperaturas mínimas médias estimadas e observadas no mês de janeiro, nos períodos: (a) 30 C(1973-2002) e (b)90(1913-2002).	48

Figura 12	Erros absolutos entre as temperaturas mínimas médias estimadas e observadas no mês de julho, nos períodos: (a) 30 A(1913-1942) e (b)30B(1943-1972).	40
Figura 13	Erros absolutos entre as temperaturas mínimas médias estimadas e observadas no mês de julho, nos períodos: (a) 30 C(1973-2002) e (b)90(1913-2002).	50
Figura 14	Curvas de valores de coeficientes das equações de RLM para estimativa das temperaturas máximas médias mensais nos períodos 30 A, 30 B e 30 C.	52
Figura 15	Erros absolutos entre as temperaturas máximas médias estimadas e observadas no mês de janeiro, nos períodos: (a) 30 A(1913-1942) e (b)30B(1943-1972).	53
Figura 16	Erros absolutos entre as temperaturas máximas médias estimadas e observadas no mês de janeiro, nos períodos: (a) 30 C(1973-2002) e (b)90(1913-2002).	54
Figura 17	Erros absolutos entre as temperaturas máximas médias estimadas e observadas no mês de julho, nos períodos: (a) 30 A(1913-1942) e (b)30C90(1943-1972).	55
Figura 18	Erros absolutos entre as temperaturas máximas médias estimadas e observadas no mês de julho, nos períodos: (a) 30 C(1973-2002) e (b)90(1913-2002).	56
Figura 19	Curvas de temperaturas mínimas médias mensais medidas (1913-2002), estimadas pelo modelo e observadas para janeiro nas sub-séries 30A, B e C.	57
Figura 20	Curvas de temperaturas mínimas médias mensais medidas (1913-2002) estimadas pelo modelo para julho nas sub-séries 30A, B e C.	57
Figura 21	Curvas de temperaturas máximas médias mensais medidas (1913-2002)e estimadas pelo modelo para janeiro nas 30A, B e C.	58
Figura 22	Curvas de temperaturas máximas médias mensais medidas (1913-2002), estimadas pelo modelo e observadas para julho nas sub-séries 30A, B e C.	58

Sumário

	Página
1. Introdução.....	10
2. Revisão de literatura.....	13
3. Material e métodos.....	20
3.1. Dados meteorológicos.....	20
3.2. Modelos.....	24
3.3. Testes de Validação.....	24
4. Resultados e discussão.....	26
4.1. Avaliação dos coeficientes.....	27
4.1.1. Coeficiente “b” da latitude.....	27
4.1.2. Coeficiente “c” da longitude.....	28
4.1.3. Coeficiente “d” da altitude.....	29
4.2. Avaliação da significância estatística.....	31
4.3. Comparação entre as temperaturas.....	34
4.3.1. Temperatura mínima média mensal.....	34
4.3.2. Temperatura máxima média mensal.....	39
4.4. Tripartição da série estudada.....	42
4.4.1. Temperatura mínima média mensal.....	44
4.4.2. Temperatura máxima média mensal.....	51
5. Conclusões.....	59
6. Referências Bibliográficas.....	60
7. Apêndices.....	64

1 Introdução

A temperatura é um conceito básico e de extrema importância meteorológica a qual mede o estado de agitação de um sistema associado com a energia interna das moléculas que constituem um corpo.

As variações de temperatura de um sistema, conseqüentemente de energia interna, interferem de forma muito significativa em um grande número de fenômenos que ocorrem na natureza e podem produzir alterações climáticas de reconhecida importância. A temperatura do ar próxima à superfície da Terra representa um fator de extrema relevância na vida em geral no planeta.

A temperatura, juntamente com a precipitação, é considerada como o mais importante fator que condiciona o clima, constituindo a base de todas as classificações climáticas (Ferreira et al.1971).

A caracterização das condições térmicas e hídricas é fator imprescindível nos estudos de aptidão climática regional das culturas e do planejamento agropecuário, sendo que o conhecimento das temperaturas extremas e médias é fundamental na orientação de ações programadas pelos agricultores, segundo Pedro Jr. et al.(1991).

A temperatura do ar à superfície pode sofrer oscilações quase-instantâneas, diárias, mensais e anuais. As oscilações quase instantâneas (devidas à passagem de turbilhões convectivos) não são consideradas em aplicações sinóticas e climatológicas de acordo com Varejão-Silva (2000). A temperatura do ar à superfície possui um ciclo diário em conseqüência do movimento de rotação da Terra em torno de seu eixo, o qual estabelece os dias e noites ao longo do planeta, apresentando um valor máximo em torno de duas horas após a culminação do Sol e o valor mínimo aproximadamente antes do seu nascimento.

As oscilações anuais ocorrem com o transcorrer das estações do ano, pois o eixo da Terra possui uma inclinação de $23^{\circ}27'$ em relação ao plano da eclíptica de

seu movimento de translação em torno do Sol. Por este motivo, a energia solar que atinge a superfície terrestre anualmente, e responsável por estas oscilações, não se mantém uniforme. Estas oscilações de temperatura do ar se repetem de uma forma cíclica ou periódica, dependendo de fatores tais como altura do sol no horizonte, a latitude, altitude, longitude locais assim como também da distribuição dos oceanos e do decréscimo térmico do equador aos pólos.

O balanço do ciclo global do carbono sofreu profundas alterações desde a formação do planeta e, principalmente, pela atuação do homem, pela queima de combustíveis fósseis, pelo desmatamento e pela modificação do uso da terra. Como consequência destes fatos o conteúdo de CO₂ na atmosfera terrestre aumentou, diminuindo a transmissividade para as radiações infravermelhas e aumentando a temperatura do ar atmosférico próximo a superfície terrestre. A tendência da temperatura do ar próximo a superfície poderá sofrer um acréscimo de 1,5°C a 4,5°C nos próximos 100 anos, variação maior que a ocorrida nos últimos 1000 anos segundo Mitchell (1977), apud Mota (1993). Se confirmada tal previsão, as consequências seriam catastróficas, portanto, estudos devem ser feitos, pois a necessidade de alimentos é cada vez maior e sua produção está diretamente correlacionada com o clima.

O conhecimento dos valores das temperaturas mínimas e máximas médias mensais do ar é fundamental em várias áreas de pesquisa na meteorologia, oceanografia, climatologia, hidrologia, agricultura, ecologia, etc.

De uma maneira geral, cada raça ou cultivar tem exigências próprias quanto às variações de temperatura, requerendo uma faixa ótima, dentro da qual o crescimento e o desenvolvimento ocorrem normalmente. Esta faixa situa-se dentro de outra mais ampla chamada faixa de tolerância. Quando a temperatura do ar à superfície atinge um valor máximo acima da zona superior ou um mínimo abaixo da inferior, dentro da faixa da tolerância, as atividades fisiológicas ficam comprometidas, a taxa de crescimento diminui ou cessa completamente refletindo-se na produção de biomassa. Os efeitos poderão ser irreversíveis levando o organismo à morte (Varejão-Silva, 2000).

O estudo das oscilações das temperaturas mínimas e máximas médias mensais do ar a superfície permitirá estabelecer e divulgar um intervalo de valores para cada localidade de maneira a verificar as possibilidades de tolerância de implantação de projetos agropecuários, industriais, comerciais, de turismo etc.

Para os seres humanos as condições climáticas, definidas principalmente pelos valores de precipitação e temperatura do ar registrados nas estações do ano existentes nas diversas regiões do planeta, estabelecem o estilo de vida, o planejamento arquitetônico das moradias, o tipo de alimentação, os materiais utilizados nas vestimentas, os eletrodomésticos mais necessários para o conforto ambiental, etc.

Levando em consideração a importância dessas variáveis meteorológicas descritas e em face à necessidade de determinação dos valores das temperaturas mínimas e máximas médias mensais em todas as regiões do Rio Grande do Sul, o presente trabalho tem como objetivo estabelecer e testar um modelo de estimativa, através de equações de regressão linear múltipla, das temperaturas mínimas e máximas médias mensais do ar em todas as regiões ecoclimáticas do Estado em função da latitude, longitude e altitude, utilizando uma base de dados de noventa anos equivalente a um período correspondente a três normais climatológicas.

2 Revisão de literatura

O regime térmico da região Sul não é muito uniforme devido a sua posição geográfica e influência do Oceano Atlântico. A sua localização, além do paralelo 30°, 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 tem-se sua proximidade da orla marítima, que tem um papel muito importante no condicionamento climático da região (Nimer, 1989). Diante do que foi exposto, deduz-se que as temperaturas extremas são marcantes e bem diferenciadas, fazendo com que o inverno não seja muito rigoroso, com temperaturas mínimas não muito baixas e, durante o verão, a temperatura máxima chegue próxima dos 40°C.

Há que se levar em consideração as modificações sofridas pelo ambiente natural, principalmente na vegetação natural (florestas e bosques), que vem sendo substituída por pastagens, reflorestamentos e cultivos agrícolas. De alguma forma, isto contribui para alterar o cenário térmico da região, principalmente do Rio Grande do Sul, que é o Estado mais ao sul da região referida.

Com o objetivo de avaliar a evolução da temperatura mínima do ar, estabelecer sua provável relação com o aquecimento global e os possíveis impactos para cultura do arroz irrigado na região de Pelotas (RS), Steinmentz et al (2005), analisaram dados de temperaturas mínimas de dezembro a março no período de 1893 a 2004. Concluíram que o aumento da temperatura mínima do ar de 1893 a 2004 foi de 1,01°C e que período de 1955 a 2004, o aumento da média anual da temperatura mínima foi mais acentuado, correspondendo a 1,66°C.

Obtenção de informações sobre a temperatura e sua variação sazonal conduz a necessidade da utilização de modelos estatísticos para estabelecimento antecipado das condições climáticas e do tempo de uma determinada região. Um importante aspecto destes modelos, tanto para os pesquisadores quanto para os

usuários, é a medida da precisão e confiabilidade que eles apresentam pois poderão influir em decisões políticas, econômicas e sociais adotadas.

Existem numerosos modelos de interpolação espacial para estimativas de dados meteorológicos. A escolha da metodologia, segundo Eischeid et al. (1995) está relacionada à 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 estação alvo será estimada.

Barsdley et al.(1982) sugerem que as estimativas de parâmetros climáticos de um lugar devem incorporar sempre longas séries de dados tanto quanto possível em cada estação. Mas, o que o autor não leva em consideração é o fato de que a variável analisada pode apresentar valores discrepantes, ao longo da série, e por ser longa demais pode dar idéia errada de seu comportamento ou tendência. Esta é uma das observações de Jones et al. (1986) que estudaram a temperatura do ar à superfície, para o hemisfério sul, no período de 1851 a 1984 e mostraram que a média anual da temperatura, para o hemisfério sul, apresenta aquecimento nitidamente constante, desde o último século; exceto no intervalo 1930-1970; tendência linear em torno de $0,49^{\circ}\text{C}$ no período 1881-1984 e tendência ao resfriamento, em torno de $0,27^{\circ}\text{C}$, durante 1938-1965.

Esta tendência ao aumento ou redução na temperatura do ar tem sido verificada, em determinadas regiões. Tal comportamento sugere a existência de oscilações com periodicidade muito ampla, geralmente referidas como oscilações seculares. Estas variações podem ter sido causadas pelo próprio Homem que vem aumentando a concentração de dióxido de carbono na atmosfera (advindo da combustão e do desflorestamento), a quantidade de partículas em suspensão (poluição industrial) e a produção de calor de acordo com Varejão-Silva (2000).

Um dos mais importantes aspectos do clima, especialmente por seus reflexos e impactos na sociedade e no desenvolvimento, é a ocorrência de eventos extremos, por exemplo, com temperaturas máximas muito elevadas ou temperaturas mínimas muito baixas em determinadas regiões. O desconhecimento de valores seguros das temperaturas máximas e mínimas do ar tem sido um sério e potencial obstáculo nas pesquisas climatológicas e agrícolas.

A temperatura do ar é de extrema relevância para o zoneamento climático de todas as culturas agrícolas assim como na classificação climática local. Temperatura e precipitação estão ligadas pois, é de se esperar, por exemplo, uma

influência negativa na produção agrícola de uma região quando uma deficiência pluviométrica ocorre ao mesmo tempo que se tenha temperaturas elevadas.

DeGaetano (1996) estudando as tendências nas temperaturas mínimas e máximas no nordeste dos Estados Unidos indicou também um crescimento na temperatura mínima extrema anual e um decrescimento na temperatura máxima extrema anual através do território americano. O autor não cita com clareza quais fatores poderiam estar contribuindo para este fato.

Como as estações meteorológicas não estão bem distribuídas, numa grade espacial, que forneçam informações meteorológicas sobre extensa região, alguns autores tem usado além dos procedimentos estatísticos, outros recursos como estimativas através de satélite. Hurrell e Trenberth (1996) compararam as anomalias da temperatura média mensal obtida na superfície com aquelas estimadas por satélite durante o intervalo 1979-1995. O resultado é que as regiões que contribuíram para obtenção das anomalias média globais ou hemisféricas diferem substancialmente entre os dois conjuntos de dados de temperatura. Essas diferenças são pronunciadas quando se levam em consideração os processos físicos sobre terra e oceano e também a capacidade calorífica dos dois meios.

Muitos pesquisadores têm dedicado seus estudos no desenvolvimento de métodos para estimativas de temperaturas máximas e mínimas médias do ar, 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 .

Como exemplo se tem o trabalho desenvolvido por Leffler, em 1981, para 30 anos de dados de temperaturas máxima e mínima médias diárias de locais nas Montanhas Apalachianas. O objetivo principal era 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.

Kemp et al. (1983) estudaram sete modelos para 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 que apresentou erros menores quando comparado com os demais.

Eisched et al. (1995) consideram que a qualidade dos dados meteorológicos tem importância fundamental na detecção das mudanças globais do clima, uma vez que a sensibilidade climática a valores errados ou discrepantes de temperatura e precipitação é muito grande. O estudo desenvolvido pelos pesquisadores foi dividido em duas etapas, sendo que a primeira era identificar dados discrepantes e verificar se algum valor mensal, em particular, era consistente com outros valores mensais para a mesma estação meteorológica. Já a segunda etapa era a utilização de seis diferentes técnicas de interpolação espacial, para estimar mensalmente cada série temporal. Dos métodos usados o que apresentou melhor estimativa, para a maioria dos registros, foi a RLM.

Com o objetivo de fornecer um estudo das disponibilidades térmicas do ambiente propício às culturas agrícolas Cargnelutti Filho et al. (2006) desenvolveram uma modelagem da temperatura mínima média decendial, por intermédio de RLM, utilizando as coordenadas geográficas como preditores. Os resultados mostraram que esses modelos podem ser utilizados para estimativa da temperatura mínima média de qualquer ponto do Rio Grande do Sul, onde não haja estação meteorológica, ressaltando porém que a estimativa é decendial.

Já em Recife, para realizar a estimativa das temperaturas máximas e mínimas do ar, Azevedo et al. (2005) usaram valores de temperatura do ar medidas às 12 h, 18h e 24 h (TMG). Para verificar que os melhores resultados, apresentando menores erros relativos, foram obtidos nas estimativas das temperaturas máximas e que a diferença entre os valores estimados e observados foram de aproximadamente 1 °C em 72% dos casos.

Considerando que o conhecimento das temperaturas extremas do ar pode auxiliar no estabelecimento de zonas agrícolas, Galvani et al. (2000) utilizou como preditores a nebulosidade e a temperatura do ar às 24h TMG do dia anterior para gerar modelos de RLM, para estimar a temperatura mínima do ar no dia seguinte, em Maringá (PR). Concluiu que as equações podem ser utilizadas com boa precisão e relativa facilidade para estimar a temperatura mínima do ar e que a

temperatura do ar às 24h TMG é responsável por, aproximadamente, 83% de influência no valor da temperatura mínima.

Aplicando o modelo de regressão linear múltipla para calcular as temperaturas máximas e mínimas diárias do ar, considerando como variáveis dependentes as coordenadas geográficas (latitude, longitude e altitude), na região Andina da Venezuela os pesquisadores Garcia & Sentelhas (2005) concluíram que existe perfeita concordância entre as temperaturas estimadas pelo modelo e as observadas, indicando que as predições estão livres de erros significativos. Portanto, devido aos elevados coeficientes de correlação e determinação, pode-se estimar as temperaturas extremas e a média da região com alto nível de confiança.

Valladares et al. (2004) também utilizaram coordenadas geográficas e altitude, fornecidos pelo radar SRTM a bordo do ônibus espacial Endeavour, geraram um modelo numérico de estimativa da temperatura média do ar, por intermédio de equações de RLM, obtidas anteriormente por Pedro Junior et al. (1991), e concluíram que o produto pode ser utilizado para os mais diversos fins como exemplo, para zoneamentos agropecuários.

Seguindo a técnica da RLM, Oliveira Neto et al. (2002) utilizaram o método para estimativa dos valores médios mensais das temperatura máxima e mínima no território brasileiro situado entre 16° e 24° latitude Sul e 48° e 60° longitude Oeste. Os resultados obtidos permitiram inferir mais um uso da regressão múltipla, que é em trabalhos de classificação ecológica, uma vez que, a partir de uma base reduzida de pontos de observações, é possível estimar, com precisão, dados referentes a essas temperaturas para um maior número de localidades.

Recentemente, Lima & Ribeiro (1998) desenvolveram um método empírico para estimar as temperaturas máximas, mínimas e médias do ar no Estado do Piauí, com séries históricas de valores médios mensais de períodos não uniformizados com, no mínimo, seis anos de observações, em vinte e três estações meteorológicas. Os dados da série foram ajustados pelo método dos mínimos quadrados considerando latitude e longitude em minutos e altitude em metros. Os autores concluíram que a altitude foi a variável que teve maior influência na estimativa da temperatura de ar no Piauí e que o método simula melhor a temperatura do ar nos meses de janeiro a julho.

Com o uso de RLM Góis et al. (2002) estimaram as temperaturas máximas e mínimas no estado de Alagoas em 2001 utilizando-se do método dos mínimos

quadrados para determinação dos coeficientes das equações. A conclusão obtida, utilizando o teste “t” *student* de significância, é de que o preditor que teve maior contribuição foi a latitude e que a Zona da Mata-Litoral teve uma performance menor que a do Sertão-Agreste.

Utilizando também RLM juntamente com análise de componentes Principais (RCP), Diniz (2002) desenvolveu método de estimativas das temperaturas máxima e mínimas, em regiões homogêneas do Rio Grande do Sul, usando como preditor a temperatura da superfície do mar (TSM).

Para avaliar o desempenho das equações de estimativa do ar, num período de 4 anos, para a região de Ituverava-SP, Garcia et al. (2002) utilizaram as equações de regressão múltipla estabelecidas por Pedro Júnior et al. (1991) e por Pinto et al. (1972), apud Cargnelutti Filho et al. (2006). Verificaram que as equações do primeiro autor se mostraram eficientes para estimativa das temperaturas máximas e mínimas enquanto as demais foram melhores nas descrições das temperaturas médias.

Silva et al. (2003) analisando séries temporais médias mensais de temperatura do ar da estação meteorológica de Campina Grande (PB) reconstruídas em função das coordenadas geográficas e considerando temperatura ATSM (Anomalias de Temperatura na Superfície do Mar) concluíram que os coeficientes de correlação são estatisticamente significantes ao nível de 1% de probabilidade. Os fatores geográficos com mais influência sobre a temperatura do ar são a altitude, seguido da latitude e pela densidade populacional sendo que o oceano tem pouca influência na temperatura do ar no Estado do Rio Grande do Sul, segundo Rizzi et al. (1998).

A tendência temporal da temperatura média anual do Estado do Rio Grande do Sul foi analisada para o período de 1913-1981 por Mota et al. (1993), indicando um aumento de 0,45°C com a tendência temporal da temperatura média anual do ar na superfície, no Hemisfério Sul. Sendo que outros pesquisadores também chegaram a esta conclusão.

Na região sul, o período de verão tem temperaturas máximas elevadas, com a média das máximas chegando a 28,4°C, e com condições favoráveis à atuação da continentalidade /oceanidade (Marin et al. 2003).

É importante ressaltar que as temperaturas máximas e mínimas podem apresentar fortes oscilações com quedas bruscas dentro de apenas 48 horas, em decorrência da passagem de frentes frias (Souza et al., 2003).

Varone Gonçalves et al. (2003) realizou um estudo do comportamento temporal das séries de temperatura máxima mensal de quinze estações do Rio Grande do sul e a seguir fizeram o cálculo das repetições das anomalias positivas e negativas em períodos distintos, 1941-1970 e 1971-2000, concluindo que no primeiro caso o comportamento foi dentro da normalidade e no segundo caso indicou aumento na maior parte das estações.

Com o objetivo de quantificar as variações espaciais e temporais dos dados diários de temperatura máxima média e mínima do ar em São Paulo, Camargo et al. (2005) realizaram análises de regressão mensais, considerando as distâncias da estação meteorológica central, no caso Campinas, a cada uma das 19 estações meteorológicas do Instituto Agrônomo de Campinas(IAC) num período de 20 anos. Pelos resultados, à medida que as distâncias aumentam, menores são os valores do coeficiente de determinação e maiores os valores do erro padrão da estimativa.

3 Material e métodos

3.1 Dados Meteorológicos

Foram utilizadas séries temporais com dados de valores médios mensais das temperaturas mínima e máxima do ar, obtidas junto ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET-8°DISME) do Ministério Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA) e à Fundação Estadual de Pesquisas Agropecuárias da Secretaria de Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul (FEPAGRO) correspondentes aos anos de 1913 a 2002, de estações meteorológicas do Rio Grande do Sul, cujas falhas foram preenchidas por Diniz (2002). Na figura 1 estão indicadas as regiões ecoclimáticas das estações meteorológicas, e na tabela 1 as coordenadas geográficas e altitude representadas na figura 2.

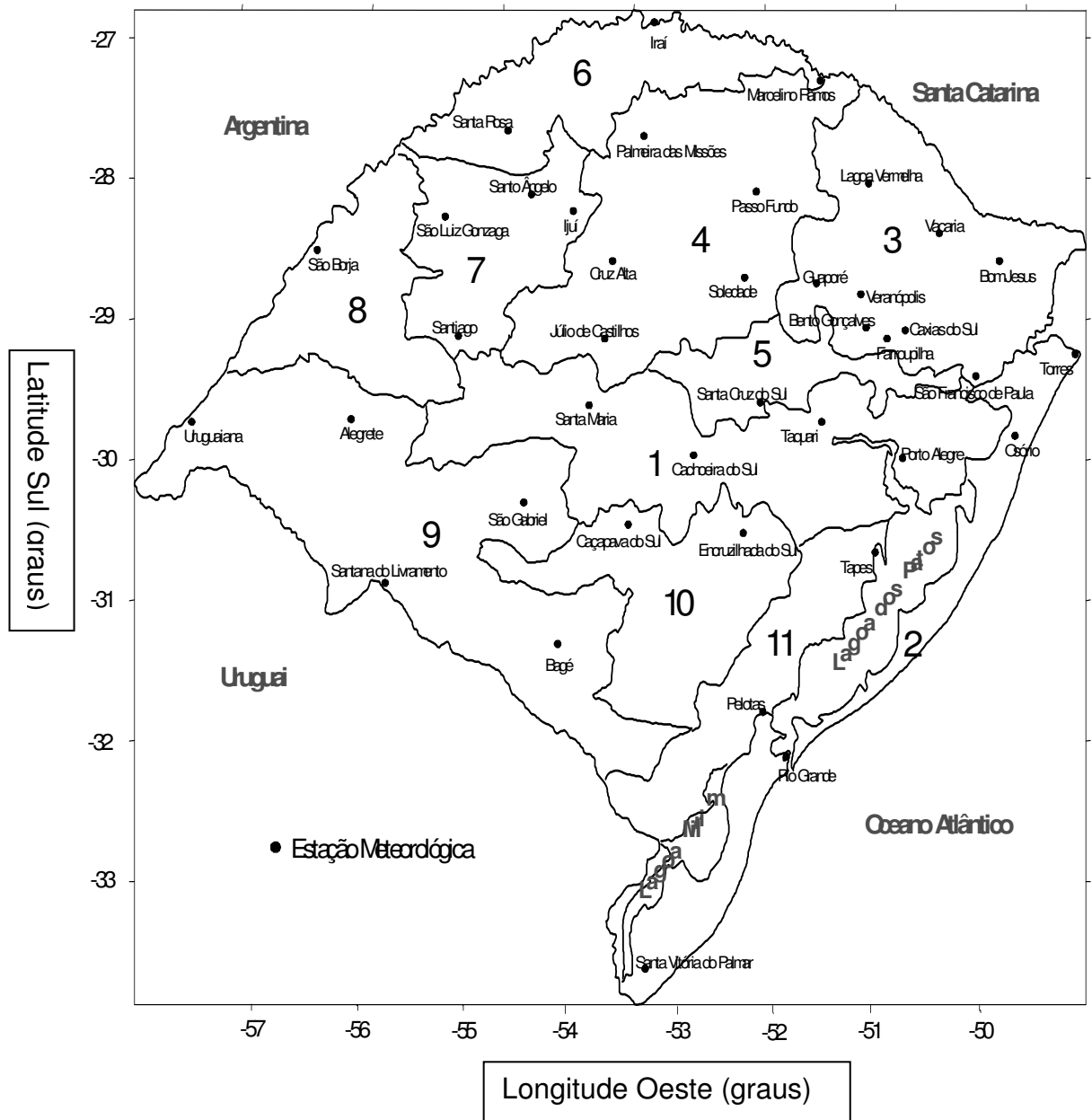


Figura 1. Estações Meteorológicas e Regiões Ecoclimáticas do Rio Grande do Sul.
Fonte: Rio Grande do Sul, 1994.

