

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**VARIABILIDADE DA TEMPERATURA ATMOSFÉRICA SUPERFICIAL NO PLANALTO
MERIDIONAL-RIOGRANDENSE**

Angélica Kuinchtner

**ORIENTADOR: Prof. Dr. Jefferson Cardia Simões
CO-ORIENTADOR: Prof. Dr. Galileo Adeli Buriol**

Porto Alegre, 2006.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

**VARIABILIDADE DA TEMPERATURA ATMOSFÉRICA SUPERFICIAL NO PLANALTO
MERIDIONAL-RIOGRANDENSE**

Angélica Kuinchtner

Orientador: Prof. Dr. Jefferson Cardia Simões (UFRGS)

Co-orientador: Prf. Dr. Galileo Adeli Buriol (UFSM)

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Luís Alberto Basso (UFRGS)

Prof. Dr^a Nina Simone Vilaverde Moura Fujimoto (UFRGS)

Dr. Ronaldo Matzenauer (FEPAGRO)

Dissertação de mestrado apresentada
ao Programa de Pós-Graduação em
Geografia como requisito para a
obtenção do título de Mestre em
Geografia

Porto Alegre, 2006.

**A meus pais, com amor e carinho,
por tudo, e inclusive por terem
priorizado, apesar das dificuldades,
a educação de
seus filhos.**

AGRADECIMENTOS

Universidade Federal do Rio Grande Sul (UFRGS), instituição pública, gratuita e de qualidade.

o 8º Distrito de Meteorologia/Porto Alegre-RS, em especial ao coordenador da instituição Solismar D. Prestes e a Égidelisa L. Canan pela atenção no fornecimento dos dados para a realização desta pesquisa.

Ao Professor Dr. Jefferson Cardia Simões, pela orientação, convívio e amizade.

A toda a equipe que atualmente representa o Núcleo de Pesquisas Antárticas e Climáticas (NUPAC) do Departamento de Geografia.

À Maíra pelas orientações na tabulação dos dados e amizade e em especial a Dr^a Rosemary Vieira pela amizade e grande apoio.

Aos colegas e amigos que de certa maneira contribuíram para o desenvolvimento desta pesquisa.

ABSTRACT

This work studies superficial atmospheric temperature variations in the *planalto Meridional-riograndense*, located in the Brazilian south most state, through the analysis of time series composed by data from five meteorological stations: Cruz Alta, Iraí, Lagoa Vermelha, Passo Fundo and São Luiz Gonzaga. The data, obtained from the 8° *Distrito de Meteorologia/Instituto Nacional de Meteorologia*, allowed to study variations in the annual mean (AMT), minimum annual mean (MinAMT), and maximum annual mean (MaxAMT) temperatures for the period 1938-2004. It has also allowed determining variations in the mean annual amplitude (AMA), which corresponds to the difference between the minimum and maximum annual mean temperature. The 1938-2004 normal of MaxAMT, MinAMT, AMT and AMA are, respectively, $25,1 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$, $13,4 \pm 0,6^{\circ}\text{C}$, $18,5 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ e $11,6 \pm 0,7^{\circ}\text{C}$. Trends were determined using the minimum square linear regression technique and cycles by spectral analysis. MinAMT increased ($0,02^{\circ}\text{a}^{-1}$) during the period and shows well defined cycles of 2,3, 4,7 and 11 years. MaxAMT does not have any trend, but does show cycles of 3,3, 3,5, 4,1 and 4,7 years. Similarly, AMT also has only cycles of 4,1 and 4,7 years. On the other hand, the AMA reduction from 1938 onwards ($-0,02^{\circ}\text{C a}^{-1}$), certainly is a product of the MinAMT increase this period. The spectral analysis of the four time series shows the important control of El Niño (4,1 e 4,7 years) and solar cycle (11 years). Results from this study indicate that natural phenomena still predominate as controls of superficial atmospheric temperature variations in *planalto Meridional-riograndense*. On the other hand, the reason for a TAML increase is still unknown and it should be investigated.

RESUMO

Este trabalho estuda a variação da temperatura atmosférica superficial no planalto Meridional-riograndense pelo exame de séries temporais compostas a partir dos dados de cinco estações meteorológicas da região: Cruz Alta, Iraí, Lagoa Vermelha, Passo Fundo e São Luiz Gonzaga. Os dados, coletados junto ao 8º Distrito de Meteorologia/Instituto Nacional de Meteorologia, permitiram o estudo das variações na temperatura média anual (TMA), mínima média anual (TMinMA) e da máxima média anual (TMaxMA) para o período de 1938-2004. Determinou-se também, variações na amplitude média anual (AMA) que conota a diferença entre a temperatura mínima e máxima média anual. Os valores das normais (1938-2004) da TMaxMA, TMinMA, TMA e AMA são, respectivamente, $25,1 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$, $13,4 \pm 0,6^{\circ}\text{C}$, $18,5 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ e $11,6 \pm 0,7^{\circ}\text{C}$. A análise das séries temporais, mediante a aplicação da metodologia de regressão linear dos mínimos quadrados possibilitou a determinação de tendências e análise espectral. Com isso, identificamos tendência ao aumento da TMinMA ($0,02^{\circ}\text{C ano}^{-1}$) e três ciclos bem definidos de 2,3, 4,7 e 11 anos. A TMaxMA não apresenta nenhuma tendência, entretanto apresentou ciclos de 3,3, 3,5, 4,1 e 4,7 anos. Similarmente, a TMA também apresentou apenas ciclos de 4,1 e 4,7 anos. Já a AMA mostra decréscimo na tendência desde 1938 ($-0,02^{\circ}\text{C a}^{-1}$), certamente o produto seja a tendência de aumento da TMinMA ao longo do período, já constatada. Entretanto a análise espectral nos apresentou o controle importante do fenômeno El Niño (4,1 e 4,7 anos) e ao do ciclo solar (11 anos) nas 4 séries temporais. Os resultados obtidos pelo estudo denota que os fenômenos naturais ainda predominam como controles da variabilidade da temperatura atmosférica superficial na região do planalto Meridional-riograndense. Por outro lado, a causa do aumento na TMinMA ainda é desconhecida e deverá ser investigada.

SUMÁRIO

Folha de rosto.....	I
Frontispício.....	II
Dedicatória.....	III
Agradecimentos.....	IV
Resumo.....	V
Abstract.....	VI
Sumário.....	VII
Lista de Figuras.....	XI
Lista de Tabelas.....	XIII
Lista de Abreviaturas.....	XIV

Capítulo 1- INTRODUÇÃO

1.1- Introdução.....	1
1.2- Objetivos.....	2
1.2.1- Objetivo Geral.....	2
1.2.2- Objetivos específicos.....	2
1.3- Justificativa.....	3
1.4- Localização da área de estudo.....	4
1.5- Características físicas gerais da área de estudo.....	4
1.6- Escolha das estações meteorológicas para o estudo.....	6
1.7- Localização e descrição detalhada dos sítios das estações meteorológicas.....	6
1.7.1- Localização e características da estação meteorológica de Cruz Alta.....	7
1.7.2- Localização e características da estação meteorológica de Passo Fundo.....	8
1.7.3- Localização e características da estação meteorológica de Irai.....	9
1.7.4- Localização e características da estação meteorológica de São Luiz Gonzaga.....	11

1.7.5- Localização e características da estação meteorológica de Lagoa Vermelha.....	12
1.8- Descrição dos equipamentos, reinstalação de algumas estações e precisão dos dados.....	12

<p>Capítulo 2- O CLIMA DO PLANALTO MERIDIONAL RIOGRANDENSE NO CONTEXTO SUL-AMERICANO</p>

2.1- Introdução.....	15
2.2- Características climáticas gerais da América do Sul.....	15
2.2.1- Circulação Geral da América do Sul.....	15
2.2.2- Distribuição da temperatura atmosférica e precipitação.....	18
2.2.3- Massas de ar e suas correntes perturbadoras atuantes no sul do Brasil.....	19
2.3- Características gerais e variabilidade do clima no estado do Rio Grande do Sul.....	21
2.3.1- Circulação atmosférica no Rio Grande do Sul.....	21
2.4- Variabilidade da temperatura atmosférica ao longo do tempo.....	24
2.5- Os últimos 140 anos: o aquecimento global recente.....	25

<p>Capítulo 3- METODOLOGIA</p>

3- Introdução.....	27
3.1- Fonte de dados.....	27
3.2- Problemas com os dados originais.....	28
3.3- Preenchimento de falhas nos dados das estações meteorológicas.....	28
3.4- Montagem da série temporal média para a região de estudo.....	33
3.5 - Análise de Séries Temporais.....	34

3.5.1- Determinação de tendências e medidas de correlações nas séries temporais finais.	34
3.5.2- Determinação de ciclos na série temporal final (análise espectral).....	35

Capítulo 4- RESULTADOS

4- Introdução.....	38
4.1- Dados de temperatura.....	38
4.2- Análise da série temporal de temperatura máxima média anual (TMaxMA).....	39
4.3- Análise da série temporal de temperatura mínima média anual (TMinMA).....	40
4.4- Análise da série temporal de temperatura média anual (TMA).....	42
4.5- Análise da série temporal da amplitude média anual (AMA).....	44

Capítulo 5- DISCUSSÃO

5- Introdução.....	47
5.1- Comportamento da série temporal temperatura máxima média anual (TMaxMA).....	47
5.2- Comportamento da série temporal temperatura mínima média anual (TMinMA).....	48
5.3- Comportamento da série temporal temperatura média anual (TMA).....	48
5.4- Comportamento da amplitude média anual (AMA).....	50

Capítulo 6- CONCLUSÕES

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

Anexo I- Reconstituição da série temporal.

Anexo II- Subrotina para cálculo das falhas.

Anexo III- Temperatura máxima média anual para a região de estudo.

Anexo IV - Temperatura mínima média anual para a região de estudo

Anexo V- Temperatura média anual para a região de estudo.

Anexo VI - Amplitude média anual para a região de estudo.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Localização das estações meteorológicas na área de estudo.....	5
Figura 2- Localização dos 5 municípios no planalto Meridional-riograndense, onde estão as estações meteorológicas usadas neste estudo.....	7
Figura 3- Imagem parcial da estação meteorológica de Cruz Alta (28°38'S e 53°23'W).....	8
Figura 4- Imagem parcial da estação meteorológica de Passo Fundo (28°13'S e 52°24'W).....	9
Figura 5- Imagem parcial da estação meteorológica de Iraí (27°11'S e 53°14'W).....	10
Figura 6- Imagem parcial da estação meteorológica de Iraí (27°11'S e 53°14'W).....	10
Figura 7- Imagem parcial da estação meteorológica de São Luiz Gonzaga (28°24'S e 53°55'W).....	11
Figura 8- Imagem parcial da estação meteorológica de São Luiz Gonzaga (28°24'S e 53°55'W).....	12
Figura 9- Imagem parcial da estação meteorológica de Lagoa Vermelha (28°13'S e 51°3'W).....	13
Figura 10- Imagem parcial da estação meteorológica de Lagoa Vermelha (28°13'S e 51°31'W).....	14
Figura 11- Sistema de circulação geral atmosférica da América do Sul.....	18
Figura 12- Massas de ar sobre a América do Sul.....	20
Figura 13- Anomalias da temperatura média anual global, período 1850-2005.....	26
Figura 14- Gráfico da temperatura máxima média anual (TMaxMA) para o planalto Meridional-riograndense.....	39

Figura 15- Gráfico da densidade espectral da temperatura máxima média anual (TMaxMA) para o planalto Meridional-riograndense	40
Figura 16- Gráfico da temperatura mínima média anual (TMinMA) para o planalto Meridional-riograndense.....	41
Figura 17- Gráfico da densidade espectral da temperatura mínima média anual (TMinMA) para o planalto Meridional-riograndense.....	42
Figura 18- Gráfico da temperatura média anual (TMA) para a o planalto Meridional-riograndense.....	43
Figura 19- Gráfico da densidade espectral da temperatura média anual (TMA) para o planalto Meridional-riograndense.....	43
Figura 20- Gráfico da amplitude média anual (AMA) para a o planalto Meridional-riograndense.....	44
Figura 21- Gráfico da densidade espectral da amplitude média anual (AMA) para o planalto Meridional-riograndense.....	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Estações meteorológicas utilizadas neste estudo.....	4
Tabela 2- Falhas na série temporal da estação meteorológica de Cruz Alta.....	29
Tabela 3- Falhas na série temporal da estação meteorológica de Irai.....	30
Tabela 4- Falhas na série temporal da estação meteorológica de Lagoa Vermelha.....	31
Tabela 5- Falhas na série temporal da estação meteorológica de São Luíz Gonzaga.....	31
Tabela 6- Falhas na série temporal da estação meteorológica de Passo Fundo.....	32
Tabela 7- Valores calculados das normais climatológicas para o planalto Meridional- riograndense (1938 a 2004).....	38

LISTA DE ABREVIATURAS

AMA- Amplitude média anual

AS- América do Sul

DISME- Distrito de Meteorologia

EC- Equatorial Continental

FPA- Frente Polar Atlântica

INMET- Instituto Nacional de Meteorologia

IPCC- Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas

mTa- massa Tropical Atlântica

mTc- massa Tropical continental

OMM- Organização Meteorológica Mundial

TMA- Temperatura média anual

TMM- Temperatura mensal média

TMaxMA- Temperatura máxima média anual

TMaxMM- Temperatura máxima média mensal.

TMinMA- Temperatura mínima média anual

TMinMM- Temperatura mínima média mensal

TMM- Temperatura média mensal

ZCIT- Zona de Convergencia Intertropical

ZACAS- Zona de Convergência do Atlântico Sul

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

“As impressões do mundo ambiente deram ao homem a noção de obediência a uma ordem superior, independente da sua vontade, alheia à sua força, indiferente a destreza do seu braço, e maior... muito maior que sua persistência!”.

Donato, 1922.

1.1- Introdução

O tempo e o clima sempre exerceram inquietações sobre o homem, uma vez que a variabilidade destes está diretamente vinculada às atividades humanas, sejam elas agrícolas, turísticas, de transporte ou de vestuário.

Essa dependência fez alguns autores como Pedálaborde (1958) e Sant’Anna (1998) pensarem o clima como uma condicionante que assume o papel de insumo natural nos processos ambientais e econômicos. Consideram a relação entre clima, organização do espaço e grau de dependência para o desenvolvimento econômico e tecnológico para cada sociedade (Sant’Anna, 1998).

A influência do clima no sistema terrestre é determinante no que se refere à ocupação e exploração do espaço. Nesta perspectiva, o clima compreende um sistema extremamente complexo, regido por múltiplas forças que sofrem influência da atmosfera, criosfera, hidrosfera, litosfera e biosfera (Bradley, 1999). Cada parte deste sistema, por sua vez, apresenta uma dinâmica peculiar que contribui para as características climáticas da Terra. Em suma, o clima e o comportamento do tempo, resultam um sistema complexo e interdependente.

O clima, assim definido, é um dos mais importantes componentes do ambiente, pois impulsiona os processos geomorfológicos de formação do solo, crescimento e desenvolvimento das plantas, cobertura vegetal e a distribuição das espécies (Ayoade, 1998). As principais bases da vida desde a ocupação até a exploração do espaço geográfico dependem, portanto, do clima.

Neste contexto, verifica-se que as restrições climáticas não deixam de ser riquezas, que possibilitam a biodiversidade do planeta. Este paradigma só passou a ser considerado após a II Guerra Mundial, momento que o homem percebe sua influência nos processos climáticos de menor escala (micro e local), Sant'Anna (1998).

Em contra partida, as grandes alterações do espaço geográfico foram sendo desencadeadas pelo homem de maneira lenta e gradual ao longo da história, sem que percebesse o real impacto de suas atividades até aproximadamente a década de 1980. As pesquisas atuais confirmam que a temperatura média atmosférica aumentou 0,6°C durante os últimos 140 anos (IPCC, 2001). Por outro lado, se sabe também, que o clima na Terra sempre se mostrou muito dinâmico. O relatório do IPCC (2001) afirma que esta tendência de aquecimento pode estar associada à variabilidade climática natural e ao impacto das atividades humanas.

Esse aquecimento seja natural ou intensificado pelo homem, trará como consequência alterações na frequência de eventos extremos de precipitação, causando, por exemplo, mais situações de seca em algumas regiões do globo, em outras inundações mais frequentes (Dessai, 2001).

Frente a estas questões torna-se importante conhecermos melhor o comportamento do clima do Rio Grande do Sul, especificamente da região do planalto, onde está concentrada a maior produção agrícola do estado.

1.2- Objetivos

1.2.1- Objetivo Geral

Estudar a variação da temperatura atmosférica superficial no planalto Meridional-riograndense pelo exame de séries temporais compostas a partir de dados de cinco estações meteorológicas da região: Cruz Alta, Iraí, Lagoa Vermelha, Passo Fundo e São Luiz Gonzaga.

1.2.2- Objetivos específicos

Para alcançarmos o objetivo proposto deverá ser realizada:

- 1- Análise estatística da série temporal de temperatura média, mínima média e da máxima média anual para a região do planalto Meridional-riograndense

representada pelas três séries compostas por dados das estações citadas acima, no período 1938-2004.

- 2- Analisar a amplitude entre a temperatura mínima e máxima média anual no período 1938-2004.
- 3- Verificar a existência de tendências e ciclos nessas séries, interpretando em termos de variabilidade climática.

1.3- Justificativa

A região de estudo compreende ao planalto Meridional-riograndense¹, citado por Suertegaray e Fujimoto (2004, p. 24). Assim, entendemos que a análise da variabilidade climática da região é essencial para o planejamento agrícola e urbano-ambiental, além de ser uma ferramenta para prognósticos locais. O presente trabalho justifica-se também pela relevância sócio-econômica, pois, a região de estudo concentra a maior parte da produção agrícola do estado (Berlato, 2003).

Sant' Anna (1998) afirma que a análise geográfica do clima voltada para a organização do espaço agrícola deve, necessariamente, considerá-lo como um insumo de produção. Para ele, os elementos do clima devem ser considerados agentes econômicos que intervêm na produção e rentabilidade.

Foram escolhidas as séries das temperaturas média, mínima e máxima mensais para as estações já citadas. De acordo com Pereira (2002) a temperatura atmosférica superficial foi escolhida porque controla a distribuição da vegetação. Controla também, o crescimento e desenvolvimento das plantas, uma vez que, exerce influência nas reações químicas e processos internos de transporte. Esses processos ocorrem de forma adequada somente entre certos limites térmicos. A tolerância aos níveis de temperatura é variável entre as espécies. Plantas de clima tropical são sensíveis ao frio, e aquelas de clima temperado necessitam de um período de baixa temperatura para se reproduzirem bem (Pereira, 2002).

