



## RELATÓRIO Nº 2

# Caracterização do clima no Século XX no Brasil: Tendências de chuvas e Temperaturas Médias e Extremas.



Guillermo Obregón  
José A. Marengo

2007



**MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA  
SECRETARIA DE BIODIVERSIDADE E FLORESTAS - SBF  
DIRETORIA DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE – DCBio**

## **Mudanças Climáticas Globais e Efeitos sobre a Biodiversidade**

**Sub projeto:**

**Caracterização do clima atual e definição das  
alterações climáticas para o território brasileiro  
ao longo do Século XXI**

### **Relatório No. 2**

**Caracterização do clima no Século XX no  
Brasil: Tendências de chuvas e  
Temperaturas médias e extremas**

**Guillermo O. Obregón  
José A. Marengo**

**CPTEC/INPE  
São Paulo, Brasil**

### **Equipe Científica:**

**Jose A. Marengo, Coordenador, CPTEC/INPE, SP**

**Carlos A. Nobre, CPTEC/INPE, SP**

**Igor Pishnitchenko, CPTEC/INPE, SP**

**Tatiana Tarasova, CPTEC/INPE, SP**

**María Valverde, CPTEC/INPE, SP**

**Renaud Laborbe, CPTEC/INPE, SP**

**Guillermo Obregón, CPTEC/INPE, SP**

**Julio P. Reyes Fernandez, CPTEC/INPE, SP**

**Wagner R. Soares, CPTEC/INPE, SP**

**Lincoln M. Alves, CPTEC/INPE, SP**

**Tercio Ambrizzi, IAG/USP, SP**

**Rosemeri P. Rocha, IAG/USP, SP**

**Simone T. Ferraz, IAG/USP, SP**

**Santiago. V. Quadra, IAG/USP**

**Eneas Salati, FBDS, RJ**

**Eneida Salati, FBDS, RJ**

**Tatiana Campanhol, FBDS, RJ**

**Nilson Villa Nova, ESALQ/USP, SP**

### **Apoio Administrativo:**

**Diana Raigoza, CPTEC/INPE, SP**

**Evanize Fidalgo, CPTEC/INPE, SP**

**Josiane C. M. de Oliveira, CPTEC/INPE, SP**

**Letícia Maria Barbosa de Faria, CPTEC/INPE, SP**

## **Agradecimentos**

Este documento é derivado principalmente dos resultados dos projetos *Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do Século XXI*, financiado pelo Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira – PROBIO e com o apoio do MMA/BIRD/GEF/CNPq e pelo Global Opportunity Fund-GOF do Reino Unido, através do projeto *Using Regional Climate Change Scenarios for Studies on Vulnerability and Adaptation in Brazil and South America*. Os pesquisadores do projeto agradecem ao CNPq pelas outorga de bolsas de pesquisa para os colaboradores. Outras fontes de financiamento incluem a Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP-Projeto de Pesquisa Temático 01/13816-1), o Conselho de Desenvolvimento Científico e Tecnológico CNPq, e o Instituto Inter Americano de Mudanças Globais-Projeto IAI(PROSUR CRN55). Muito do material incluído neste documento é resultado de estudos publicados pelo autor na literatura nacional e internacional, assim como da revisão de trabalhos realizada para a preparação do Quarto Relatório Científico AR4 do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC).

Estendemos nosso agradecimento ao Centro Técnico Aeroespacial CTA, Instituto Nacional de Meteorologia INMET, a Agência Nacional de Águas ANA, o CPTEC/INPE, o Instituto Agrônomo de Paraná IAPAR, e Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo DAEE pelo fornecimento de informação meteorológica. Um agradecimento muito especial vai para o Hadley Centre for Climate Research and Prediction do Reino Unido por fornecer dados do modelo global HadAM3P que servem de condições de contorno para rodar os modelos regionais, e ao IPCC - Data Distribution Centre (DDC) por fornecer as saídas dos

cinco modelos globais do IPCC-TAR analisados neste relatório. As simulações dos modelos climáticos regionais foram feitas no CPTEC/INPE e no IAG/USP, e agradecemos a Dra Maria Assunção F. da Silva Dias, Coordenadoras Geral do CPTEC por facilitar o uso do supercomputador NEC SX-6 para rodar o modelo Eta/CPTEC.

Estendemos nosso agradecimento também a Júlio C. Roma do MMA pelo seu apoio durante o desenvolvimento do projeto, e a Hélio Camargo, Letícia Faria, Regina S. Alvalá entre outros pelo apoio na produção de figuras e mapas que fazem parte do relatório.

## ÍNDICE

<b>Agradecimentos</b>		3
<b>Capítulo 1</b>	<i>Análise da Precipitação Diária do Brasil: 1981 - 2000</i>	7
<b>1. Introdução</b>		7
<b>2. Dados</b>		8
2.1 - Recopilação de informação e controle de qualidade		8
2.2 - Interpolação de dados dispersos a pontos de grade		8
<b>3. Métodos</b>		11
3.1 – Análises estatísticas das séries temporais da precipitação diária		11
3.2 – Análise das probabilidades não incondicionais de dias úmidos		11
3.3 – Análise das precipitações extremas		12
<b>4. Resultados</b>		12
4.1 – Precipitação Média		12
4.2 – Probabilidade de dias úmidos		13
4.3 – Análise das precipitações extremas		13
<b>5. Figuras– Distribuição da Precipitação</b>	<i>Figura 1 - Precipitação média anual (1981-2000) em mm/ dia.</i> <i>Figura 2 (a-d) - Precipitação média sazonal (1981-2000) em mm/ dia.</i> <i>Figura 3 (a-l) - Precipitação média mensal (1981-2000) em mm/ dia</i> <i>Figura 4 – Probabilidade de dias úmidos - anual (1981-2000).</i> <i>Figura 5 (a-d) – Probabilidade de dias úmidos – sazonal (1981-2000)</i> <i>Figura 6 – Precipitações extremas – anual &gt; 25 mm/dia (1981-2000)</i> <i>Figura 7 (a-d) – Precipitações extremas – sazonal: &gt; 25 mm/dia (1981-2000)</i>	17
<b>Capítulo 2</b>	<i>Tendências da Precipitação e temperatura no Brasil</i>	25
<b>1. Introdução</b>		25
<b>2. Dados</b>		27
2.1 - Seleção de estações base		27
2.2 – Controle de qualidade e preenchimento de falhas		28
<b>3. Métodos</b>		30
3.1 – Estimativa da Tendências lineares		30
3.2 – Determinação da significância das tendências lineares		30
<b>4. Resultados</b>		32
4.1 – Tendências lineares de precipitação		33
4.2 – Tendências lineares de temperatura		34
4.2.1 – Tendências lineares das temperaturas máximas		34
4.2.2 – Tendências lineares das temperaturas médias		36
4.2.3 – Tendências lineares das temperaturas mínimas		37
4.2.4 – Tendências lineares do ciclo diurno		38
<b>6. Tabelas</b>		39

<b>7. Figuras – Tendências de Precipitação</b>	<p>Figura 1 - Tendência da precipitação total anual (1951-2000) em mm/década. Círculos com contornos grossos indicam significância estatística do Teste Mann-Kendal ao nível de significância de 0.05.</p> <p>Figura 2 – Séries temporais de precipitação total anual de estações representativas das regiões do Brasil.</p> <p>Figura 3 - Tendência da precipitação total sazonal (1951-2000) em mm/década.</p> <p>Figura 4 (a-d) – Séries temporais de precipitação total sazonal.</p> <p>Figura 5(a-b) - Tendência da precipitação total mensal (1951-2000) em mm/década</p> <p>Figura 6 - Tendência da Temperatura máxima média anual (1961-2000) em <math>^{\circ}\text{C}</math> / década. Círculos com contornos grossos indicam significância estatística do Teste Mann-Kendal ao nível de significância de 0.05.</p> <p>Figura 7 – Séries temporais de temperatura máxima. Média anual de estações representativas das regiões do Brasil.</p> <p>Figura 8 (a-d) - Tendência da Temperatura máxima média sazonal (1961-2000) em <math>^{\circ}\text{C}</math> / década</p> <p>Figura 9 (a-b) – Séries temporais de temperatura máxima sazonal.</p> <p>Figura 10(a-l) - Tendência da Temperatura máxima média mensal (1961-2000) em <math>^{\circ}\text{C}</math> / década.</p> <p>Figura 11 - Tendência da Temperatura média anual (1961-2000) em <math>^{\circ}\text{C}</math> / década. Círculos com contornos grossos indicam significância estatística do Teste Mann-Kendal ao nível de significância de 0.05</p> <p>Figura 12 – Séries temporais de temperatura média anuais.</p> <p>Figura 13 (a-d) - Tendência da Temperatura média sazonal (1961-2000) em <math>^{\circ}\text{C}</math> / década</p> <p>Figura 14 (a-d) – Séries temporais de temperatura média sazonal</p> <p>Figura 15 (a-l) - Tendência da Temperatura média mensal (1961-2000) em <math>^{\circ}\text{C}</math> / década</p> <p>Figura 16 - Tendência da Temperatura mínima média anual (1961-2000) em <math>^{\circ}\text{C}</math> / década. Círculos com contornos grossos indicam significância estatística do Teste Mann-Kendal ao nível de significância de 0.05.</p> <p>Figura 17 – Séries temporais de temperatura mínima. Média anual de estações representativas das regiões do Brasil.</p> <p>Figura 18 (a-d) - Tendência da Temperatura mínima média sazonal (1961-2000) em <math>^{\circ}\text{C}</math> / década</p> <p>Figura 19 (a-d) – Séries temporais de temperatura mínima sazonal.</p> <p>Figura 20a - Tendência da Temperatura mínima média mensal (1961-2000) em <math>^{\circ}\text{C}</math> / década</p> <p>Figura 21 - Tendência do Ciclo diurno anual: Temperatura média anual Máxima - Mínima (1961-2000) em <math>^{\circ}\text{C}</math>/ década. Círculos com contornos grossos indicam significância estatística do Teste Mann-Kendal ao nível de significância de 0.05</p> <p>Figura 22 – Séries temporais do ciclo diurno. Média anual de estações representativas das regiões do Brasil</p> <p>Figura 23 - Tendência do Ciclo diurno sazonal: Temperatura média sazonal Máxima - Mínima (1961-2000) em <math>^{\circ}\text{C}</math>/ década</p> <p>Figura 24 (a-l) - Tendência do Ciclo diurno mensal: Temperatura média mensal Máxima - Mínima (1961-2000) em <math>^{\circ}\text{C}</math>/década.</p>	41
<b>Capítulo 3</b>	Discussões e Conclusões	82
<b>Referências</b>		85