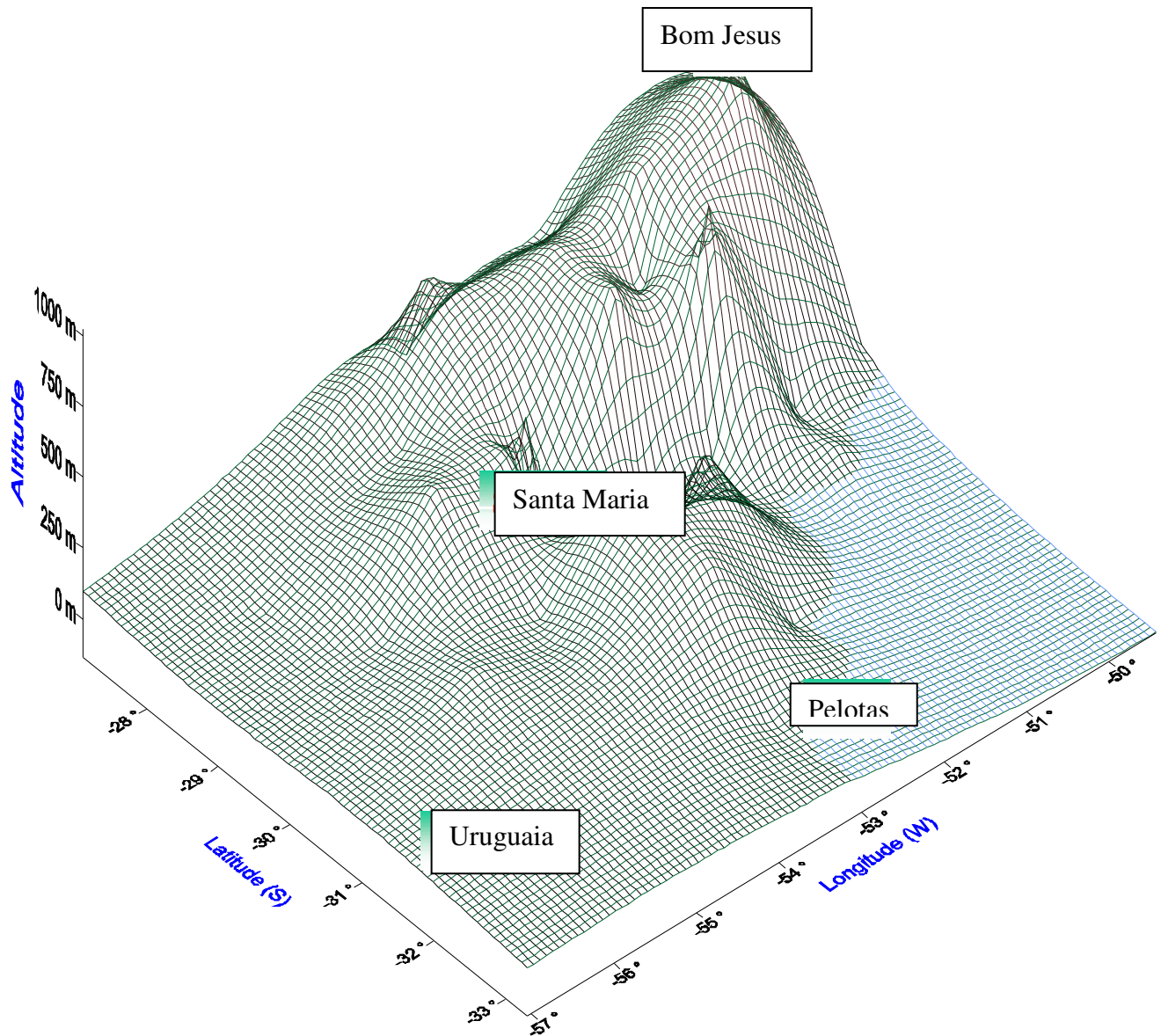


Figura 2. Topografia do Estado do Rio Grande do Sul
Fonte : Jesus (2004).

Tabela 1. Estações Meteorológicas de estudo no Estado do Rio Grande do Sul com a região ecoclimática e coordenadas geográficas.

Estações Meteorológicas	Região Ecoclimática	Latitude (S)	Longitude (W)	Altitude (m)
Cachoeira do Sul	Depressão Central (1)	-30°	-52,9°	72
Porto Alegre		-30°	-51,2°	46
Santa Maria		-29,7°	-53,7°	95
Taguari		-29,8°	-51,8°	76
Osório	Litoral (2)	-29,7°	-50,2°	32
Rio Grande		-32°	-52,1°	53
Santa Vitória do Palmar		-33,5°	-53,4°	6
Torres		-29,3°	-49,7°	43
Bento Gonçalves	Planalto Superior e Serra do Nordeste (3)	-29,3°	-51,5°	619
Bom Jesus		-28,7°	-50,4°	1047
Caxias do Sul		-29,2°	-51,2°	785
Farroupilha		-29,2°	-51,4°	702
Guaporé		-28,9°	-51,9°	772
Lagoa Vermelha		-28,4°	-51,6°	836
São Francisco de Paula		-29,3°	-51,5°	912
Veranópolis		-28,9°	-51,6°	705
Vacaria		-28,6°	-50,7°	960
Cruz Alta	Planalto Médio (4)	-28,6°	-53,6°	472
Julio de Castilhos		-29,2°	-53,7°	516
Palmeira das Missões		-27,9°	-53,4°	634
Passo Fundo		-28,3°	-52,4°	676
Soledade		-29,1°	-52,4°	720
Santa Cruz do Sul	Encosta Inferior da Serra do Nordeste (5)	-29,7°	-52,4°	56
Iraí	Alto Vale do Uruguai (6)	-27,2°	-53,2°	448
Marcelino Ramos		-27,5°	-51,9°	414
Santa Rosa		-29,7°	-54,4°	360
Ijuí	Missões (7)	-28,4°	-53,9°	448
Santiago		-29,2°	-54,9°	426
Santo Ângelo		-28,3°	-54,3°	289
São Luiz Gonzaga		-28,4°	-54,9°	254
São Borja	Baixo Vale do Uruguai(8)	-28,7°	-56°	96
Alegrete	Campanha (9)	-29,7°	-55,5°	124
Bagé		-31,4°	-54,1°	215
Santana do Livramento		-30,9°	-55,5°	210
São Gabriel		-30°	-54,3°	124
Uruguaiana		-29,8°	-57,1°	74
Caçapava do Sul	Serra do Sudeste (10)	-30,5°	-53,5°	450
Encruzilhada do Sul		-30,5°	-52,5°	427
Pelotas	Grandes Lagoas (11)	-31,9°	-52,4°	13
Tapes		-30,9°	-51,4°	5

3.2 Modelos de estimativa das temperaturas mínima e máxima baseados nas coordenadas geográficas

As temperaturas mínimas e máximas do ar foram estimadas usando-se o modelo de regressão linear múltipla que considera as temperaturas mínimas e máximas médias mensais, no período 1913-2002, como variáveis dependentes ou preditantes e os valores de latitude, longitude e altitude como variáveis independentes ou preditores.

Assim, a equação usada, foi a seguinte :

$$Y_0 = a + bX_1 + cX_2 + dX_3 + e$$

Onde:

Y_0 = temperatura mínima média mensal ou temperatura máxima mensal média calculada

X_1 = Latitude do lugar, em graus e décimos

X_2 = Longitude do lugar, em graus e décimos

X_3 = Altitude do lugar, em metros

e = erro

3.3 Testes de Validação

Na verificação da hipótese de utilização das equações de regressão linear múltiplas na estimativa das temperaturas mínimas e máximas médias mensais foi feita pela análise dos coeficientes das equações e uma avaliação das temperaturas estimadas e observadas no período de 1913-2002.

A série estudada, que compreende 90 anos de dados de temperaturas mínimas e máximas médias mensais de 1913 até 2002, foi subdividida em três sub-séries de 30 anos cada uma, a saber: 1ª) Período 30 A de 1913 até 1942, 2ª) Período 30 B de 1943 até 1972 e 3ª) Período 30 C de 1973 até 2002. A seguir foram geradas equações de regressão linear múltipla para estimativa das temperaturas mínimas e máximas médias mensais em cada sub-série e foi feita uma comparação

entre as temperaturas observadas e estimadas de cada subconjunto e analisados seus coeficientes.

Foram realizados testes “t” Student para determinar o nível de significância do coeficiente de correlação (r) entre o valor medido e o valor estimado. Os valores da estatística “t” foram comparados com os valores críticos de “t” tabelados em função do número de graus de liberdade, de acordo com Curi (1997).

$$r = \sqrt{\frac{\sum(\hat{y} - \bar{y})^2}{\sum(y - \bar{y})^2}}$$

$$r^2 = \frac{\sum(\hat{y} - \bar{y})^2}{\sum(y - \bar{y})^2}$$

$$t = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}}$$

Onde ;

r = coeficiente de correlação linear

r² = coeficiente de determinação

n = número de estações meteorológicas

y = temperatura mínima ou máxima mensal média observada

$\bar{y}$ = média das temperaturas mínimas ou máximas mensais médias

$\hat{y}$ = temperatura mínima ou máxima mensal média estimada

Para analisar a medida da dispersão em torno da curva de regressão foram calculados os erros padrões da estimativa (EPE) :

$$EPE = \sqrt{\frac{\sum(y - \hat{y})^2}{n}}$$

4 Resultados e discussão

A determinação dos coeficientes das equações de regressão linear múltipla foi feita através de matrizes formadas por quarenta linhas e quatro colunas. Nas linhas estavam indicadas as quarenta estações meteorológicas consideradas, a primeira coluna continha a média aritmética das temperaturas mínimas ou máximas médias mensais de cada, calculadas no período de 1913 a 2002, e nas demais colunas as coordenadas latitude, longitude e altitude. Os valores dos coeficientes das equações de regressão linear múltipla, obtidos pelo modelo, estão apresentados nas tabelas 2 e 3.

A discussão sobre os resultados obtidos com o uso da análise de regressão linear múltipla será apresentada em quatro etapas, a saber: (i) avaliação dos coeficientes da análise de regressão múltipla e sua significância estatística, (ii) avaliação das temperaturas estimada e observada, (iii) como a série estudada (90 anos) foi dividida em três subconjuntos de 30 anos cada, foi feita uma comparação entre as temperaturas observada e estimada para cada subconjunto, para as temperaturas mínima e máxima médias mensais, e (iv) comparação das estimativas feitas pelo modelo com os valores observados no período de 2003 a 2005, cujos dados não foram incluídos nas análises estatísticas.

Tabela 2. Valores dos coeficientes das equações de regressão linear múltipla para estimativa da temperatura mínima média mensal no Estado do Rio Grande do Sul.

Mês	a	b	c	d
Janeiro	25,610	0,370	-0,093	-0,00432
Fevereiro	28,905	0,318	-0,002	-0,00473
Março	26,450	0,285	-0,004	-0,00437
Abril	28,017	0,289	0,083	-0,00410
Maio	21,900	0,277	0,029	-0,00367
Junho	24,236	0,395	0,047	-0,00335
Julho	21,205	0,348	0,024	-0,00336
Agosto	24,719	0,431	0,027	-0,00339
Setembro	33,242	0,548	0,091	-0,00370
Outubro	34,993	0,530	0,096	-0,00414
Novembro	34,346	0,555	0,033	-0,00443
Dezembro	32,177	0,518	-0,028	-0,00463

Tabela 3. Valores dos coeficientes das equações de regressão linear múltiplas para estimativa da temperatura máxima média mensal no Estado do Rio Grande do Sul.

Mês	a	b	c	d
Janeiro	21,833	0,825	-0,636	-0,00428
Fevereiro	29,178	0,800	-0,474	-0,00444
Março	37,233	0,833	-0,341	-0,00465
Abril	36,299	0,856	-0,285	-0,00694
Maio	44,075	0,873	-0,084	-0,00464
Junho	49,646	0,960	0,025	-0,00375
Julho	48,604	1,083	-0,062	-0,00375
Agosto	54,462	1,325	-0,112	-0,00362
Setembro	47,387	1,211	-0,205	-0,00341
Outubro	40,352	1,225	-0,394	-0,00383
Novembro	35,772	1,154	-0,492	-0,00385
Dezembro	27,868	1,022	-0,616	-0,00414

4.1 Avaliação dos coeficientes de regressão

4.1.1 Coeficiente “b” da latitude

A variável latitude relaciona-se diretamente com a distribuição da irradiância global no Planeta Terra (I_g) sendo que à medida que se dirige para os pólos dar-se-á aumento da amplitude de I_g entre verão e inverno. Isto é decorrente da variação do ângulo de incidência dos raios solares, ângulo zenital, que varia em função da hora do dia, da declinação solar e da latitude. Por conseguinte, durante o ano há meses (abril a setembro) em que o sol se encontra no Hemisfério Norte (ângulo zenital positivo) e em outros (outubro a março) o sol está no Hemisfério Sul (ângulo zenital negativo). Isto reflete diretamente na temperatura mínima média mensal cuja flutuação ao longo do ano está ligada a marcha zenital do sol. Como a temperatura mínima média mensal é mais elevada no verão do que no inverno, o coeficiente b da latitude é maior nos meses mais quentes, quando a irradiância solar global é também maior.

Por outro lado, no inverno, em função do Estado estar situado em uma zona temperada, apresenta temperatura mínima com tendência a diminuição à medida que avançamos em direção ao pólo, sendo reforçada pelos menores valores do coeficiente b. Isto está de acordo com a citação de Nímer (1989): que a “maior parte da região sul está sujeita a um inverno acentuado, embora nunca rigoroso, no sentido climatológico e que de maio a agosto a temperatura mínima média se

mantém relativamente baixa, efeitos típicos do inverno das regiões de clima temperado”.

Valores semelhantes do coeficiente b foram obtidos por Cargnelutti Filho et al. (2006) e Estefanel et al. (1974), sendo que o primeiro trabalhou com dados decendiais, obtendo três valores mensais, mas que a média é próxima do obtido neste trabalho.

Os valores do coeficiente “ b ” são sempre positivos e dentro do intervalo 0,277 a 0,555 (tabela 2). À medida que a irradiância solar diminui gradualmente, de janeiro a junho, a temperatura mínima, através deste coeficiente, será menos influenciada, pois ele também diminui neste período. Seu valor se torna menor no mês de julho, após o solstício de inverno, de modo que, quando se tem as menores temperaturas a influência da latitude é menor. Pode-se afirmar que há uma redução na temperatura mínima de 0,277 a 0,555 °C a cada grau de variação da latitude.

Analisando os coeficientes “ b ” (tabela 3), associados com o fator de latitude da equação de regressão linear múltipla fornecida pelo modelo, é possível identificar a influência desta variável sobre a temperatura máxima média mensal. No verão, há redução menor da temperatura máxima média mensal com a latitude, indicando pouca influência, porque a inclinação dos raios solares é pequena, e com dias mais longos se tem mais radiação solar. Os valores deste coeficiente estão situados dentro do intervalo 0,800 a 1,325 apresentando-se sempre positivos, o que indica uma redução da temperatura máxima de 0,800 a 1,325°C a cada grau de variação da latitude. As reduções menores são nas estações de outono e inverno e as maiores na primavera e verão. No inverno, como o sol está no Hemisfério Norte, o ângulo zenital é positivo e a inclinação dos raios solares é maior, a latitude passa a ter importância, como indicam os valores elevados do coeficiente b . Este fato pode ser justificado considerando que a menor e a maior amplitude de variação da temperatura ocorre nas estações de outono e inverno e primavera e verão, respectivamente.

4.1.2 Coeficiente “ c ” da longitude

O coeficiente “ c ” da longitude, variando entre $-0,093$ e $0,096$ (tabela 2) quando comparado com a latitude, não é muito significativo. Nos meses de janeiro a março e dezembro, meses quentes, tem-se valores negativos e muito pequenos quando

comparados com os outros meses do ano. De abril a novembro, incluindo aí a estação fria, o coeficiente assume valores positivos ressaltando o efeito da continentalidade, uma vez que as temperaturas mínimas médias mensais nos locais distantes do oceano são menores. Nos meses de dezembro a março, para maiores longitudes, a temperatura terá valor mais elevado do que em regiões próximas ao oceano. Nos meses de abril a novembro, devido a passagem de frentes frias que acarretam um aumento de umidade, as temperaturas mínimas são mais baixas e as reduções serão menores.

A contribuição e influência da longitude no aumento da temperatura máxima diminui gradualmente de janeiro a março com o coeficiente “c” (tabela 3) apresentando valores no intervalo de -0,636 a -0,341. Neste período a temperatura máxima média mensal sofre um aumento de 0,341 a 0,636°C para cada grau de variação da longitude. Nos meses mais quentes, dezembro e janeiro, a continentalidade exerce efeito mais marcante, já por outro lado, nos meses temperados e frios a longitude não mostra influência na temperatura máxima principalmente em junho, como demonstra o coeficiente positivo, indicando que neste mês, no sentido oceano-continente as temperaturas máximas decrescem, mas de maneira muito pouco acentuada e negligenciável. Para o restante do ano, no período de julho a dezembro, a longitude volta a produzir aumentos na variação da temperatura máxima média mensal, de uma maneira praticamente crescente com valores que vão de 0,062 a 0,616°C a cada alteração neste fator.

4.1.3 Coeficiente “d” da altitude

O relevo do Rio Grande do Sul é constituído de largas planícies (exemplo a Campanha Gaúcha), depressões, planaltos (Planalto Meridional) e planície costeira com extensas restingas que cercam algumas das maiores lagoas do Brasil. Sua altitude predominante está abaixo de 300m, tendo uma pequena área (1,67%) acima de 900m (Nímer, 1989). É de se supor que a variação da temperatura mínima média mensal do ar com a altitude seja mais marcante, em determinadas épocas do ano, numa pequena parte do Estado.

Os valores do coeficiente “d” da altitude foram sempre negativos no intervalo de -0,00473 a -0,00335 (tabela 2). Pode-se afirmar que a temperatura mínima no Estado do Rio Grande do Sul diminui de 0,335 a 0,473°C a cada 100m de altitude.

Resultados semelhantes foram obtidos por Alfonsi et al. (1974) e por Cargnelutti Filho et al. (2006). O modelo estimou reduções menores de maio a setembro e maiores de outubro a abril, pois neste último período temos condições mais secas onde a queda de temperatura é mais acentuada. Quando a atmosfera estiver saturada de vapor d'água, o decréscimo de temperatura mínima é acentuadamente menor e próximo de 4°C para cada 1000m (Gradiente Adiabático Saturado) de elevação (Pereira et al. 2002), o que se enquadra nos valores obtidos para o coeficiente “d” das equações de regressão deste trabalho.

O controle da temperatura máxima durante o verão é feito pelo relevo, como é reforçado pelos valores dos coeficientes. Os valores para o coeficiente “d” (tabela 3) associado com a variável altitude se mantiveram sempre negativos ao longo de todo ano e dentro do intervalo de $-0,00694$ a $-0,00341$ significando que a temperatura máxima mensal média sofre decréscimos de $0,341$ a $0,694^{\circ}\text{C}$ a cada aumento de 100m de altitude da região. O modelo estimou reduções menores de junho a novembro e maiores de dezembro a maio, em concordância com o fato que neste último período tem-se condições mais secas, com menor umidade, onde as variações de temperaturas são maiores.

4.2 Avaliação da significância estatística dos coeficientes b, c, e d

Foram analisados os valores de t dos testes "t", que serão comparados com o valor crítico ($t_{\text{crítico}}=2,70$) que é o mínimo exigido para o nível de significância de 1%, nas 40 estações, das variáveis independentes latitude, longitude e altitude adotadas pelo modelo, de acordo com Curi(1997). Na tabela 4 é possível verificar que o nível de significância da variável latitude tem seu valor mínimo de 5% no mês de março e nos demais apresenta 1%, em concordância com os valores, não muito elevados, encontrados para o erro padrão da estimativa (EPE).

Verifica-se que a longitude apresenta muito pouca influência no modelo de regressão linear múltipla para determinação da temperatura mínima média mensal se comparada com a latitude e a altitude, pois o índice de significância se mantém acima de 5% apesar de apresentar erros padrões de estimativa muito pequenos. Cargnelutti Filho et al. (2006) chegou a resultados semelhantes evidenciando quase inexistência de associação linear entre essas variáveis.

A importância da altitude é determinada pelos resultados nulos de EPE e valores absolutos de t situados acima do crítico indicando um alto nível de significância, aproximadamente de 1% para todos os meses do ano.

Analisando a adequação do modelo como um todo, ainda na tabela 4, verifica-se que os menores valores de EPE situam-se no período de junho a setembro dentro do intervalo 0,591 a 0,651 e no restante do ano foram encontrado de 0,703 a 0,769, demonstrando, em ambas situações, resultados muito pequenos e inferiores a 1 °C. O teste "t" para o modelo registrou valores bastante elevados superando o valor crítico de t a 1% de probabilidade indicando que é significativo a este nível. Isto é, existe uma probabilidade superior a 99% de que a equação de regressão linear múltipla possa ser usada com eficiência para o cálculo da temperatura mínima média mensal do ar.

O coeficiente de determinação (r^2) indica a porcentagem da temperatura mínima média mensal que é explicada pelas coordenadas geográficas e altitude. Para o período maio-agosto, onde estes valores são os menores da série, situados no intervalo 0,681 a 0,713, existem outras variáveis não consideradas pelo modelo que podem estar exercendo influência, pois nesta estação existe maior predomínio de massas polares. Dentre esses fatores, destacam-se certas particularidades de configuração do relevo que, ao permitirem a acumulação de ar frio, criam condições

topoclimáticas muito individualizadas, afetando o resfriamento e as temperaturas mínimas resultantes, de acordo com Pedro Jr. et al. (1991).

Com base nas informações constantes na tabela 5, verifica-se que as temperaturas máximas médias mensais sofrem muito pouca influência da latitude no mês de abril onde apresenta elevado valor de EPE em concordância com o valor de t do teste "t", abaixo do crítico, indicando ser não-significativa. No restante do ano a contribuição da variável latitude apresenta um nível de significância bastante elevado em torno de 1% de probabilidade.

O fator longitude, apesar de encontrados EPE menores que os registrados para a latitude, apresenta somente significância para os meses de outubro a março, na faixa de 1%, conforme os resultados do teste "t". No período que vai de abril a setembro, o qual contém os meses mais frios do ano na região sul, esta variável se apresenta não-significativa, portanto praticamente sem imprimir variações na temperatura máxima.

A importância da altitude no modelo de estimativa da temperatura máxima média mensal para o Estado é notadamente maior que as variáveis anteriores e se mostra com um nível de significância próximo de 1% em todos os meses do ano .

Considerando os dados da Tabela 5, para o modelo como um todo, foram encontrados valores muito pequenos para EPE e próximo de 1 °C indicando que as estimativas obtidas são válidas. Os valores de t para o teste "t" resultaram bastante elevados e bem acima do valor crítico a 1% de probabilidade indicando ser significativo a este nível. Isto é, existe uma probabilidade superior a 99% de que as equações de regressão linear múltiplas determinadas pelo modelo para cálculo da temperatura máxima média mensal para o Estado do Rio Grande do Sul, possam ser utilizadas com confiabilidade.

Os valores dos coeficientes de determinação r^2 de maio a março indicaram que as variáveis latitude, longitude e altitude explicam de 73 a 87% a temperatura máxima média mensal do Estado do Rio Grande do Sul. No mês de abril o valor do coeficiente de determinação igual a 0,254 e um EPE muito elevado indicam que devem existir outros fatores não constantes do modelo interferindo e somente os utilizados não foram suficientes para determinação da temperatura máxima.