Por exemplo, o aumento da temperatura atmosférica durante o período de inverno poderá comprometer a produção de trigo, aveia e azevém. Essas culturas

¹ *Planalto Meridional-riograndense* ou *Planalto Basáltico* ocupa o centro-norte do Estado do Rio Grande do Sul. Apresenta a NE as maiores altitudes do estado. É limitado por uma escarpa abrupta (escarpa linha de falha Osório-Torres) e outra escarpa de erosão em contato com a Depressão Periférica.

poderão adquirir doenças e pragas como ferrugem reduzindo a produtividade. Já as produções de verão, como o feijão, a soja ou o milho são sensíveis a grandes estiagens (Berlato, 2003). A alteração da temperatura certamente poderá desencadear novo planejamento agrícola onde a produção de alguns alimentos poderá ficar comprometida (Mota, 1993).

1.4- Localização da área de estudo

A área de estudo é a parte central-norte do planalto-riograndense. Compreende uma área aproximadamente de 35.229 km², distribuídos entre 117 municípios. A população total da área é de aproximadamente 1 milhão e 297 mil habitantes (IBGE, 2004). A Tabela 1 e a Figura 1 localizam as estações meteorológicas usadas neste trabalho.

Tabela 1- Estações meteorológicas utilizadas neste estudo. Todas estão no planalto da bacia sedimentar do Paraná no extremo norte do Rio Grande do Sul (Figura 1).

<i>Estações Meteorológicas</i>	<i>Latitude (S)</i>	<i>Longitude (W)</i>	<i>Altitude (m)</i>	<i>Período dos dados meteorológicos</i>
Cruz Alta	28°35'	53°36'	472	1938-2004
Irai	27°11'	53°14'	247	1938-2004
Lagoa Vermelha	28°13'	51°31'	840	1938-2004
Passo Fundo	28°15'	52°24'	684	1938-2004
São Luiz Gonzaga	28°24'	55°01'	245	1938-2004

1.5- Características físicas gerais da área de estudo

Os limites do planalto são marcados pela escarpa da Serra Geral e o rio Uruguai (Rambo, 1956). A região de estudo apresenta-se acidentada à levemente ondulada.

A área localiza-se sobre espessa camada de basalto da formação Serra Geral e arenitos da formação Botucatu, altitudes são superiores a 250 m e o relevo é fortemente dissecado e com patamares (Figura 2). Hidrograficamente, os municípios de Irai, Lagoa Vermelha, Passo Fundo e São Luiz Gonzaga, fazem parte da bacia hidrográfica do Uruguai, já Cruz Alta contribui para a bacia do Uruguai e a do Atlântico. Conforme IBGE (1977) a perenidade dos cursos d'água reflete o clima subtropical que apresenta regime pluviométrico regular durante o ano. As condições do solo e clima na região de Passo Fundo favorecem a formação da floresta ombrófila mista (araucária) com vegetação secundária e atividade agrícola; em Irai

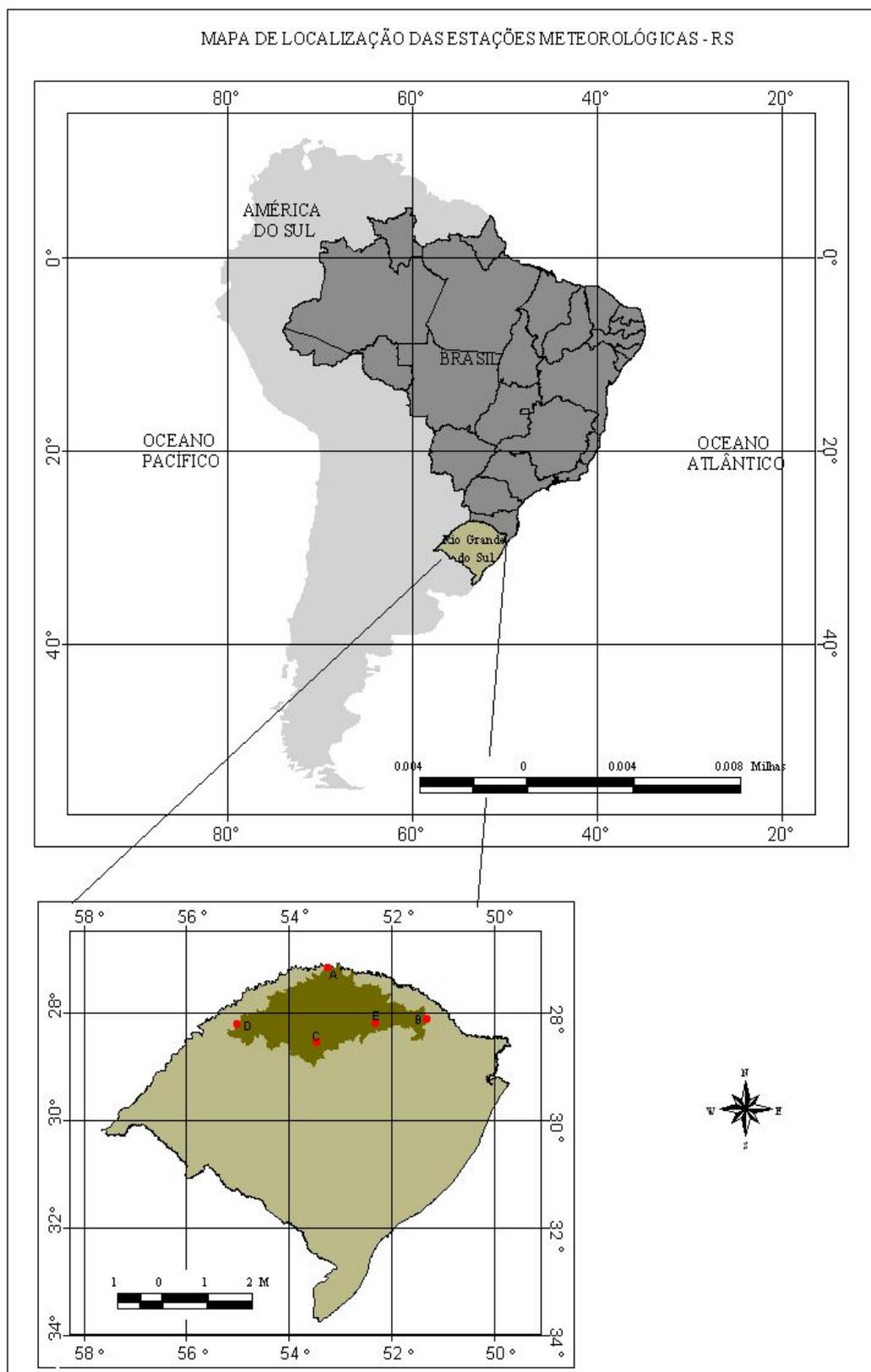


Figura 1- Localização das estações meteorológicas na área de estudo: **A)** Iraí (27°11'S, 53°14'W); **B)** Lagoa Vermelha (28°13'S, 51°31'W); **C)** Cruz Alta (28°35'S, 53°36'W); **D)** São Luiz Gonzaga (28°24'S, 55°01'W); **E)** Passo Fundo (28°15'S, 52°24'W).

aparece à floresta estacional decidual (submontana) caracterizada por vegetação secundária e atividades agrárias; em Cruz Alta, Lagoa Vermelha e São Luiz Gonzaga a vegetação característica é o campo (gramíneo – lenhoso) associado à atividade agrária (IBGE, 1990).

Conforme o IBGE (1990), Passo Fundo, Lagoa Vermelha, São Luiz Gonzaga e Cruz Alta apresentam solos do tipo latossolo, em Irai predomina o cambissolo. A aptidão agrícola para Passo Fundo, Lagoa Vermelha e São Luiz Gonzaga é classificada como “*regular* para cultura” com relevo entre suavemente ondulado e ondulado; Cruz Alta apresenta potencialidade “*restrita* para culturas” e relevo suavemente ondulado, já Irai é “*desaconselhável* para utilização agrícola, podendo ser usado para pastagem natural e silvicultura”, onde o relevo é fortemente ondulado, o que dificulta à mecanização.

1.6- Escolha das estações meteorológicas para o estudo

Para a escolha das cinco estações (Cruz Alta, Irai, Lagoa Vermelha, Passo Fundo e São Luiz Gonzaga) se levou em consideração a localização geográfica da região de estudo, no caso, o Planalto Meridional do estado do Rio Grande do Sul; a homogeneidade do relevo; a cobertura vegetal similar (campo, vegetação secundária e cultivo agrícola); a representatividade econômica e agrícola para o estado. Além disso, foram escolhidas por terem as mais longas e mais completas séries temporais meteorológicas na região.

1.7- Localização e descrição detalhada dos sítios das estações meteorológicas

Os dados de temperatura média anual, temperatura média máxima anual e temperatura mínima anual do período 1938-2004 para as estações utilizadas neste estudo foram obtidos no 8° DISME/INMET (8° Distrito de Meteorologia/Porto Alegre que pertence ao Instituto Nacional de Meteorologia com sede em Brasília); dados estes utilizados na construção das séries temporais. As informações sobre as estações meteorológicas como localização e situação atual também foram obtidas no 8° DISME/INMET. Já os valores médios da precipitação anual, umidade relativa média anual, temperatura máxima anual, mínima anual e média anual para as estações foram obtidos de fontes diferentes. No caso, os dados das estações de Irai, Passo Fundo e São Luiz Gonzaga referem-se as normais do período de

1961-1990 conforme Brasil (1992). Para as estações de Cruz Alta e Lagoa Vermelha os valores médios referem-se ao período de 1931-1960 conforme o Instituto de Pesquisas Agronômicas (1989).

1.7.1- Localização e características da estação meteorológica de Cruz Alta

O município de Cruz Alta tem relevo suave a ondulado. A precipitação média anual da região é 1.800 mm, umidade relativa média anual de 74%, a temperatura média anual é 18,4°C, a máxima média anual 24,6°C e a mínima média anual é 13,3°C (Instituto de Pesquisas Agronômicas, 1989). Conforme a classificação climática de Köppen o clima desta estação é enquadrado como “Cfa” onde a temperatura média do mês mais quente é superior a 22°C, e o “f” significa que não há estação seca. A estação meteorológica localiza-se a 472 m de altitude e próxima ao sítio urbano, esteve no mesmo local (Figura 3) desde sua implantação em 1912 e sempre pertenceu ao 8° DISME/INMET. É do tipo convencional.

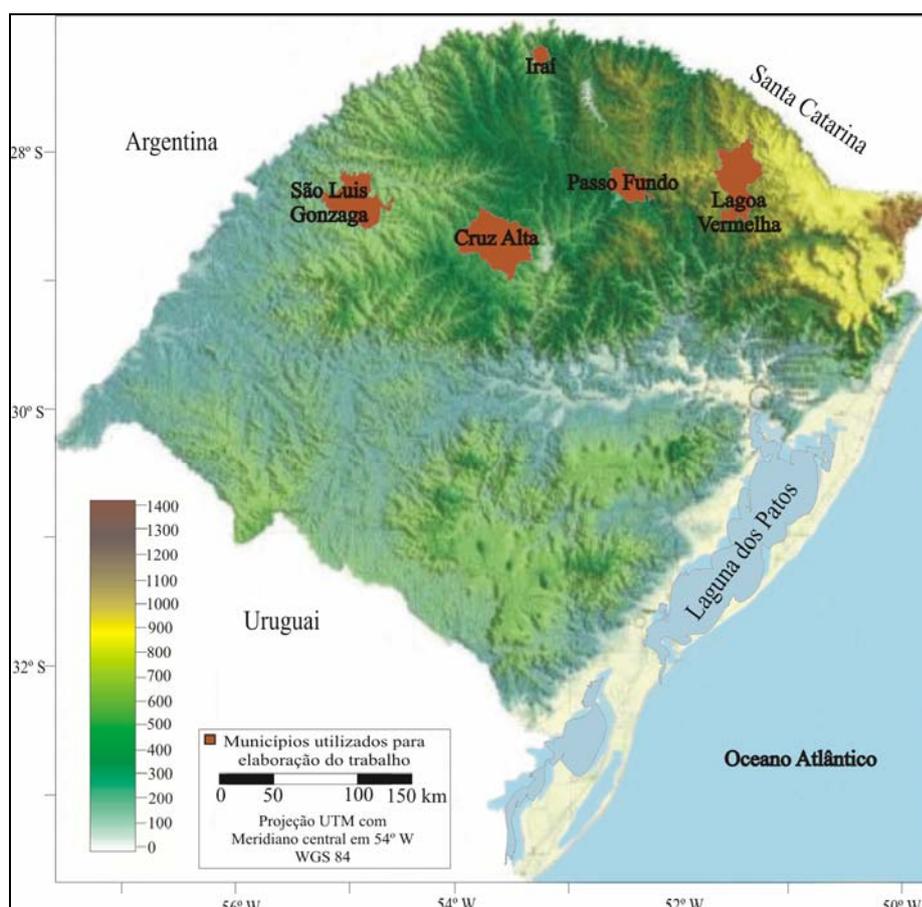


Figura 2- Localização dos 5 municípios no planalto Meridional-riograndense, onde estão as estações meteorológicas usadas neste estudo.

Fonte: www.sem.rs.gov.br/atlas/intro.htm. (adaptado pelo autor).



Figura 3-Imagem parcial da estação meteorológica de Cruz Alta ($28^{\circ}38'S$ e $53^{\circ}23'W$). Fonte: Seoma/8^oDISME.

1.7.2- Localização e características da estação meteorológica de Passo Fundo

Fundo

O município de Passo Fundo está na região centro-norte do Rio Grande do Sul, inserido na unidade de relevo denominada de planalto das Araucárias (Moreira, 1977), constituído por capeamento vulcânico (Formação Serra Geral).

Conforme dados climatológicos de Brasil (1992), a precipitação média anual é 1.788 mm, umidade relativa média anual de 72%, a temperatura média anual $17,5^{\circ}C$, a máxima média anual $23,6^{\circ}C$ e a mínima média anual $13,2^{\circ}C$. Suas características climáticas também se enquadram no tipo climático "Cfa".

A estação meteorológica de Passo Fundo encontra-se a 684 m de altitude junto à sede da Empresa Brasileira de Pesquisa Agrícola (Embrapa Trigo/Passo Fundo). Não está próxima do sítio urbano, sempre esteve no mesmo local (Figura 4) e pertence ao 8^o DISME/INMET, o qual é responsável pela manutenção junto com a Embrapa. A estação foi estabelecida em agosto de 1912 e sempre esteve em funcionamento, é convencional.



Figura 4-Imagem parcial da estação meteorológica de Passo Fundo (28°13'S e 52°24'W).
Fonte: Seoma/8° DISME.

1.7.3- Localização e características da estação meteorológica de Iraí

Iraí no extremo norte do Rio Grande do Sul, com precipitação média anual de 1.810 mm, umidade relativa média anual de 78%, a temperatura média anual é 19,4°C, a máxima média anual 27,1°C e a mínima média anual 14,3°C (Brasil, 1992). A estação encontra-se a 247 m de altitude e conforme Köppen seu clima é do tipo "Cfa".

A estação meteorológica encontra-se em área urbana, sempre pertenceu ao 8° DISME/INMET. Foi instalada em 1935 na altitude de 227 m e reinstalada em 1976 em local próximo (algumas quadras, não se conhece a distancia específica), que conforme mapa de localização situava-se nas proximidades do Parque Municipal e da Vila Militar. O deslocamento da estação ocorreu a pedido da prefeitura, para permitir a construção de edifícios. É uma estação convencional. As Figuras 5 e 6 mostram a estação atual.



Figura 5- Imagem parcial da estação meteorológica de Iraí ($27^{\circ}11'S$ e $53^{\circ}14'W$). Fonte: Seoma/8° DISME.



Figura 6- Imagem parcial da estação meteorológica de Iraí ($27^{\circ}11'S$ e $53^{\circ}14'W$). Fonte: Seoma/8° DISME.

1.7.4- Localização e características da estação meteorológica de São Luiz Gonzaga

Localizada no centro leste do estado, ela já apresenta características mais continentais em relação às outras estações deste estudo. Altitude média de 245 m, e relevo bastante suavizado.

A precipitação média anual é de 1.972 mm, umidade relativa média anual 71%, a temperatura média anual é 20,0°C, a máxima média anual 26,1°C e a mínima média anual 15,5°C (Brasil, 1992). O tipo climático também corresponde ao “Cfa”.

Esta estação está em sítio urbano, sempre esteve no mesmo local e sempre pertenceu ao 8° DISME/INMET. Foi instalada em abril de 1912, é do tipo convencional. As Figuras 7 e 8 representam à situação atual da estação. Nas imagens, respectivamente, aparece à direção oeste e leste que indicam a direção na qual a foto foi tomada.



Figura 7- Imagem parcial da estação meteorológica de São Luiz Gonzaga (28°24'S e 53°55'W). Fonte: Seoma/8° DISME.

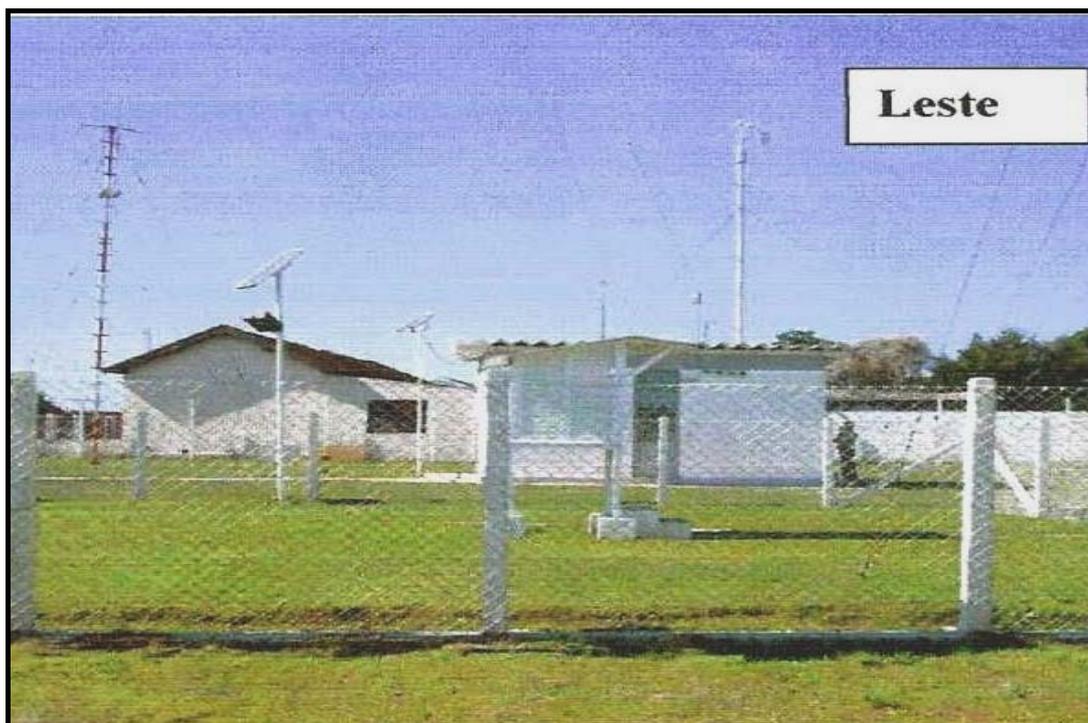


Figura 8- Imagem parcial da estação meteorológica de São Luiz Gonzaga (28°24'S e 53° 55'W). Fonte: Seoma/8° DISME.