# Capítulo 1

## ANÁLISE DA PRECIPITAÇÃO DIÁRIA DO BRASIL: 1981-2000

### 1. Introdução

Séries pluviométricas de boa qualidade para todo o Brasil tornam-se necessárias para caracterizar o clima atual e, servem como base para definir alterações climáticas que poderão ocorrer no território brasileiro ao longo do Século XXI. Dados de precipitação diária são de extrema importância quando se realizam pesquisas em escalas de tempo de um dia a meses. Existe um incremento na demanda de estes dados, principalmente em pontos de grade, por varias disciplinas, tais como em estudos de mudanças climáticas, verificação de modelos climáticos, hidrologia, entre outros.

Várias instituições do Brasil possuem dados históricos de suas redes de observação, que consistem de observações pluviométricas diárias em pontos irregularmente espaçados e densidade espacial bastante variável. Por outro lado, a grande maioria destes dados apresenta descontinuidades temporais, em diversos períodos e de comprimento variável. A distribuição espacial de postos pluviométricos apresenta uma melhora substancial ao início da década de 80, principalmente sobre a Amazônia, onde a densidade de postos pluviométricos melhorou substancialmente. No mesmo período, sobre a região Nordeste houve uma diminuição substantiva de postos pluviométricos, que afetou a continuidade temporal, houve uma recuperação posterior e hoje se tem uma boa densidade espacial.



Assim, um dos objetivos deste projeto é produzir um conjunto de dados diários, em pontos de grade de 1º de latitude X 1º longitude, para todo o Brasil, para o período de 1981 a 2000. Os dados, além de serem utilizados na caracterização do clima atual, nas análises de verificação dos cenários dos modelos climáticos, deverão ser difundidos em um conjunto de mapa e estarão disponíveis.

## **2. Dados**

### ***2.1 - Recopilação de informação e controle de qualidade.***

Recopilou-se informação pluviométrica diária desde 1981 a 2000. As instituições nacionais que forneceram esta informação são: Agência Nacional das Águas (ANA), Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo (DAEE), Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME), Instituto Tecnológico SIMEPAR e Centros e Laboratórios Estaduais de Meteorologia.

Como primeiro passo para do controle de qualidade, selecionaram-se estações base das várias regiões do Brasil, seguindo os seguintes critérios:

- Continuidade diária das séries pluviométricas;
- Análises gráficas da evolução da variável com o tempo;
- Análises diária, mensal e sazonal da variância das séries;
- Análises de médias parciais e desvios acumulados da média;

Mediante estas análises os dados foram reconhecidos e separados e/ou estações que apresentavam distribuições alheias ao observado em estações ao redor desta. Também, foi realizada análise de “outliers”. Neste caso foram separados valores que ultrapassaram 2.5 vezes os valores das variâncias das estações adjacentes.

## **2.2 – Interpolação de dados dispersos a pontos de grade.**

Existem muitos métodos que permitem converter observações em pontos dispersos a uma superfície (pontos de grades), onde padrões espaciais podem ser descritos sobre uma determinada área. Entre estes métodos temos os seguintes: Interpolação ponderada pela distância, Interpolação ponderada pelo inverso da distância, Interpolação ponderada de Shepard, Interpolação de Thiessen, Kriging, entre outros.

Para a interpolação dos dados de precipitação a pontos de grade utilizou-se o Método de Kriging, o qual é um método estatístico de interpolação semelhante ao de interpolação por média móvel ponderada. Porém, na krigagem os pesos dados a cada observação são determinados a partir de uma pré-análise espacial utilizando semivariogramas experimentais. Assim, este método tem a vantagem de otimizar a variável interpolada e tem sido utilizado amplamente em trabalhos similares ao que se está realizando.

Por exemplo, seja  $v(i)$  uma variável observada em diversos pontos  $i$ , o valor de cada ponto cada ponto estará relacionado com valores obtidos a partir de pontos situados a certa distância  $h$ , e a influência será tanto maior quanto menor for a distância entre os pontos. O grau de relação entre pontos numa certa direção pode ser expresso pela covariância, sendo os pontos regularmente espaçados por múltiplos inteiros de  $h$ .

A partir de  $h = 0$  a covariância diminui enquanto a variância aumenta, ou seja, ocorre progressivamente maior independência entre os valores obtidos a distâncias cada vez maiores. Graficamente isso significa que o variograma tem um comportamento inverso ao do covariograma.

Sendo  $v(1), v(2), \dots, v(i), \dots, v(n)$ , observações de uma variável, a estimativa não tendenciosa da semivariância é dada por  $\gamma(h) = 1/2n \sum \{v(i+h) - v(i)\}^2$ . Tais

relações são mostradas num gráfico entre a função  $\gamma(h)$  e  $h$ , que origina o semivariograma. Este não apresenta tendência, isto é, possui patamar, e expressa o comportamento espacial da variável observada. Na Figura 1 mostra-se o seguinte:

- - *Amplitude (a)*, que indica a distância a partir da qual as amostras passam a não possuir correlação espacial e a relação entre elas torna-se aleatória; toda amostra cuja distância ao ponto a ser estimada for menor ou igual à amplitude fornece informações sobre o ponto;
- - *Patamar ( $C + C_0$ )*, que indica o valor segundo o qual a função estabiliza-se no campo aleatório, correspondente à distância “a”; mostra a variabilidade máxima entre pares de valores, isto é, a variância dos dados e, conseqüentemente, covariância nula;
- - *Continuidade*, pela forma do variograma, em que para  $h=0$ ,  $\gamma(h)$  já apresenta algum valor. Esta situação é conhecida como *efeito pepita* e é representada por  $C_0$ ; o efeito pepita pode ser atribuído a erros de medição ou ao fato de que os dados não foram coletados a intervalos suficientemente pequenos, para mostrar o comportamento espacial subjacente do fenômeno em estudo;
- - *Anisotropia*, quando os semivariograma mostram parâmetros diferentes para diferentes direções de amostragem.

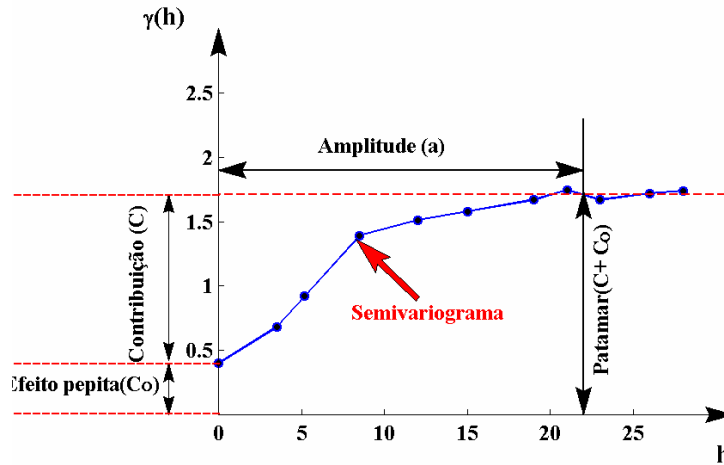


Fig. 1 – Representação gráfica do semivariograma

Assim, a krigagem usa informações a partir do variograma para encontrar os pesos ótimos a serem associados às observações com valores conhecidos que irão estimar pontos desconhecidos. E em nosso caso utilizou-se a krigagem ordinária que considera a média flutuante ou móvel por toda a área.