Tabela 4. Valores da significância estatística dos coeficientes b (latitude), c(longitude), d(altitude) e do modelo para estimativa das temperaturas mínimas médias mensais pelo erro padrão da estimativa (EPE), teste "t" (t), coeficiente de correlação (r) e coeficiente de determinação (r^2) no período 1913 a 2002.

	b		c		d		Modelo			
	EPE	t	EPE	t	EPE	t	EPE	t	r	r^2
Jan	0,113	3,285	0,077	-1,207	0,000	-8,925	0,769	10,49	0,862	0,744
Fev.	0,096	3,325	0,064	-0,036	0,000	-11,896	0,639	13,53	0,910	0,828
Mar	0,113	2,530	0,077	-0,046	0,000	-9,029	0,769	10,31	0,858	0,736
Abr	0,103	2,815	0,075	1,099	0,000	-9,441	0,703	10,19	0,856	0,732
Maio	0,103	2,682	0,071	0,414	0,000	-8,279	0,703	9,185	0,830	0,689
Junho	0,086	4,594	0,060	0,784	0,000	-9,129	0,591	9,705	0,844	0,713
Julho	0,094	3,690	0,065	0,366	0,000	-8,287	0,644	9,001	0,825	0,681
Agosto	0,094	4,567	0,065	0,411	0,000	-8,386	0,643	9,062	0,827	0,684
Set.	0,100	5,481	0,070	1,291	0,000	-8,563	0,651	9,344	0,835	0,697
Out.	0,111	4,785	0,078	1,231	0,000	-8,647	0,721	9,386	0,836	0,699
Nov.	0,116	4,798	0,082	0,400	0,001	-8,853	0,754	9,978	0,851	0,724
Dez.	0,112	4,629	0,079	-0,355	0,000	-9,559	0,730	11,20	0,876	0,768

Tabela 5. Valores da significância estatística dos coeficientes b(latitude), c(longitude), d(altitude) e do modelo para estimativa das temperaturas máximas médias mensais pelo erro padrão da estimativa (EPE), teste "t" (t), coeficiente de correlação (r) e coeficiente de determinação (r^2) no período 1913 a 2002.

	b		c		d		Modelo			
	EPE	t	EPE	t	EPE	t	EPE	t	r	r^2
Jan	0,149	5,550	0,101	-6,283	0,001	-6,813	0,992	11,75	0,890	0,792
Fev.	0,127	6,294	0,087	-5,439	0,001	-8,137	0,868	12,59	0,898	0,807
Mar	0,114	7,775	0,078	-4,383	0,000	-9,532	0,775	13,37	0,908	0,825
Abr	0,495	1,730	0,339	-0,840	0,002	-2,868	3,378	3,590	0,504	0,254
Maio	0,078	11,236	0,053	-1,573	0,000	-13,386	0,530	16,23	0,935	0,874
Junho	0,073	13,130	0,050	0,496	0,000	-11,939	0,499	15,33	0,928	0,861
Julho	0,086	12,609	0,059	-1,053	0,000	-10,151	0,586	14,49	0,920	0,847
Agosto	0,131	10,148	0,078	-1,440	0,001	-7,216	0,797	11,44	0,881	0,775
Set.	0,136	8,888	0,093	-2,200	0,001	-5,833	0,931	10,31	0,858	0,737
Out.	0,129	9,528	0,088	-4,469	0,001	-6,940	0,877	12,55	0,898	0,806
Nov.	0,144	7,998	0,099	-4,979	0,001	-6,217	0,984	11,75	0,883	0,779
Dez.	0,159	6,441	0,116	-5,300	0,001	-6,179	1,085	10,72	0,867	0,752

4.3 Comparação entre as temperaturas estimadas e observadas

A partir das equações resultantes da regressão linear múltipla, para cada mês do ano, foram estimadas as temperaturas mínimas e máximas médias mensais para todas as estações meteorológicas constantes na tabela 1. Após isto, foi possível comparar os valores estimados com os observados e analisar as diferenças ocorridas.

Para que esta análise fosse mais racional, os casos mais relevantes serão discutidos, principalmente com relação a temperatura mínima média mensal. As figuras restantes estão no Apêndice. O mesmo procedimento foi adotado com relação a temperatura máxima média mensal.

4.3.1 Temperatura mínima média mensal

Nas figuras 3, 4, 5, e 6 estão representadas as curvas correspondentes às temperaturas mínimas do ar observadas e estimadas de estações meteorológicas localizadas em pontos diferentes do Estado com coordenadas geográficas e altitudes diferentes cujos valores constam nas tabelas 8 e 9 dos apêndices.

Em Alegrete e Cachoeira do Sul, situadas a oeste e centro do Estado respectivamente, ambas em região de baixa altitude, o modelo encontrou boas estimativas para a temperatura mínima média mensal, apresentando valores próximos dos valores médios observados em noventa anos de medições, não sendo influenciadas pela altitude. Mas, em Irai, situada ao norte e com maior altitude a estimativa registrou valores bem superiores aos observados no período de agosto a dezembro aproximadamente $1,7^{\circ}\text{C}$, contrariamente as duas anteriores.

De modo geral, as curvas apresentaram o mesmo comportamento, sendo que, em alguns meses houve ou subestimação como é o caso de Caxias do Sul(abril a setembro), Marcelino (agosto a dezembro), Osório (setembro a dezembro), Rio Grande (todo ano) e Torres (fevereiro a agosto). Em outros houve superestimação como muito elevada em Cachoeira do Sul de aproximadamente $2,3^{\circ}\text{C}$ (março), Osório (janeiro a abril), Pelotas, São Francisco de Paula, São Gabriel e Vacaria (todo o ano semelhantemente a Irai).

Para Caxias do Sul (759m) e Marcelino Ramos (414m) a altitude tem grande influência, principalmente nos meses entre abril e setembro, época mais úmida e

mais fria no Estado, a temperatura mínima estimada tende a ser mais baixa do que a observada pelos motivos explicados anteriormente. Já Osório (32 m), a latitude é que vai exercer maior influência na estimativa da temperatura mínima, nesses meses. Neste caso, considerando a posição litorânea desta localidade, as diferenças registradas pelo modelo nos meses de verão, são causadas pelo efeito termoregulador do Oceano Atlântico nesta estação do ano de acordo com Nimer (1989) .

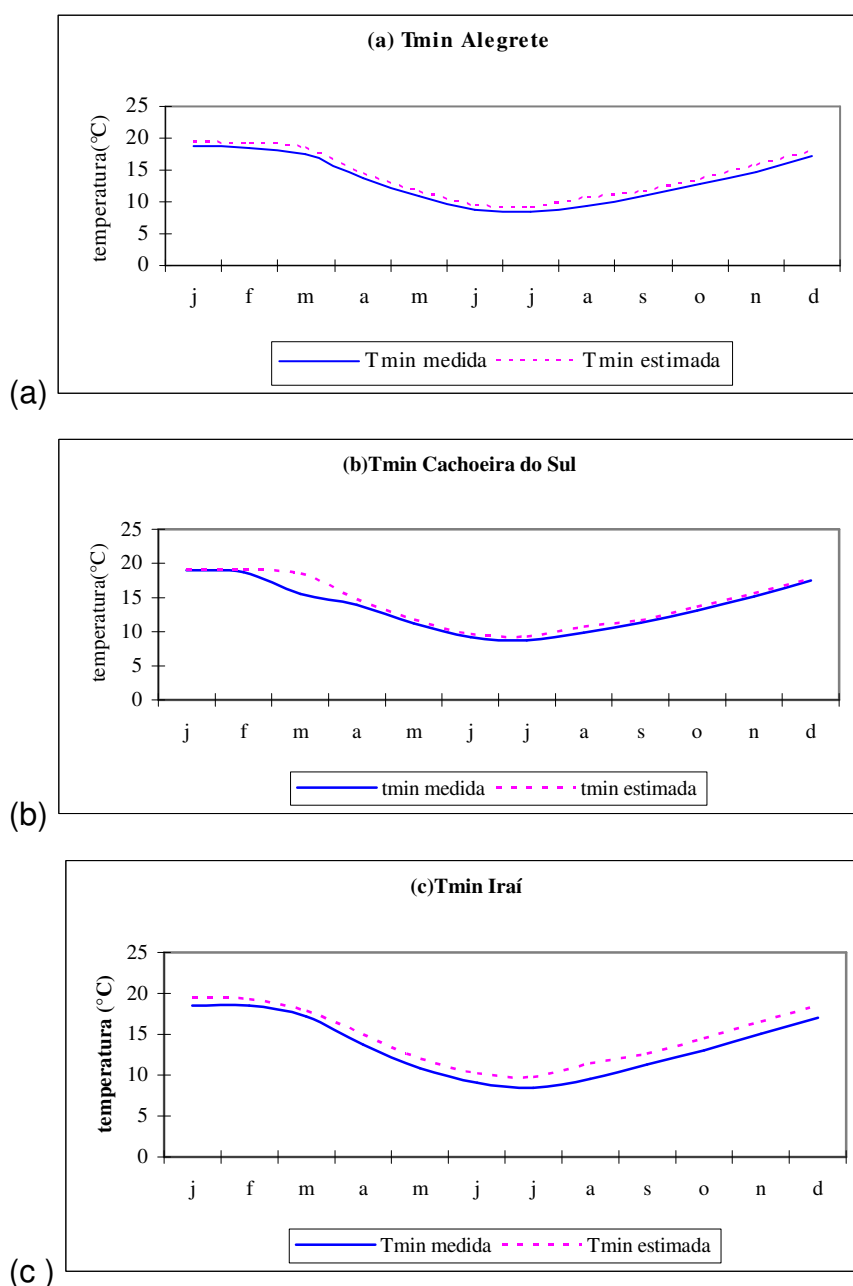


Figura 3. Curvas de temperaturas mínimas médias mensais observadas (T_{min}medida) e estimadas (T_{min}estimada) de 1913 a 2002 para (a) Alegrete e (b) Cachoeira do Sul e (c) Iraí.

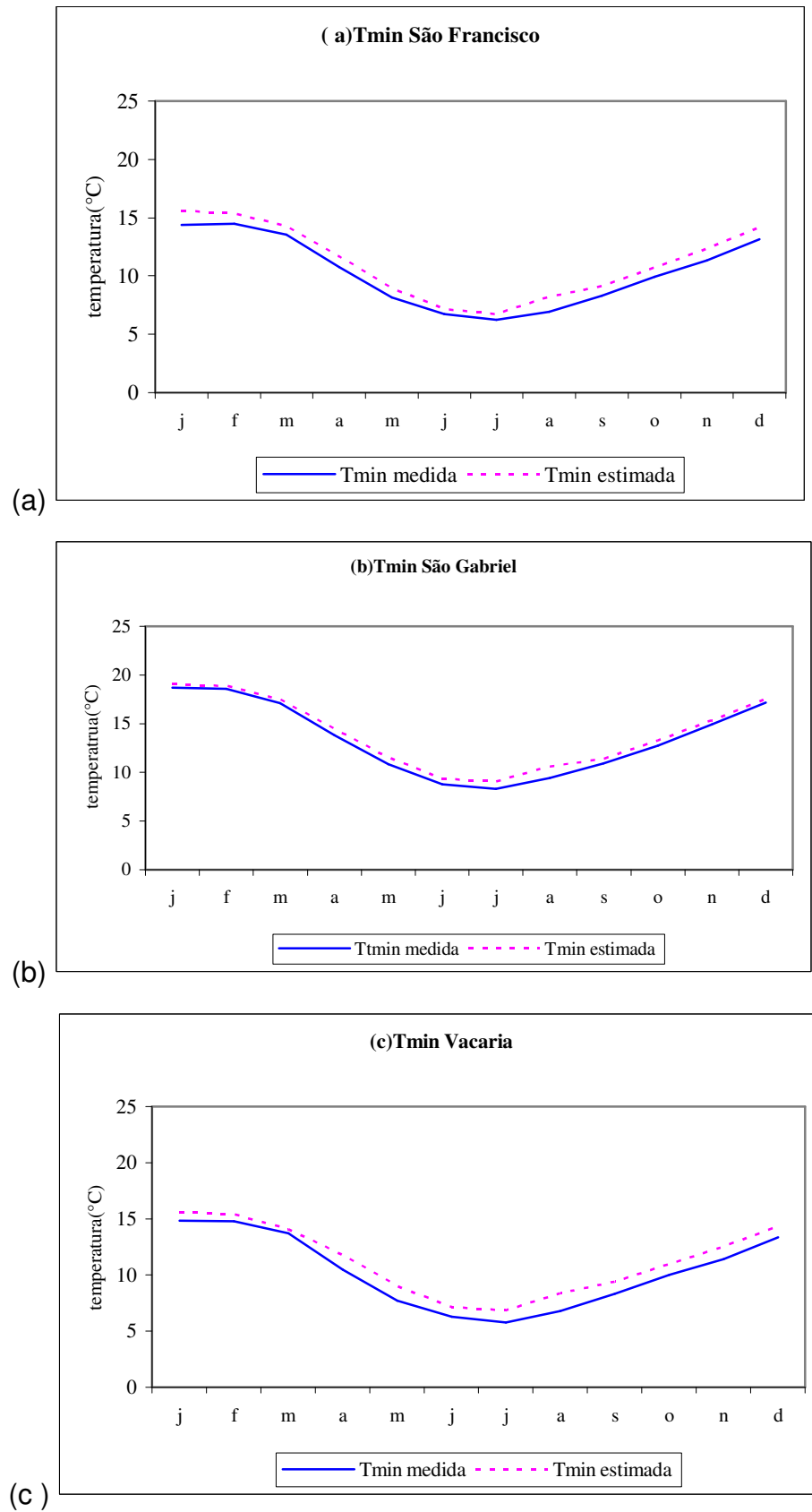


Figura 4. Curvas de temperaturas mínimas médias mensais observadas (T_{min} medida) e estimadas (T_{min} estimada) para (a) São Francisco, (b) São Gabriel e (c) Vacaria no período de 1913 a 2002.

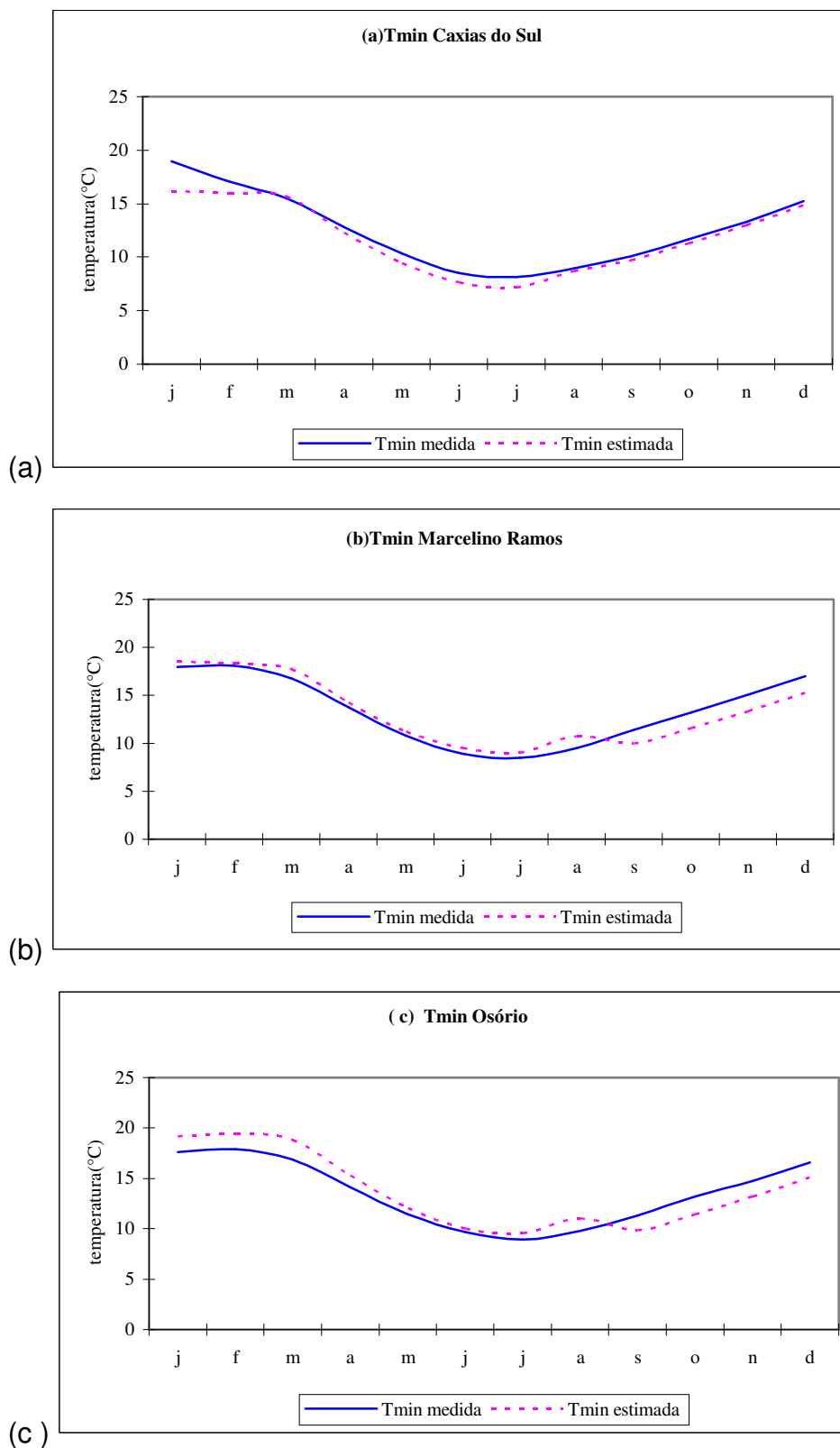


Figura 5. Curvas de temperaturas mínimas médias mensais observadas (T_{min} medida) e estimadas (T_{min} estimada) para (a) Caxias do Sul, (b) Marcelino Ramos e (c) Osório no período de 1913 a 2002.

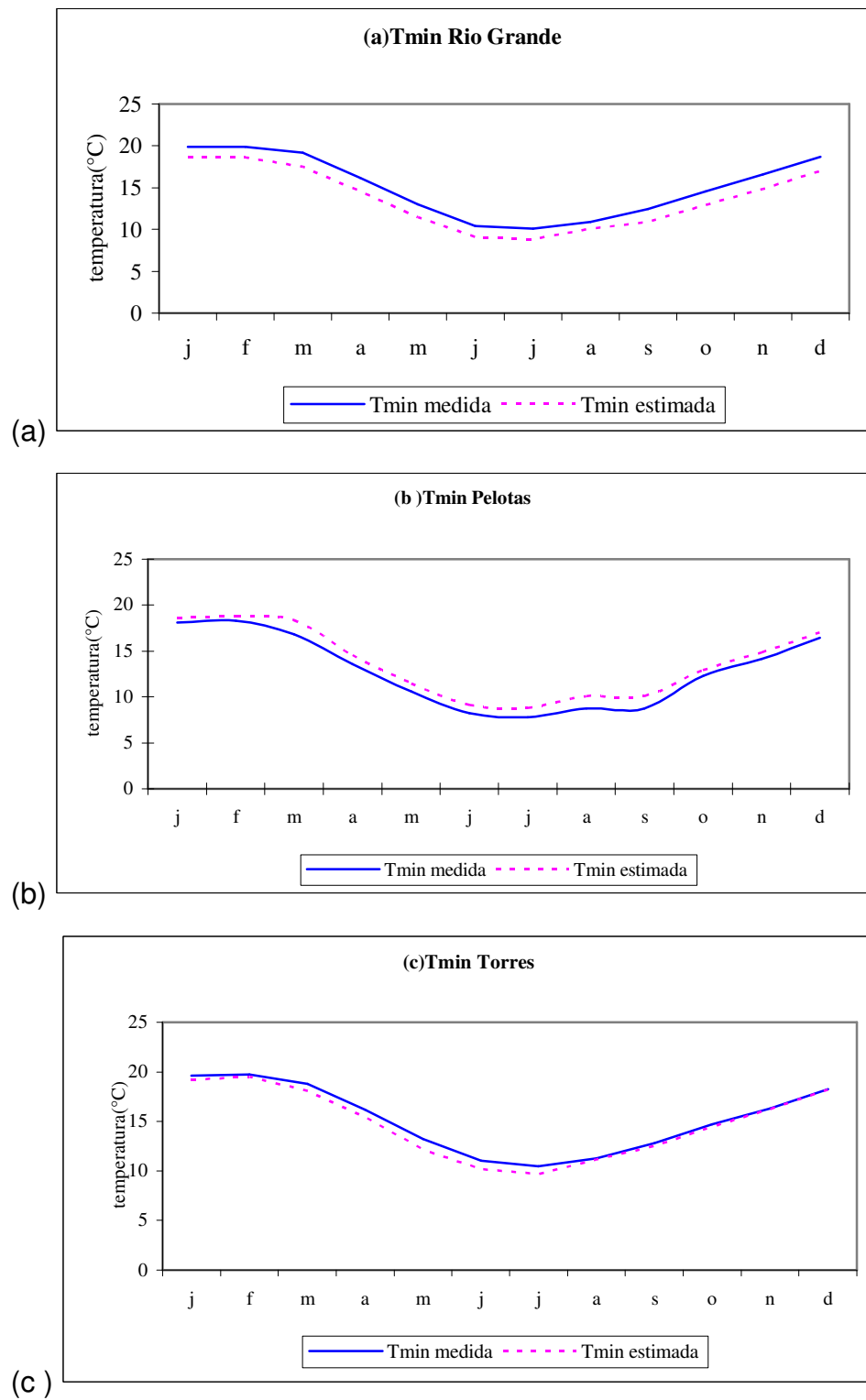


Figura 6. Curvas de temperaturas mínimas médias mensais observadas (T_{min}medida) e estimadas (T_{min}estimada) para (a) Pelotas, (b) Rio Grande e (c) Torres no período de 1913 a 2002.

Para Cachoeira do Sul, Osório e Pelotas situadas abaixo de 100m, a altitude não teve muita influência. Por outro lado, a latitude nos meses de janeiro a abril apresentou variação pequena quando comparada com outros meses do ano, por isso os valores estimados são maiores do que os observados. Ressalta-se que das três estações meteorológicas Pelotas é a que se encontra mais ao Sul, portanto pode-se explicar as diferenças entre os valores estimados e observados nos meses de inverno, considerando que os fatores geográficos, para localidades muito ao sul do Estado podem ter sido superados pelos fatores dinâmicos tais como invasões de fenômenos frontogenéticos.

4.3.2 Temperatura máxima média mensal

Nas figuras 7 e 8 estão representadas as curvas correspondentes as temperaturas máximas médias mensais do ar observadas e estimadas em localidades diferentes do Estado com coordenadas e altitude diversas.

De uma maneira geral, o modelo apresentou boas estimativas de temperatura máxima mensal média para todos os meses do ano, nas quarenta estações meteorológicas do Estado do Rio Grande do Sul. Os valores das temperaturas para traçado dos gráficos estão nas tabelas 10 e 11 dos apêndices.

Somente se observa para o mês de junho, em todas as estações, que o modelo apresentou um resultado estimado inferior ao medido, aproximadamente de 2,8°C, em média. Este fato pode ser explicado considerando-se que junho é o mês mais frio do ano e está submetido a presença de frentes frias com temperaturas baixas. Além disto, conforme tabela 3, o gradiente longitudinal de temperatura sofre uma inversão, provavelmente causado pela influência do Oceano Atlântico.

Para Bagé (figura 7a), situada numa altitude de 215m, na região da Campanha, e Santa Cruz do Sul (figura 7b), com altitude igual a 56m, na encosta inferior da Serra do Nordeste, o modelo apresentou estimativas inferiores aos resultados médios observados o que indica que houve uma subestimação em todo ano, em ambas localidades, sendo que foi mais acentuada na segunda.

Na estação meteorológica de Cachoeira do Sul (figura 7c), a 72 m de altitude e localizada na região da Depressão Central do Estado, as curvas estimadas e observadas apresentaram o mesmo comportamento, com exceção de junho pelos motivos anteriormente expostos.

Em Rio Grande e Torres (figuras 8a e 8b), situadas no litoral do Estado com baixa altitude, o modelo apresentou resultados superestimados durante quase todos os meses do ano com exceção a junho, como citado em parágrafo anterior.

Em Uruguaiana (figura 8c), situada no extremo oeste do Estado, na Região da Campanha, a temperatura máxima estimada pelo modelo é bastante concordante com a observada pela estação, com exceção de junho, onde se nota uma pequena superestimação no período de agosto a novembro.