1.7.5- Localização e características da estação meteorológica de Lagoa Vermelha

A estação meteorológica de Lagoa Vermelha caracteriza a parte centro-leste da área de estudo. Precipitação média anual é de 1.735 mm, umidade relativa média anual de 77%, a temperatura média anual é 16,7°C, a máxima média anual 23,5°C e a mínima média anual 15,5°C (Instituto de Pesquisas Agronômicas, 1989). O tipo climático conforme Köppen, também corresponde ao "Cfa". A estação meteorológica do tipo convencional está a 840 m de altitude e em área urbana, sempre pertenceu ao 8° DISME/INMET, foi instalada em 1914 e reinstalada em janeiro de 1977. A localização da primeira instalação não é conhecida, só se sabe a altitude (807 m). As Figuras 9 e 10 mostram o sítio da estação.

1.8- Descrição dos equipamentos, reinstalação de algumas estações e precisão dos dados

A leitura comum da temperatura é medida por termômetro de mercúrio. Os valores extremos diários são medidos pelos termômetros de extrema, de máxima e mínima. O de máxima é de mercúrio em vidro e o de mínima é de álcool em vidro.

Conforme os arquivos de manutenção apresentados pelo 8º DISME/INMET, as marcas dos aparelhos utilizados geralmente são “Fuess” e “Schneider” (marcas tidas como de maior precisão).

A precisão dos termômetros é de 0,1°C para mais ou para menos do valor obtido. A substituição dos aparelhos é feita quando estão danificados. É feita vistoria geral bianual nas estações, objetivando a qualidade e segurança dos dados obtidos. Nesta vistoria são aferidos aparelhos, a estação é pintada, a grama aparada, ou seja, são realizados trabalhos básicos de manutenção.



Figura 9- Imagem parcial da estação meteorológica de Lagoa Vermelha (28°13'S e 51°3'W).
Fonte: Seoma/8º DISME.



Figura 10- Imagem parcial da estação meteorológica de Lagoa Vermelha ($28^{\circ}13'S$ e $51^{\circ}31'W$). Fonte: Seoma/8° DISME.

Capítulo 2

O CLIMA DO PLANALTO MERIDIONAL-RIOGRANDENSE NO CONTEXTO SUL-AMERICANO

A agricultura, na região do planalto, foi desde o princípio à ocupação principal dos colonos de origem teuta e ítala. Os primeiros teutos, estranhos às plantas cultivadas no sul do Brasil, procuraram, nos primeiros anos repetir aqui, o que estavam acostumados a fazer em sua terra de origem. Derrubavam o mato; e nas roças minúsculas plantavam o primeiro feijão...

Rambo, 1942.

2.1- Introdução

O presente capítulo apresenta as características climáticas predominantes na América do Sul, inserindo o clima do estado do Rio Grande do Sul e especificamente a região de estudo. Aborda, brevemente a variabilidade da temperatura atmosférica durante o Holoceno e em especial os últimos 140 anos.

2.2- Características climáticas gerais da América do Sul

2.2.1- Circulação Geral da América do Sul

Conforme Cervený (1998) destacam-se três fatores determinantes na caracterização climática da América do Sul:

- a) Topografia/Geografia, pois a América do Sul cobre uma grande porção da superfície da Terra, apresentando áreas planas e regiões bastante montanhosas.
- b) Latitudinalmente estende-se de 10°N até 55°S e longitudinalmente é um continente bastante estreito (35°E a 80°W).
- c) Sua forma geográfica, em conjunto com as células da circulação geral atmosférica, constitui limite para os efeitos da continentalidade.

A região apresenta sucessão climática própria ao longo da costa leste, clima de floresta tropical a oeste da depressão da Colômbia, desertos no Peru. Nas latitudes médias clima mais brando no centro do Chile, e frio na região sul deste país (Cerveny, 1998).

Quanto à circulação atmosférica, a ausência de um continente com interior seco se dá pela influência do ar que flui dos oceanos. Conforme Nimer (1989), Martyn (1992) e Cerveny (1998), a América do Sul possui três regimes de circulação dominantes: os ventos predominantes de oeste no extremo sul do continente que estão associados ao gradiente de alta pressão; as células de alta pressão semipermanentes sobre o sul do oceano Atlântico e sul do oceano Pacífico e a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) que se caracteriza como uma zona convectiva de baixa pressão. Entretanto ao analisarmos os ventos de oeste que encontramos na Patagônia e no sul do Chile (40°S), verifica-se que são resultantes da circulação geral atmosférica do hemisfério sul.

Outra característica é que devido à falta de grandes massas continentais, o hemisfério sul apresenta uma circulação zonal (oeste-leste) de ar frio que flui para a região equatorial, conhecida como friagem, durante o inverno. Observamos, também, que as perturbações zonais predominantes fluem para o norte, contribuindo na circulação dos dois grandes anticiclones semipermanentes um situado sobre o oceano Atlântico Sul e o outro sobre o Pacífico Sul (Tubelis, 1992; Cerveny, 1998) responsáveis em grande parte pela dinâmica climática da América do Sul (AS).

O anticiclone do Pacífico Sul domina o clima na parte oeste da AS. A combinação da subsidência do ar do anticiclone e a corrente fria Peruana criam um ambiente de costa deserta no lado leste dos Andes e costa úmida e fria no lado oeste da cordilheira andina. Já no lado do Atlântico, no leste, a circulação dos ventos está associada ao anticiclone subtropical deste oceano, caracteriza-se como úmido e carrea umidade para o continente na direção da região central e avança até o leste dos Andes.

O anticiclone tropical Atlântico durante o inverno avança sobre o continente e durante o verão se afasta deste, ou seja, expande-se sobre a região oceânica na direção sul. (Fonzar, 1994).

A migração da alta para o Atlântico Sul no início do verão desenvolve convecção ao longo da ZACAS (Zona de Convergência do Atlântico Sul) enfraquecendo a frente fria extratropical.

A alta pressão de oeste do continente durante o verão invade a América do Sul, deslocando-se para norte. No inverno, a parte que recebe ar tropical do Pacífico é muito estável entre 5°S e 35°S. Assim, o tempo em toda a costa oeste durante o inverno apresenta nevoeiros, chuviscos e nuvens. A partir de 5°S para o norte, próximo ao Peru, a circulação muda. O clima passa de árido a tropical.

O anticiclone do Pacífico influencia diretamente o clima brasileiro ao movimentar-se para leste e transpor os Andes em vários locais, intensificando a movimentação da Frente Polar Atlântica. Ao transpor a cordilheira, produz células de baixa pressão no norte da Argentina, Bolívia, Chile e estado de Rondônia (Fonzar, 1994).

Durante o verão, momento em que os dois centros de alta se expandem, temos um período chuvoso em grande parte da AS.

A ZCIT caracteriza-se como uma faixa migratória de máxima convergência, convecção, nuvens e chuva. Situa-se entre as duas células de alta subtropical norte e sul, também é uma área de extensão variável com fracas pressões e poucos contrastes, que se dispõe próximo ao equador alinhando-se do oeste para leste (Fonzar, 1994). Na área de confluência dos ventos ela é relativamente estacionária, sendo caracterizada como zona de baixa pressão (Martyn, 1992). Caracteriza-se como migratória em função da sazonalidade anual. No verão austral se estende para o sul em direção a bacia Amazônica central, durante este período recebe muita chuva (Fonzar, 1994).

Duas correntes oceânicas influenciam diretamente o clima no continente. No oeste, a corrente do Peru flui das águas próximas da Antártica para o norte ao longo da costa do Chile e do Peru. Esta corrente é formada por águas extremamente frias e velocidade relativamente alta. Ao longo da costa sopram ventos frios da superfície das águas oceânicas em direção ao continente, reduzindo a temperatura atmosférica. A outra corrente é a do Brasil, quente e que flui para o sul ao longo da costa leste. Ao longo da parte meridional da costa ocidental da África a corrente fria de Banguela flui para o norte antes de se desviar e tornar-se corrente Sul Equatorial, seu giro deflete e alcança a América do Sul tornando-se corrente do Brasil (Cervený, 1998).

Dentre as principais características climáticas da América do Sul, os anticiclones semipermanentes oceânicos são centros de ação de maior importância na circulação. São responsáveis por manter o sistema isobárico mais ou menos no mesmo padrão. Entretanto, em função da sazonalidade anual da temperatura dos hemisférios apresentarem uma suave variação onde, ora se afastam, ora se

aproximam do continente. Na Figura 11 estão representados os centros de ação atmosféricos que atuam na América do Sul.

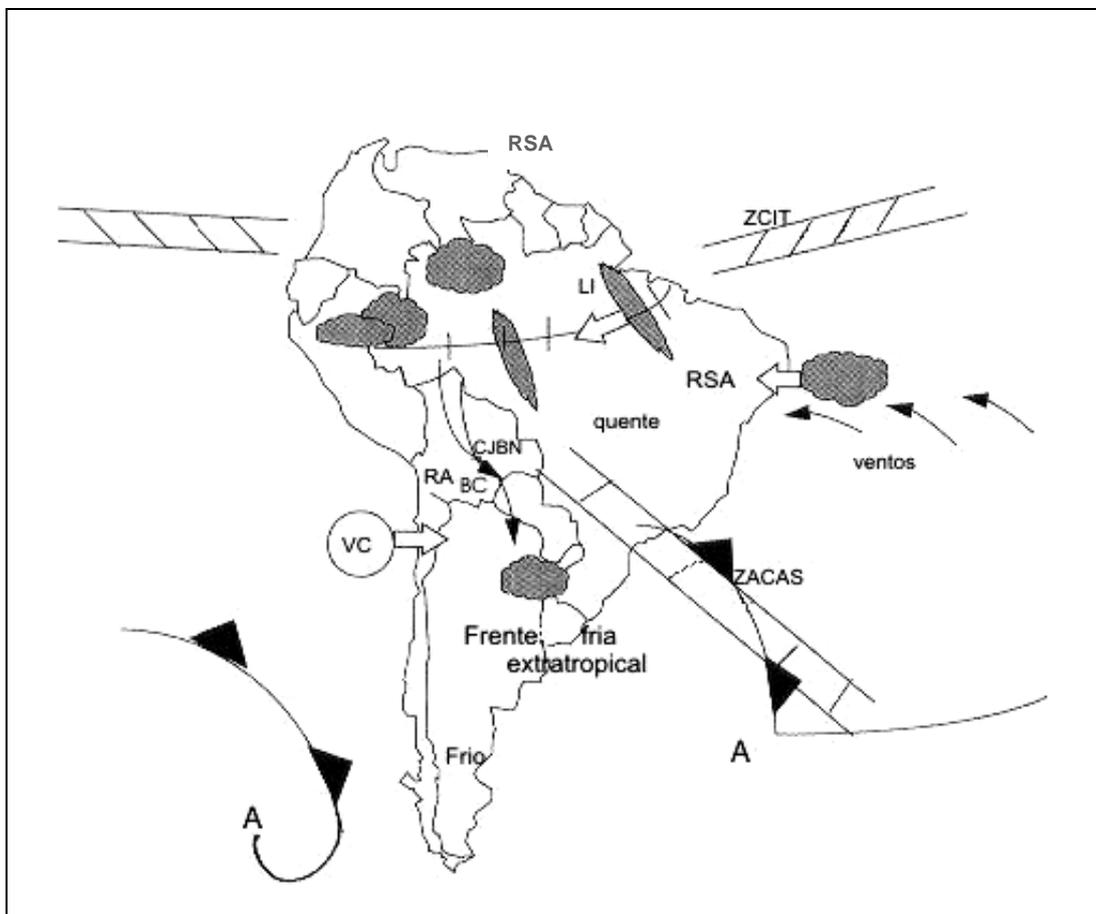


Figura 11- Sistema de circulação geral atmosférica na baixa troposfera da América do Sul.
A: centro de alta pressão; **BC:** baixa do Chaco; **CJBN:** corrente de jato baixa;
LI: linha de instabilidade; **RA:** região árida; **RSA:** região semi-árida;
VC: vórtex ciclônico; **ZCIT:** zona de convergência intertropical;
ZACAS: zona de convergência do Atlântico Sul.
 Fonte: Nobre, (1998). (adaptado pelo autor).

2.2.2- Distribuição da temperatura atmosférica e precipitação

Quanto às características gerais da temperatura atmosférica a distribuição sazonal normal mostra seqüência uniforme, aonde as mais elevadas vão do equador até os trópicos e reduzem gradativamente até o extremo sul.

O efeito causado pela continentalidade é reduzido, por isto temos temperaturas comparáveis entre as estações do inverno e verão, particularmente nas regiões mais próximas do litoral e no cone sul do continente. Na encosta leste dos Andes (sotavento), a ação do vento *foehn* ou *chinook* provoca aquecimento da corrente descendente, maior do que o resfriamento da subida (oeste).

Quanto à pluviometria, os maiores valores de chuva ocorrem ao longo da ZICT, na Colômbia, bacia central da Amazônia e zonas elevadas do sudeste do Brasil (Cerveny, 1998). Na costa ocidental, a barlavento, há precipitação durante todos os meses do ano e a umidade relativa é constante (quase 90%). Já áreas severamente secas são encontradas na costa norte da Venezuela, nordeste do Brasil, costa do deserto do Peru e norte do Chile e na região da Patagônia na Argentina.

O contraste se dá a sotavento da cordilheira, que recebe precipitação muito limitada, na ordem de 25 mm anuais. Dois fatores causam essa aridez: os Andes que produzem o efeito chamado “sombra”; a vortividade do ar que flui acima da cadeia, perdendo sua umidade ao ascender e chegando a sotavento sem umidade (Ayoade, 1998; Cerveny, 1998).

A neve na porção norte dos Andes está associada à umidade da Amazônia, e na porção sul tem elo com o sistema ciclônico de latitude média do hemisfério sul e vêm de oeste.

2.2.3- Massas de ar e suas correntes perturbadoras atuantes no sul do Brasil

Na Figura 12 podemos ressaltar a atuação mais intensa da massa Tropical Atlântica, a frente fria extratropical e a Equatorial Continental na região sul do Brasil. Apenas as massas equatoriais marítimas não atuam da circulação regional.

A massa de ar fria extratropical origina-se nas altas latitudes nas proximidades da Antártica, atua de maneira mais intensa no inverno. Resulta do acúmulo do ar frio e denso da região polar e proximidades, e se dirigem para uma zona de pressão mais baixa. Quando se aproxima do continente sul-americano, bifurca-se, uma parte atinge de forma mais intensa o Brasil meridional. A outra segue em direção oeste, intensificando o frio na costa do Pacífico, onde sofre influência da topografia. Assim, ambas possuem a mesma gênese (Martyn, 1992; Fonzar, 1994; Cerveny, 1998).

A massa Equatorial Continental (Ec) se origina na planície amazônica. É uma célula divergente dos alísios que tende a manter-se durante todo ano. É uma massa quente e de elevada umidade e não chega a influenciar o clima no estado do Rio grande do Sul (Tubelis, 1992; Martyn, 1992; Fonzar, 1994; Cerveny, 1998).

Já a massa Tropical Atlântica (mTa) desmembra-se do anticiclone semifixo do Atlântico Sul. É uma massa quente e úmida com tendência à estabilidade (Martyn, 1992; Cerveny, 1998).

Finalmente, a massa Tropical continental (Tc) exerce influência mais restrita, apenas nos verões que se caracterizam como mais seco na região sul. É uma massa seca, pois tem origem no interior do continente (Martyn, 1992; Fonzar, 1994; Cerveny, 1998).

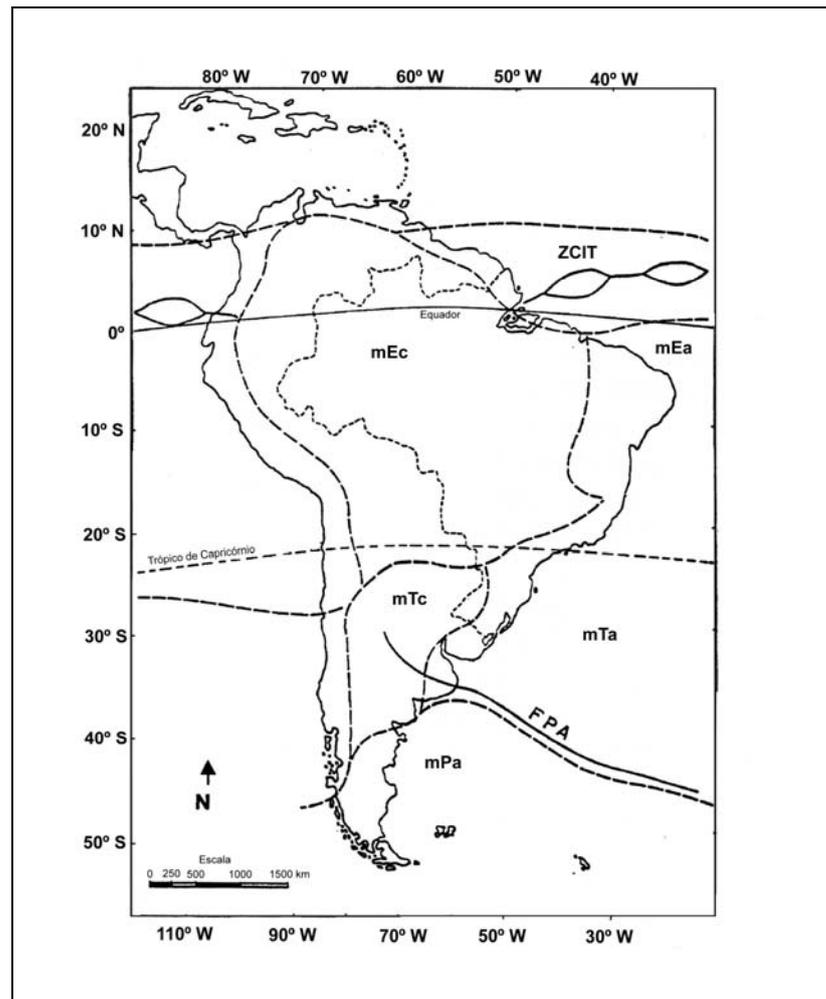


Figura 12- Massas de ar sobre a América do Sul, situação de verão. **ZCIT**- Zona de Convergência Intertropical; **mEa**- massa Equatorial atlântica; **mEc**- massa Equatorial continental; **mTc**- massa Tropical continental; **mTa**- massa Tropical atlântica; **mPa**- massa Polar atlântica; **FPA**- Frente Polar Atlântica. Modificado de Tubelis (1992).