É necessário ressaltar que no plano original do presente projeto previa-se a interpolação com uma resolução de  $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ , porém, isto não foi possível pela falta de continuidade de muitas séries e, particularmente, pela inexistência de uma boa distribuição espacial dos dados o qual dá lugar a erros não sistemáticos. No cálculo das observações em pontos de grade, que podem ser observadas como distribuições muito ruidosas.

### 3. Métodos

#### 3.1 – Análises estatísticas das séries temporais da precipitação diária.

Calcularam-se as médias diárias anuais, sazonais e mensais, a partir dos dados diários calculados para cada ponto de grade de  $1^\circ \times 1^\circ$ .

Para cada série de tempo (ponto de grade), seja:  $y(t)$  (  $t=1,2,\dots,N$  ), a média está definida do seguinte modo;  $\bar{y} = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N y(t)$

### **3.2 – Análise das probabilidades não incondicionais de dias úmidos.**

A probabilidade média de ocorrência de dias chuvosos durante o ano foi calculada seguindo a metodologia de Katz (1983). A ocorrência (dia úmido) ou não ocorrência de precipitação (dia seco) para um dia do ano  $t$ , e para o ano  $n$ , tomando como limiar 1.0 mm/dia, é representada pela função abaixo:

$$J(t,n) = \begin{cases} 1 & \text{se } x(t,n) \geq 1,0\text{mm} \\ 0 & \text{se } x(t,n) < 1,0\text{mm} \end{cases}$$

O número total de dias úmidos que ocorrem durante os  $N$  anos (20 neste caso), são utilizados para calcular a probabilidade incondicional de um determinado dia do ano ser úmido,  $p(t)$ , do seguinte modo:

$$p(t) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N J(t,n) \quad t = 1,2,\dots,365$$

A partir desta equação calculou-se a probabilidade incondicional de precipitação, ou probabilidade de dias úmidos.

### **3.3 – Análise das precipitações extremas.**

O mesmo cálculo efetuado no item anterior foi realizado para o valor do limiar de 25.0 mm, considerando que valores diários acima deste valor podem ser considerados como extremos. Neste calculo considera-se somente os dias **unidos** ao invés de considerar a totalidade de dados ( $N$ ), o cálculo é feito em base dos valores de  $J(t, n)$ .

## **4. Resultados**

### **4.1 – Precipitação Média**

A figura 1 mostra a distribuição média diária da precipitação anual. Os valores máximos são observados sobre o extremo oeste da Amazônia (~ 9-10 mm/dia) e as mínimas sobre o Nordeste (< 2 mm /dia). Esta distribuição apresenta características regionais muito específicas, dando um ganho nos estudos a realizar-se com estes dados. Na distribuição sazonal (fig. 2 a-d), observa-se o deslocamento dos núcleos de precipitação máxima ao longo das estações. Aqui também são notórios certos detalhes regionais, como as precipitações associadas à Alta da Bolívia durante os verões e regiões com alta precipitação sobre a boca do rio Amazonas e o estado do Amapá. Inclusive, algumas características da distribuição espacial dentro da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) são observadas.

Do mesmo modo, ao longo dos meses (fig. 3 a-l), observa-se o deslocamento dos núcleos de máxima e mínima precipitação sobre o Brasil, ao longo do ano. Características próprias das distribuições regionais são ressaltadas com mais nitidez devido à resolução espacial dos dados.

### **4.2 – Probabilidade de dias úmidos**

A região Amazônica é a região com maior número de dias chuvosos durante o ano (fig. 4) e o Nordeste apresenta o menor número de dias com chuvas. A partir da região Nordeste, se estende pelo estado de Minas Gerais a Mato Grosso do Sul e Estados do Sul, uma região com baixa probabilidade de dias com chuva, relativos as suas adjacências. Durante as estações do ano (fig. 5) os padrões variam bastante, porém a região Amazônica, particularmente o extremo noroeste,

apresenta valores altos de dias úmidos durante todas as estações. Os valores altos, observados na Amazônia estendem-se, ao longo da ZCAS, particularmente durante os verões e, com menor intensidade durante as primaveras. Do mesmo modo valores altos de dias chuvosos se estendem para a Foz do rio Amazonas. Também, ao longo de toda a costa leste observa-se que persistem dias com precipitações, ainda que com valores relativamente baixos.

### **4.3 – Análise das precipitações extremas**

Os valores mostrados observados na distribuição espacial de probabilidades de precipitações maiores que 25 mm/ dia durante o ano (fig. 6), significam a proporção de dias com precipitações extremas em relação ao total de dias úmidos. Observam-se valores máximos entre 0.2 e 0.25, sobre a região centro oeste, estado do Rio Grande do Sul. Áreas, com valores relativamente, altos estendem-se para a região Sudeste.

Durante as estações do ano (fig. 7 a-d), observa-se que os valores extremos sobre o Rio Grande do Sul ocorrem particularmente no outono e inverno. Nos verões há uma distribuição, ainda que com valores baixos, de precipitações extremas sobre quase todo o território, com exceção do Nordeste e extremo Norte. Durante os outonos observam-se valores relativamente altos sobre áreas adjacentes a quase toda a costa norte do Brasil.

Em relação a outros estudos sobre extremos de chuva no Sul do Brasil, Teixeira (2004) identificou uma ligeira tendência de aumento no número de eventos extremos e chuva, com maiores freqüências em anos como 1993-94 e 1997-98, que são anos de El Niño. Grimm e Pscheidt (2001) explicam que no sul do Brasil durante anos de El Niño (La Niña) se observa um aumento (diminuição) do número de eventos extremos de chuva no mês de novembro em relação aos anos normais. No

período analisado por eles (1963-92), nove eventos El Niño e seis eventos La Niña aconteceram, e 15 anos foram normais. Foram detectados 36 eventos extremos de chuva durante novembro de anos El Niño, três durante La Niña e 23 em anos normais. A influência do El Niño na frequência de eventos extremos também se estende a outras regiões e épocas do ano.

O ciclo anual de eventos extremos de chuva no sul do Brasil mostra também ciclos anuais, sendo estes eventos mais freqüentes na primavera e outono (Teixeira, 2004). Eventos intensos de chuva em outono podem ser responsáveis por grandes valores de vazões no rio Paraná nos Pampas da Argentina. Liebmann *et al.* (2004) mostrou que em São Paulo na escala interanual, o número de eventos extremos de chuva mostra correlação com anomalias de TSM no Pacífico Tropical e no sudeste do Atlântico próximo ao litoral de São Paulo. O controle que ZCAS e SALLJ têm em escalas intra-sazonais e interanuais, pode ser observado na frequência de eventos intensos de chuva associados à presença da ZCAS, e a presença de SALLJ, que em média sugerem maior frequência de eventos intensos de chuvas no Sul e Sudeste do Brasil, quando o SALLJ é intenso e a ZCAS é mais fraca e deslocada para o sul da região Nordeste. Os diferentes autores definiram eventos extremos de chuva seguindo metodologias diferentes, usando valores similares ou valores acima de um percentil (95<sup>th</sup>), o que torna difícil a comparação entre resultados.

A variabilidade da precipitação diária na cidade de São Paulo durante o período 1933-1986 (Xavier et al. 1994) mostra que: (a) fraca tendência a aumento de precipitação mensal nos meses de fevereiro e maio, (b) acumulações superiores a 30 mm dia<sup>-1</sup> aumentaram nos meses de fevereiro e maio, (c) acumulações inferiores a 2 e 5 mm dia<sup>-1</sup> diminuíram de forma mais significativa em fevereiro, mas ocorrem também em outros meses do ano. É possível que no caso da cidade de São Paulo o efeito urbano tenha sido de (d) acumulações inferiores a 2 mm dia<sup>-1</sup>