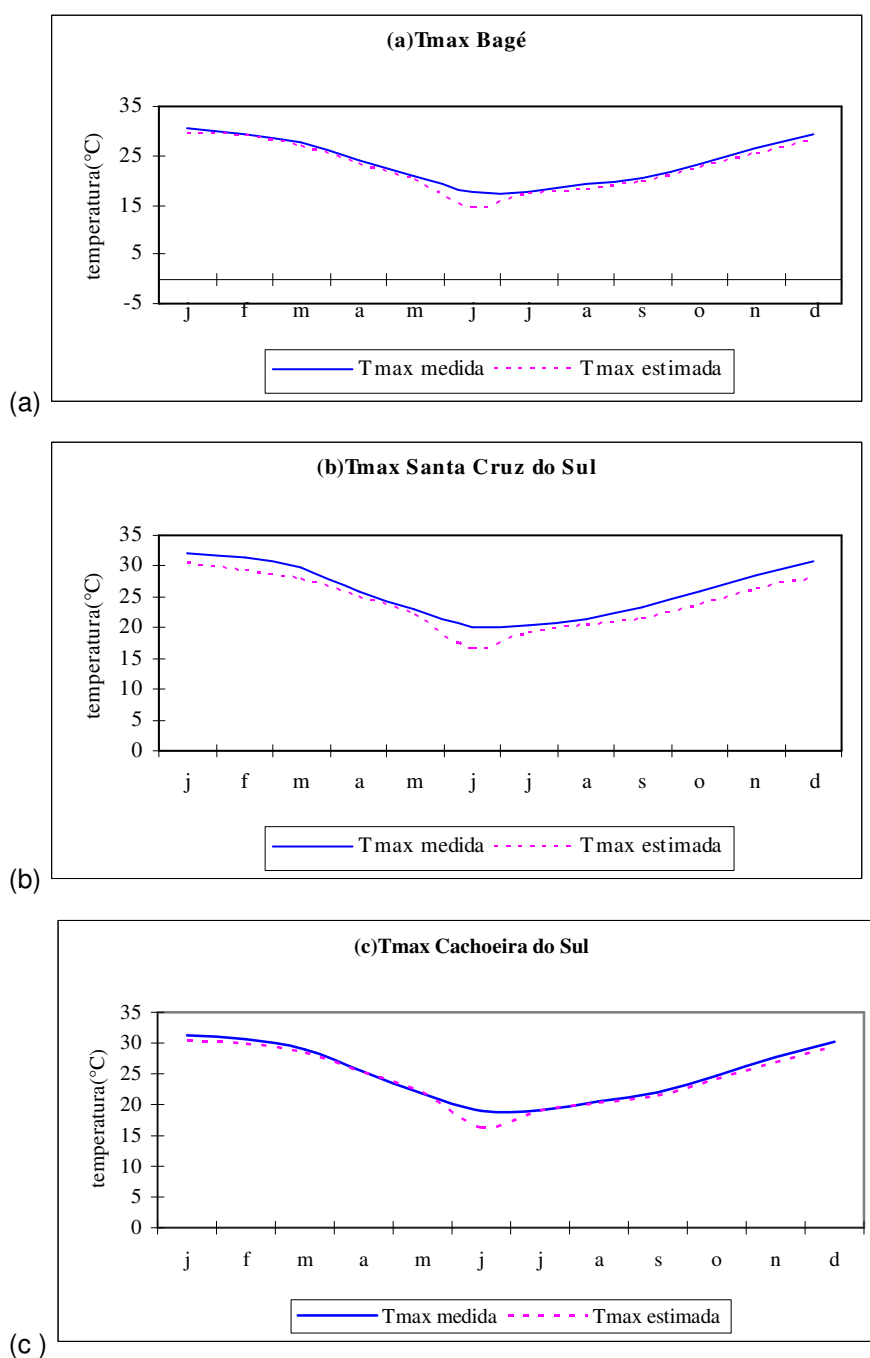


Figura 7. Curvas de temperaturas máximas médias mensais observadas e estimadas para (a) Bagé, (b) Santa Cruz do Sul e (c) Cachoeira do Sul de 1913 a 2002.

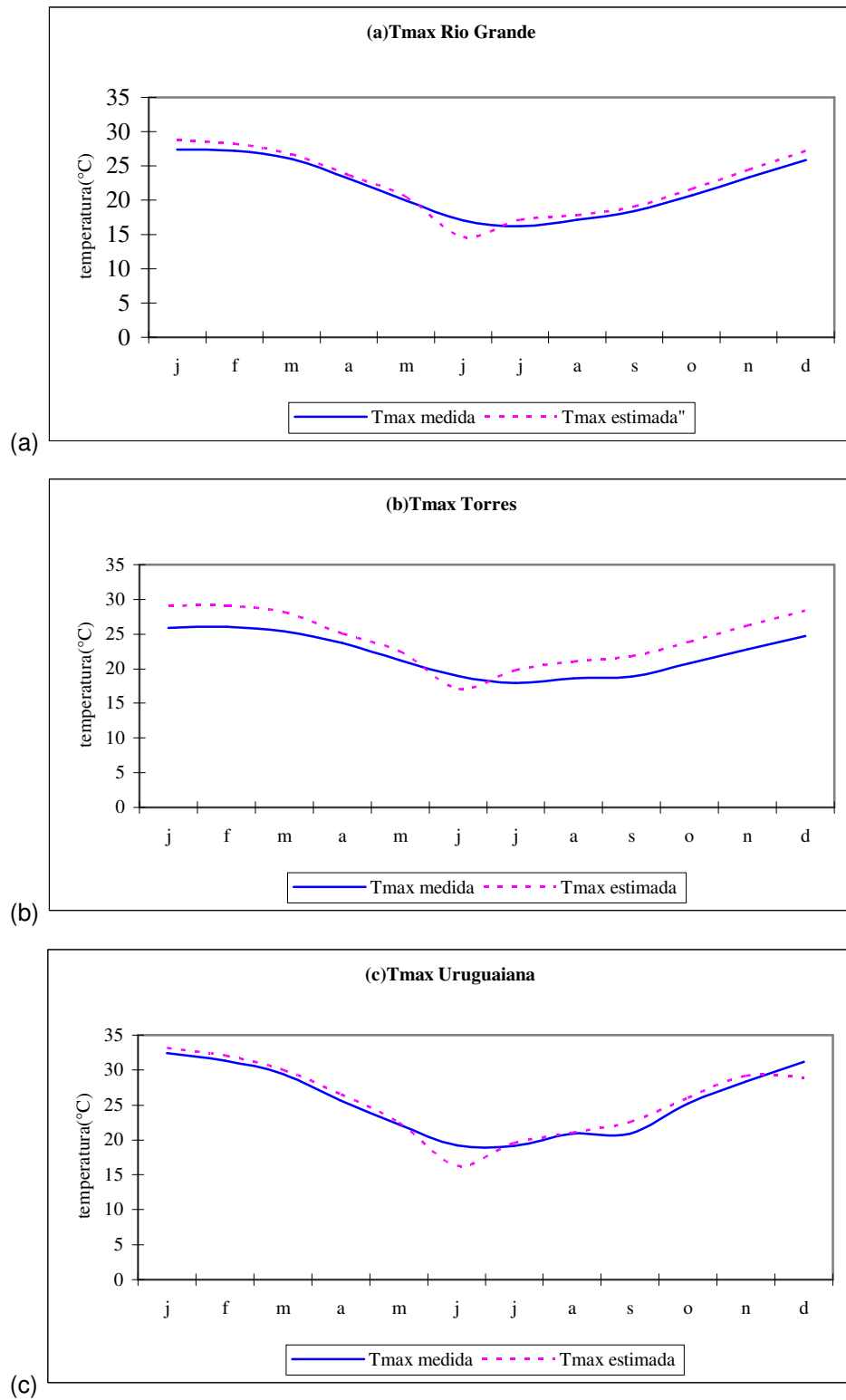


Figura 8. Curvas de temperaturas máximas médias mensais observadas (Tmaxmedida) e estimadas (Tmaxestimada) para (a) Rio Grande , (b) Torres e (c) Uruguiana, no período de 1913 a 2002.

4.4 Tripartição da série estudada

A série estudada, que compreende 90 anos, foi dividida em três sub-séries de 30 anos cada uma, a saber: 1ª) Período de 1913 até 1942 denominado 30 A, 2ª) Período de 1943 até 1971 denominada 30 B e 3ª) Período de 1973 até 2002 denominada 30C.

A análise de regressão linear múltipla foi aplicada a cada sub-série e obtidos os coeficientes b (latitude), c (longitude) e d (altitude), para as temperaturas mínima e máxima médias mensais (tabelas 6 e 7).

Assim, a discussão é feita com base nos valores dos coeficientes, levando em consideração sua influência no Estado, verificando as diferenças ocorridas entre as sub-séries. As figuras 10 a 13 e 15 a 18 apresentam uma análise das diferenças entre os valores estimados pelos modelos e os valores observados através do traçado de mapas de erros absolutos entre as temperaturas mínimas e máximas médias mensais das três sub-séries 30 A, B e C e no período de 1913-2002.

Cabe lembrar, que a radiação solar é um elemento meteorológico preponderante na variação das temperaturas extremas do ar, sendo influenciadas também, pela latitude e altitude.

Como o Rio Grande do Sul não tem grande profundidade em toda sua extensão, ou seja, a distância do oceano para dentro do continente não é muito grande ao longo de todo território, somente em alguns meses, a influência da longitude é percebida em algumas estações meteorológicas.

Tabela 6. Valores dos coeficientes das equações de regressão linear múltipla para estimativa da temperatura mínima média mensal Estado do Rio Grande do Sul nos períodos 30 A, 30B, 30C e dos coeficientes de determinação (r^2) de cada modelo.

	30A					30B					30C				
	a	b	c	d	r^2	a	b	c	d	r^2	a	b	c	d	r^2
Jan	27,16	0,360	-0,048	-0,0041	0,682	25,69	0,303	0,052	-0,0041	0,636	26,25	0,421	-0,122	-0,0044	0,736
Fev	25,86	0,074	0,098	-0,0032	0,363	23,42	-0,012	0,087	-0,0032	0,355	31,42	0,079	0,178	-0,0032	0,417
Mar	24,88	0,309	-0,035	-0,0045	0,755	23,87	0,194	0,000	-0,0043	0,688	32,07	0,352	0,054	-0,0043	0,715
Abr	27,53	0,304	0,068	-0,0042	0,740	24,98	0,200	0,084	-0,0043	0,698	28,84	0,340	0,058	-0,0039	0,671
Mai	20,44	0,259	0,020	-0,0034	0,689	20,21	0,233	0,021	-0,0037	0,724	24,47	0,341	0,033	-0,0038	0,634
Jun	22,93	0,361	0,048	-0,0037	0,723	24,62	0,350	0,072	-0,0035	0,654	23,57	0,444	0,061	-0,0031	0,640
Jul	19,93	0,303	0,022	-0,0034	0,722	18,73	0,307	0,000	-0,0032	0,592	24,34	0,413	0,041	-0,0033	0,621
Ago	26,91	0,364	0,118	-0,0031	0,562	27,35	0,385	0,107	-0,0030	0,436	28,78	0,463	0,076	-0,0029	0,427
Set	29,97	0,497	0,069	-0,0037	0,747	31,41	0,508	0,071	-0,0037	0,706	28,55	0,543	0,004	-0,0038	0,743
Out	30,78	0,487	0,057	-0,0043	0,785	31,68	0,467	0,066	-0,0043	0,756	29,68	0,560	-0,036	-0,0040	0,769
Nov	29,18	0,499	-0,019	-0,0046	0,790	28,68	0,454	-0,018	-0,0044	0,755	29,98	0,568	-0,066	-0,0043	0,764
Dez	27,64	0,470	-0,074	-0,0045	0,787	23,98	0,394	-0,108	-0,0047	0,788	28,11	0,527	-0,121	-0,0045	0,828

Tabela 7. Valores dos coeficientes das equações de regressão linear múltipla para estimativa da temperatura máxima média mensal Estado do Rio Grande do Sul nos períodos 30 A, 30B, 30C e dos coeficientes de determinação (r^2) de cada modelo.

	30A					30B					30C				
	a	b	c	d	r^2	a	b	c	d	r^2	a	b	c	d	r^2
Jan	27,79	0,927	-0,567	-0,0020	0,437	27,38	0,846	-0,529	-0,0020	0,425	25,18	0,799	-0,537	-0,0018	0,448
Fev	29,20	0,853	-0,488	-0,0020	0,443	27,70	0,811	-0,497	-0,0023	0,426	32,18	0,689	-0,334	-0,0025	0,422
Mar	43,04	0,872	-0,377	-0,0026	0,419	35,67	0,849	-0,338	-0,0026	0,441	35,37	0,782	-0,306	-0,0024	0,452
Abr	40,62	0,769	-0,140	-0,0024	0,426	38,83	0,790	-0,182	-0,0030	0,423	37,80	0,739	-0,176	-0,0026	0,417
Mai	39,01	0,741	-0,089	-0,0024	0,421	38,08	0,759	-0,126	-0,0026	0,430	39,94	0,773	-0,093	-0,0028	0,434
Jun	36,57	0,702	-0,064	-0,0017	0,396	41,97	0,779	-0,014	-0,0024	0,427	40,44	0,738	-0,137	-0,0024	0,398
Jul	34,95	0,787	-0,140	-0,0012	0,403	37,40	0,823	-0,120	-0,0020	0,403	39,16	0,808	-0,073	-0,0021	0,400
Ago	34,28	0,871	-0,223	-0,0013	0,394	36,39	0,932	-0,225	-0,0016	0,411	35,11	0,825	-0,188	-0,0015	0,414
Set	32,86	0,846	-0,279	-0,0015	0,426	34,38	0,971	-0,308	-0,0012	0,439	31,86	0,846	-0,279	-0,0015	0,429
Out	32,91	1,036	-0,404	-0,0012	0,472	33,06	0,912	-0,371	-0,0015	0,438	28,69	0,912	-0,431	-0,0013	0,447
Nov	32,41	1,023	-0,462	-0,0017	0,465	29,07	1,006	-0,521	-0,0013	0,460	26,68	0,880	-0,493	-0,0014	0,454
dez	29,27	0,984	-0,546	-0,0010	0,479	25,06	0,910	-0,587	-0,0014	0,437	23,14	0,842	-0,581	-0,0014	0,460

4.4.1 Temperatura mínima média mensal

Na tabela 6 estão os valores do coeficiente b , c , d e r^2 para as três sub-séries referentes aos valores das temperaturas mínimas mensais médias. Nos últimos 30 anos, a partir de março os valores de b foram maiores que nas outras duas sub-séries, conforme figura 9 a. Significa que a variação na temperatura mínima, com a latitude é maior, ou seja, existe uma relação direta indicando que a cada grau de variação deste fator haverá, em média, uma alteração de $0,42^\circ\text{C}$ na temperatura.

A maior influência da latitude sobre a temperatura mínima, na última sub-série, pode ser explicada considerando-se que os acréscimos nesta variável meteorológicas neste período, conforme figuras 19 e 20, também foram encontrados pelos pesquisadores Steinmetz et al. (2005) e Marques et al. (2005).

No mês de fevereiro, o coeficiente b na segunda sub-série, teve o menor valor dentre os analisados, dando a idéia de que a temperatura mínima aumenta com a latitude, mas esse aumento é tão pequeno, $0,012^\circ\text{C}$ por grau de latitude, que pode ser considerado muito pouca influência deste fator. Além disto, conforme os valores bastante reduzidos para o coeficiente de determinação r^2 (tabela 6), pode-se afirmar que neste mês, assim como em agosto, outros fatores não incluídos na análise de regressão múltipla, foram mais determinantes na temperatura que as coordenadas geográficas e altitude. Para os demais meses, os coeficientes r^2 indicaram que as estimativas apresentaram bons resultados, considerando se tratar de fenômenos que ocorrem na natureza.

No trimestre março-abril-maio os valores de b foram diferentes nas três curvas (figura 9a), o mesmo acontecendo em outubro-novembro e dezembro, ressaltando um provável aquecimento que incide no aumento da temperatura mínima. As causas desta variação devem ser várias, inclusive erro na leitura de dados ou mudança da estação meteorológica, de um lugar para outro.

Analisando a figura 9 b, onde estão as curvas representativas do coeficiente c da longitude, verifica-se as variações ocorridas nas três sub-séries ao longo do ano. No mês de fevereiro, o coeficiente da terceira sub-série teve o maior valor, indicando uma diminuição da temperatura mínima no período de 1973-2002 de aproximadamente $0,18^\circ\text{C}$ para cada grau de longitude. Os meses em que o coeficiente se apresenta negativo como janeiro, março, novembro e dezembro mostram que, para um aumento no valor absoluto da longitude, haverá um aumento

na temperatura mínima média mensal de aproximadamente $0,065^{\circ}\text{C}$ por grau de longitude, que pode ser desprezado na maioria das situações.

No período de agosto a dezembro, tem-se um decréscimo no coeficiente c nas três sub-regiões o que mostra que houve uma diminuição da influência da longitude na temperatura mínima.

De uma maneira geral, na maioria dos meses, nos três subconjuntos, como os coeficientes são positivos, o efeito da longitude foi imprimir uma redução na temperatura mínima média mensal a medida que aumenta seu valor absoluto.

Estefanel et al. (1974), obtiveram resultados semelhantes nas estimativas de temperaturas mínimas mensais e anuais para Santa Catarina, indicando que as médias das temperaturas mínimas são mais baixas a medida que a longitude aumenta.

As variações das temperaturas mínimas médias mensais em janeiro e julho, para todas as quarenta estações meteorológicas do Estado, estão representadas pelas curvas nas figuras 19 e 20. É possível observar que, na sub-série 30C está registrado o maior aumento da temperatura mínima na maioria das estações, tanto em janeiro como em julho, sendo mais acentuado em Iraí, Santiago e São Luiz Gonzaga.

Esta observação está de acordo com resultados de Marques et al.(2005), que obteve os maiores acréscimos da temperatura mínima numa faixa que engloba parte das regiões Depressão Central, Missioneira e Campanha, sugerindo uma tendência de elevação da temperatura mínima, como ocorre em outras regiões do mundo, associada a um aumento do efeito estufa.

Para o coeficiente d da altitude, cujas curvas se encontram na figura 9c, nota-se valores maiores que os anteriores e uma uniformidade entre as três sub-séries estudadas. Deste modo, a temperatura mínima média mensal tem na altitude seu fator mais influente em todos os três períodos considerados para os quais ocorreu uma diminuição de aproximadamente $0,31$ a $0,47^{\circ}\text{C}$ a cada 100m de elevação.

No mês de janeiro, verifica-se que os maiores erros absolutos, na estimativa da temperatura mínima, foram encontrados na figura 10b correspondendo a sub-série 30B de 1943 a 1972 e as semelhanças mais marcantes nas figuras 10 a e 11 a e b.

Para julho, conforme figuras 12 e 13, é possível notar que as melhores estimativas, com os menores erros absolutos, estão no período 1913-2002 para as temperaturas mínimas médias mensais.

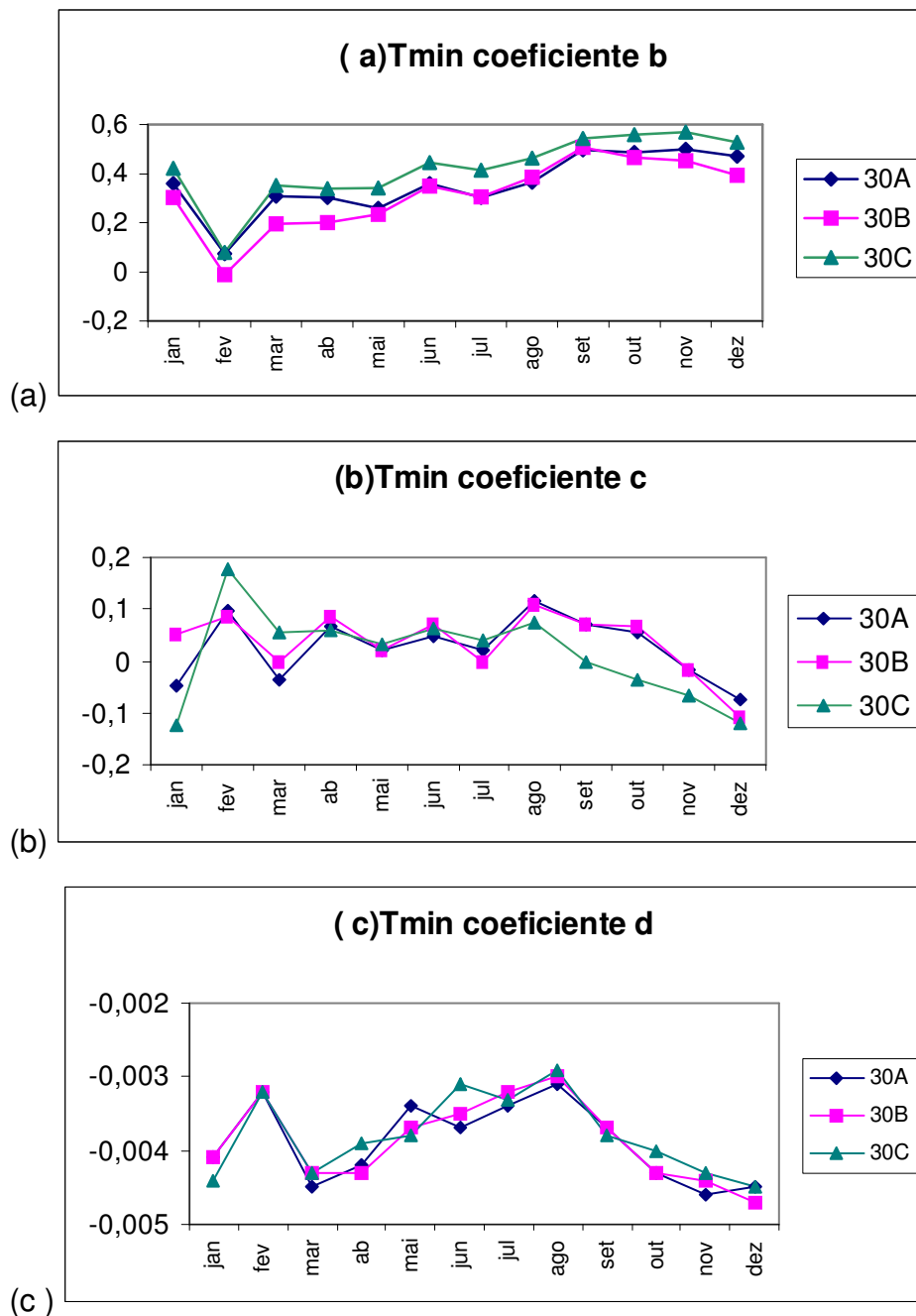


Figura 9. Curvas de valores de coeficientes das equações de RLM para estimativa das temperaturas mínimas médias mensais nos períodos 30 A(1913-1942), 30 B(1943-1972) e 30 C(1973-2002).

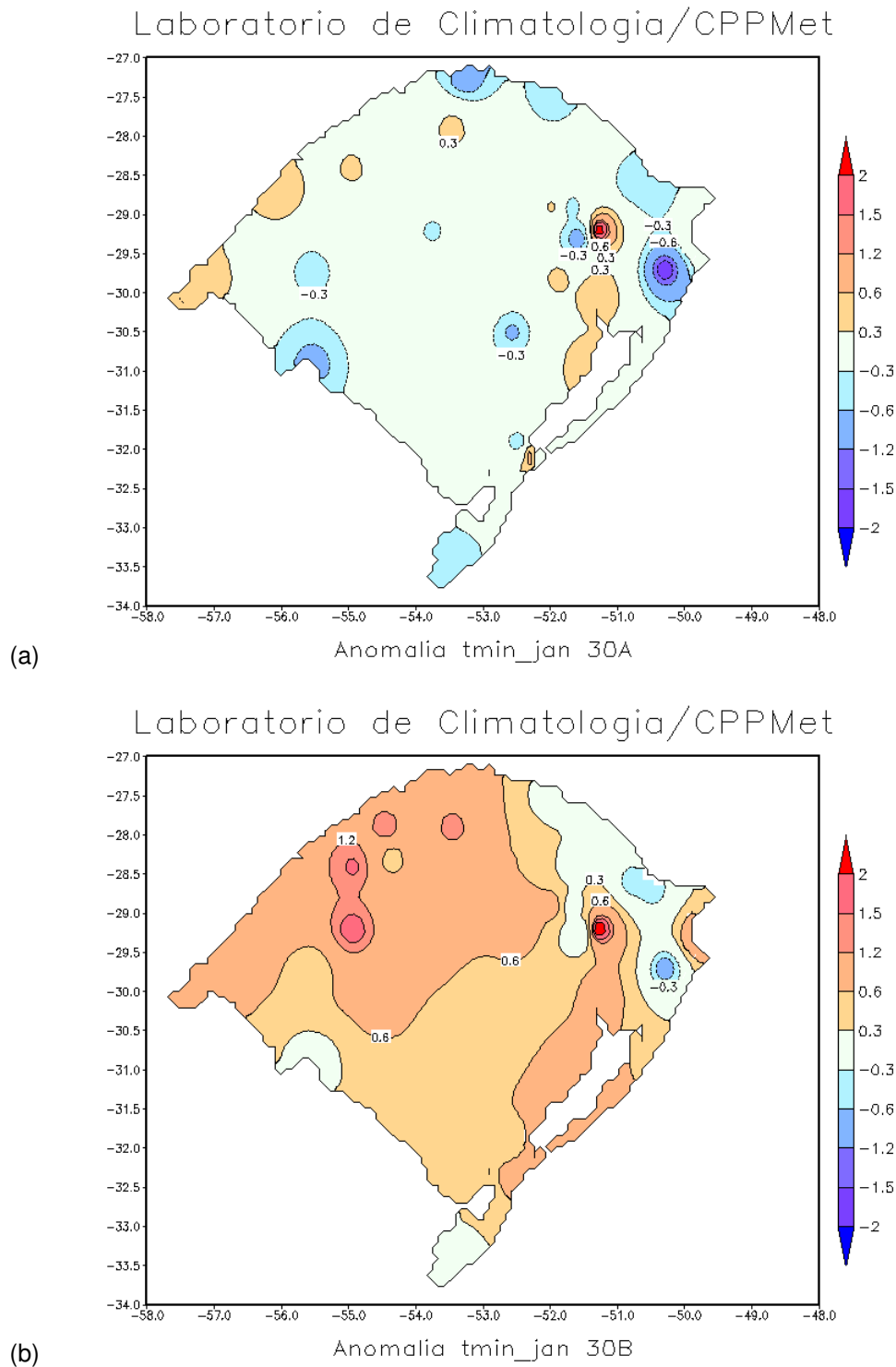
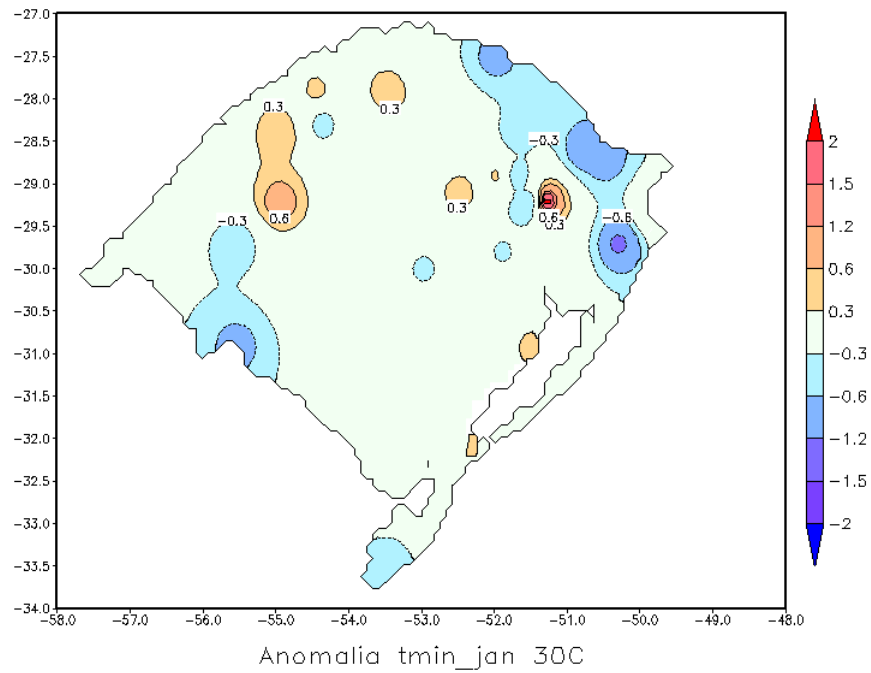


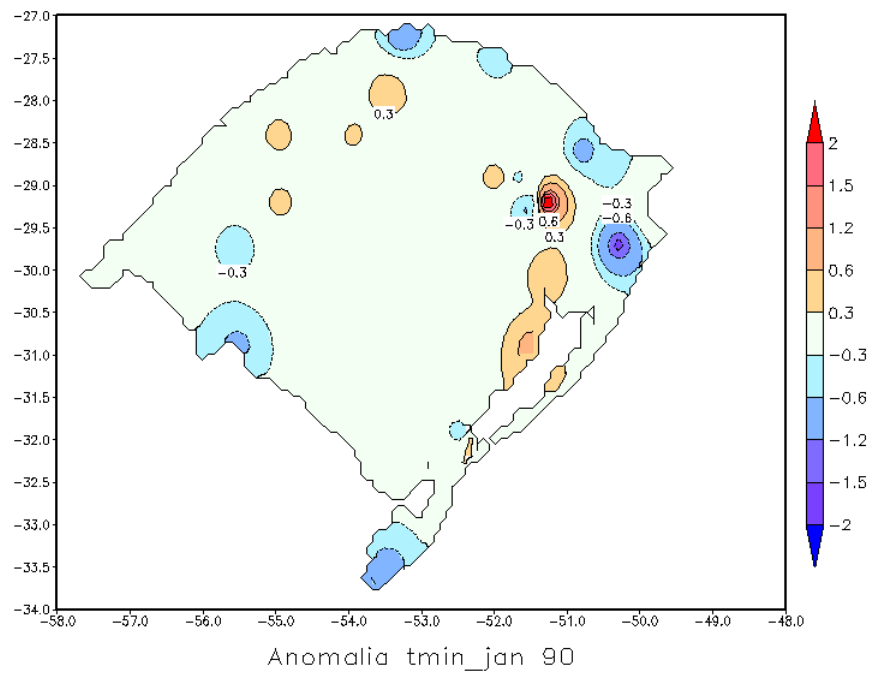
Figura 10. Erros absolutos entre as temperaturas mínimas médias estimadas e observadas no mês de janeiro, nos períodos: (a) 30 A(1913-1942) e (b)30B(1943-1972).