Assim, o sul do Brasil é um campo de ação das três principais massas da vertente atlântica da América do Sul. A circulação é caracterizada pela passagem da massa de ar frio oriunda das altas latitudes, é fria e densa em frontogênese.

O avanço desta massa caracteriza o clima do Rio Grande, em especial pela regularidade da sua passagem durante o ano. Caracteriza-se como corrente

perturbada e sua ação é mais intensa no inverno.

2.3- Características gerais e variabilidade do clima no estado do Rio Grande do Sul

2.3.1- Circulação atmosférica no Rio Grande do Sul

O estado do Rio Grande do Sul situa-se entre as coordenadas de 28° e 34° de latitude sul e 52° e 56° longitude oeste, na zona de transição entre a zona tropical e a temperada (Vieira, 1984). O clima no estado é determinado pela atuação de sistemas extratropicais caracterizado pelo anticiclone polar migratório e intertropicais evidenciado pela mTa (Sartori, 1993).

O sistema da frente extratropical fria atinge o estado com frequência quase semanal durante o período do inverno. É uma massa de alta pressão, fria e úmida. Também, durante o inverno, os anticiclones semifixos do Atlântico sul e o do Pacífico sul encontram-se mais próximos do continente americano tornando-se obstáculos para a passagem da massa polar que passa a ter característica estacionária (Sartori, 1993).

No verão, com o maior aquecimento do hemisfério sul, este sistema fica enfraquecido e, em contrapartida, teremos maior influência da massa Tropical Atlântica (Sartori, 1993).

Durante a primavera e o outono a dinâmica climática caracteriza-se respectivamente pela mesma do verão e inverno, salvo que a atuação dos anticiclones ocorre de maneira intermediária. No outono, o hemisfério começa lentamente a se resfriar, conseqüentemente terá uma maior influência da massa extratropical fria em relação à estação anterior. Já na primavera teremos o começo do aquecimento no hemisfério, definindo-se como intermediária em relação ao inverno, ou seja, verificar-se-á uma redução de intensidade da massa extratropical fria. As frentes no estado geralmente avançam na direção SW-NE, bem como a linha de instabilidade.

A dinâmica sistêmica sofre evidentemente influência de fatores geográficos que serão condicionantes das características climáticas regionais ou locais. Destacando-se: A influência da maritimidade, na zona litorânea a partir de duas correntes marítimas a corrente das Malvinas (fria) e a corrente do Brasil (quente). A influência destas duas correntes oscila sazonalmente, mas garante temperaturas mais brandas no inverno; da continentalidade, acentua com rigor as temperaturas

extremas, particularmente na parte ocidental do estado; e da altitude, nas áreas de maior altitude ocorre maior precipitação, pois as massas tendem a transpor a barreira elevando-se e esfriando, aumentando a precipitação em algumas regiões. No estado este processo é bem definido no rebordo do planalto, sendo mais acentuada na Serra do Nordeste.

2.3.2- Classificação do clima no estado do Rio Grande do Sul

Os estudos do clima no estado iniciaram-se com Araújo (1930), o qual o caracterizou como Temperado a partir da influência dos fatores geográficos (altitude, maritimidade e continentalidade). Dividiu o Estado em oito regiões climáticas: Campanha, Serra do Sudeste, Litoral, Depressão Central, Vale do Uruguai, Missões, Planalto e Serra do Nordeste.

Machado (1950), baseando-se nas definições climáticas feitas por Araújo (1930), acrescentou detalhada análise numérica e descritiva dos elementos meteorológicos. Moreno (1961) apresentou nova divisão, trabalhando com “áreas morfoclimáticas” e definiu o clima do estado como Temperado Úmido, com duas áreas climáticas de acordo com a classificação de Köppen (1931): Cfa e Cfb. A classificação climática de Köppen é a mais usada quando referimo-nos a classificação do clima, foi estabelecida originalmente em 1918 e posteriormente revisada em 1953. Entretanto, essa classificação é uma das que melhor representa as características climáticas do estado.

A Serra do Sudeste, e regiões mais altas do Planalto, correspondem ao tipo climático “Cfb”, onde a temperatura média do mês mais quente é inferior a 22°C. O restante do estado é “Cfa”, onde a temperatura média do mês mais quente é superior a 22°C, e onde o “f” significa que não há estação seca.

Trabalho realizado por Serra (1959) aborda a circulação das massas de ar na América do Sul, servindo de base para as primeiras descrições da atuação das massas de ar no estado. Sartori (1993, 2003) fundamenta sua pesquisa no balanço sazonal da precipitação dos sistemas atmosféricos, na circulação atmosférica regional, nos principais tipos de sucessão de tempo no inverno e na dinâmica do clima do Rio Grande do Sul a partir de análise empírica e científica. Descreve, assim, a atuação das massas de ar, além do comportamento do clima no estado.

Buriol e Estefanel (1979) trabalharam com a climatologia agroclimática, elaborando mapas de temperatura para todo o estado onde a temperatura média anual para o planalto ficou definida entre 21°C e 26°C.

O trabalho de Kuinchtner e Buriol (2001), fundamentado na classificação de climática de Köppen, encontrou pequeno acréscimo para as regiões de tipo climático *cfb* quanto à classificação de Thornthwaite, apresentando tipos climáticos Ar, B_{4r}, B_{3r}, B_{2r}, e B_{1r} para índice de umidade, e B'_{4a}, B'_{3a}, B'_{2a} e B'_{1a} para eficiência térmica.

O tipo climático Ar é encontrado nas áreas de maior precipitação no estado: Serra do Nordeste, partes do Planalto e Missões. Os tipos B'_{1r}, B'_{2r}, B'_{3r}, nas regiões onde menos chove: Vale do baixo Uruguai, Campanha, Litoral e leste da Depressão Central. O tipo B'_{4r} na Serra do Sudeste, oeste da Depressão, Alto Uruguai, Planalto e Missões. O tipo B'_{4a} abrange área restrita do Vale do Uruguai. O B'_{3a} compreende a maior parte do Estado. O B'_{2a} aparece na Serra do Sudeste e grande parte do Planalto e Serra do Nordeste. O B'_{1a} corresponde à região de maior altitude na Serra do Nordeste e Planalto.

Maluf (2000) propôs nova classificação climática para o estado baseada na metodologia de Camargo (1991), utilizando temperatura média anual (Ta) e a do mês mais frio (Tf), balanço hídrico e indicação dos meses com deficiência hídrica.

Em função da proposta de Maluf (2000), a temperatura média do mês mais frio (Tf) na classe temperada passa de 15°C para 13°C e, na classe Subtropical de 15°C a 20°C para 13°C a 20°C, cria a classe subtemperado com base na alteração das temperaturas. Sendo assim, o estado passa a apresentar, segundo a temperatura média do mês mais frio, clima Temperado, Subtemperado e Subtropical, e em função do balanço hídrico vai de Superúmido ao Subúmido.

Conforme Gonçalves (1998), em trabalho realizado com as temperaturas mínimas diárias para o estado, constatou-se que houve repetições sazonais das anomalias nas diferentes estações do ano. A maior variabilidade das temperaturas ocorre no inverno, principalmente nas estações meteorológicas mais continentais.

A partir de dados de temperatura máxima e mínima anual de 40 estações meteorológicas, Diniz (2000) definiu quatro regiões homogêneas no estado. Observou um gradiente de temperatura no sentido leste-oeste, regiões mais quentes no noroeste e oeste (mais precisamente no baixo e médio Vale do Uruguai e regiões mais frias na Serra do Nordeste e do Sudeste), bem como apresentando modificação sazonal durante o inverno e verão.

Sinteticamente, a partir da descrição e análise feita sobre o clima do estado, afirma-se que tem como mecanismos de atuação sistemas extratropicais (FPA) e intertropicais (mTa), associados aos fatores geográficos locais (Sartori, 1993).

Levando em consideração as informações acima, o clima no estado do Rio Grande do Sul é do tipo *Mesotérmico Superúmido*, sem ocorrência de período seco (IBGE, 1977).

Por fim, toda a região de estudo climaticamente pode ser enquadrada na classificação climática de Köppen mais especificamente no tipo climático “Cfa” já referenciado anteriormente.

2.4- Variabilidade da temperatura atmosférica ao longo do tempo

O sistema climático é um conjunto formado pela dinâmica dos oceanos, superfície terrestre, variações na constante solar, parâmetros orbitais da Terra e erupções vulcânicas reconhecidas como forçantes naturais, que podem alterar consideravelmente a absorção de energia.

Conforme Ayoade (1998), as longas séries temporais reconstituídas a partir de dados geológicos indicam que variações climáticas intensas são comuns no planeta. Estas mudanças se sucederam na ausência de seres humanos, podendo assim, serem denominadas de mudanças climáticas naturais.

Esta seção faz uma breve revisão das variações de temperatura na atmosfera ao longo do Quaternário, conhecida por estudos climáticos e paleoclimáticos (e.g., testemunhos de fundo oceânico, testemunhos de gelo, dendrocronologia; Bradley, 1999).

Observamos que o Quaternário compreende ao período mais recente da história da Terra, no qual se processou toda a vida do homem, e está dividido em duas épocas, Pleistoceno (2 milhões de anos) e o Holoceno (últimos 11 mil anos), intervalo de tempo que caracteriza o maior número de informações paleoclimáticas do planeta (Gradel, 1995).

A reconstituição paleoclimática do Quaternário aponta 29 ciclos glaciais e interglaciais ao longo dos últimos 3 milhões de anos, ou seja, 29 idades de gelo (Manionn, 1991).

O Holoceno foi subdividido em 5 intervalos (Pré-boreal, Boreal, Atlântico, Sub boreal e Sub atlântico) que refletem as tendências da temperatura ao longo do período. Após um rápido aquecimento no final da última idade do gelo (cerca de 11.500 anos atrás), a temperatura atmosférica média atingiu um máximo a 7.000 anos antes do presente (período conhecido como ótimo termal), a partir de então a temperatura caiu vagarosamente, chegando a um mínimo durante a “Pequena Idade do Gelo” (1.200-1900 d.C.), Manionn (1991).

A humanidade a partir de sua lenta evolução cultural e tecnológica adquire meios de interferir de maneira acentuada no ecossistema natural. As primeiras transformações feitas pelo homem são notadas principalmente no norte europeu e russo ainda no século XIII devido à retirada da vegetação. Com a Revolução Industrial (final do século XVIII) as alterações passam a ser cada vez mais significativas (Gradel, 1995).

Ayoade (1998) reforça as afirmações referentes às mudanças ambientais destacando que a maior transformação foi alcançada pela retirada da vegetação para plantio agrícola, salientando que nos últimos 8.000 anos 11% da terra emersa foi transformada em arável. Hoje, 31% das florestas não se encontram em estado natural, este processo possivelmente alterou o albedo e as propriedades hidrológicas do sistema ambiental terrestre, além de aumentar a concentração de gases de efeito estufa ocasionados pelas atividades humanas.

O conhecimento sobre a evolução do clima no milênio passado considera que os registros não são suficientes para dar um quadro completo. Conforme Jones (2001), as temperaturas no hemisfério sul são similar a do hemisfério norte.

A partir destas informações podemos sintetizar o seguinte, a primeira metade do milênio o clima era mais moderado (apresentando uma média de 0,2°C menor do que a do intervalo 1961-1990). O século mais ameno foi o XVII (-0,4°C), seguido do século XIX, separado pelo XVIII de característica mais moderada (Jones, 2001).

2.5- Os últimos 140 anos: o aquecimento global recente

Observando a Figura 13 (na página 26), destaca-se a tendência de aumento da temperatura média global do planeta ao longo dos últimos 140 anos. A temperatura média do planeta ao longo deste período aumentou 0,6°C. A década de 1990 foi considerada a mais quente e o ano de 1998 o mais quente desde o início das medições instrumentais que datam do século XVII em Londres (IPCC, 2002). Segundo o próprio IPCC (2002), a temperatura média global aumentará 2 e 4°C até o final do século XXI. Uma parte deste aquecimento pode ser creditada a causas naturais. O que não se sabe ainda, é a proporção do impacto humano. Mesmo assim, cientistas não hesitam em apontar uma aceleração nas mudanças climáticas nos últimos 30 anos (IPCC, 2002).

A Terra é envolvida naturalmente por uma capa de gases que interage com a biosfera, litosfera, criosfera e hidrosfera. A energia solar que chega em nosso planeta é absorvida pela superfície, e parte é re-emitida para o espaço. A maior parte desta energia emitida é absorvida pelo vapor d'água, dióxido de carbono e

outros "gases de efeito estufa" que existem naturalmente na atmosfera. Gases que impedem que a energia passe diretamente da superfície para o espaço possibilitando a existência de vida em nosso planeta, mantendo uma temperatura média de 17°C (Vianello, 2000).

A intensificação do efeito estufa ocorreu a partir da Revolução Industrial pela queima de carvão, petróleo, gás natural e destruição de florestas (Pinto, 2002). Outras atividades, como a criação de gado e o cultivo de arroz, emitem metano, óxido nitroso e outros gases poluentes que também intensificam o efeito estufa.

A tendência da temperatura para o Hemisfério Sul (HS) não é diferente do restante do planeta. A reconstrução da série temporal para o Hemisfério Sul mostra pequena tendência-linear da temperatura desde 1600, com exceção do século XX (Jones, 2001). Entretanto, o HS mostra maior aquecimento no século XX com nenhuma evidência para resfriamento (Jones, 2001).

Para o estado do Rio Grande do Sul existem poucos estudos sobre a tendência da temperatura atmosférica. Em análise da temperatura mínima média para o período 1913-2002, foi encontrado aumento de 1,7°C e 2,8°C conforme o trimestre do ano analisado (verão e inverno), Mesommo (2005). Livi (2002) indica aumento da temperatura média mínima para a cidade de Porto Alegre, de 1,4°C entre 1910 e 2000. Mota (1992) encontrou tendência de aumento na temperatura média anual, entretanto, a metodologia usada no cálculo da média não é a mesma usada neste trabalho.

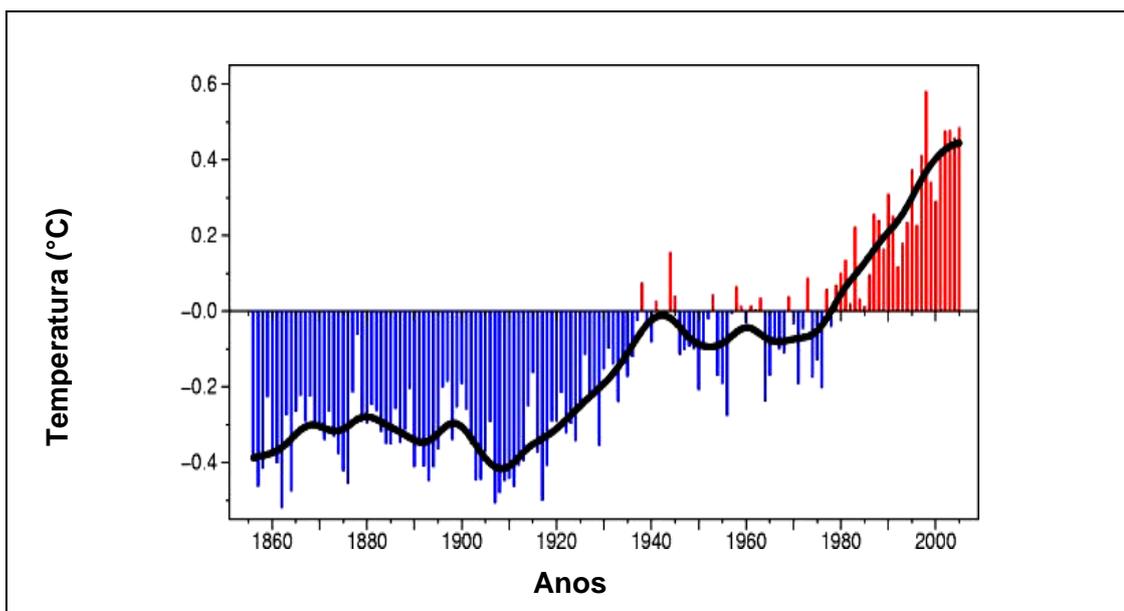


Figura 13- Anomalias da temperatura média anual global, período 1850-2005.
Fonte: (IPCC, 2003).

Capítulo 3

METODOLOGIA

As conseqüências naturais não se fazem esperar: as enxurradas lavam o solo fértil, carregando-o aos rios e deixando só o rochedo nu; as madeiras de lei, outrora tão abundantes, começam a rarear; um deterioramento progressivo do valor econômico do solo é a conseqüência mais incisiva.

Rambo, 1942.

3- Introdução

Este capítulo descreve como foram analisados os dados iniciais de temperatura máxima média mensal (TMaxMM), temperatura mínima média mensal (TMinMM) e temperatura média mensal (TMM) das 5 estações meteorológicas do planalto meridional do estado do Rio Grande do Sul.

Esta etapa prevê a descrição completa da obtenção dos dados, o processo de preenchimento de falhas e a metodologia para criação das séries temporais representativas para toda a região de estudo. Posteriormente, é discutido como tendências e ciclos foram determinados nestas séries temporais.

3.1- Fonte de dados

Os dados foram obtidos a partir de planilhas do 8º DISME/INMET. Foram compilados dados da TMaxMM, TMinMM e TMM de seis estações meteorológicas do estado do Rio Grande do Sul (Cruz Alta, Iraí, Lagoa Vermelha, Passo Fundo, Santa Maria e São Luiz Gonzaga) e uma do estado de Santa Catarina (Lages).

O valor da temperatura média mensal é calculado pelo 8ºDISME/INMET conforme a metodologia proposta por Serra (1974) onde o erro médio em relação ao valor exato é de $-0,08$, mostrando resultados bastante precisos. A média é calculada a partir da seguinte equação:

$$T_m = \frac{T_9 + 2 \times T_{21} + T_n + T_x}{5} \quad (\text{Equação 1})$$

onde:

T_m = temperatura média;

T_9 = temperatura das 9 horas;

T_{21} = temperatura das 21 horas;

T_n = temperatura mínima;

T_x = temperatura máxima.

Durante a cópia dos dados se levou em consideração estações com informações mais completas da área de estudo. A série corresponde a 66 anos de variáveis (1938-2004). Enquadra-se, portanto, nas recomendações da Organização Meteorológica Mundial (OMM), Ayoade (1998). Posteriormente, os valores das temperaturas foram digitalizados em planilha do *Microsoft® Excel 2000*.

3.2- Problemas com os dados originais

Os dados de sete estações meteorológicas foram utilizados para reconstituir as séries temporais de “cinco estações” (escolhidas pelas razões expostas na seção 1.6). Já durante a coleta de dados observou-se que muitas estações foram desativadas pela falta de funcionários ou falta de recursos para manutenção. Destacamos que dados de outras estações poderiam ter sido usados, entretanto o tamanho das falhas em algumas estações impossibilitou a utilização dos dados.