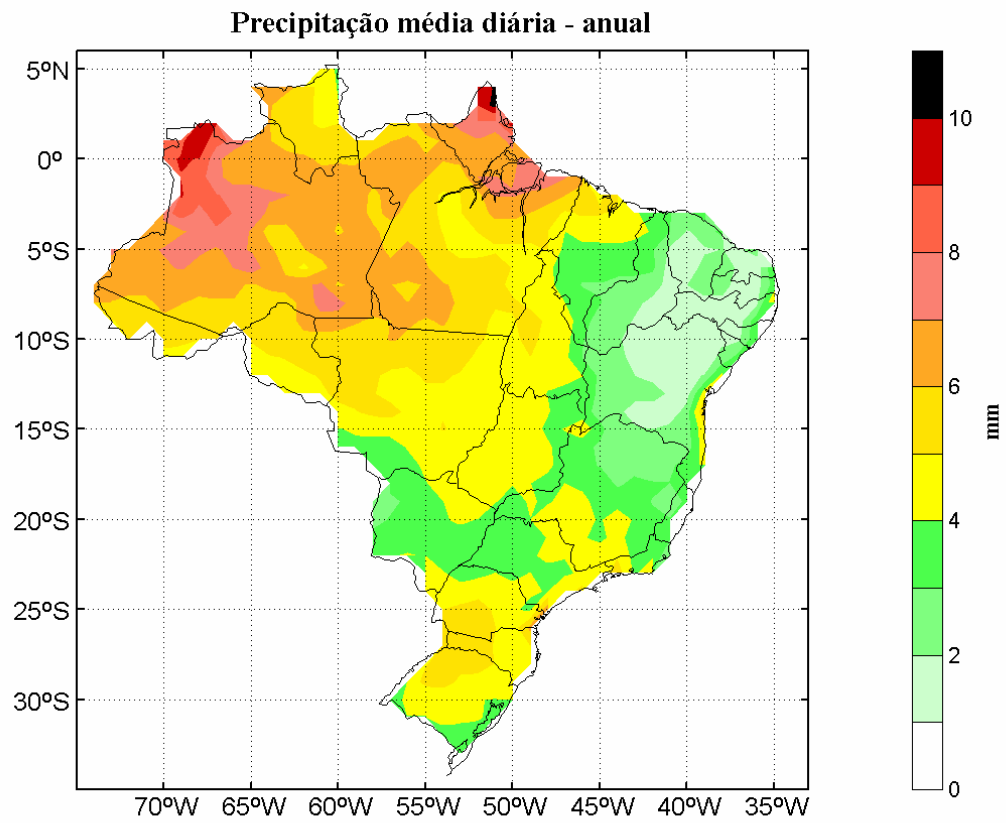
diminuíram de forma significativa em todos os meses do ano. No caso da cidade de São Paulo é possível que o efeito urbano tenha contribuído significativamente para a mudança na distribuição da intensidade da precipitação (Xavier et. al 1992).

Haylock et al. (2006) investigou tendências de extremos de chuva no Sudeste da América do Sul no período de 1960-2000. Eles acharam tendências para condições mais úmidas no sul do Brasil, Paraguai, Uruguai e o norte e centro da Argentina. Eles mostram tendências positivas nos índices de precipitação R10mm, R20mm, R95P e R99P, sugerindo que a região de Sudeste da América do Sul experimentou um aumento na intensidade e freqüência de dias com chuva intensa, o que concorda com os trabalhos de Groissman et al. (2005) para a mesma região.

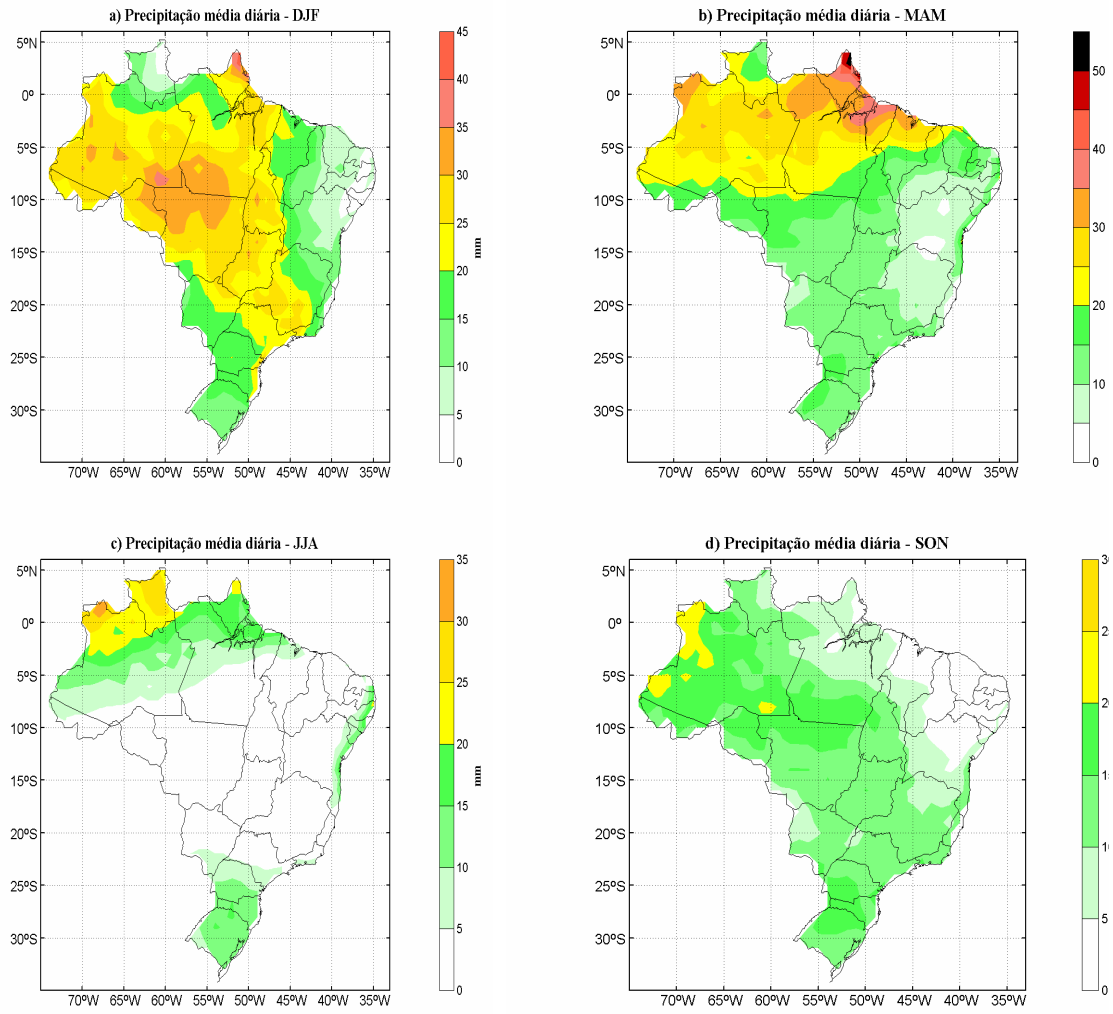
Mais recentemente, Alexander *et al.* (2006) analisaram tendências em extremos anuais de chuva, e chegaram à conclusão de que elas aparentam ser similares àquelas da chuva total acumulada: positivas no Sul do Brasil, Paraguai, Uruguai e Norte-centro da Argentina. Eles identificaram tendências positivas no número de dias com chuva intensa (R10mm) e chuva muito intensa (R20mm) concentrada em curto tempo, e na quantidade de chuva concentrada em eventos chuvosos que são indicadores de chuvas que produzem enchentes (R95P) e muito são chuvosos (R99P) durante o período 1961-2000. Estas tendências sugerem aumento e intensidade na freqüência e intensidade de eventos de chuva no sudeste da América do Sul, enquanto que a ausência de dados na região tropical não permite uma análise mais compreensiva dos extremos nesta parte do continente.

O estudo de Alexander *et al.* (2006) mostra tendências positivas na chuva máxima acumulada em cinco dias (RX5day) nas latitudes maiores de 20°S na América do Sul durante a primavera, verão e outono, enquanto que algumas áreas do Norte da Argentina apresentam tendências negativas durante inverno JJA.