Laboratório de Climatologia/CPPMet



(a)

Laboratório de Climatologia/CPPMet



(b)

Figura 11. Erros absolutos entre as temperaturas mínimas médias estimadas e observadas no mês de janeiro, nos períodos: (a)30C(1973-2002) e (b)90(1913-2002).

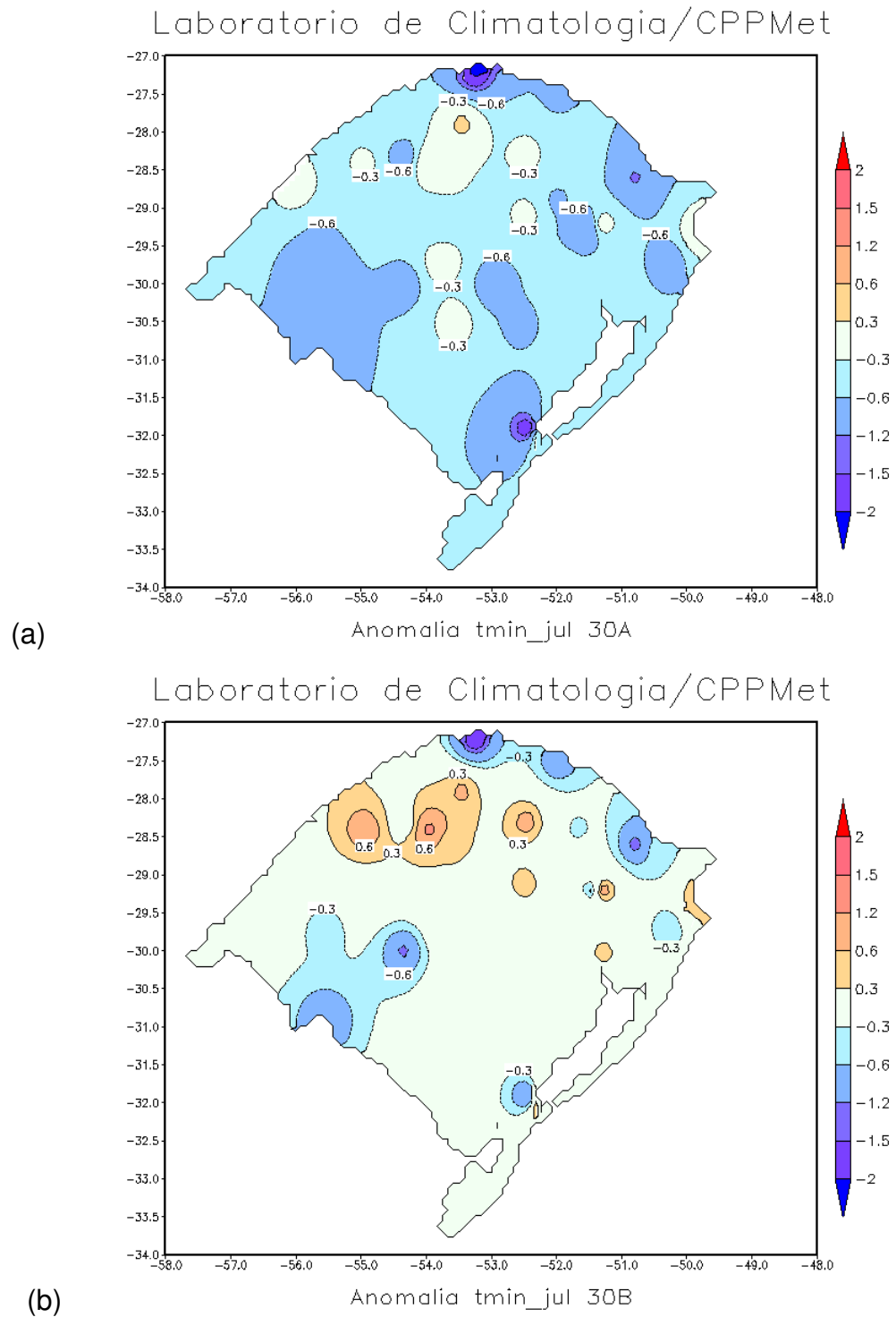


Figura 12. Erros absolutos entre as temperaturas mínimas médias estimadas e observadas no mês de julho, nos períodos: (a) 30 A(1913-1942) e (b) 0B(1943-1972).

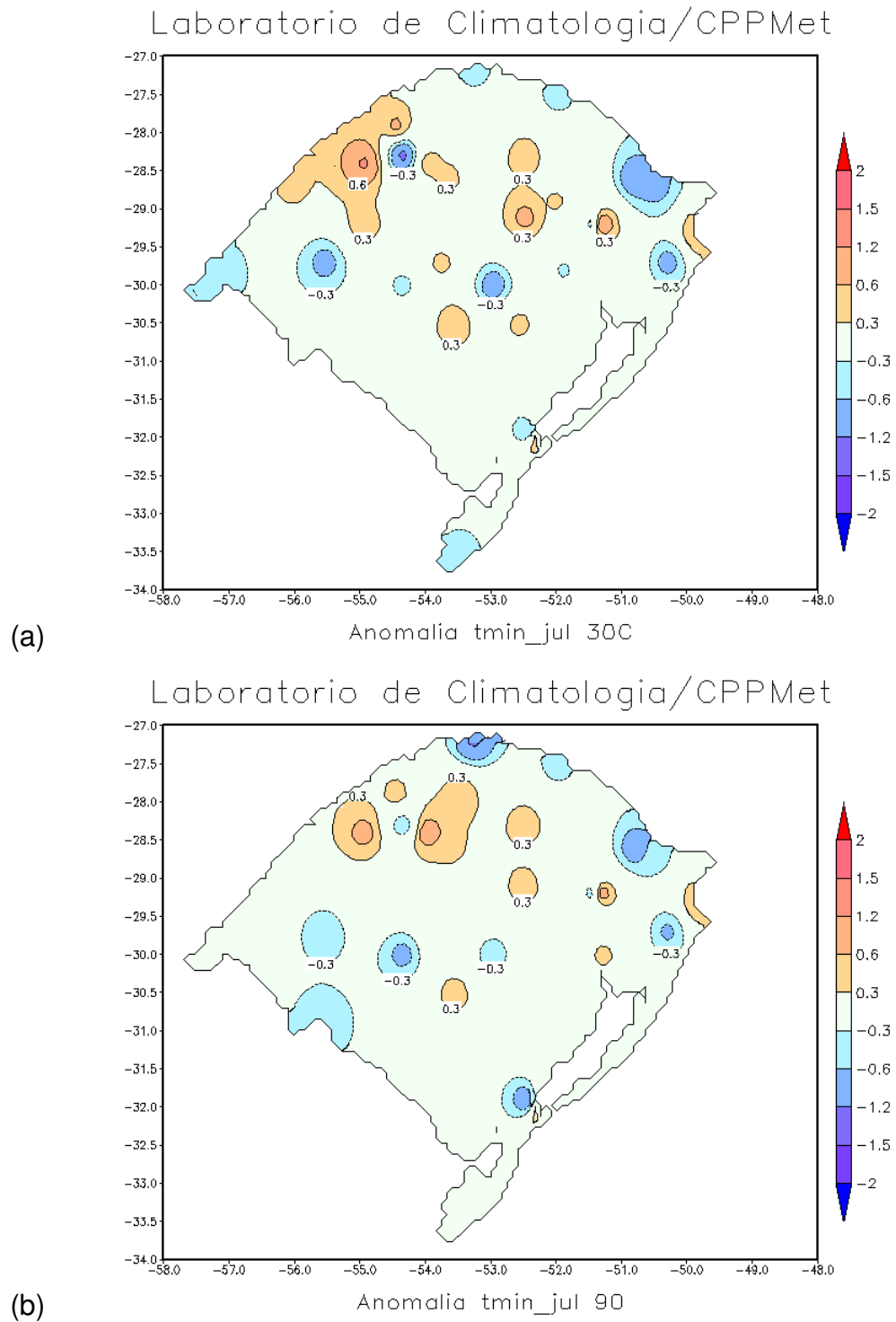


Figura 13. Erros absolutos entre as temperaturas mínimas médias estimadas e observadas no mês de julho, nos períodos: (a) 30C (1973-2002) e (b) 90 (1913-2002).

4.4.2 Temperatura máxima mensal média

Na tabela 7 estão os coeficientes b , c , d e r^2 para as três sub-séries estudadas referentes aos valores das temperaturas máximas mensais médias.

Na figura 14a, identifica-se, para o primeiro trimestre do ano na última sub-série, uma diminuição no valor do coeficiente b . Todos os valores foram positivos confirmando que há uma diminuição na temperatura máxima do ar, de aproximadamente $0,85^\circ\text{C}$ em média, a cada grau de variação na latitude.

Analisando a figura 14b, que apresenta as curvas para o coeficiente c da longitude, nas três sub-séries, verifica-se que todos os valores negativos obtidos apresentam comportamento semelhante na maioria dos meses. Para fevereiro na terceira sub-série, tem-se o coeficiente mais elevado que nas demais, demonstrando que a contribuição da longitude para a temperatura máxima é mais intensa. No mês de junho, as três sub-séries apresentam discrepâncias, indicando um aumento na temperatura máxima mais marcante nos últimos 30 anos.

As variações impingidas à temperatura máxima mensal média, como consequência das alterações da altitude, são menores que as ocorridas com a temperatura mínima mensal média, de acordo com os coeficientes constantes nas tabelas 6 e 7. As equações obtidas, explicam melhor as temperaturas mínimas que as máximas, pois os valores dos coeficientes de determinação apresentaram valores mais elevados nas primeiras.

No período de inverno, na sub série de 1913 até 1942 (30 A), verificou-se uma diminuição de $1,2$ a $2,6^\circ\text{C}$, na temperatura máxima média mensal, a cada 100m de elevação do terreno. Para as sub-séries seguintes as variações na temperatura máxima mensal média foram, respectivamente, $1,2$ a $2,6^\circ\text{C}$ e $1,3$ a $2,8^\circ\text{C}$.

Para o mês de janeiro, é possível identificar nos mapas das figuras 15 e 16, que os erros absolutos de todos os modelos estão bem elevados para as estimativas das temperaturas máximas médias mensais ao mesmo tempo que valores menores dos coeficientes de determinação são apresentados na tabela 7.

No mês de julho os mapas das figuras 17 e 18, apresentam uma grande extensão do território gaúcho submetida a valores pequenos de erros absolutos, sendo que as melhores estimativas para as temperaturas máximas médias mensais poderão ser feitas com o modelo estabelecido no período 1913-2002.

As variações das temperaturas máximas médias mensais em janeiro e julho, para todas as quarenta estações meteorológicas do Estado, estão representadas pelas curvas nas figuras 21 e 22. É possível observar que há uma subestimação acentuada em janeiro em Farroupilha, Guaporé, Ijuí, Santa Cruz e Tapes em todas as sub-séries. Nas estações de Rio Grande e Torres, devido ao efeito da oceanidade, o modelo superestima os valores.

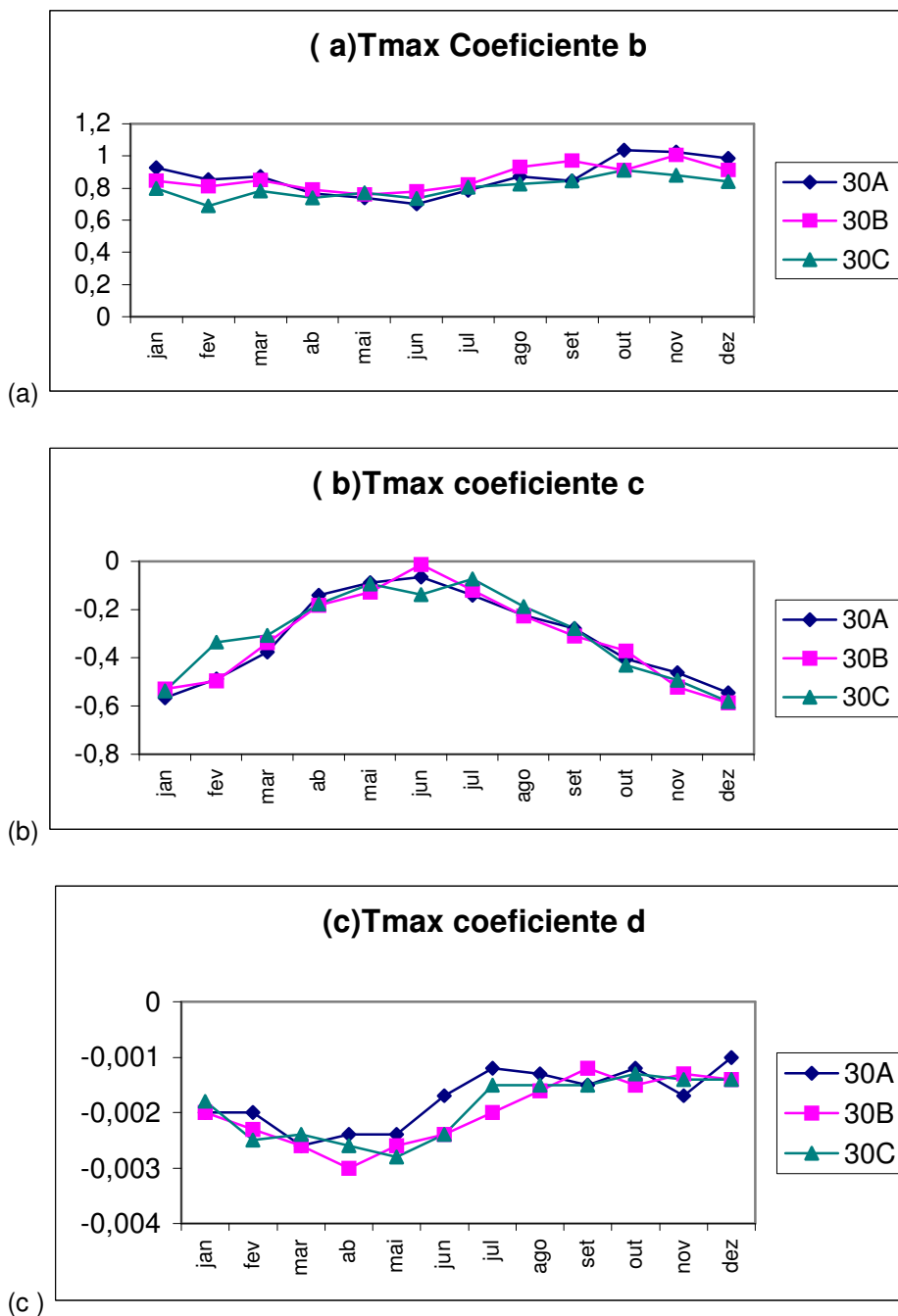


Figura 14 .Curvas de valores de coeficientes das equações de RLM para estimativa das temperaturas máximas médias mensais nos períodos 30 A(1913-1942), 30 B(1943-1972) e 30C(1973-2002).

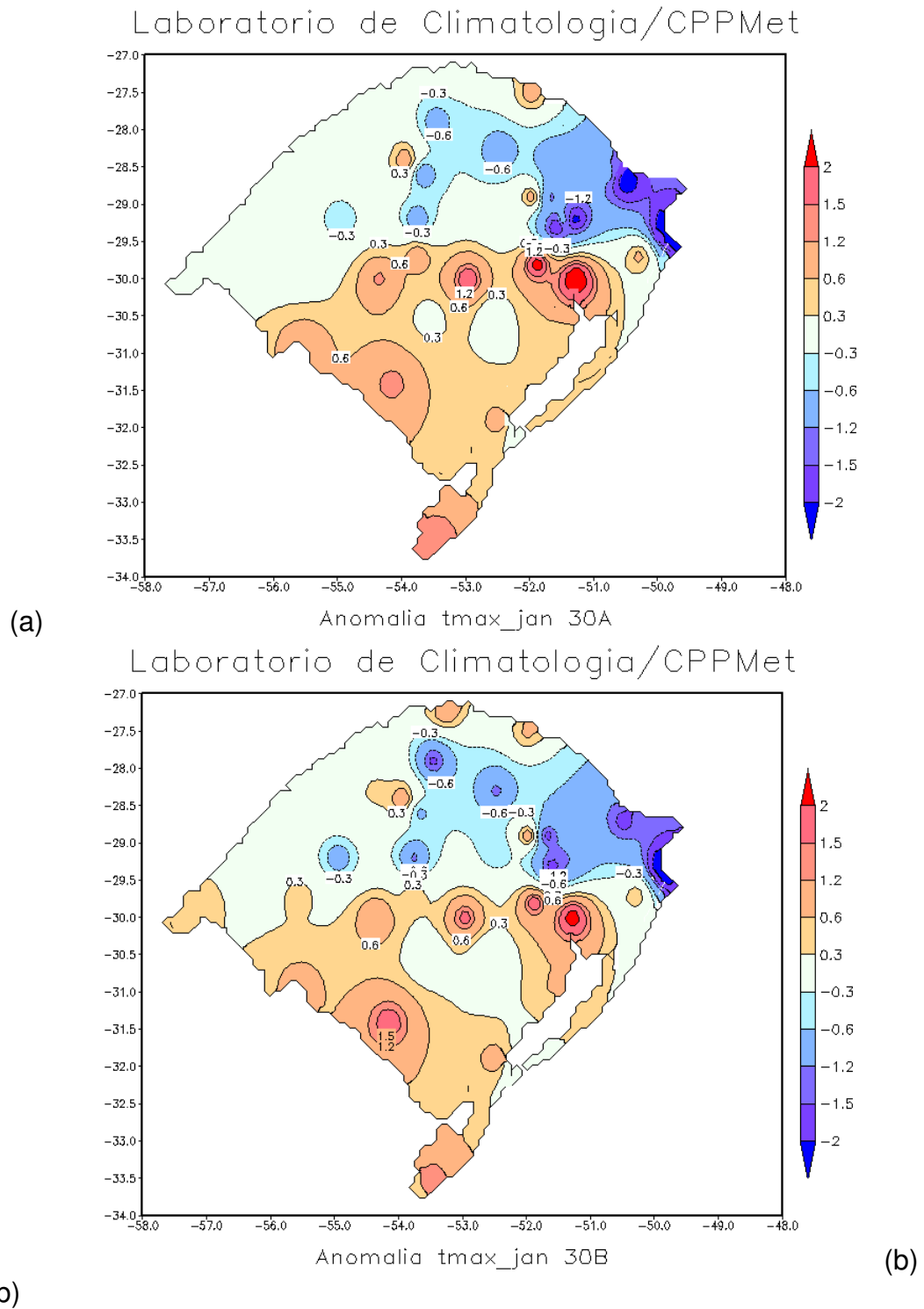


Figura 15. Erros absolutos entre as temperaturas máximas médias estimadas e observadas no mês de janeiro, nos períodos: (a) 30A (1913-1942) e (b) 30B(1943-1972).

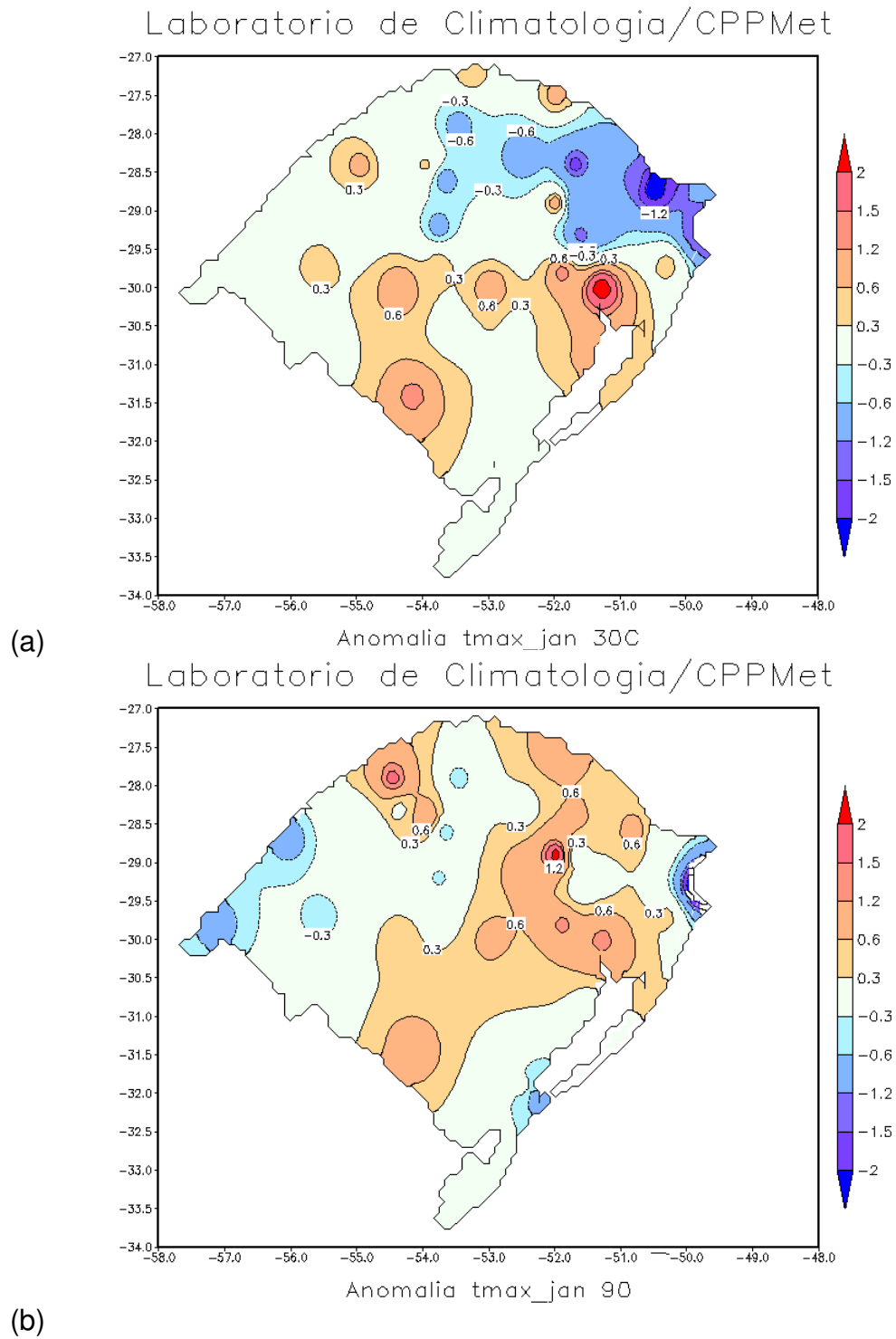


Figura 16. Erros absolutos entre as temperaturas máximas médias estimadas e observadas no mês de janeiro, nos períodos: (a) 30C (1973-2002) e (b)90(1913-2002).