Com a digitalização e organização dos dados nas planilhas ficaram aparentes as falhas da T_{MaxMM} , T_{MinMM} e TMM , encontradas nas estações usadas no estudo apresentadas nas Tabelas 2 a 6.

3.3- Preenchimento de falhas nos dados das estações meteorológicas

Foi utilizado o método proposto por Tucci (2001), recomendado para preenchimento de falhas de séries mensais ou anuais e que objetiva a homogeneização do período de informações para análise estatística.

Assim, para a reconstituição das séries temporais T_{MinMM} , T_{MaxMM} e TMM das estações de Cruz Alta, Iraí, Lagoa Vermelha, Passo Fundo e São Luiz Gonzaga, foram utilizados ainda os dados das estações de Santa Maria (RS) e Lages (SC).

Tabela 2- Falhas da T MinMM, T MaxMM e TMM na estação meteorológica de Cruz Alta.

Estação	Falhas TMinM	Falhas TMaxM	Falhas TMM
	1949- novembro	1940- junho	1940- julho
	1951- novembro	1949- novembro	1942- abril
Cruz Alta	dezembro	1951- novembro	1949- novembro
	1968- maio	dezembro	1951- novembro
	junho	1952- janeiro	dezembro
	julho	fevereiro	1954- outubro
	agosto	março	1958- novembro
	1970- maio	abril	1961- junho
	novembro	1958- fevereiro	1964- fevereiro
	1971- dezembro	1968- maio	outubro
	1972- agosto	junho	novembro
	setembro	julho	1966- janeiro
	1973- junho	agosto	1968- abril
		1970- maio	agosto
		novembro	1969- setembro
		1971- dezembro	1972- julho
		1972- agosto	outubro
		outubro	dezembro
		1973- junho	1970- maio
			novembro
			1971- março
			abril
			julho
			agosto
			dezembro
			1972- julho
			outubro
			dezembro
			1973- janeiro
			maio
			junho

Tabela 3- Falhas da TMinMM, TMaxMM e TMM na estação meteorológica de Iraí.

Estação	Falhas TMinM	Falhas TMaxM	Falhas TMM
	1938- abril a junho	1938- maio	1938- abril
Iraí	1945- maio	junho	junho
	junho	1941- dezembro	1945- maio a junho
	agosto	1945- maio a junho	agosto
	setembro	agosto a dezembro	setembro
	novembro	1946- janeiro a setembro	novembro
	dezembro	1948- junho	dezembro
	1946- janeiro	1949- julho	1946- abril
	maio	1950- abril	maio
	junho	1951- abril	agosto
	setembro	junho a setembro	dezembro
	1947- janeiro	1954- maio a novembro	1947- janeiro
	fevereiro	1957- maio	fevereiro
	1948- junho	1962- setembro	1948- junho
	1949- julho	1963- outubro	1949- julho
	1950- abril	1964- novembro	1950- abril
	1951- abril a setembro	1965- dezembro	1951- abril a agosto
	1957- maio	1967- junho	1957- maio
	1963- setembro	1969- abril	1961- maio
	outubro	1970- setembro a dezembro	julho
	1964- novembro	1979- janeiro a junho	1962- outubro
	1965- dezembro	1981- outubro a dezembro	1963- outubro
	1967- junho	1983- janeiro a junho	1964- novembro
	1969- abril	setembro a dezembro	1965- julho
	1970- setembro a dezembro	1982 a 1989- janeiro a dezembro	dezembro
	1979- janeiro a abril	1994- dezembro	1966- maio
			outubro
			novembro
			1967- julho
			1969- abril
			julho
			novembro
			1970- setembro a dezembro
			1971- janeiro
			1972- agosto
			setembro
			1982- março a dezembro
			1983- janeiro a maio
			julho
			1984- agosto
			novembro
			dezembro
			1985- janeiro, fevereiro
			setembro a dezembro
			1986- janeiro, fevereiro
			junho
			1994- janeiro a novembro

Tabela 4- Falhas da TMinMM, TMaxMM e TMM na estação meteorológica de Lagoa Vermelha.

Estação	Falhas TMinM	Falhas TMaxM	Falhas TMM
	1941- agosto	1940- agosto	1938 a 1943- janeiro a dezembro
Lagoa	1979- fevereiro a dezembro	1944- março a outubro	1944- março a dezembro
Vermelha	1983- fevereiro	1945- junho	1945- janeiro a outubro
	abril a dezembro	1951- julho a dezembro	1961- outubro
	1985- setembro a dezembro	1952- janeiro a maio	novembro
	1986 a 1999- janeiro a dezembro	1971- janeiro	1971- janeiro a março
	2001- janeiro a dezembro	fevereiro	1970- dezembro
		1982- fevereiro e dezembro	1974- janeiro
		1983- fevereiro	1982- janeiro a dezembro
		abril a dezembro	1983- fevereiro
		1985- setembro a dezembro	abril a dezembro
		1986 a 1998- janeiro a dezembro	1984- janeiro
		2001- janeiro a dezembro	1985- outubro a dezembro
			1986 a 1993- janeiro a dezembro
			1995- janeiro a dezembro
			1997 a 2000- janeiro a dezembro

Tabela 5- Falhas da TMinMM, TMaxMM e TMM na estação meteorológica de São Luíz Gonzaga.

Estação	Falhas TMinM	Falhas TMaxM	Falhas TMM
	1939- outubro a dezembro	1939- outubro a dezembro	1940- julho a dezembro
São	1940- julho a dezembro	1940- julho a dezembro	1943-dezembro
Luíz	1943- abril a dezembro	1943-abril a dezembro	1944- janeiro a abril
Gonzaga	1944- janeiro a abril	1944- janeiro a abril	1945- janeiro
	1945- janeiro a abril	1945- abril	abril
	1946- julho	1946- julho	1946- julho
		1947- fevereiro a setembro	1947- fevereiro a agosto
		1957- abril a outubro	1957- julho
		1980- abril a dezembro	1967- agosto
		1981 a 2004- janeiro a dezembro	1970- agosto
			1978- junho
			julho

Tabela 6- Falhas da TminMM, TMaxMM e TMM na estação meteorológica de Passo Fundo.

Estação	Falhas TMinM	Falhas TMaxM	Falhas TMM
	1938-janeiro a dezembro	1938-janeiro a dezembro	1938- janeiro a dezembro
Passo	1943-janeiro a dezembro	1942-janeiro a dezembro	1942- janeiro a dezembro
Fundo	1946-outubro	1947-outubro	1960-outubro
	1951-junho	novembro	1974-fevereiro
	1947-fevereiro	dezembro	março
	1947-março	1948-janeiro a dezembro	maio
	1947-maio	1950-janeiro a dezembro	julho
	1947-julho	1951-janeiro a dezembro	
		1952-junho	
		1953-janeiro a dezembro	
		1954-janeiro a dezembro	
		1955-janeiro a dezembro	
		1956-julho	
		1974-fevereiro	
		março	
		abril	

Para a reconstituição de uma série considerou-se a estação principal e os dados das três estações mais próximas (Anexo I).

A metodologia utilizada para a reconstituição da série temporal compreende:

- 1- Para uma determinada estação, são designadas no mínimo mais três estações próximas com no mínimo dez anos de informações;
- 2- Para a estação com falhas, estas são preenchidas com base na seguinte equação:

$$Y = 1/3 [x1/xm1 + x2/xm2 + x3/xm3] ym \quad (\text{Equação 2})$$

onde,

“Y” é a temperatura da estação a ser estimada;

“x1, x2, x3” são temperaturas correspondentes ao mês que deseja preencher, observada nas três estações vizinhas;

“ym” é a temperatura média mensal da estação a ser estimada (Y);

“xm1, xm2, xm3” são as temperaturas médias anuais das três estações vizinhas.

- 3- Em virtude da grande quantidade de dados (11.880 digitados) elaborou-se

uma “sub-rotina” a partir do programa *Matlab* (Anexo II) para aplicação direta da Equação 1. Este diagrama foi elaborada pelo professor Dr° Vitor Hartell (informações por escrito no Instituto de Pesquisas Hídricas/UFRGS).

- 4- A partir da criação dessa “sub-rotina” foi possível reconstituir a série temporal das estações em análise;
- 5- Quando duas das três estações apresentavam falhas no mesmo mês, as temperaturas calculadas pelo modelo não eram satisfatórias. A temperatura apresentada era baixa em relação aos valores da série original. Neste caso, o período incompleto foi preenchido por dados da estação mais próxima onde o dado existia.
- 6- Em seguida o modelo foi testado através da criação de falhas propositalis na série temporal mais completa. Exemplificando, pegou-se uma estação onde os dados estavam completos e criaram-se falhas. Em seguida, utilizaram-se dados de três estações próximas para calcular os valores para estas falhas. Com isto verificou-se que a reconstituição preencheu corretamente as falhas reproduzidas. Os anexos III a V apresentam as séries reconstituídas da TMaxMM, TMinMM e TMM para as cinco estações da área de estudo.

3.4- Montagem da série temporal média para a região de estudo

As três séries finais da TMaxMA, TMinMA e TMA foram calculadas conforme os seguintes passos:

- 1- Primeiramente, o valor anual das três variáveis para cada estação foi calculado pela média aritmética simples dos 12 meses do ano.
- 2- O valor final da série temporal representativa da região de estudo foi então calculado através da média aritmética simples das médias anuais das cinco estações. Por exemplo, TMaxMA para o planalto é a média aritmética da TMaxMA das cinco estações (Cruz Alta, Iraí, Lagoa Vermelha, Passo Fundo e São Luíz Gonzaga)

3.5- Análise de Séries Temporais

A análise de séries temporais teve como objeto principal investigar a variabilidade da TMaxMA, TMinMA, TMA e a amplitude média anual (AMA) da região de estudo ao longo dos 66 anos.

Uma série temporal é um conjunto de observações tomadas em tempos determinados, comumente em intervalos iguais (Spiegel, 1993). Matematicamente, uma série temporal é definida pelos valores y_1, y_2, \dots de uma variável (no caso, temperatura), nos tempos t_1, t_2, \dots . portanto, y é uma função de t simbolizada por $y = F(t)$.

Assim, o movimento característico de uma série temporal pode ser descrito por um ponto que se move com o decorrer do tempo, de alguma forma análoga à trajetória e “influenciado por forças determinadas” (Spiegel, 1993).

3.5.1- Determinação de tendências e medidas de correlações nas séries temporais finais

Destacamos que quando são consideradas apenas duas variáveis para análise de séries temporais, a equação apropriada para fins de estimativa é a regressão simples ou linear.

Esta medida de correlação refere-se ao quão bem uma determinada reta representa a relação entre variáveis, mediante a observação direta do diagrama de dispersão. Assim, quanto menor a dispersão dos pontos ao longo da reta, maior será a correlação. Para estabelecer a medida de relação foi utilizada a metodologia *linha de regressão de mínimos quadrados* (Spiegel, 1993), para determinar a equação da reta de tendência que melhor se ajustou aos dados. Assim, utilizando a Equação 2 abaixo, foram calculadas as tendências lineares a partir do software estatístico Minitab 2000.

O emprego do modelo teve por objetivo verificar o quanto uma linha reta representa a relação entre as duas variáveis. No caso, o tempo (variável independente) e a TMaxMA ou a TMinMA ou a TMA (variável dependente). Com isso aplicou-se a equação da reta de regressão de mínimos quadrados e que tem por objetivo ajustar o conjunto de pontos $(x_1, x_1), (x_2, x_2) \dots (x_n, x_n)$, tendo como equação (Triola, 1999):

$$y = a_0 + a_1x, \quad \text{(Equação 3)}$$

onde,

a_0 = intercepto y.

a_1x = coeficiente angular.

determinadas mediante a resolução simultânea do sistema

$$\begin{cases} \sum y = a_0 n + a_1 \sum x \\ \sum xy = a_0 \sum x + a_1 \sum x^2 \end{cases} \quad (\text{Equação 4})$$

onde,

x = variável independente (tempo)

y = variável dependente (TMaxMA, TMinMA, ou TMA)

as constantes a_0 e a_1 podem ser determinadas por meio das fórmulas:

$$a_0 = \frac{(\sum y)(\sum x^2) - (\sum x)(\sum xy)}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} \quad (\text{intercepta y}) \quad (\text{Equação 5})$$

$$a_1 = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} \quad (\text{coeficiente angular}) \quad (\text{Equação 6})$$

onde,

n = representa o número de pares de dados.

\sum = denota a adição dos itens indicados.

$\sum x$ = denota a soma de todos os valores de x.

$\sum x^2$ = indica elevar ao quadrado cada valor de x e somar os resultados.

$(\sum x)^2$ = indica que devemos somar os valores de x e elevar o total ao quadrado.

$\sum xy$ = indica que devemos multiplicar cada valor de x pelo valor correspondente de y e somar então todos esses produtos.

3.5.2- Determinação de ciclos na série temporal final (análise espectral)

A análise espectral interessa-se com a exploração dos padrões cíclicos dos dados (Statsoft, 1994). O propósito da análise é decompor uma complexa série temporal em funções seno e co-seno através da análise de *Fourier*. Onde dois parâmetros são importantes: *Frequência* (f) que é o número de ciclos por unidade de tempo; *Período* (T) tempo necessário para que se complete um ciclo.

Conforme a seguinte equação:

$$T = \frac{1}{f} \quad (\text{Equação 7})$$

A análise do espectro pode ser considerada como um problema de regressão linear múltipla, onde a variável dependente é a série temporal e as variáveis independentes são as funções seno e co-seno de todas as freqüências possíveis (Statsoft, 1994). Esta regressão pode ser descrita da seguinte maneira:

$$X_t = a_0 + \sum_{k=1}^q [a_k \cdot \cos(\lambda \cdot t) + b_k \cdot \sin(\lambda \cdot t)] \quad (\text{Equação 8})$$

Onde,

λ = freqüência expressa em termos de radianos por unidade de tempo;

a_k e b_k = coeficientes de correlação que indicam o grau em que as funções seno e co-seno são correlacionadas com os dados das séries temporais;

q = existem diferentes funções seno co-seno;

Em suma, análise espectral identificará a correlação das funções seno co-seno de diferentes freqüências com os dados observados. Assim, se tivermos alta correlação conclui-se que naquela freqüência há uma forte periodicidade nos dados (Statsoft, 1994).

A partir desta estimacão inicial um seguinte passo é a construçãõ do periodograma que é interpretado a partir dos dados nas respectivas freqüências ou períodos. Assim o periodograma nos mostra qual/quais a ciclicidade que predomina no registro (Statsoft, 1994).

Ao se trabalhar com a estimacão de ciclos para séries temporais são essenciais alguns procedimentos:

- a) a série deve estar completa;
- b) os dados devem estar igualmente espaçados;
- c) a tendência e a média devem ser retiradas para se fazer à análise espectral;
- d) aplica-se análise de *Fourier*;

e) a suavização da série é obtida pela média móvel de Turkey (chamada de janela).

Após a suavização das séries que apresentaram tendências, as mesmas foram também condicionadas a análise espectral. Notamos que sem a utilização da suavização das séries não seria possível verificar ciclos. Assim, a média móvel aplicada à série teve por objetivo determinar regiões de frequências consistindo de várias frequências adjacentes que mais contribuem para o comportamento periódico da série.

Com os dados obtidos da média móvel se trabalhou com a correlação cruzada que é uma extensão da análise de Fourier para análise da série temporal que objetiva verificar a correlação dos ciclos em um dado intervalo de tempo (Statsoft, 1994).

A média móvel foi aplicada em correlações de 15 anos. A rotina da análise espectral foi obtida a partir do *software* STATISTICA.

Capítulo 4

RESULTADOS

A grandiosidade do saber natural: de por si estéreis em elementos estéticos, os conhecimentos físicos... quando caldeados numa unidade harmônica...aumentam o gozo estético, permitindo ver as causas e os efeitos, interpretar as formas e as figuras, penetrar nos problemas e nos enigmas...

Rambo, 1942.

4- Introdução

Este capítulo aponta os resultados obtidos a partir da análise da série temporal final de 66 anos para a região do planalto Meridional-riograndense.

4.1- Dados de temperatura

A partir da série climática (1938-2004) se chegou a valores atualizados das normais climatológicas para a região em estudo.

Tabela 7- Valores das normais climatológicas para o planalto Meridional-riograndense (1938 a 2004).

	Média anual	Desvio padrão	Menor média anual	Maior média anual
TMaxMA (°C)	25,1	0,5	23,9	26,3
TMinMA (°C)	13,4	0,6	12,1	14,8
TMA (°C)	18,5	0,5	17,4	19,6
AMA (TMaxMA – TMinMA)	11,6	0,7	9,9	13,5

4.2- Análise da série temporal de temperatura máxima média anual (TMaxMA)

A série não apresenta tendência geral para o período 1938-2004. Conforme a Figura 14, a média geral para o período é $25,1 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$. A máxima média durante o período foi $26,3^{\circ}\text{C}$ (1944) e a mínima $23,9^{\circ}\text{C}$ (1983).

Na Figura 14 observam-se duas tendências parciais entre 1944 e 1976 e entre 1977 e 2004. No primeiro período, a TMaxMA diminui $2,2^{\circ}\text{C}$, atingindo uma mínima em 1975 ($24,1^{\circ}\text{C}$). No segundo período, nota-se um aquecimento, onde o menor valor foi $23,9^{\circ}\text{C}$ em 1983 o maior $25,9^{\circ}\text{C}$ em 1991 e 1995.

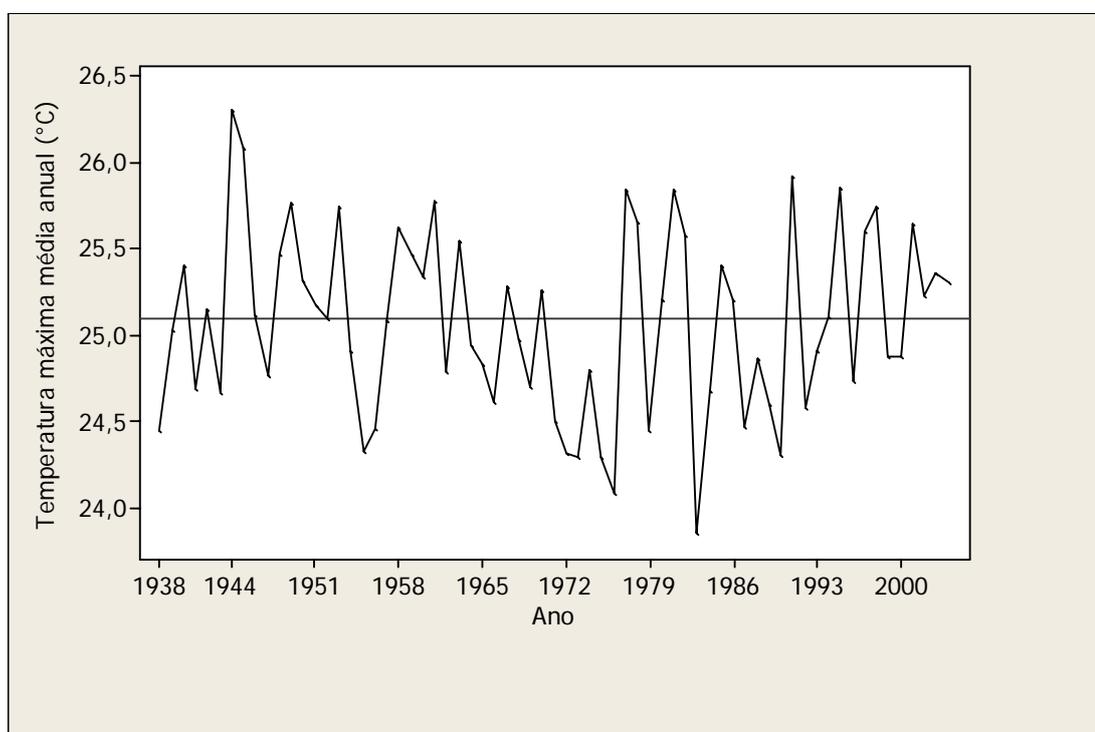


Figura 14- Gráfico da temperatura máxima média anual (TMaxMA) para o planalto Meridional-riograndense. A linha contínua define a média ($25,1^{\circ}\text{C}$) para o período 1938-2004.