## 5. Figuras



*Figura 1 - Precipitação média anual (1981-2000) em mm/dia.*



*Figura 2 - Precipitação média sazonal (1981-2000) em mm/ dia.*

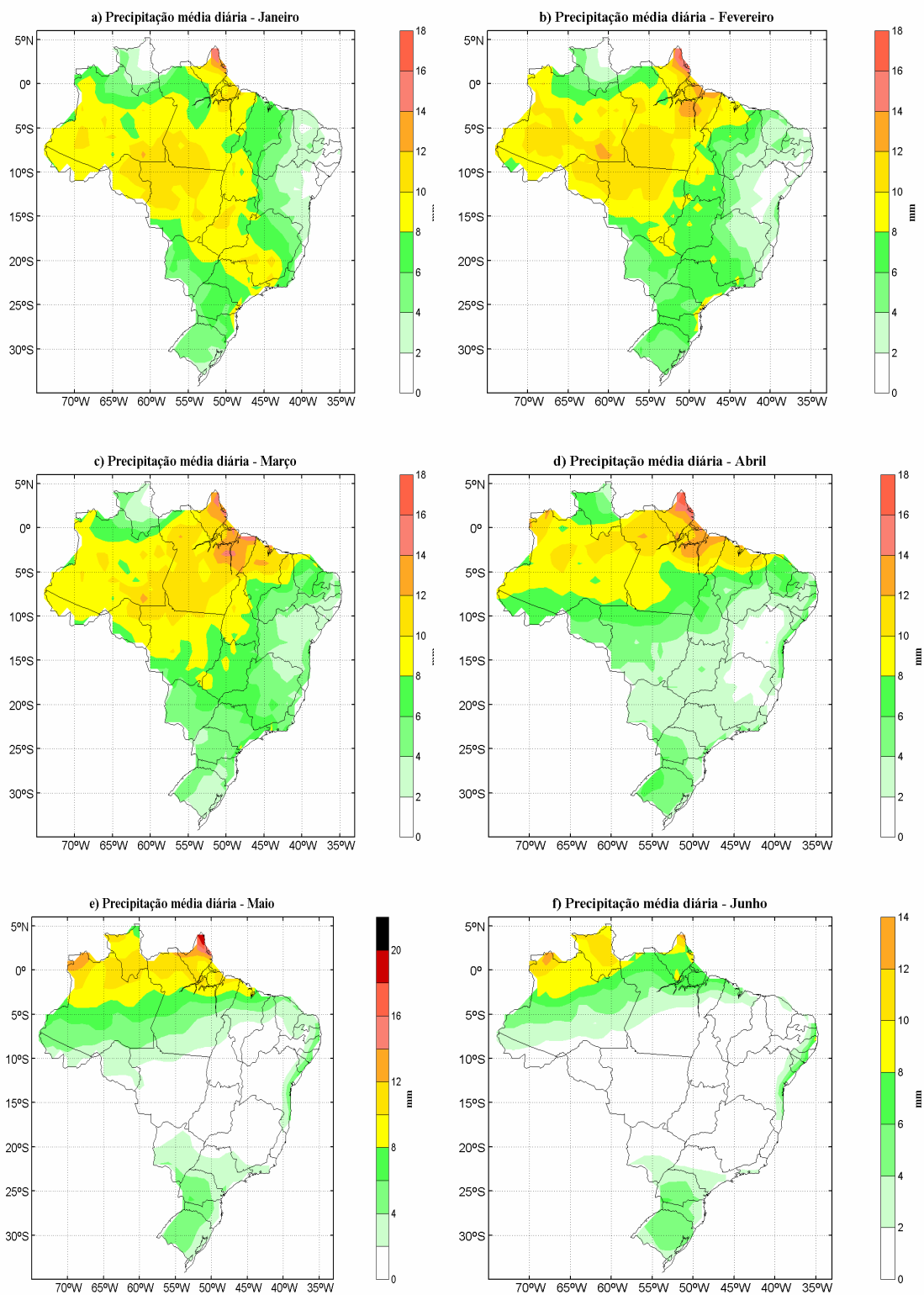


Figura 3 - Precipitação média mensal (1981-2000) em mm/ dia.

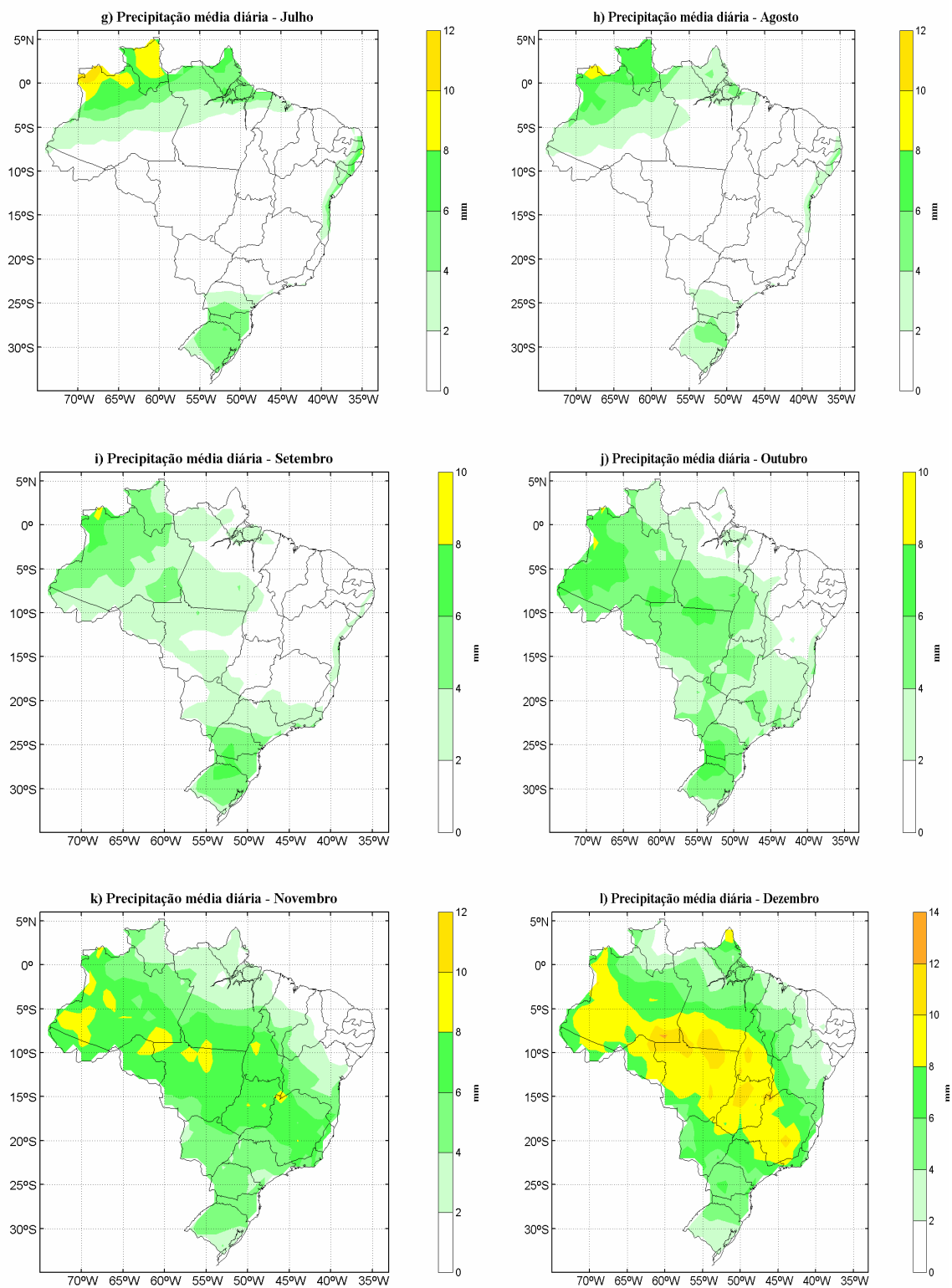
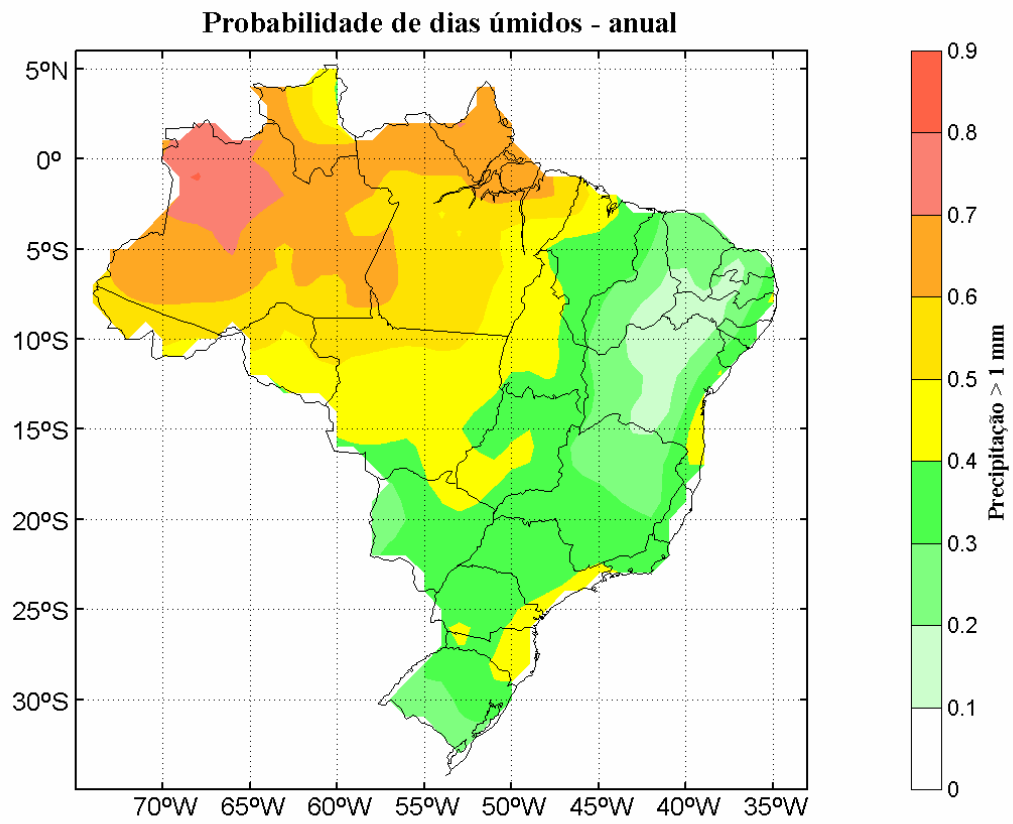


Figura 3 - Precipitação média mensal (1981-2000) em mm / dia.