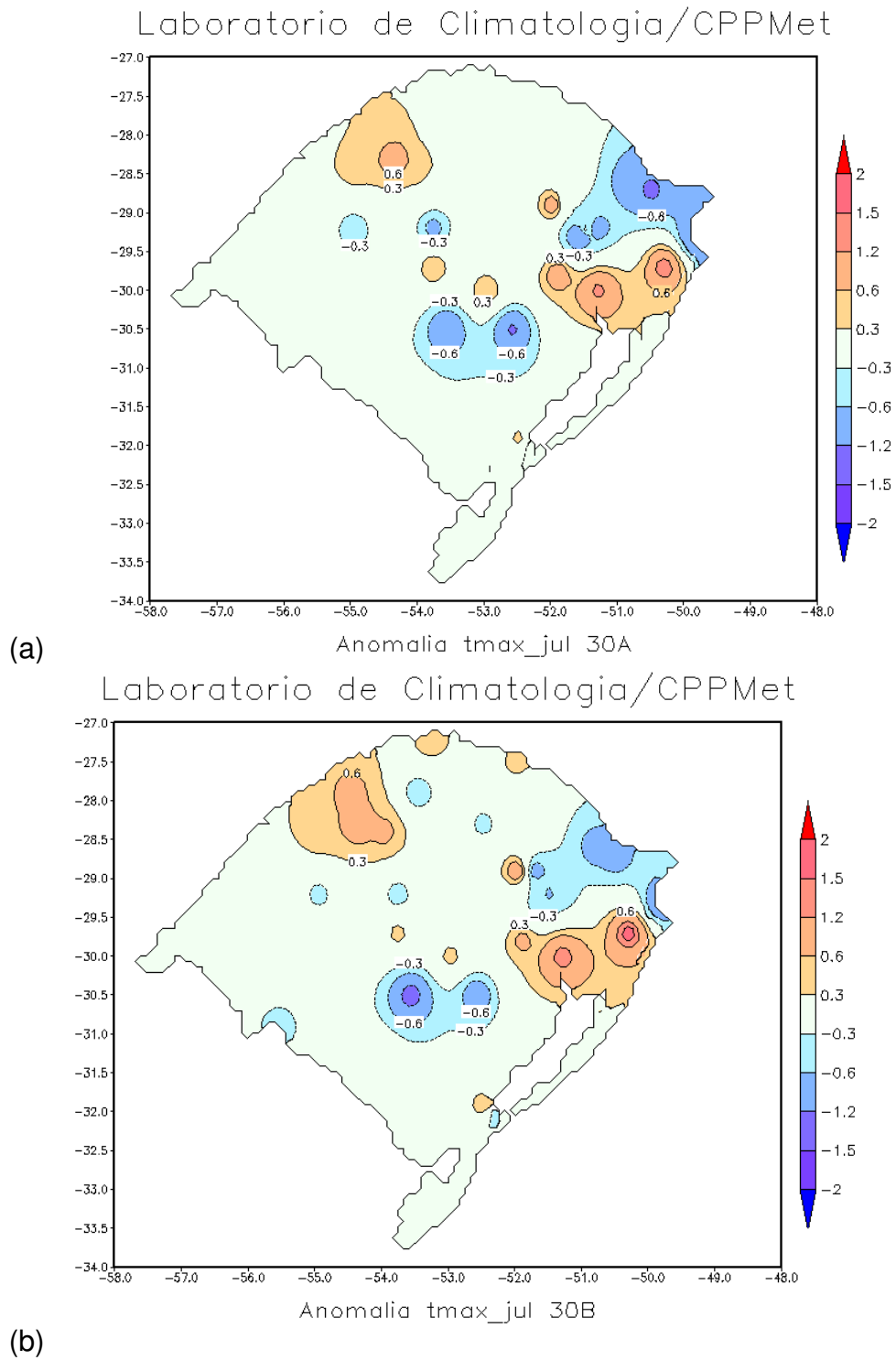


Figura 17. Erros absolutos entre as temperaturas máximas médias estimadas e observadas no mês de julho, nos períodos: (a) 30A (1913-1942) e (b)30B(1943-1972).]

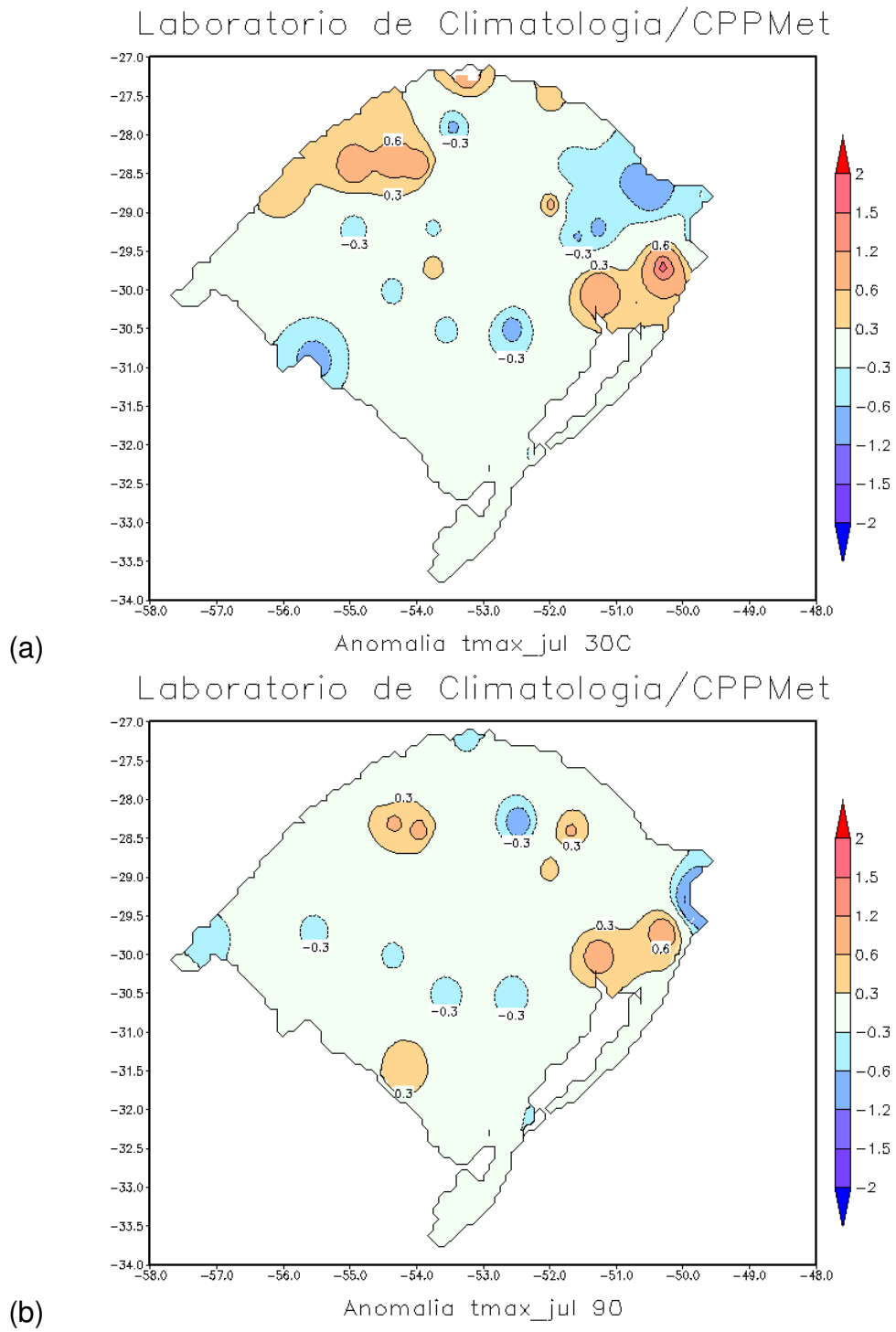


Figura 18. Erros absolutos entre as temperaturas máximas médias estimadas e observadas, para o mês de julho, nos períodos: (a) 30C(1973-2002) e 90(1913-2002).

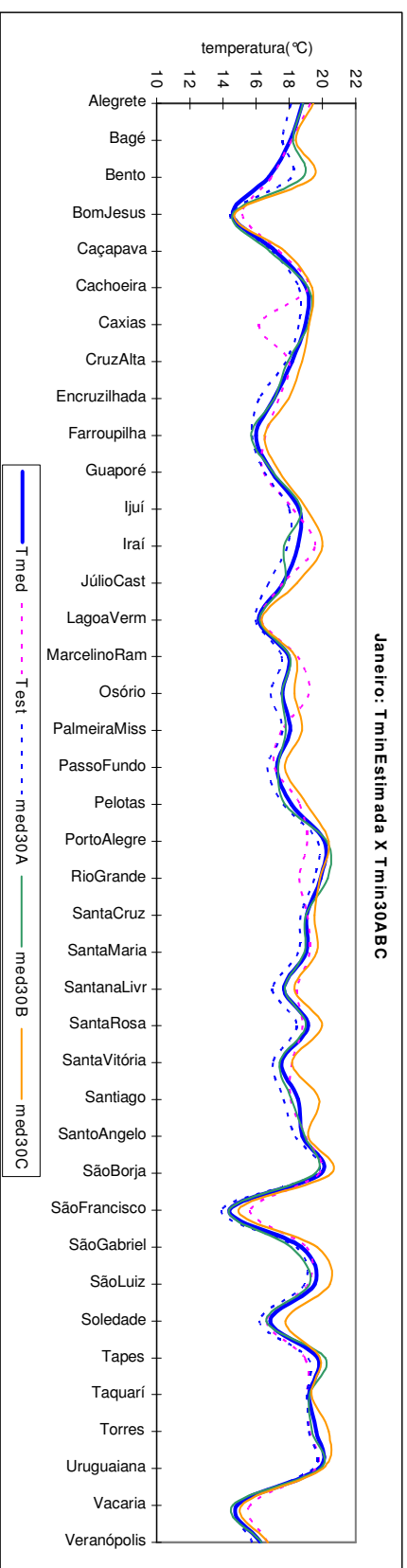


Figura 19. Curvas de temperaturas mínimas médias mensais medidas (1913-2002), estimadas pelo modelo e observadas para janeiro nas sub-séries 30A, B e C.

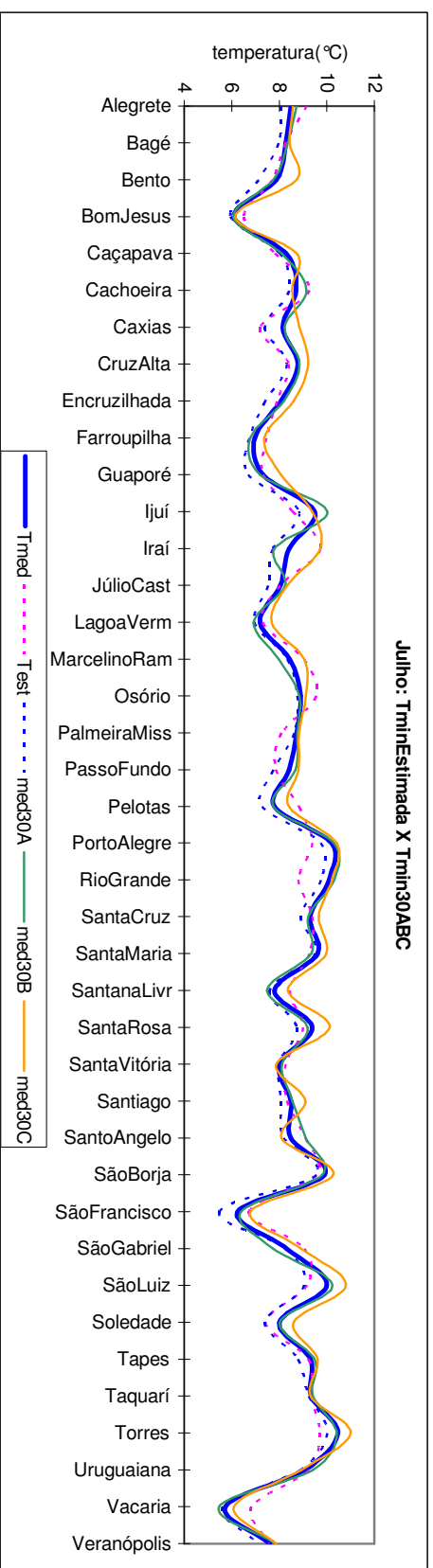


Figura 20. Curvas de temperaturas mínimas médias mensais medidas (1913-2002), estimadas pelo modelo e observadas para julho nas sub-séries 30 A, B e C.

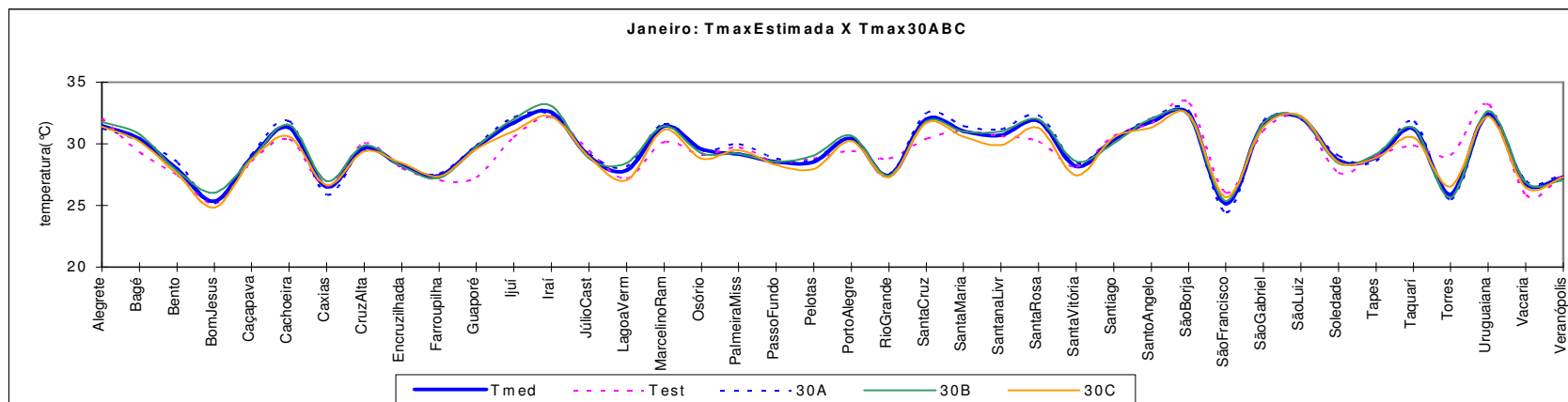


Figura 21. Curvas de temperaturas máximas médias mensais medidas(1913-2002), estimadas pelo modelo e observadas de janeiro nas sub-séries 30 A, B e C.

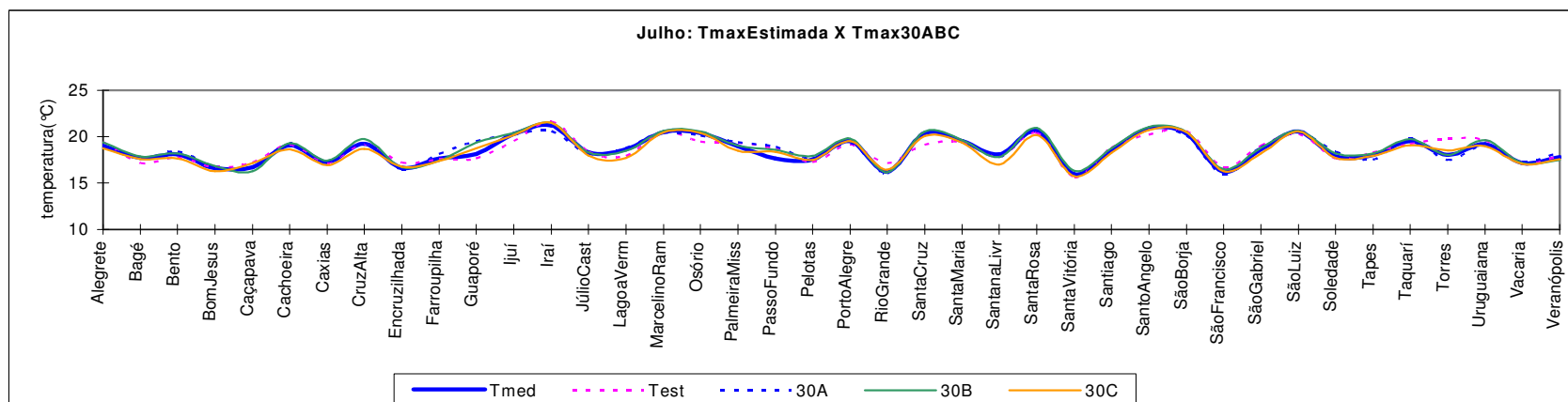


Figura 22. Curvas de temperaturas máximas médias mensais medidas(1913-2002), estimadas pelo modelo e observadas de julho nas sub-séries 30 A, B e C.

5 Conclusões

Os resultados obtidos permitem concluir :

O método de estimativa pela regressão linear múltipla, adotado na pesquisa, indica que os preditores: altitude, latitude e longitude exercem influência, nesta ordem, sobre as temperaturas mínima e máxima médias mensais.

A contribuição do fator latitude é mais intenso na estimativa das temperaturas máximas médias mensais, que sobre as temperaturas mínimas médias mensais.

A longitude é um fator pouco relevante e pode ser considerado negligenciável sobre as temperaturas mínimas médias mensais.

O modelo faz boas estimativas das temperaturas mínimas e máximas médias mensais, com exceção de alguns meses, para algumas estações, nas quais o efeito da oceanidade se manifesta.

Os valores reduzidos dos coeficientes de correlação para as temperaturas máximas nas sub-séries 30 A, 30B e 30 C. indicam que as estimativas mais eficientes devem considerar séries longas de dados.

Os menores erros absolutos na estimativa das temperaturas mínimas e máximas médias mensais, para os meses de janeiro e julho, foram obtidos no período de 1913-2002.

6 Referências Bibliográficas

ALFONSI, R. R; PINTO, H. S; PEDRO JUNIOR, M. J. Estimativa das normais de Temperaturas média mensal e anual do Estado de Goiás(BR) em função de altitude e latitude. São Paulo: Instituto De Geografia USP, 1974. Caderno de Ciências da Terra, n.45.

AZEVEDO, F. G. B., SILVA JUNIOR, A . D., LACERDA, F. F. Estimativa das temperaturas máxima e mínima do ar em Recife-PE. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA,14, 2005. Campinas-PR, **Anais do** Campinas 2005.

BARDSLEY, W. E., MANLY, B. F. J. Regression-Based Estimation of Long-Term Mean and Variance of Wind Speed at Potencial Aerogenerators Sites. **American Meteorological Society**, Feb. p.323-327, 1982.

CAMARGO, M. B. P., BURIOL, O., PEDRO JUNIOR, M. J. Spatial and temporal variability of daily air temperature and precipitation data of the IAC weather station network. São Paulo State, Brazil. **Bragantia**, vol. 64, p. 473-483, 2005.

CARGNELUTTI FILHO, A., MALUF J. R. T., MATZENAUER, R., SOLZ, A . P. Altitude e coordenadas geográficas na estimativa da temperatura mínima média decendial do ar Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 6, p. 893-901, jun. 2006.

CURI, P. R. **Metodologia e Análise da Pesquisa em Ciências Biológicas**. Botucatu: Gráfica Tipomic,1997, 370p.

DEGAETANO, A. T. Recent Trends in Maximum and Minimum Temperature Threshold Exceedences in the Northeastern United States. **Journal of Climate** , v.9, p.1646-1660, 1996.

DINIZ, G. B. **Preditores visando obtenção de um modelo de previsão climática de temperatura máxima e mínima para regiões homogêneas do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre : UFRGS, 2002, 167p. Tese (Doutorado em Fitotecnia, Área de concentração Agrometeorologia) Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Porto Alegre, 2002.

EISCHEID, J. K., BAKER, C. B., KARL, T. R., DIAZ, H. F. The quality of long- term climatological data using objetive data analysis. **Journal of Applied Meteorology**, v. 34, n.12, p. 2787-2795, 1995.

ESTEFANEL, V., BURIOL, G.A., FERREIRA, M., PIGNATARO, I. A .B. Estimativa das médias das temperaturas mínimas mensais e anuais do Estado de Santa Catarina. **Revista Centro Ciências Rurais** , v. 4, n. 3, p. 195-216, 1974.

FERREIRA, M., BURIOL, G. A., ESTEFANEL, V., PINTO, H. S. Estimativa das temperaturas médias mensais e anuais do Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Centro Ciências Rurais**, v. 1, n. 4, p. 21-52, 1971.

GALVANI, E., KLOSOWSKI, E. S., ESCOBEDO, J. F., CUNHA, A. R. Modelo de estimativa da temperatura mínima do ar em Maringá-PR. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 8, n. 1, p. 65, 2000.

GARCIA, B. I. L., SENTELHAS, P. C. Modelos de estimación de las temperaturas medias de la mínima, máxima e media diaria para la region andina de Venezuela. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 14. Campinas-PR, 2005.

GÓIS, G., OLIVEIRA JUNIOR, J. F., SOUZA, J. L., SILVA, A. S., SANTOS FILHO, M., SILVA P. R. T. Estimativa da temperatura Máxima e Mínima de algumas localidades de Alagoas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 12, Foz do Iguaçu-Pr, 2002.

JESUS, E. S. **Análise mensal da evapotranspiração para o Rio Grande do Sul usando modelo complementar de Morton**. Pelotas: UFPEL, 2004, 77p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia, Área de concentração Meteorologia), Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Faculdade de Meteorologia, Pelotas, 2004.

JONES, P. D., RAPER, S. C. P., WIGLEY, T. M. L. Southern Hemisphere Surface Air Temperature Variations: 1851-1984. **Journal of Climate and Applied Meteorology**, v. 25, p.1213-1224, 1986.

HURRELL, J. W., TRENBERTH, K. E. Satellite versus surface Estimatives of Air Temperature since 1979. **Journal of Climate**, v. 9, p. 2222-2232, 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.

LEFFLER, R. J. Estimating Average Temperatures on Appalachian Summits. **Journal of Applied Meteorology**, v. 20, p. 637-642, 1981.

LIMA, M. G., RIBEIRO, V. Q., Equações de estimativa da temperatura do ar para o estado do Piauí. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 6, n. 2, p. 221-227, 1998.

MARIN, F. R., PANDORFI, H., FERREIRA, A. S. Estimativas das temperaturas máximas e mínimas médias mensais para o Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 13, 2003. Santa Maria-RS. **Anais...**Santa Maria. 2003, p.761.

MARQUES, J. R. Q., STEINMETZ, S., DINIZ, G., SIQUEIRA, O. J. W. DE, WREGE, M. S., HERTER, F., REISSER JÚNIOR, C. Aumento da temperatura mínima do ar no

Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 4. Santa Maria. **Anais...**Santa Maria. Universidade Federal de Santa Maria , 2005. p.224-226.

MOTA, F. S., SIGNORINI, E., ALVES, E. G. P., AGENDES, M.O.Tendência Temporal da temperatura do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.1, n.1, p. 101-103, 1993.

NÍMER, E. **Climatologia do Brasil**. 2ª ed., Rio de Janeiro, IBGE : Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 1989, 421p.

OLIVEIRA NETO, S. N., REIS, G. G., REIS, M. G. F., LEITE, H. G., COSTA, J. M. N. Estimativa da temperatura mínima, média e máxima do território brasileiro entre 16° e 24° latitude sul e 48° e 60° longitude oeste. **Engenharia na Agricultura**, v. 10, n. 1-4, ,jan./dez., 2002.

PEDRO JUNIOR, M. J., MELLO, M .H., ORTOLANI, A .A .,ALFONSI, R. R., SENTELHAS, P. C. Estimativa das Temperaturas Médias Mensais Máximas e das Mínimas para o Estado de São Paulo. **Boletim Técnico Instituto Agrônomo**. Campinas, SP, n.142, 1991.

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

RIO GRANDE DO SUL.Secretaria da Agricultura e Abastecimento.Centro Nacional de pesquisa do Trigo. **Macrozoneamento Agroecológico e Econômico Do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, CORAG, 1994, 57p.