Observando o comportamento da TMaxMA podemos verificar duas tendências distintas. O primeiro representando um resfriamento médio parcial da TMaxMA e o outro tendendo ao aquecimento representado após o ano de 1976. Sendo assim, o comportamento da TMAXMA não representa tendência estatística significativa determinante.

A análise espectral aplicada a série da TMaxMA apresentou ciclos de 3,3; 3,5; 4,1 e 4,7 anos. Possivelmente, os ciclos encontrados podem estar associados

aos eventos El Niño/La Niña. Conforme Oliveira (1999), em geral, episódios do fenômeno El Niño/ La Niña têm frequência em média de 2 a 7 anos.

Assim, na Figura 15 observamos a ciclicidade deste fenômeno a partir da relação apontada pelo período (interpretado como o número de observações necessário para completar um ciclo à frequência respectiva) e densidade espectral (pode identificar as regiões "de frequência", ou densidades de espectral, que significativamente contribuem para o comportamento cíclico da série).

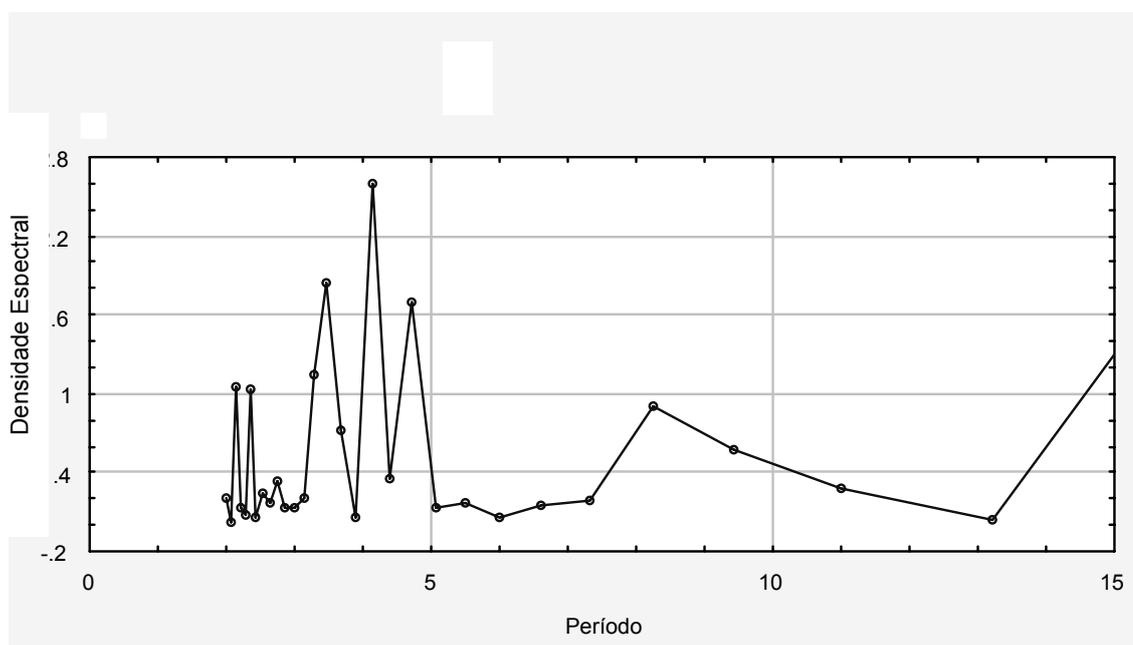


Figura 15- Gráfico da densidade espectral dos dados da temperatura máxima média anual (TMaxMA) para o planalto Meridional-riograndense. Nota-se pico com elevada densidade espectral no período médio de 3,3, 3,5, 4,1 e 4,7 anos.

4.3- Análise da série temporal de temperatura mínima média anual (TMinMA)

Durante o período 1938-2004 a TMinMA oscilou entre 12,1°C e 14,8°C, com uma média de $13,4 \pm 0,6^\circ\text{C}$.

A Figura 16 mostra a clara tendência, $0,02^\circ\text{C a}^{-1}$, no aumento da TMinMA durante o período 1938-2004. Um aumento total de $1,3^\circ\text{C}$ em 66 anos. A regressão resultou na seguinte equação ($R^2 = 0,46$ e $\infty 0,0001$):

$$T_{\min} = - 28,986 + 0,0215\text{ano } (^\circ\text{C}) \quad (\text{Equação 3})$$

onde:

$x = \text{ano}$

T_{\min} = temperatura média mínima anual estimada.

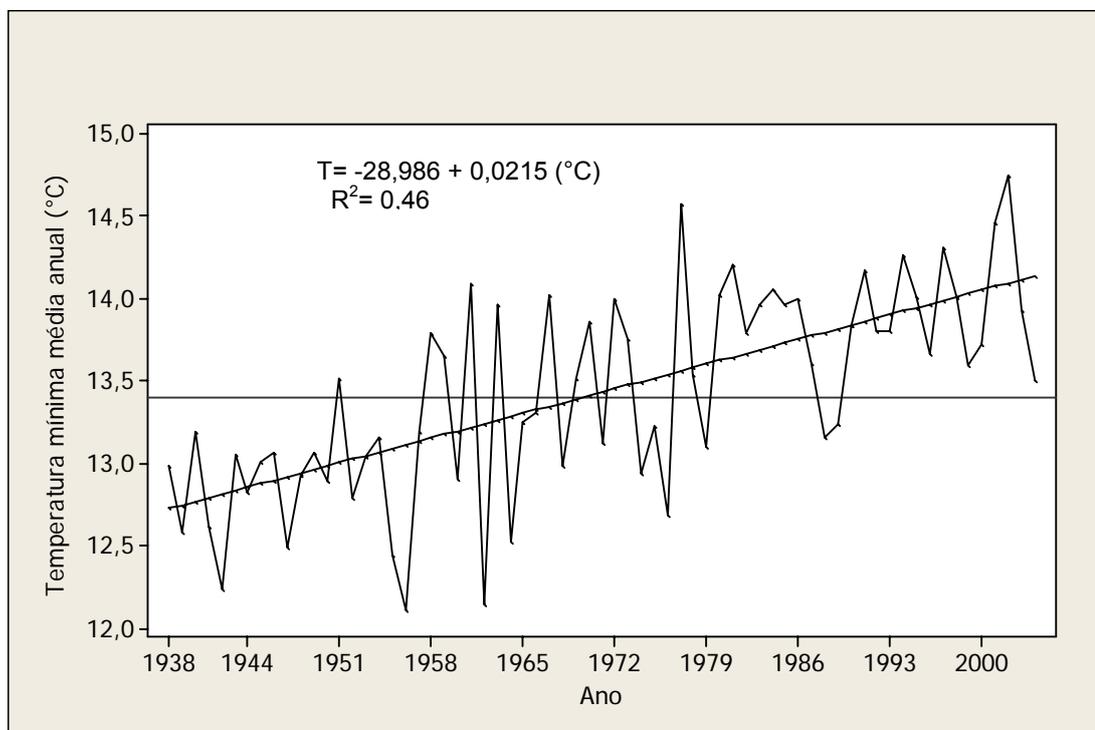


Figura 16- Gráfico da temperatura mínima média anual (TMinMA) para o planalto Meridional-riograndense. A linha contínua define a média (13,4°C) para o período 1938-2004. Note a tendência de aumento desde 1938.

Observa-se que o modelo ajustado é significativo, pois o valor de α é $< 0,05$. No modelo, o R^2 é o coeficiente de determinação que explica quanto varia a TMinMA em função do tempo, além de outros possíveis fatores.

A série temporal da TMinMA apresentou ciclo estatisticamente significativo no espaçamento entre 15 anos. Ao realizarmos a identificação dos ciclos na TMinMA notamos ciclos de 2,3; 4,7 e 11 anos. O ciclo de 4,7 foi encontrado na análise da TMaxMA, evidenciando desta maneira que o fenômeno El Niño/La Niña influencia o comportamento da temperatura na região de estudo. Já o ciclo de 11 representa a influência do ciclo das manchas solares.

A Figura 17 demonstra os ciclos encontrados a partir da análise da série temporal da TMinMA.

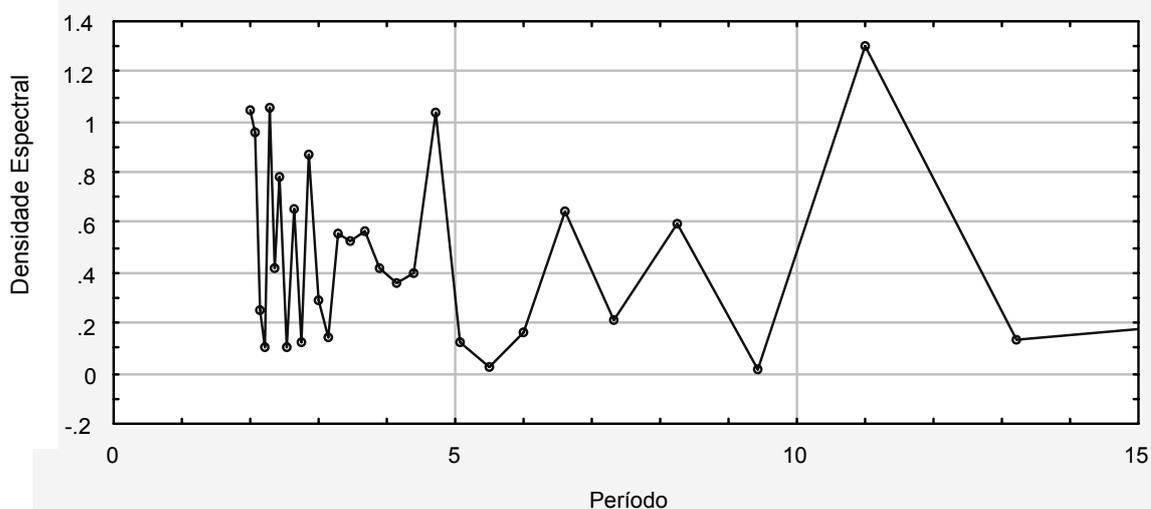


Figura 17- Gráfico da densidade espectral dos dados da temperatura mínima média anual (TMinMA) para o planalto Meridional-riograndense. Nota-se pico com elevada densidade espectral no período médio de 2,3, 4,7, e 11anos.

4.4- Análise da série temporal de temperatura média anual (TMA)

A série não apresenta tendência geral para o período 1938-2004. Conforme a Figura 18, a média para o período é $18,4 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$. O maior valor para o período foi $19,6^{\circ}\text{C}$ (1977), e o menor $17,4^{\circ}\text{C}$ (1956).

Observamos na Figura 18 três tendências parciais, entre 1938-1957, 1958-1979 e 1980-2004. No primeiro período, a TMA diminui $1,6^{\circ}\text{C}$, atingindo uma mínima em 1956 ($17,4^{\circ}\text{C}$). No segundo período, apresenta-se estável sem tendência oscilando entre $17,7^{\circ}\text{C}$ e $19,1^{\circ}\text{C}$. No último período diminui $2,1^{\circ}\text{C}$, bem como as temperaturas médias de 2003 e 2004 são as menores deste período ($17,5^{\circ}\text{C}$ e $17,4^{\circ}\text{C}$) respectivamente. A TMA não apresentou tendência significativa.

Na análise espectral da TMA observamos dois ciclos significativamente fortes de 4,1 e 4,7 anos conforme a Figura 18. Como já citado anteriormente esse ciclo corresponde ao fenômeno do El Niño/La Niña que novamente é evidenciado nesta série.

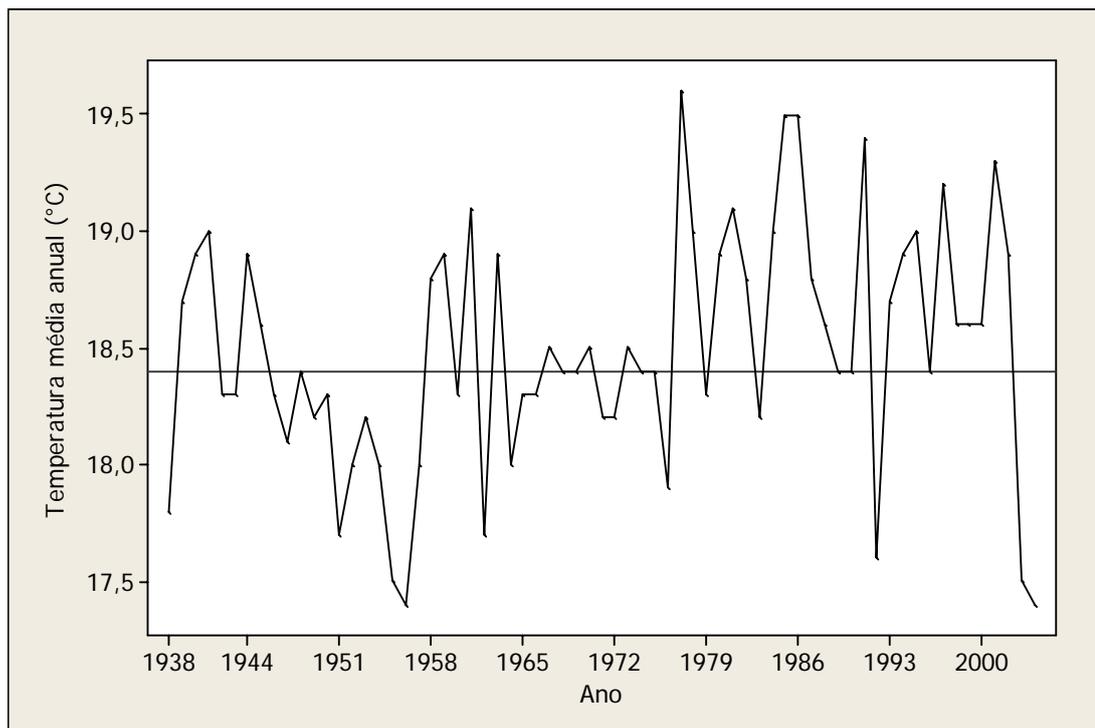


Figura 18- Gráfico da temperatura média anual (TMA) para o planalto Meridional-riograndense. A linha fina contínua define a média (18,4°C).

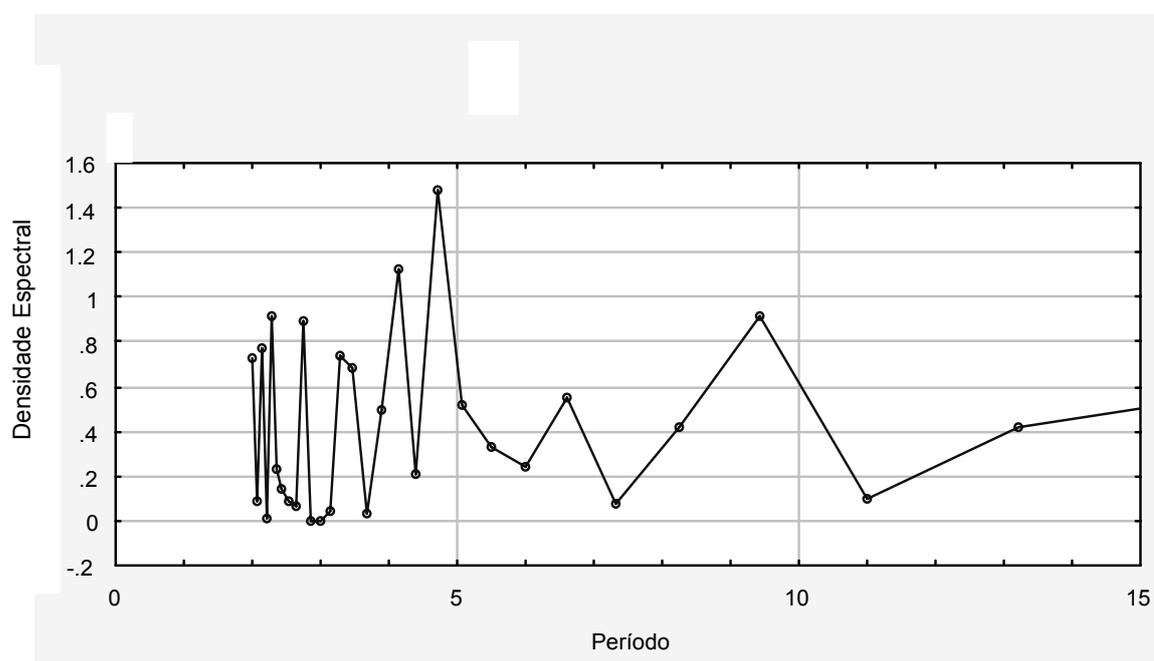


Figura 19- Gráfico da densidade espectral dos dados da temperatura média anual (TMA) para o planalto Meridional-riograndense. Nota-se pico com densidade espectral no período médio de 4,1 e 4,7 anos.

4.5- Análise da série temporal da amplitude média anual (AMA)

A amplitude oscilou entre o máximo de 13,5°C e o mínimo de 9,9°C. A amplitude média anual foi $11,6 \pm 0,7^\circ\text{C}$. A amplitude é verificada a partir da diferença entre TMaxMA e TMinMA.

A Figura 20 mostra a clara tendência ($- 0,02^\circ\text{C a}^{-1}$) de decréscimo da diferença entre TMaxMA e TMinMA no período 1938-2004, uma redução de 1,3°C em 66 anos.