*Figura 4 – Probabilidade de dias úmidos - anual (1981-2000).*

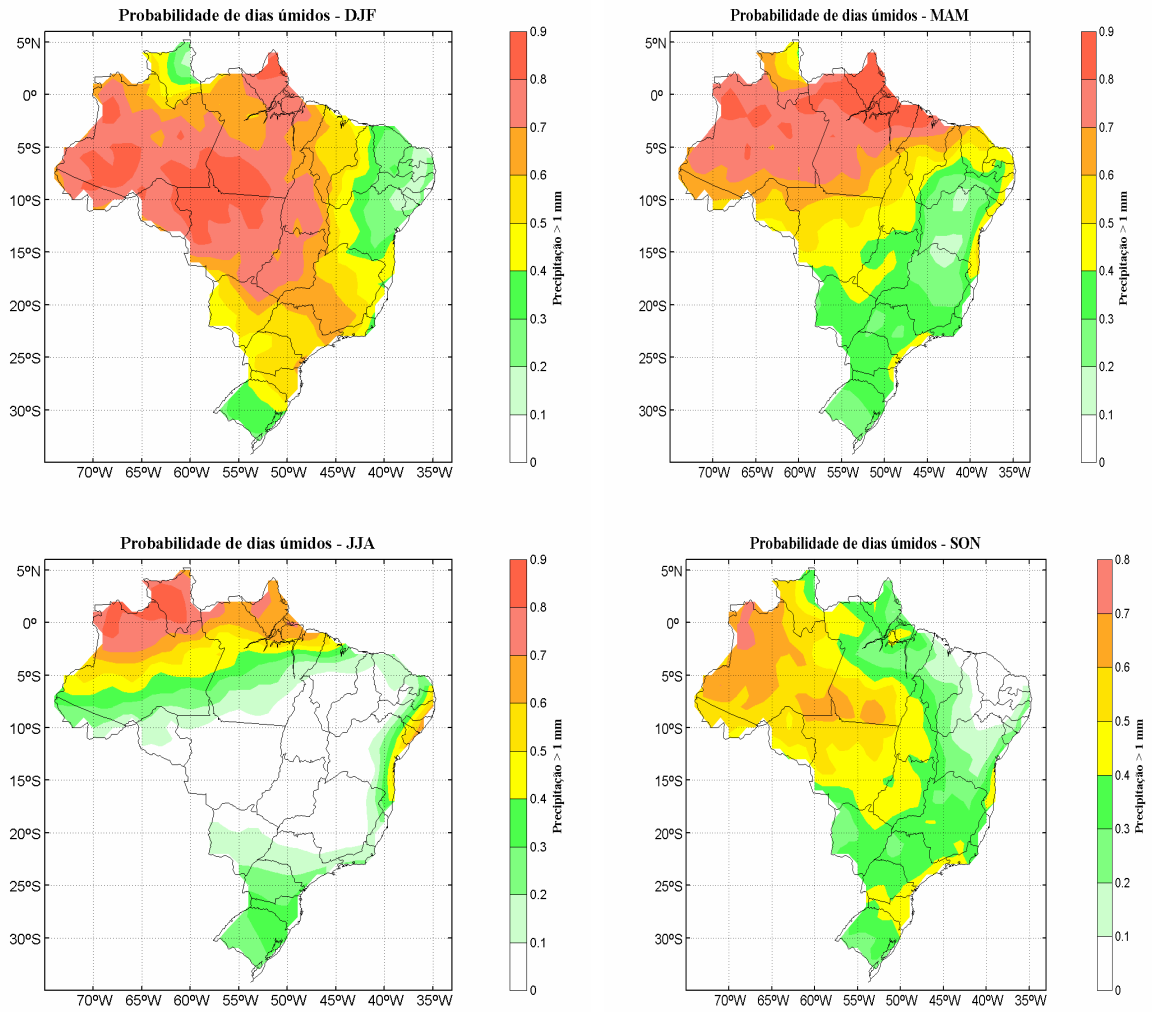
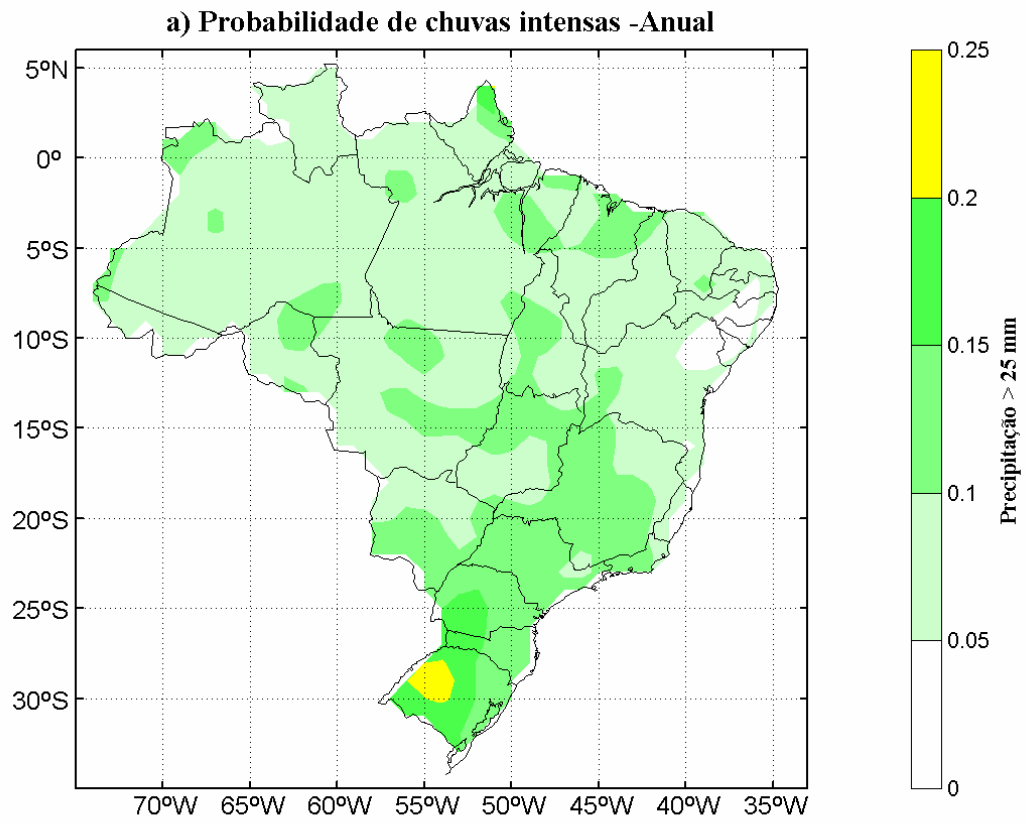


Figura 5 – Probabilidade de dias úmidos – sazonal (1981-2000).