RIZZI, R., ASSIS, F. N., SILVA, J. B., MENDEZ, M. H., KUHN, P. A., MARTINS, S. R., LAGO, J. C. Estimativa da temperatura do ar com base em fatores geográficos para digitalização de mapas temáticos do Rio Grande do Sul In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10, 1998. Brasília. **Resumos...**

SILVA, J. H. B. C. C., SOUZA, F. A . S., CAVALCANTI, P., SOUZA, E. P., DANTAS, R.T. Modelo de estimativa da temperatura do ar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 13, 2003, Santa Maria. **Anais...**Santa Maria, R.S. 2003, p.751.

SOUZA, R. R., FREITAS, V. V., GONÇALVES, J.B.S. et al. Oscilações diurnas nas temperaturas máximas e mínimas em julho em Jataí, GO. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 13, 2003, Santa Maria. **Anais...**Santa Maria R.S. 2003. p. 96.

STEINMETZ, S., SIQUEIRA, O J. W. de, WREGE, M. S., HERTER, F. G., REISSER, JÚNIOR, C. Aumento da temperatura mínima do ar na região de Pelotas, sua relação com o aquecimento global e possíveis conseqüências para o arroz irrigado no Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 4. Santa Maria. **Anais**. Santa Maria. Universidade Federal de Santa Maria, 2005.p247-250.

VALADARES, G. S., MARIN, F. R., OSHIRO, O. T., GUIMARÃES, M. Uso de Imagens de Radar na Estimativa da Temperatura do Ar. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento [da] Embrapa, Campinas**, v.3, julho, 2004.

VAREJÃO-SILVA. M. A . **Meteorologia e Climatologia**. Brasília : Instituto Nacional de Meteorologia, 2001, 515p.

VARONE GONÇALVES, F. A ., PRESTES, S. D., NEDEL, A. Análise das anomalias de temperatura máxima média mensal do Rio Grande do Sul entre os períodos de 1941-70 e 1971-2000. In: CONGRESSO BRASILEIRO De AGROMETEOROLOGIA, 13, 2003, Santa Maria. **Anais...**Santa Maria R.S., 2003. p. 1139-1140.

Apêndices

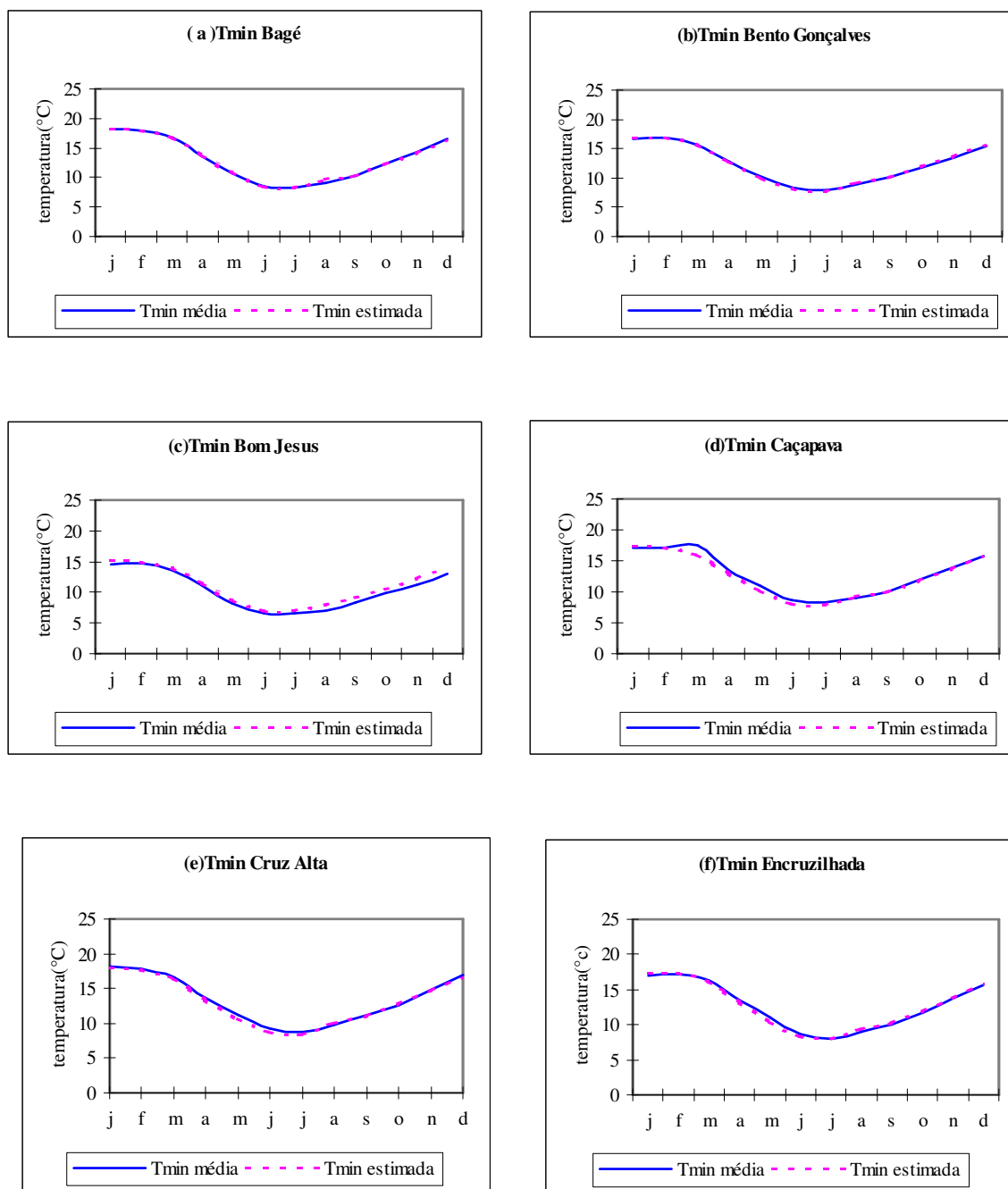


FIGURA 23. Curvas de temperaturas mínimas mensais médias medidas de 1913-2002 ($T_{min}média$) e mensais estimadas ($T_{min}estimada$) para: (a) Bagé, (b) Bento Gonçalves, (c) Bom Jesus, (d) Caçapava, (e) Cruz Alta e (f) Encruzilhada.

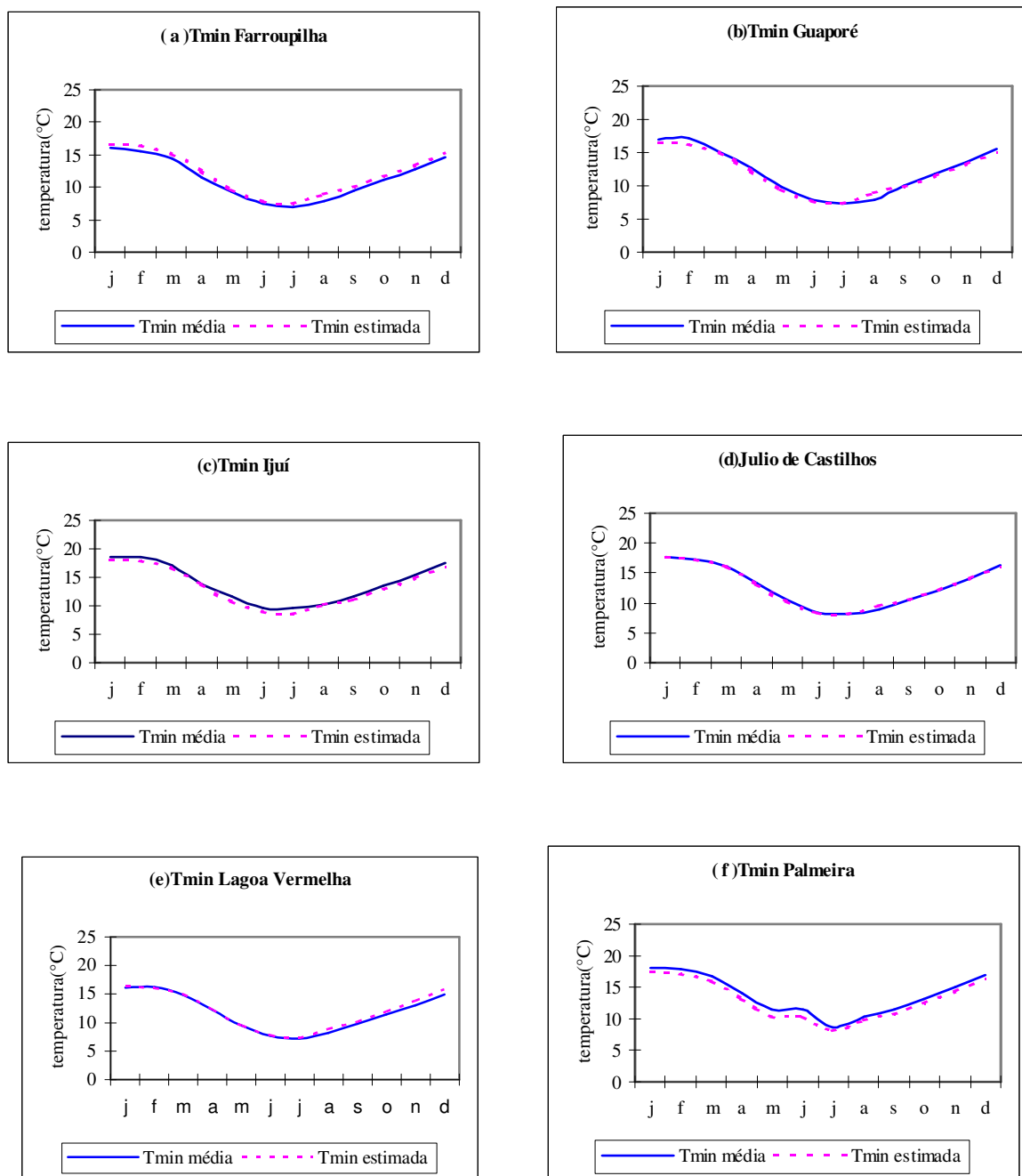


FIGURA 24. Curvas de temperaturas mínimas mensais médias medidas de 1913-2002 (Tmin média) e mensais estimadas (Tmin estimada) para: (a) Farroupilha, (b) Guaporé, (c) Ijuí, (d) Julio de Castilhos, (e) Lagoa Vermelha e (f) Palmeira.

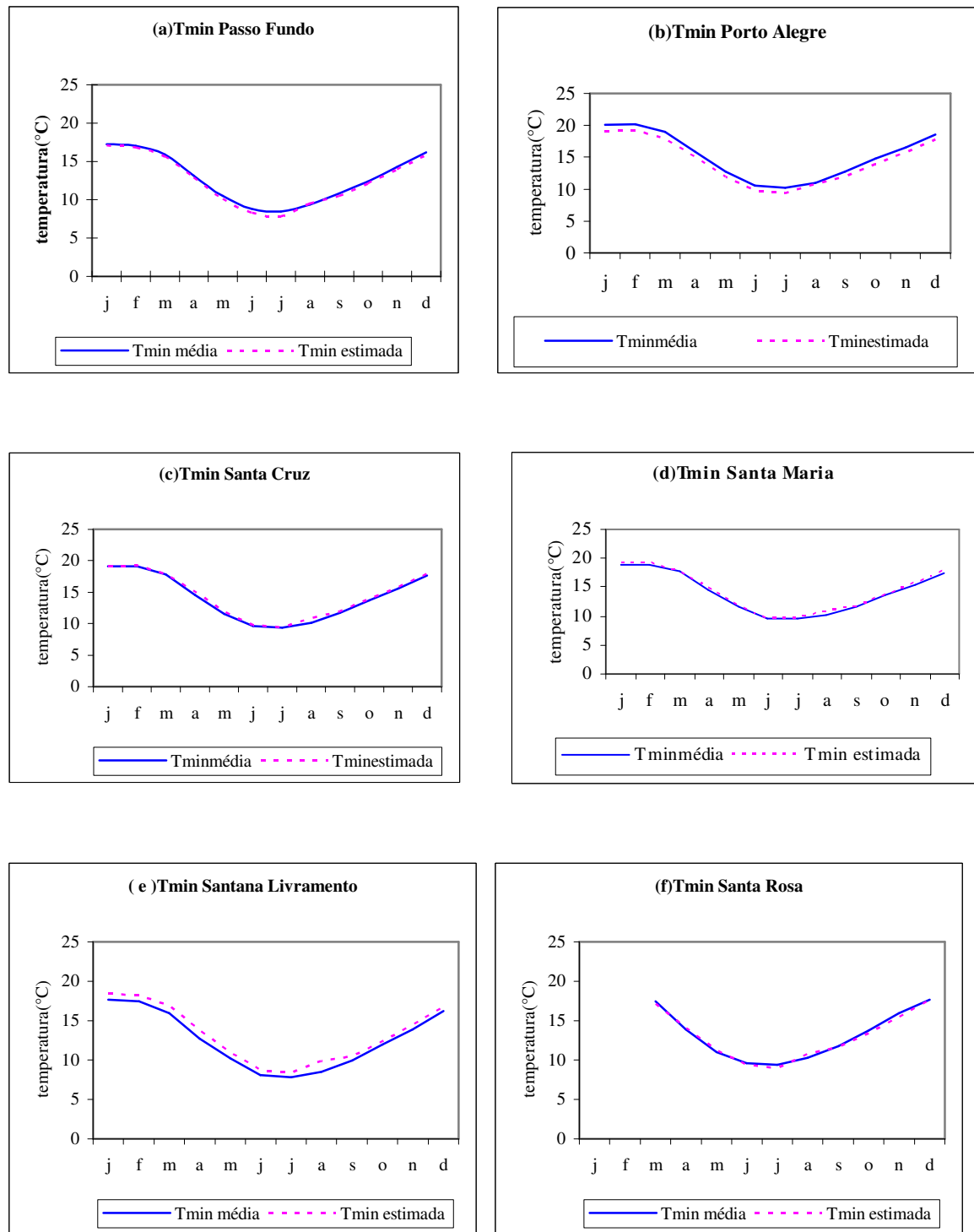


FIGURA 25. Curvas de temperaturas mínimas mensais médias medidas de 1913-2002(Tmin média) e mensais estimadas(Tmin estimada) para: (a) Passo Fundo, (b) Porto Alegre, (c) Santa Cruz, (d) Santa Maria, (e) Santana Livramento e (f) Santa Rosa.

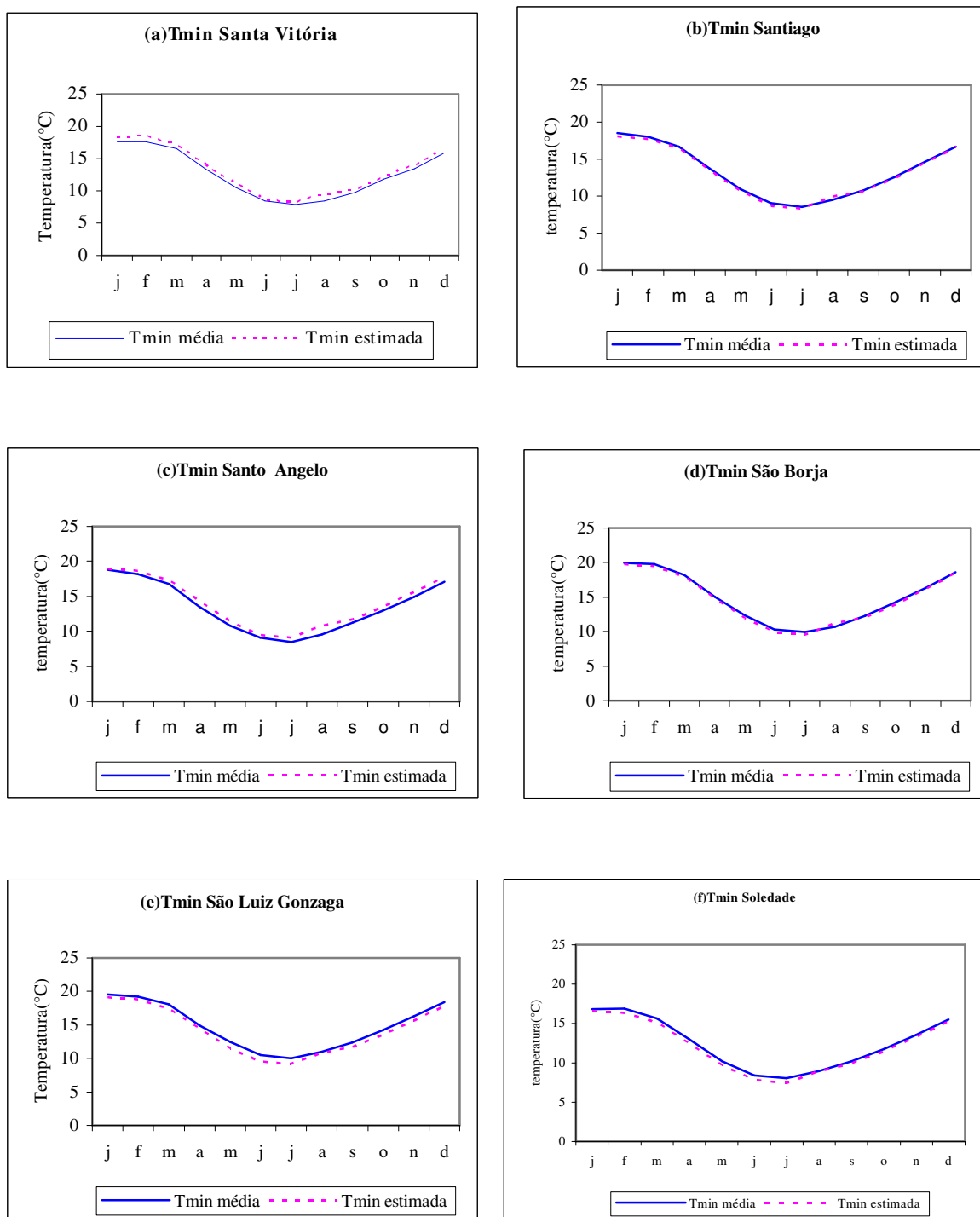


FIGURA 26. Curvas de temperaturas mínimas mensais médias medidas de 1913-2002 (Tmin média) e mensais estimadas (Tmin estimada) para: (a) Santa Vitória, (b) Santiago, (c) Santo Ângelo, (d) São Borja, (e) São Luiz Gonzaga e (f) Soledade.

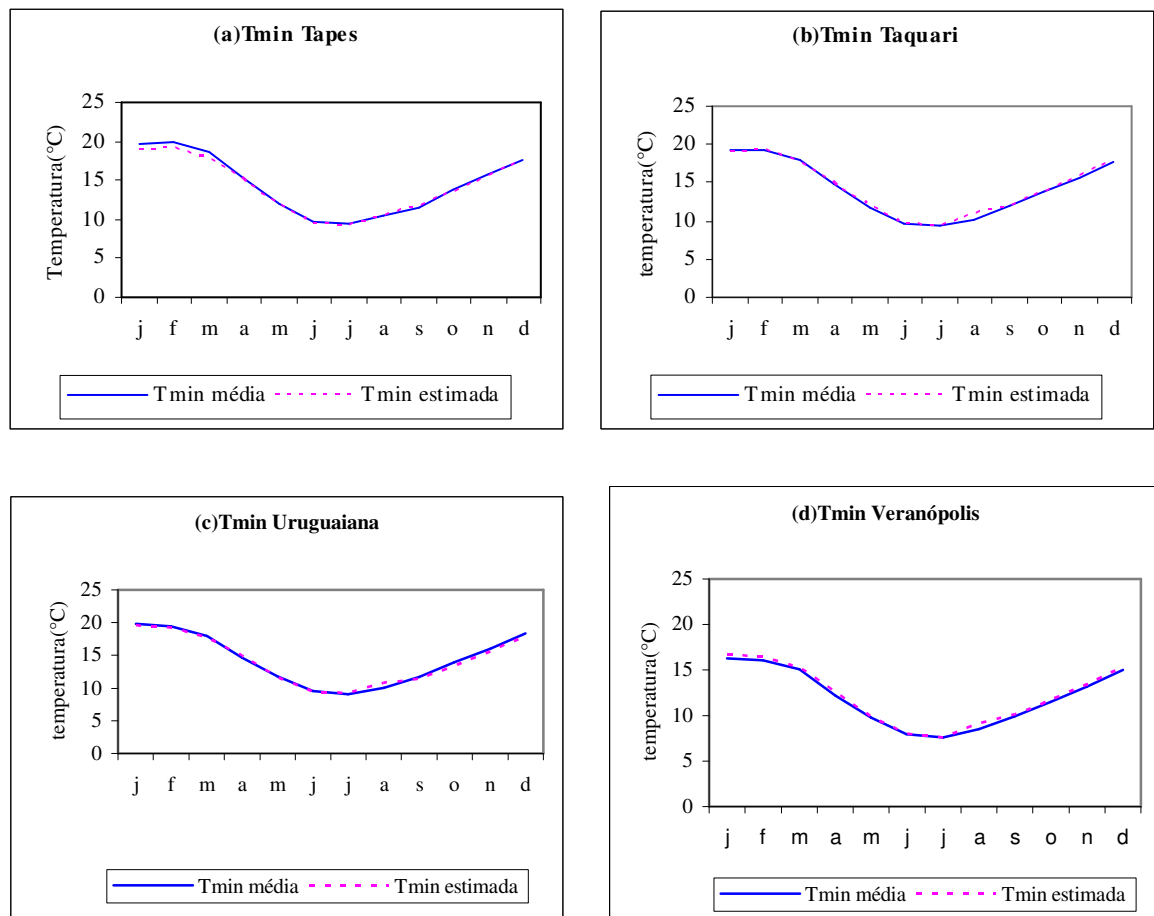


FIGURA 27. Curvas de temperaturas mínimas mensais médias medidas DE 1913-2002 (Tminmédia) e mensais estimadas (Tminestimada) para: (a) Tapes, (b) Taquari, (c) Uruguiana e (d) Veranópolis.

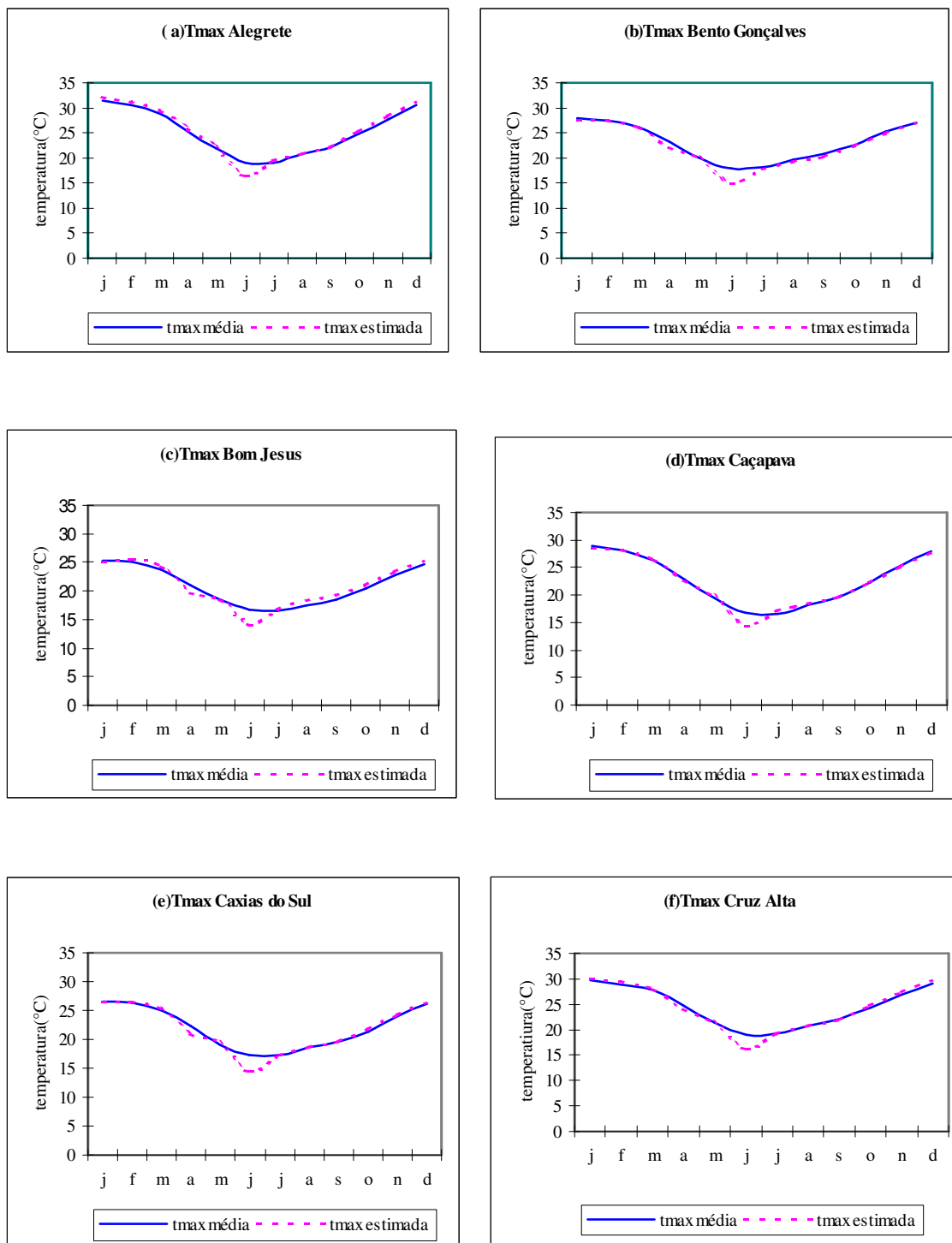


FIGURA 28. Curvas de temperaturas máximas mensais médias medidas de 1913 a 2002 ($t_{maxm\acute{e}dia}$) e mensais estimadas ($t_{maxestimada}$) para (a) Alegrete, (b) Bento Gonçalves, (c) Bom Jesus, (d) Caçapava, (e) Caxias do Sul e (f) Cruz Alta.