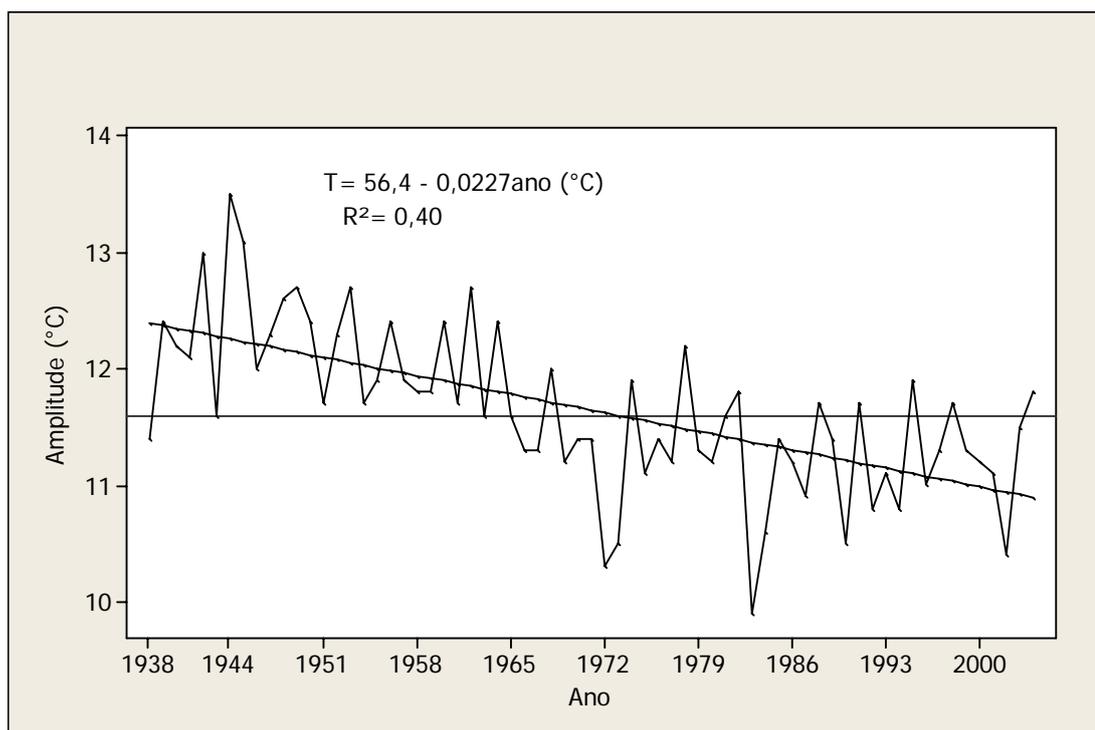


Figura 20- Gráfico da amplitude média anual para a o planalto Meridional-riograndense. A linha fina contínua define a média (11,6°C). Note a tendência de redução da amplitude térmica desde 1938.

A regressão resultou na seguinte equação ($R^2 = 0,40$ e $\infty 0,0001$):

$$T_{(\text{amplitude})} = 56,4 - 0,0227\text{ano } (^\circ\text{C}) \quad (\text{Equação 4})$$

onde:

$x = \text{ano}$

$T_{(\text{amplitude})} = \text{amplitude média anual estimada.}$

Observa-se que o modelo ajustado é significativo, pois o valor de α é $< 0,05$. No modelo, o R^2 é o coeficiente de determinação que explica quanto varia a amplitude em função do tempo.

Aplicando-se a metodologia para estimação de ciclos para AMA Figura 21 encontramos uma correlação forte. A análise espectral aponta dois ciclos de 4,1 e 3,7 anos. O ciclo do fenômeno El Niño/La Niña ficou fortemente representado em todas as séries analisadas.

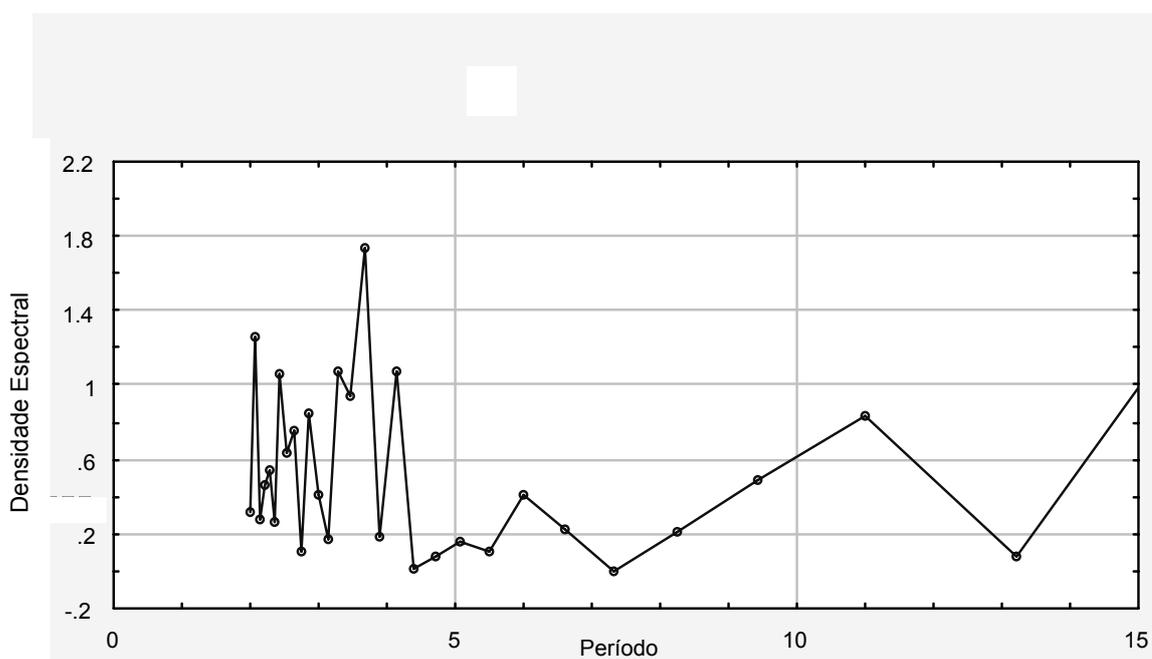


Figura 21- Gráfico da densidade espectral dos dados da amplitude média anual (AMA) para o planalto Meridional-riograndense. Nota-se pico com densidade espectral no período médio de 4,1 e 3,7 anos.

A análise da série temporal feita a partir dos ciclos nos aponta informações coincidentes. No caso, da TMaxMA encontramos ciclos com períodos de 3,3; 3,5; 4,1 e 4,7 anos. Para a TMinMA ciclos de 2,3; 4,7 e 11 anos. Na TMA ciclos de 4,1 e 4,7 anos e para a AMA ciclos de 4,1 e 3,7 anos.

Conforme o que verificamos os ciclos que estão entre 3,3 e 4,7 são ciclos característicos do fenômeno El Niño (IPCC, 1996), (Oliveira, 1999). Esta característica cíclica descrita pelo El Niño, também foi encontrada na análise espectral feita por Livi (2002) para Porto Alegre. Já o ciclo de 11 anos foi constatado apenas na série da TMinMA e representa o período das manchas solares.

Conforme (Oliveira, 1999) e (Livi, 2002), o fenômeno do El Niño/La Niña interfere na dinâmica dos sistemas frontais, resultando em maior duração do tempo nublado na região sul do Brasil, o que pode ser constatado no aumento de dias de chuva e na duração do período de insolação.

Portanto, a análise espectral das séries nos evidencia a grande influência do fenômeno El Niño/La Niña no clima da região em estudo.

Capítulo 5

DISCUSSÃO

5- Introdução

Quando referimos a relação entre variabilidade da temperatura ao longo do tempo, observamos que a grande maioria dos trabalhos publicada considera freqüentemente os dados da TMA.

Entretanto, esta pesquisa leva em consideração o comportamento da TMinMA, TMaxMA, TMA e AMA para uma área agrícola representativa da região do planalto meridional do estado do Rio Grande do Sul. A pesquisa apresentou dados importantes que responderam os objetivos propostos, além de levantar informações referentes ao comportamento da temperatura nos últimos 66 anos. Dados estes que poderão auxiliar no planejamento agrícola, além de prognosticar algumas medidas.

5.1- Comportamento da série temporal temperatura máxima média anual (TMaxMA)

Observando os resultados da análise a partir da série temporal da TMaxMA, a média para o período (1938-2004) foi 25,2°C com desvio padrão de $\pm 0,5^\circ\text{C}$. O comportamento da TMaxMA ao longo série foi homogêneo, variando entre o máximo (26,3°C, 1944) e mínimo (23,8°C, 1983). Na tabela do Anexo III é possível verificarmos estas informações. Analisando a Figura 14, duas tendências parciais são perfeitamente notadas, entre 1949-1975 e 1976-2004.

A partir do levantamento e análises feitas sobre a TMaxMA não verificamos nenhum padrão de tendência. Não encontramos outros trabalhos que se referem à variabilidade da TMaxMA especificamente para esta região do estado do Rio Grande do Sul.

Ichiba (2005) observou a variabilidade da TMaxMA para região tropical do estado do Paraná, período 1979-2003 e constatou comportamento similar desta variável com relação a região de estudo no Rio Grande do Sul.

Notou-se que mesmo o período de análise sendo curto, a variabilidade de TMaxMA nas duas pesquisas não apresentou tendência definida, ou seja, os resultados foram similares.

Em trabalho sobre aquecimento global para região sul do Brasil, Mendonça (2005) constatou que de um total de 10 estações analisadas no estado do Rio Grande do Sul, 7 apresentaram tendência ao aumento da TMaxMA (Bom Jesus, Encruzilhada do Sul, Irai, Passo Fundo, São Luiz Gonzaga, Santa Maria e Torres). Entretanto, no trabalho o índice de tendência não é explicitado, contudo as análises feitas apontam para tendência significativa.

Já em trabalho realizado por Livi (2002) para Porto Alegre não foi encontrada tendência significativa de aumento da TMaxMA entre 1910-2000.

Entretanto, as conclusões obtidas com o estudo TMaxMA para a região sul e para a área de estudo foram bastante similares, observando que, mesmo em escalas temporais diferentes, foi encontrado um padrão homogêneo sem tendências. A TMaxMA apresentou ciclos de 3,3; 3,5, 4,7 e 4,1 anos. Estes ciclos encontrados evidenciam a influência do fenômeno El Niño/La Niña. Assim, a série da TMaxMA mostra nitidamente a influência deste fenômeno natural. Nota-se que este fenômeno não altera apenas a precipitação no estado, como também, a variabilidade da temperatura.

5.2- Comportamento da série temporal temperatura mínima média anual (TMinMA)

A série temporal da TMinMA aponta tendência linear bastante significativa para o período analisado (1938-2004). Apresentou média de 13,4°C, oscilou entre 12,1°C (1956) e 14,8°C (2002) e desvio padrão $\pm 0,6^\circ\text{C}$. Verificamos que até o ano de 1976 a temperatura oscilou entre 12°C e 14°C, a partir deste período notamos oscilação entre 13°C e 14°C (Anexo IV), significando um aumento de $\pm 1^\circ\text{C}$ após a década de 1970. A partir da análise dos dados da TMinMA (Figura 15), ficou evidenciado o aumento de 0,02°C/ano para o período 1938-2004.

Trabalho sobre a tendência da TMinMA no estado do Rio Grande do Sul (1913-2002) constatou-se tendência linear de aumento no inverno (junho, julho e agosto) de 2,8°C e no verão (dezembro, janeiro e fevereiro) de 1,7°C (Mesommo, 2004).

Já para Medonça (2005), a tendência da TMinMA no estado do Rio Grande do Sul é evidenciada em 4 estações das 10 analisadas por ele. Esta pesquisa

verifica tendência significativa para 3 estações de 5 analisadas para o estado de Santa Catarina, no Paraná 7 estações dentre 5 apresentaram tendência ao aumento de temperatura, entretanto, os resultados não explicitaram qual foi o valor do índice de tendência da TMinMA .

Em estudo feito por Pinto (2002) para o estado de São Paulo, a TMinMA também aumentou significativamente, cerca de $0,02^{\circ}\text{C}$ por ano, ou seja, um aumento de 2°C nos últimos 100 anos.

Conforme Livi (2002), em trabalho feito para Porto Alegre, foi encontrada tendência de aumento da TMinMA de $0,01^{\circ}\text{C}$ por ano para o período 1910-2000.

Para o estado do Paraná também, se realizou trabalho semelhante, foram consideradas apenas estações situadas no norte do estado e os resultados reforçam a questão do aumento e variabilidade da TMinMA, entre $0,5^{\circ}\text{C}$ e $1,0^{\circ}\text{C}$ no período 1979-2003 (Ichiba, 2005).

A partir disso, notamos que a variabilidade TMinMA para a região de estudo apresentou comportamento semelhante com outros lugares na Região Sul do país.

Uma informação interessante foi a coincidência no valor da tendência da TMinMA obtida para o estado de São Paulo e aquelas da região de estudo, ou seja, o aumento foi igual em ambas as áreas ($0,2^{\circ}\text{C}/\text{ano}$). Este valor vem ao encontro da afirmação de que, atualmente, vivenciamos uma tendência de aumento da TMinMA (Pinto, 2005).

Note que os resultados da variabilidade climática, encontrados na região de estudo, refletem de maneira negativa para a maior região agrícola do estado do Rio Grande do Sul, uma vez que, possivelmente acarretarão mudanças.

Na série temporal da TMinMA foram constatados ciclos de 2,3 e 4,7 anos correspondem a influência do fenômeno El Niño/La Niña e um ciclo de 11 anos que se relaciona com o período das manchas solares.

5.3- Comportamento da série temporal temperatura média anual (TMA)

Na TMA a variabilidade esteve entre $17,4^{\circ}\text{C}$ (1956) e $19,6^{\circ}\text{C}$ (1977), com desvio padrão ($18,4 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$). Nesta série não encontramos tendência significativa.

Mendonça (2005), em trabalho realizado para a região sul do Brasil, constatou para o estado do Rio Grande do Sul, 5 estações de 10 estações analisadas apresentaram tendência significativa. Dentre as que apresentaram tendência, 2 delas fazem parte da atual pesquisa (Iraí e São Luíz Gonzaga).

Conforme Livi (2002), em pesquisa realizada para Porto Alegre/RS (1910-2000), a TMA não apresentou aumento estatisticamente significativo.

Mota (1993) constatou aumento da TMA em $0,0065^{\circ}\text{C}/\text{ano}$ ou $0,45^{\circ}\text{C}$ para o período 1913-1982 (69 anos). No entanto, a metodologia usada para o cálculo da temperatura média foi calculada a partir da soma entre TMaxMA e TMinMA e o resultado dividido por dois. Destacamos que esta metodologia não foi a mesma usada nesta pesquisa (item 3.1).

Já conforme dados do IPCC (2001), ao longo do século XX a temperatura média global aumentou em torno de $0,6^{\circ}\text{C}$. Sendo a década de 1990 a mais quente e o ano de 1998 o mais quente desde o início da série (1861). Assim, os resultados obtidos na pesquisa para o planalto do estado do Rio Grande do Sul são relativamente diferentes, uma vez que se trabalha com escalas geográficas diferenciadas (escala regional e global).

Entretanto, destacamos a importância de se conhecer as características climáticas locais correlacionando-a com aspectos climáticos de escala global.

Na TMA constatamos ciclo de 4,1 e 4,7 anos com características fortes, ou seja, aparecem bem definidos ao longo da série. Este ciclo refere também, a influência do fenômeno El Niño/La Niña.

5.4- Comportamento da amplitude média anual (AMA)

A amplitude corresponde à diferença entre TMaxMA e TMinMA. Com esta análise verificamos que a diferença entre as temperaturas máxima e mínima vem diminuindo desde 1938. Existe uma redução de $-0,02^{\circ}\text{C a}^{-1}$. Esta relação ocorre certamente devido ao acréscimo verificado na TMinMA.

Livi (2002) constatou também a diminuição da amplitude e afirma que isto pode ter relação com o aumento do número de dias de chuva, conseqüentemente mais nublados. Além disso, o efeito estufa provocado pelas nuvens reduz o resfriamento noturno da superfície, reduzindo a amplitude térmica.

Os dados da AMA apresentaram dois ciclos fortes de 4,1 e 3,7 anos relacionados ao fenômeno do El Niño/La Niña.

Capítulo 6

CONCLUSÕES

A partir da recomposição chegamos a dados climáticos gerais atualizados para a região de estudo. No caso, a TMaxMA, TMinMA, TMA e a AMA apresentaram respectivamente os seguintes valores: $25,1 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$, $13,4 \pm 0,6^{\circ}\text{C}$, $18,5 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ e $11,6 \pm 0,7^{\circ}\text{C}$ (média anual); 26,3, 14,8, 19,6 e 13,5; (maior média anual); 23,9, 12,1, 17,4 e 9,9 (menor média anual) no período de 1938-2004.

Mediante análise das séries temporais, constatamos para a região de estudo, tendência ao aumento na TMinMA de $0,02^{\circ}\text{C}/\text{ano}$, período 1938-2004, apresentando três ciclos bem definidos de 2,3, 4,7 e 11, caracterizando respectivamente a influência do fenômeno El Niño/La Niña e o das manchas solares. A tendência de aumento da TMinMA também foi encontrada por outros autores para a região sul do Brasil como um todo, bem como para o estado de São Paulo (região sudeste). Assim, os resultados apontam para um único consenso de que a TMinMA vem sofrendo aumento ao longo do tempo nas regiões verificadas.

Para a série da TMaxMA não verificamos nenhum padrão de tendência, ou seja, apresentou padrão homogêneo da temperatura ao longo do período semelhante a outras pesquisas. A análise espectral apontou ciclos de 3,3, 3,5, 4,1 e 4,7 anos, que refletem a influência do fenômeno El Niño/La Niña o.

Na TMA também não encontramos tendências, apresenta dois ciclos de 4,1 e 4,7 anos que coincidem com os ciclos já descritos na TMaxMA e TMinMA. Chama-nos atenção o resultado da TMA que está aumentando na escala global, ou seja, tendência diferente da escala regional. Desta maneira salientamos a importância de se conhecer melhor o comportamento climático de regiões menores, buscando saber quais os fatores que influenciam e determinam as características climáticas locais e regionais.

A AMA é a diferença entre a temperatura média anual máxima e mínima, a qual diminui desde 1938. A redução é de $-0,02^{\circ}\text{C a}^{-1}$. Entretanto, esta relação ocorre certamente devido ao acréscimo verificado na TMinMA. Na AMA encontramos dois ciclos com o mesmo período da TMA.

Observamos na análise espectral das séries, tanto na TMaxMA, TMinMA, TMA e AMA, a influência marcante do fenômeno El Niño/La Niña. Apenas na série da

TMinMA é que identificamos a influência das manchas solares com período de 11 anos.