*Figura 6 – Precipitações extremas – anual > 25mm/dia (1981-2000).*



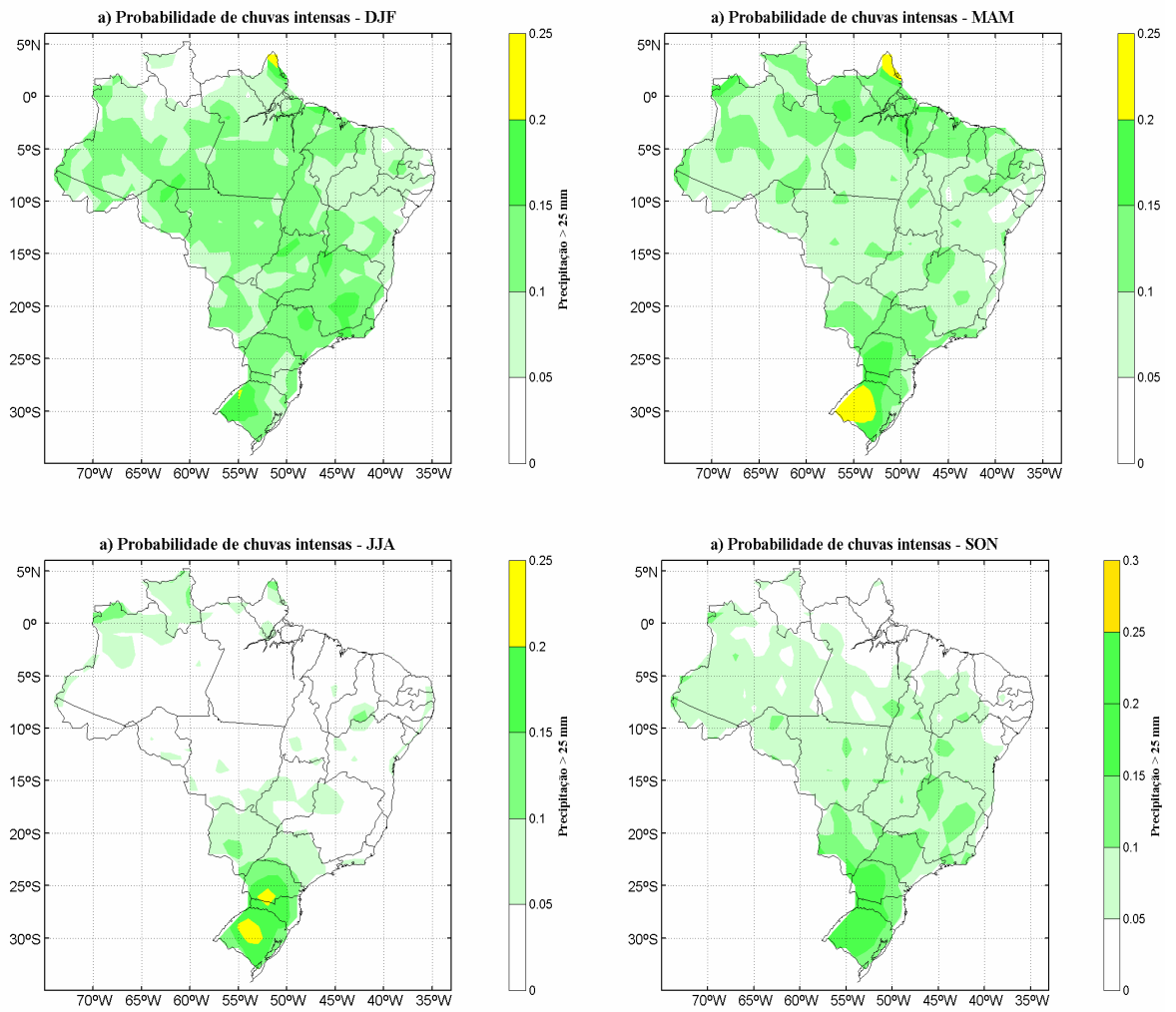


Figura 7 – Precipitações extremas – sazonal: > 25 mm/dia (1981-2000).

# Capítulo 2

## TENDÊNCIAS DA PRECIPITAÇÃO E TEMPERATURA NO BRASIL

### 1. Introdução

O clima atual (do Século XX) será definido através dos elementos do clima, de suas variações e tendências e índices integradores, como os balanços hídricos à superfície, calculados com dados obtidos na maior parte das estações climatológicas do território nacional. Isto será feito utilizando-se informações meteorológicas mensais e diárias dos diferentes Estados do Brasil, que existem no banco de dados do CPTEC, e utilizando-se alguma outra informação que deverá ser obtida do INMET. Para a caracterização do clima atual, o resultado de cada ponto deverá ser lançado em um mapa do Brasil, em quadrículas com malha de 0,5° latitude x 0,5° longitude. O período base é o mesmo utilizado pela OMM para definir a climatologia do presente nos estudos e trabalhos do IPCC, isto é, 1961-90.

Nos estudos de mudanças climáticas os dados são consistem na espinha dorsal, onde é necessário que se utilize séries temporais hidrometeorológicas, longas, contínuas e homogêneas, e uma distribuição espacial adequada, com a finalidade de se obter estatísticas robustas e representativas que caracterizem bem a climatologia da região estudada.

A detecção de mudanças climáticas em séries temporais hidrometeorológicas, sobre o Brasil, além de ser um resultado científico importante, é uma necessidade para estabelecer o efeito das mudanças climáticas sobre os sistemas hidrometeorológicos, o qual é fundamental para o planejamento futuro dos recursos hídricos e produção de alimentos.

O presente informe descreve os resultados das análises realizadas no marco da proposta sobre: “Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do Século XXI”, e título: “Controle de qualidade de dados hidrometeorológicos, climatologia e cenários climáticos médios dos modelos regionais para o Século XXI”, cujo objetivo é estabelecer um conjunto de dados observacionais de temperatura e precipitação mensais como base da climatologia do Século XX, para realizar estudos de mudanças climáticas no Brasil, e determinação e análise de tendências climáticas.

Para estudos de mudanças climáticas são necessárias séries temporais hidrometeorológicas longas, contínuas e homogêneas, as quais proporcionam grandes vantagens, em razão de obter estatísticas representativas que caracterizem os fenômenos climáticos.

A fonte de erro dos dados pode ser classificada em três categorias: 1) consistência interna; 2) randômicas e; 3) de não homogeneidade. Os erros de consistência interna podem resultar, por exemplo, da transposição das observações (exemplo, 35 mm por 53 mm). Os erros randômicos podem aparecer por defeito de comunicação eletrônica, degradação dos sensores e outras causas, os quais muitas vezes são difíceis de serem percebidos. E finalmente, os erros de não homogeneidade ocorrem principalmente quando existem mudanças nas práticas observacionais e podem ser detectadas por certas discontinuidades, tendências, etc. no registro dos dados.

As instituições nacionais que fornecem informação hidrometeorológica - a Agência Nacional das Águas (ANA), Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), Instituto Nacional de Meteorologia – (INMET), Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) e Centros e Laboratórios Estaduais de Meteorologia - têm seus próprios sistemas de controle de qualidade, mas há a

necessidade de uma homogeneização destes dados para a obtenção de um conjunto de estações básicas, representativas do Brasil, para realizar estudos de mudanças climáticas. Apesar de muitos estudos climáticos serem realizados, ainda não foram elaborados estudos da qualidade e confiabilidade dos dados disponíveis em escala nacional, pelo qual não se conta com esta informação e nenhum conjunto de dados base.

## **2. Dados**

Desde que o dado é a espinha dorsal de qualquer esforço na detecção de tendências ou qualquer outra análise relacionada com mudanças climáticas, é muito importante, além de entender, preparar adequadamente as séries de dados a serem utilizados. Esta imperiosa necessidade de utilizar dados exatos conduz a realizar um controle de qualidade detalhado dos dados.

Por outro lado, existe a necessidade de uma adequada distribuição espacial que caracterize e ressalte as características próprias regionais.

### **2.1 – Seleção de estações base.**

A partir de informações pluviométricas das instituições nacionais que provem informação hidrometeorológica, tales como a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, Departamento de Águas e Energia Elétrica do estado de São Paulo – DAEE, e Núcleos Estaduais de meteorologia, foram escolhidas 50 estações com informação pluviométrica mensal, distribuídas ao longo do Brasil, para o período de 1951 a 2000, listadas na tabela 1. Por outro lado, a partir das informações cedidas pelo Instituto Nacional de Meteorologia – INMET e pelo Centro Técnico Aeroespacial – CTA, se logrou coletar dados médios mensais de 24 postos com temperatura máxima, 22 com temperatura

média e 25 com temperatura mínima, para o período de 1961 a 2000. As estações são listadas na tabela 2.

É preciso esclarecer, que a partir dos dados da temperatura disponíveis não foi possível obter uma distribuição espacial adequada ao longo do Brasil. Pelo qual adicionou-se, com a finalidade de ter alguma informação, particularmente qualitativa, sobre o Nordeste, as estações de São Luiz (82281) e Natal (82599) com registros de 31 e 30 anos, respectivamente, para a Região Sul as estações de Porto Alegre (83971) e Bagé (83981) com registros de 36 e 30 anos, respectivamente e, para a Amazônia a estação de Boa Vista (82022) com 31 anos de dados (1967-1997).

## **2.2 – Controle de qualidade e preenchimento de falhas.**

As instituições que provem informação têm seus próprios sistemas de controle de qualidade, mas é necessário homogeneizar se efetuar o preenchimento de falhas. Apesar de muitos estudos climáticos terem sido realizados, ainda não foram realizados estudos extensivos da qualidade e confiabilidade dos dados hidrometeorológicos disponíveis.

A heterogeneidade das séries temporais de precipitação e temperatura foi identificada através de métodos gráficos e estatísticos (Buishand, 1982; Alexandersson, 1986; Peterson e Easterling, 1994; Easterling e Peterson, 1995). Seguindo-se os seguintes passos:

- Análise da evolução temporal da variável mediante um gráfico;
- Análises de médias parciais e desvios acumulativos da média;
- Cálculo de matrizes de correlações;
- Seleção da melhor série correlacionada (e não heterogênea)
- Aplicação do método de dupla massa.