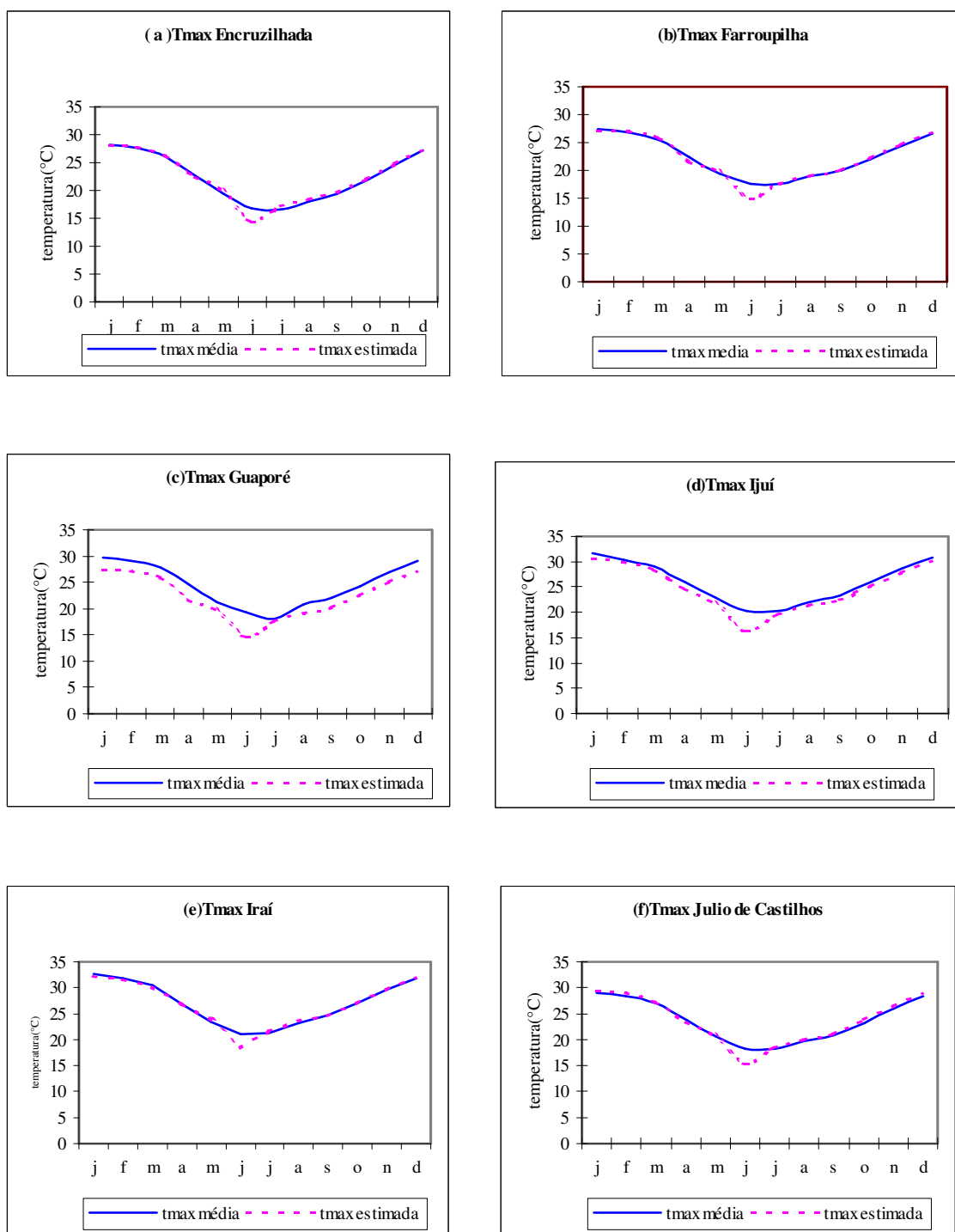


FIGURA 29. Curvas de temperaturas máximas mensais médias medidas de 1013-2002 ($t_{max\text{média}}$) e mensais estimadas ($t_{max\text{estimada}}$) para: (a) Encruzilhada, (b) Farroupilha, (c)Guaporé, (d) Ijuí, (e)Iraí e (f) Julio de Castilhos.

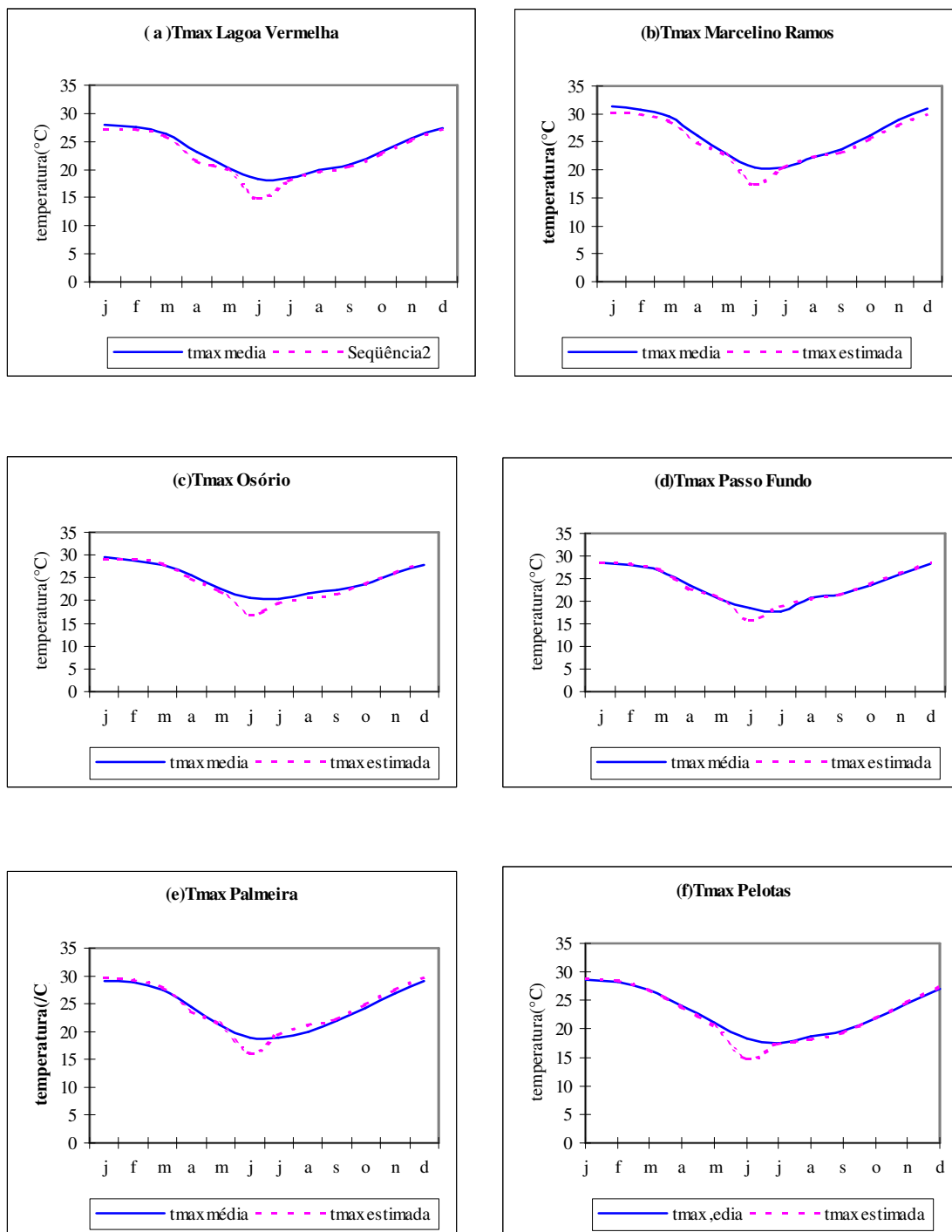


FIGURA 30. Curvas de temperaturas máximas mensais médias medidas de 1913-2002 (t_{max}média) e mensais estimadas (t_{max}est) para (a) Lagoa Vermelha, (b) Marcelino Ramos, (c) Osório, (d) Passo Fundo, (e) Palmeira e (f) Pelotas

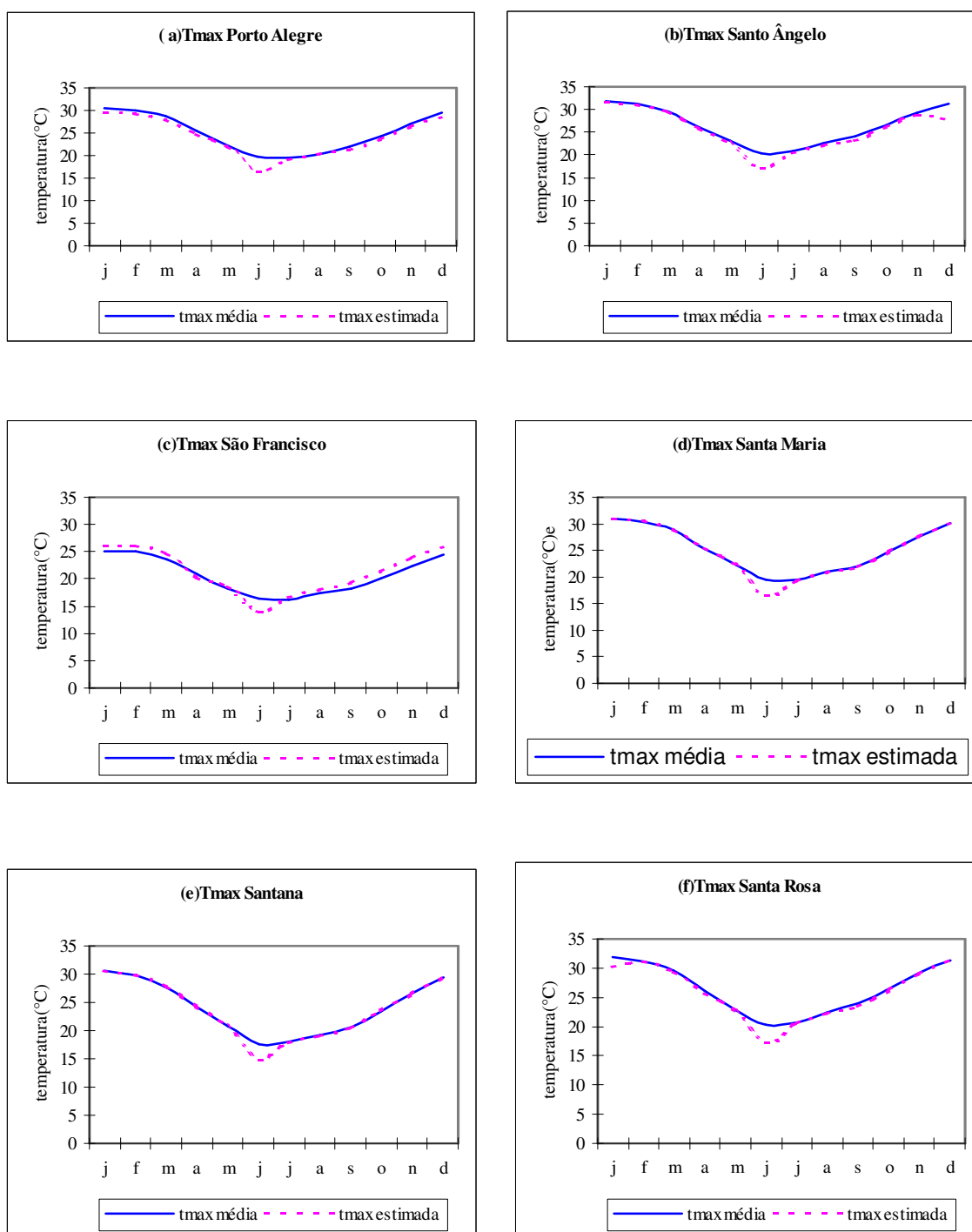


FIGURA 31. Curvas de temperaturas máximas mensais médias medidas de 1913-2002 e mensais estimadas (tmaxestimada) para: (a) Porto Alegre, (b) Santo Ângelo, (c)São Francisco, (d)Santa Maria, (e)Santana e (f) Santa Rosa.

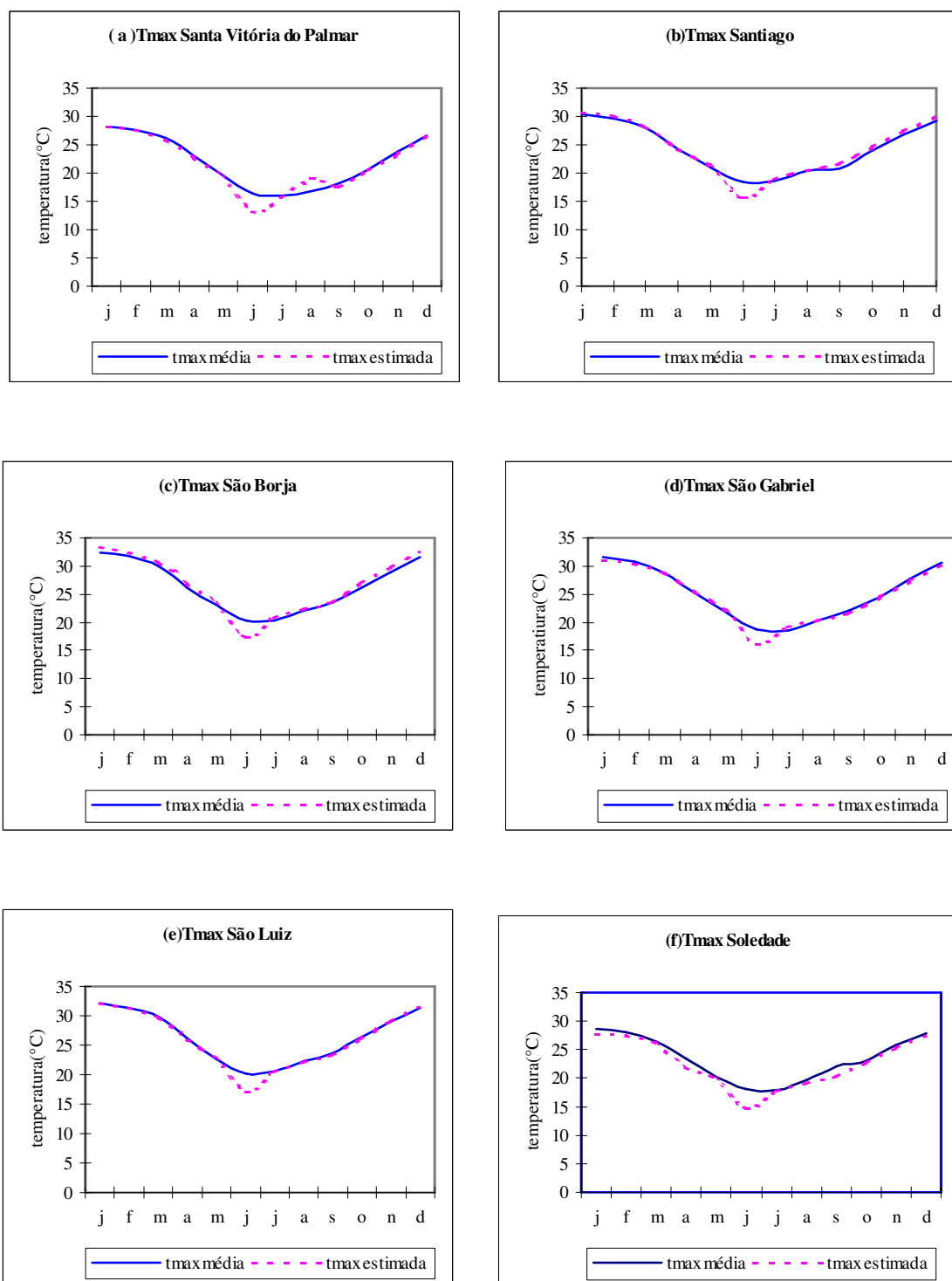


FIGURA 32. Curvas de temperaturas máximas mensais médias medidas de 1913-2002 (t_{max}média) e mensais estimadas (t_{max}estimada) para: (a) Santa Vitória, (b) Santiago, (c)São Borja, (d)São Gabriel, (e)São Luiz e (f) Soledade.

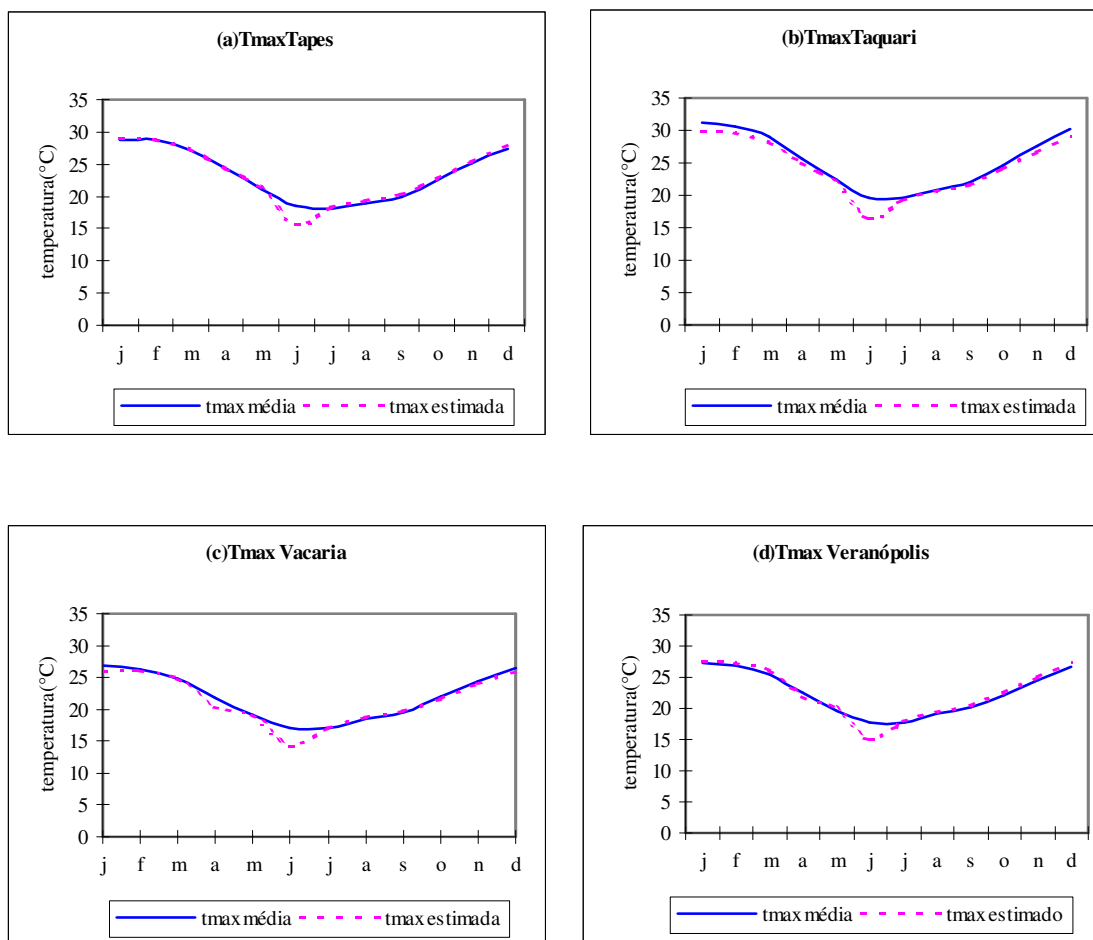


FIGURA 33. Curvas de temperaturas máximas mensais médias medidas de 1913-2002 (tmax média) e mensais estimadas (tmax estimada) para: (a) Tapes, (b) Taquari, (c) Vacaria e (d) Veranópolis.

Tabela 8. Valores de temperaturas mínimas mensais médias observadas (Tminmed) e estimadas (Tminest) no período de 1913 a 2002 para Alegrete, Cachoeira do Sul e Iraí.

	Alegrete		Cachoeira do Sul		Iraí	
	Tminmed	Tminest	Tminmed	Tminest	Tminmed	Tminest
Janeiro	18,8	19,3	19,0	19,1	18,5	19,5
Fevereiro	18,5	19,0	18,7	19,1	18,5	19,4
Março	17,4	17,6	15,5	17,8	17,2	17,9
Abril	13,8	14,5	13,9	14,8	13,8	15,0
Maio	10,9	11,6	11,3	11,8	10,8	12,0
Junho	8,9	9,4	9,1	9,6	9,1	10,2
Julho	8,5	9,1	8,7	9,3	8,4	9,7
Agosto	9,4	10,7	9,8	10,7	9,5	11,5
Setembro	11,0	11,5	11,4	11,7	11,3	12,7
Outubro	12,9	13,4	13,1	13,7	13	14,5
Novembro	14,8	15,5	15,1	15,7	15,1	16,5
Dezembro	17,3	17,8	17,5	17,8	17	18,5

Tabela 9. Valores de temperaturas mínimas mensais médias observadas (Tminmed) e estimadas (Tminest) no período de 1913 a 2002 para São Francisco, São Gabriel e Vacaria.

	São Francisco		São Gabriel		Vacaria	
	Tminmed	Tminest	Tminmed	Tminest	Tminmed	Tminest
Janeiro	14,4	15,6	18,7	19	14,8	15,6
Fevereiro	14,5	15,4	18,6	18,9	14,8	15,4
Março	13,5	14,3	17,1	17,5	13,7	14,1
Abril	10,7	11,7	13,8	14,5	10,5	11,8
Maio	8,2	8,9	10,8	11,5	7,7	9,0
Junho	6,7	7,2	8,8	9,4	6,3	7,2
Julho	6,2	6,7	8,3	9,1	5,7	6,8
Agosto	6,9	8,2	9,4	10,6	6,8	8,4
Setembro	8,3	9,1	11,0	11,4	8,3	9,4
Outubro	9,9	10,7	12,7	13,3	10,0	10,9
Novembro	11,4	12,4	14,9	15,4	11,4	12,6
Dezembro	13,2	14,2	17,2	17,6	13,4	14,3

Tabela 10. Valores de temperaturas máximas mensais médias observadas (Tmaxmed) e estimadas (Tmaxest) no período de 1913 a 2002 para Bagé, Santa Cruz do Sul e Cachoeira do Sul

	Bagé		Santa Cruz do Sul		Cachoeira do Sul	
	Tmaxmed	Tmaxest	Tmaxmed	Tmaxest	Tmaxmed	Tmaxest
Janeiro	30,4	29,3	32,0	30,4	31,3	30,4
Fevereiro	29,5	28,7	31,3	29,2	30,7	29,9
Março	27,7	27,0	29,7	28,0	29,0	28,4
Abril	24,1	23,5	26,1	24,9	25,3	25,2
Maio	20,7	20,2	22,9	22,0	21,8	22,0
Junho	17,8	14,4	20,2	16,4	19,0	16,3
Julho	17,7	17,1	20,4	19,1	19,1	19,1
Agosto	19,2	18,1	21,5	20,3	20,5	20,4
Setembro	20,7	19,6	23,2	21,2	22,0	21,5
Outubro	23,3	22,4	25,8	23,6	24,7	24,2
Novembro	26,3	25,3	28,6	26,2	27,7	26,9
Dezembro	29,2	28,2	30,9	27,9	30,2	29,5

Tabela 11. Valores de temperaturas máximas mensais médias observadas (Tmaxmed) e estimadas (Tmaxest) no período de 1913 a 2002 para Rio Grande, Torres e Uruguaiana.

	Rio Grande		Torres		Uruguaiana	
	Tmaxmed	Tmaxest	Tmaxmed	Tmaxest	Tmaxmed	Tmaxest
Janeiro	27,4	28,8	25,9	29,1	32,4	33,2
Fevereiro	27,2	28,3	26,0	29,1	31,3	32,1
Março	26,0	26,7	25,4	28,1	29,5	30,0
Abril	23,2	23,7	23,7	25,1	25,6	26,5
Maio	20,0	20,5	21,2	22,5	22,2	22,5
Junho	17,0	14,6	19,0	17,1	19,2	16,3
Julho	16,2	17,2	18,0	19,8	19,2	16,3
Agosto	17,2	17,9	18,6	21,1	20,9	21,1
Setembro	18,4	19,1	18,9	21,8	20,9	22,6
Outubro	20,7	21,7	20,8	23,9	25,2	26,1
29,2Novembro	23,3	24,5	22,8	26,2	28,3	29,2
Dezembro	25,9	27,2	24,7	28,4	31,2	29,0