Contudo, a partir dos resultados obtidos, apontamos a necessidade de trabalhos futuros que estendam estas séries para todo o estado, para melhorar o prognóstico de tendências na temperatura superficial atmosférica e identificar seus ciclos como aqueles devido à influência do fenômeno. É necessário ainda um aprofundamento das pesquisas sobre o impacto dessas variações da temperatura na produção agrícola, indicando cultivares que se adaptem as novas condições climáticas no estado e em particular para a região do planalto meridional-riograndense.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMAIDA, T.S. Variabilidade do número de dias de chuva no estado do Rio Grande do Sul. In: Salão de iniciação Científica (13°:2001: Porto Alegre, RS). **Livro de resumos**. Porto Alegre: UFRGS. 2001. p.126.
- AYOADE, J, O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. São Paulo: Difel, 1998. 332p.
- ARAÚJO, L.C. **Memória sobre o clima do Rio Grande do Sul**. Rio de Janeiro. Ministério da Agricultura, Industria e Comércio, 1930. 100p.
- BERLATO, M. A.; FONTANA, D.C. **El Niño e La Niña: impactos no clima, na vegetação e na agricultura do Rio Grande do Sul: aplicações de previsões climáticas na agricultura**. Porto Alegre: UFRGS, 2003. 110p.
- BRADLEY, R.S. **Paleoclimatology: Reconstructing Climates of the Quaternary**. Massachusetts: University of Massachusetts Amherst. (International Geophysics Series). v.64, 2 ed.,1999. 595p.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Secretaria Nacional de Irrigação, Departamento Nacional de Meteorologia. Divisão de Meteorologia Aplicada. **Normais climatológicas** (1961 – 1990). Brasília: Embrapa, 1992. 84p.
- BURIOL, G. A. et al. Cartas mensais e anuais das temperaturas média das médias das temperaturas máximas e das médias das temperaturas mínimas do Estado do Rio Grande do Sul. **Revista do Centro de Ciências Rurais**. Santa Maria: UFSM, v.9, p. 1-43, 1979.
- CALIXTO, R. T.; KRUSCHE, N. Aquecimento global no estado do Rio Grande do Sul. In: XI SBG FÍSICA E APLICADA. 2005. São Paulo. **Anais...São Paulo, 2005**. 1 CD ROM.
- CAMARGO, A.P. Classificação climática para zoneamento de aptidão agroclimática. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA. 7, 1991. Viçosa, MG. **Resumos...**,Viçosa: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia/Universidade Federal de Viçosa. 1991. p. 126-131.
- CARMONA, L. de C. e BERLATO, M.A. Relação entre elementos meteorológicos e rendimentos do arroz irrigado no estado do rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. Santa Maria, v.10, n.2, p. 289-294, 2002.
- CERVENY, R.S. Present Climates of South America. In: Hobbes et al. (Ed) **Climates of the Southern Continents: Present, Past and Future**. New York: John Wiley. p. 65-87, 1998.
- CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS. Frentes, **Sistemas de circulação e Circulação**. Disponível em:
<http://www.atmosphere.mpg.de/enid/0.55a304092d09/2_Sistemas_de_circulacao/>. Acesso em 06 de junho de 2005.

- DESSAI, S., T. R. A ciência das alterações climáticas. **Finisterra**, v.36, n.71, p.117-132, 2001.
- DINIZ, G.B. et al. Regiões Homogêneas de temperatura máxima e mínima do Rio Grande do Sul. **In: V SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA**. Curitiba. **Anais...** Paraná, 2002. 1 CD ROM.
- DELAGADO, R.C. et al. Temperatura mínima diária para o estado do Rio Grande do Sul derivada do modelo global/NCEP-NOAA. **In: XIV CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA**. São Paulo. **Anais...**São Paulo, 2005. 1 CD-ROM.
- EPSTEIN, I. Aquecimento Global. **Com Ciência - Mudanças Climáticas**, 2002. Disponível em: <<http://www.comciencia.br/reportagens/clima/clima06.htm>>. Acesso em 14 de junho de 2005.
- FONZAR, B. C. A Circulação Atmosférica na América do Sul: os dois grandes sistemas planetários e subsistemas regionais que atingem o continente: localização e trajetórias. **In: CADERNO DE GEOCIÊNCIAS**, Rio de Janeiro, n.11, p. 11-33, 1994.
- GONÇALVES, F.V e KIM, I.S. Estudo da variabilidade climática nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina através da análise das componentes principais dos campos de temperatura máxima, mínima e média mensal. **In: X CONGRESSO DE AGROMETEOROLOGIA**. 1998. Brasília. **Anais...** Brasília, 1998. 1 CD-ROM.
- GRADEL. T.E.; CRUTZEN, P.J. **Atmosphere, Climate, and Change**. New York: Scientific American Library, Série 55, 1995.196p.
- ICHIBA, S.H.K. et al. 2005. Variabilidade da temperatura máxima, média e mínima para o estado do Paraná. **In: XI SBG FÍSICA E APLICADA**. 2005. São Paulo. **Anais...** São Paulo, 2005. 1CD ROM.
- INSTITUTO DE PESQUISA AGRONÔMICAS. **Atlas Agroclimático do estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, Secretaria da Agricultura e Abastecimento, v1. 1989. 102p.
- IPCC 1995. 1996. **Climate change 1995: the science of climate change**. HOUGHTON, J.T.; MEIRA FILHO, L.G.; CALLANDER, B.A.; HARRIS, N.; KATTENBER, A.; MASKELL, K. (ed). Cambridge: Cambridge University Press. 572p.
- _____. 2001. **Climate change 2001: Synthesis Report**. WATSON, R.T.; TEAM,C.W. (ed). Cambridge: Cambridge University Press. 398p.
- JONES, P.D. et al. The Evolution of Climate over the Last Millennium. **Review Paleoclimate**. v.292, p. 662-667, 2001. Disponível em: <<http://www.sciencemag.org>>. Acesso em: 26 março de 2006.

- KUINCHTNER, A. BURIOL, G. A. Clima do estado do Rio Grande do Sul, segundo a classificação climática de Köppen e Thornthwaite. **Disciplinarun Scientia**, Série, Ciências Exatas: Santa Maria, v.2, n.1, p.171-182, 2001.
- LIVI, P.F. **O clima em Porto Alegre no século XX: uma análise de séries temporais**. Dissertação, Mestrado em Geografia, Instituto de Geociências, Curso de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002. 58p.
- MACHADO, F.P. **Contribuições ao Estudo do Clima do Rio Grande do Sul**. Rio de Janeiro: Conselho Nacional de Geografia, 1950. 91p.
- MALUF, J.R.T. Nova classificação climática do estado do Rio Grande do Sul. **Revista de Agrometeorologia**. Santa Maria, v.8, n.1, p. 141-150, 2000.
- MARTYN, D. **Climates of the World**. Amsterdam: Elsevier, 1992. 435p.
- MENDONÇA, F. Aquecimento global e saúde: uma perspectiva geográfica – notas introdutórias. **Terra Livre**, São Paulo, n. 20, p. 205-221. 2003.
- MESOMMO, D. et al. Tendência na temperatura mínima média numa região climática do Rio Grande do Sul. In: XIV CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA... 2005. São Paulo. **Anais...**São Paulo, 2005. 1 CD-ROM.
- MONTEIRO, C.A.F. Clima. In: Região Sul. Geografia do Brasil. Rio de Janeiro: IBGE, v.5, p.121-127.1990.
- MOREIRA, A.A.N; LIMA, G. Relevo. In: FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Geografia do Brasil. Rio de Janeiro: IBGE, v.5, p.18-31.1977.
- MORENO, J.A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, RS: Secretaria da Agricultura. 1961.38p.
- MOTA, F. S et al. Tendência Temporal da Temperatura no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. Santa Maria, v.1 n.1, p. 101-103, 1993.
- MTC. Ministério da Ciência e Tecnologia. **Aquecimento Global**. Disponível em: <<http://www.mct.gov.br/clima/convencao/guia.htm#n1>>. Acesso em: 16 de março de 2005.
- NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE. 1989. 422p.
- NOBRE, A.C. et al. South America. In: Meteorological Monographs. Boston: American Meteorological Society, v.27, n.49, p.119-139. 1998.
- OLIVEIRA, H.T. **Climatologia das temperaturas mínimas e probabilidade de ocorrência de geada no estado do Rio Grande do Sul**. Dissertação, Mestrado, Faculdade de Agronomia, Programa de Pós Graduação em Agronomia, Curso de Pós-Graduação em Fitotecnia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997. 81p.

- OLIVEIRA, S.O. **O El Niño e você: o fenômeno climático**. São José dos Campos: TRANSTEC, 1999. 116p.
- PEDÉLABORDE, P. **Les Moussons**. Paris: Armand Colin. 1958. 278p.
- PINTO, H.S. et al. O aquecimento global e agricultura. **Com Ciência – Mudanças Climáticas**, 2002. Disponível em:
<<http://www.comciencia.br/reportagens/clima/clima16.htm>. Acesso em 14 junho de 2005.
- PEREIRA, A.R. et al. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações**. Guaíba: Agropecuária. 2002. 478p.
- RAMBO, B.S.J. **A fisionomia do Rio Grande do Sul: ensaio de monografia natural**. Porto Alegre: Selbach, 1956. 456p.
- SPIEGEL, M.R. **Estatística**. 3ª ed. São Paulo: Makron Books, 1993. 643p
- SALGADO, L.; LEA, M. **História Ecológica da Terra**. São Paulo: Edgard Bluscher 2ª ed, 1996. 307p.
- SANT'ANNA, NETO, J. L. Clima e organização do espaço. **Boletim de Geografia**. Maringá. Ano 16, n.1, 1998.
- SARTORI, M.G.B. A Circulação atmosférica regional e os principais tipos de sucessão do tempo no inverno do Rio Grande do Sul, Brasil. **Ciência e Natura**, Santa Maria, n.15, p. 69-93, 1993.
- _____. A Dinâmica do clima do Rio Grande do Sul: indução empírica e conhecimento científico. **Terra Livre**, São Paulo, n.20, p. 27-49, 2003.
- SERRA, A.; RATABONA, L. As massas de ar da América do sul. **Revista Geográfica**. Rio de Janeiro, n. 51, p. 67-129, 1959.
- SERRA, A. Climatologia do Brasil. **Boletim Geográfico**. Rio de Janeiro, n. 243, p. 53-119, 1974.
- SUERTEGARAY, D.M.A.; FUJIMOTO, N.S.V.M. Morfogênese do relevo do Estado do Rio Grande do Sul. In: Verdum *et al.* (org), **Rio Grande do Sul: Paisagens e Territórios em Transformação**. p. 11-26, 2004.
- SUGUIO, K. As mudanças paleoclimáticas da Terra e seus registros, com ênfase no Quaternário. In: Variabilidade e mudanças climáticas: implicações ambientais e socioeconômicas. Maringá: Eduem. 2000. p. 28-49.
- TRIOLA, M.F. **Introdução à Estatística**. 7ed. Rio de Janeiro: LT, 1999. 410p.
- TRIVHARTA, G.T. **An Introduction to climate**. 5 ed. New York: Mc Graw-Hill, 1980. 416p.
- TUBELIS, A; NASCIMENTO, F.J.L. **Meteorologia Descritiva** - fundamentos e

aplicações brasileiras. São Paulo: Nobel. 1 ed,1992. 80p.

TUCCI, C. E.M; BERTONI, J.C. Precipitação. In: Tucci (org) 2001. p 183-184.

VIEIRA, E. F; RANGEL, S.R.S. **Rio Grande do Sul: geografia física e vegetação.** Porto Alegre: Sagra. 1984. 184p.

VIANELLO, R.L. **Meteorologia básica e aplicações.** Viçosa: UFV, Imprensa Universitária, 1991. 449p.

ANEXOS

Anexo I
Reconstituição da série temporal

Estação a ser completada T_{min}MM e T_{Max}MM	Estações usadas para “Preenchimento das falhas”
Cruz Alta	1. Santa Maria 2. Passo Fundo 3. Iraí
São Luiz Gonzaga	1. Cruz Alta 2. Santa Maria 3. Passo Fundo
Iraí	1. Passo Fundo 2. Lages 3. São Luiz Gonzaga
Passo Fundo	1. Cruz Alta 2. Santa Maria 3. Iraí
Lagoa Vermelha	1. Passo Fundo 2. Lages 3. Iraí

Estação a ser completada TMM	Estações usadas para “Preenchimento das falhas”
Cruz Alta	1. Santa Maria 2. Passo Fundo 3. Iraí
São Luiz Gonzaga	1. Cruz Alta 2. Santa Maria 3. Passo Fundo
Iraí	1. Passo Fundo 2. Lages 3. São Luiz Gonzaga
Passo Fundo	1. Cruz Alta 2. Santa Maria 3. Iraí
Lagoa Vermelha	1. Passo Fundo 2. Santa Maria 3. Iraí

Anexo II

Subrotina para cálculo das falhas

```
function x = angelica_2(data,sites_reference)
%
% compute the yearly mean vector for all sites -mean_vect-
%
data_full=data;
mean_vect=[];
%
for month = 1:size(data,1)
sum_month=[];
for year = 1:size(data,2)
if data(month,year)>=0
sum_month = [sum_month;data(month,year)];
end
end
mean_vect(month)=mean(sum_month);
end
save mean_vect mean_vect
%
% filling out missing values
%
for month = 1:size(data,1)
for year = 1:size(data,2)
if data(month,year)<0
ym = mean_vect(month);
%
site=floor((month-1)/12)+1;
site_1=sites_reference(site,1);
site_2=sites_reference(site,2);
site_3=sites_reference(site,3);
%
month
(site_1 - 1)*12 + month - floor(month/12)*12
%
xm1 = mean_vect((site_1 - 1)*12 + month - floor((month-1)/12)*12);
xm2 = mean_vect((site_2 - 1)*12 + month - floor((month-1)/12)*12);
xm3 = mean_vect((site_3 - 1)*12 + month - floor((month-1)/12)*12);
%
x1 = data(((site_1 - 1)*12 + month - floor((month-1)/12)*12),year);
x2 = data(((site_2 - 1)*12 + month - floor((month-1)/12)*12),year);
x3 = data(((site_3 - 1)*12 + month - floor((month-1)/12)*12),year);
%
% interpolating
%
yc = (1/3)*((x1/xm1)+(x2/xm2)+(x3/xm3))*ym;
data_full(month,year)=yc;
%
end
end
end
%
save data_full data_full
```

ANEXO III

Temperatura máxima média anual para a região de estudo

1938	24,4	1972	24,3
1939	25,0	1973	24,3
1940	25,4	1974	24,8
1941	24,7	1975	24,3
1942	25,2	1976	24,1
1943	24,7	1977	25,8
1944	26,3	1978	25,7
1945	26,1	1979	24,4
1946	25,1	1980	25,2
1947	24,8	1981	25,8
1948	25,5	1982	25,6
1949	25,8	1983	23,9
1950	25,3	1984	24,7
1951	25,2	1985	25,4
1952	25,1	1986	25,2
1953	25,7	1987	24,5
1954	24,9	1988	24,9
1955	24,3	1989	24,6
1956	24,5	1990	24,3
1957	25,1	1991	25,9
1958	25,6	1992	24,6
1959	25,5	1993	24,9
1960	25,3	1994	25,1
1961	25,8	1995	25,9
1962	24,8	1996	24,7
1963	25,6	1997	25,6
1964	24,9	1998	25,7
1965	24,8	1999	24,9
1966	24,6	2000	24,9
1967	25,3	2001	25,6
1968	25,0	2002	25,2
1969	24,7	2003	25,4
1970	25,3	2004	25,3
1971	24,5		

ANEXO IV

Temperatura mínima média anual para a região de estudo.

1938	13,0	1972	14,0
1939	12,6	1973	13,8
1940	13,2	1974	12,9
1941	12,6	1975	13,2
1942	12,2	1976	12,7
1943	13,1	1977	14,6
1944	12,8	1978	13,5
1945	13,0	1979	13,1
1946	13,1	1980	14,0
1947	12,5	1981	14,2
1948	12,9	1982	13,8
1949	13,1	1983	14,0
1950	12,9	1984	14,1
1951	13,5	1985	14,0
1952	12,8	1986	14,0
1953	13,0	1987	13,6
1954	13,2	1988	13,2
1955	12,4	1989	13,2
1956	12,1	1990	13,8
1957	13,2	1991	14,2
1958	13,8	1992	13,8
1959	13,7	1993	13,8
1960	12,9	1994	14,3
1961	14,1	1995	14,0
1962	12,1	1996	13,7
1963	14,0	1997	14,3
1964	12,5	1998	14,0
1965	13,2	1999	13,6
1966	13,3	2000	13,7
1967	14,0	2001	14,5
1968	13,0	2002	14,8
1969	13,5	2003	13,9
1970	13,9	2004	13,5
1971	13,1		

ANEXO V

Temperatura média anual para a região de estudo.

1938	17,8	1972	18,2
1939	18,7	1973	18,5
1940	18,9	1974	18,4
1941	19,0	1975	18,4
1942	18,3	1976	17,9
1943	18,3	1977	19,6
1944	18,9	1978	19,0
1945	18,6	1979	18,3
1946	18,3	1980	18,9
1947	18,1	1981	19,1
1948	18,4	1982	18,8
1949	18,2	1983	18,2
1950	18,3	1984	19,0
1951	17,7	1985	19,5
1952	18,0	1986	19,5
1953	18,2	1987	18,8
1954	18,0	1988	18,6
1955	17,5	1989	18,4
1956	17,4	1990	18,4
1957	18,0	1991	19,4
1958	18,8	1992	17,6
1959	18,9	1993	18,7
1960	18,3	1994	18,9
1961	19,1	1995	19,0
1962	17,7	1996	18,4
1963	18,9	1997	19,2
1964	18,0	1998	18,6
1965	18,3	1999	18,6
1966	18,3	2000	18,6
1967	18,5	2001	19,3
1968	18,4	2002	18,9
1969	18,4	2003	17,5
1970	18,5	2004	17,4
1971	18,2		

ANEXO VI

Amplitude média anual da região de estudo.

1938	11,4	1972	10,3
1939	12,4	1973	10,5
1940	12,2	1974	11,9
1941	12,1	1975	11,1
1942	13,0	1976	11,4
1943	11,6	1977	11,2
1944	13,5	1978	12,2
1945	13,1	1979	11,3
1946	12,0	1980	11,2
1947	12,3	1981	11,6
1948	12,6	1982	11,8
1949	12,7	1983	9,9
1950	12,4	1984	10,6
1951	11,7	1985	11,4
1952	12,3	1986	11,2
1953	12,7	1987	10,9
1954	11,7	1988	11,7
1955	11,9	1989	11,4
1956	12,4	1990	10,5
1957	11,9	1991	11,7
1958	11,8	1992	10,8
1959	11,8	1993	11,1
1960	12,4	1994	10,8
1961	11,7	1995	11,9
1962	12,7	1996	11,0
1963	11,6	1997	11,3
1964	12,4	1998	11,7
1965	11,6	1999	11,3
1966	11,3	2000	11,2
1967	11,3	2001	11,1
1968	12,0	2002	10,4
1969	11,2	2003	11,5
1970	11,4	2004	11,8
1971	11,4		