A remoção da heterogeneidade, quando observada, consiste na correção da parte onde a heterogeneidade da série foi detectada pela curva de dupla massa.

Seguindo este procedimento, a inferência da heterogeneidade da evolução temporal das séries hidrometeorológicas pode ser alcançada mediante análise gráfica. Valores espúrios podem ser facilmente detectados desde que eles estejam associados a saltos, tendências e singularidades para um determinado período. Mudanças nas medidas podem ser detectadas facilmente em séries longas. Os ajustes descritos não somente removem inconsistências, com a finalidade de gerar séries temporais homogêneas, mas também reduzem bastante, ou idealmente eliminam o viés contido dentro de toda a série temporal.

No preenchimento de falhas utilizou-se o método de interpolação de kriging e o método estatístico autoregressivo. O método kriging foi utilizado quando existiam dados suficientes (mas de 3 postos) dentro do raio de  $\pm 5$  graus no máximo do dados faltante. Neste caso se determina um valor estimado, pontual, do dado faltante a partir dos outros dados existentes, como mostrado na figura 1.

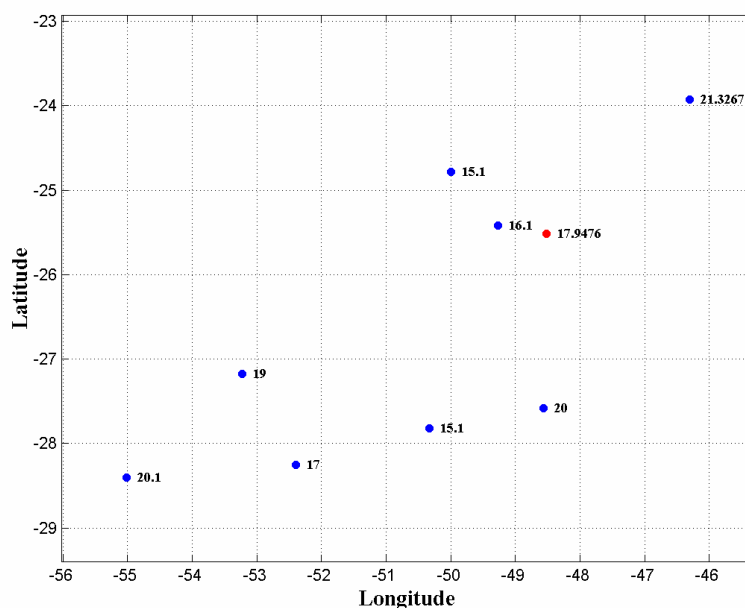


Figura 1. Exemplo de interpolação utilizando o método Kriging. Pontos azuis representam os dados observados. Ponto Vermelho representa o dado calculado.

Nos casos quando não existiam dados dentro do raio de  $\pm 5$  graus foi utilizado o método auto regressivo para preencher até quatro (4) dados faltantes. Neste método utilizaram-se as anomalias dos dados existentes, com a finalidade de remover os sinais determinísticos, além da tendência.

### **3. Métodos**

#### **3.1 – Estimativa das Tendências lineares**

A estimativa da magnitude das tendências, a verdadeira inclinação (taxa da variável por unidade de tempo) pode ser estimada através do cálculo aos mínimos quadrados da inclinação estimada  $\beta$ , utilizando o método de Regressão Linear. No entanto,  $\beta$  calculado desta maneira pode desviar-se muito do verdadeiro valor da inclinação se existem "outliers" nos dados (Gilbert, 1987), pelo qual utiliza-se o procedimento simples, desenvolvido por Sen (1968) e estendido por Hirsch et al. (1982).

Neste modo, a inclinação das tendências é obtido a partir do cálculo das  $N' = n(n-1)/2$  inclinações estimadas,  $S_e = \frac{x_j - x_i}{j - i}$ , sendo  $x_j$  e  $x_i$  os valores dos dados no tempo  $j$  e  $i$ , respectivamente, onde  $j > i$ ;  $N'$  é o número de pares de dados nas quais  $j > i$ . A mediana destes  $N'$  valores de  $S_e$  é o valor estimado da inclinação de Sen.

#### **3.2 – Determinação da significância das tendências lineares**

Para determinar a significância estatística das tendências lineares se utilizará o teste não-paramétrico de Mann-Kendall que tem a vantagem de usar a magnitude relativa dos valores da série, filtrando valores extremos, ao invés dos

valores reais. Mas, alerta-se que neste teste os dados precisam ser variáveis aleatórias independentes e identicamente distribuídas (autocorrelação nula). As características deste teste são importantes quando aplicado às séries climatológicas, como na precipitação, para séries totais anuais ou séries de um determinado mês considerado como independentes.

A hipótese nula ( $H_0$ ) considera que os dados:  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ , são variáveis aleatórias independentes e identicamente distribuídas. O teste estatístico de Mann-Kendall ( $S$ ) é dado por:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_i - x_j)$$

onde a função  $\text{sgn}$  é:

$$\begin{aligned} \text{sgn}(x_i - x_j) &= 1, & \text{se } x_i - x_j > 0, \\ &= 0, & \text{se } x_i - x_j = 0 \\ &= -1, & \text{se } x_i - x_j < 0 \end{aligned}$$

Para séries com comprimento maiores que 10, a estatística ( $S$ ) aproxima-se muito da distribuição normal quando se faz a seguinte correção,  $S^* = S - \text{sgn}(S)$ .

Considerando a hipótese nula e a ausência de repetição de valores dentro da série, a variância de ( $S$ ),  $[\text{Var}(S)]$ , definida por:  $\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18}$  e, com a

correção devido a repetições, a variância fica:

$$\text{Var}(S) = \frac{\left[ n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^g t_p(t_p-1)(2t_p+5) \right]}{18}, \text{ onde } g \text{ é número de grupos com}$$

dados repetidos e  $t_p$  é número de dados no  $p$ -ésimo grupo. Logo  $S$  e  $\text{Var}(S)$  são utilizados para o cálculo da estatística  $Z$ , com distribuição normal padrão:

$$Z = \frac{S-1}{[\text{Var}(S)]^{1/2}}, \text{ se } S > 0,$$

$$Z = 0, \text{ se } S = 0,$$

$$Z = \frac{S+1}{[\text{Var}(S)]^{1/2}}, \text{ se } S < 0$$



Os valores positivos (negativos) indicam tendência ascendente (descendente). Se a hipótese nula ( $H_0$ ) é verdadeira, a estatística  $Z$  tem distribuição normal padrão. Para testar, tanto as tendências ascendentes quanto as descendentes, ao nível significativo  $\alpha$ , a  $H_0$  é rejeitada se o valor absoluto de  $Z$  é maior que  $Z_{1-\alpha/2}$  (teste de duas caudas). O valor,  $Z_{1-\alpha/2}$  é escolhido *a priori* uma vez que não temos conhecimento da direção da tendência.

Alguns estudos foram feitos usando o teste de Mann Kendall para chuvas e vazões para Amazônia, Nordeste, Sul e Sudeste do Brasil. Marengo (2004) identificou tendências negativas/positivas em chuvas na parte norte/sul da Amazônia, entretanto Obregon e Nobre (2003) determinaram tendências positivas da chuva nesta região. Em estudos de tendências na bacia do Rio Paraíba do Sul, os testes mostraram tendências negativas significativas, porém estas tendências não pareceram reais, pois devido à operação de reservatórios na bacia a autocorrelação das séries é alta, o que gerou tendências climáticas artificiais. As características deste teste são importantes quando aplicado às séries climatológicas, como na precipitação, para séries totais anuais ou séries de um determinado mês considerado como independentes. Maiores detalhes sobre a metodologia são encontrados em Kendall (1975), Hirsch e Slack (1984) e Gilbert (1983).

#### **4. Resultados**

Os resultados obtidos estão baseados na distribuição espacial das tendências de precipitação e temperatura de todas as estações selecionadas (Tabelas I e II) e da distribuição das séries temporais de estações específicas, que representem, no possível, a quatro regiões selecionadas. Para as análises de precipitação foram selecionadas as seguintes estações: Iauarete (Amazônia),

Campo dos Cavalos (Nordeste), Monte Alegre do Sul (Sudeste) e Dona Francisca (Sul). Já para as três variáveis de temperatura e ciclo diurno selecionaram-se as seguintes: São Gabriel da Cachoeira (Amazônia), Natal (Nordeste), Catanduva (Sudeste) e Porto Alegre (Sul).

#### **4.1 – Tendências lineares da precipitação.**

A distribuição espacial das tendências da precipitação para o período de 1951 a 2000 (50 anos), baseados nas séries temporais de 50 estações pluviométricas (Tabela 1), encontram-se representadas nas figuras 1, 3, e 5. Nestes gráficos observa-se que na Amazônia, particularmente, a sua região sul, apresenta baixa densidade de postos pluviométricos, com as características desejadas para os estudos de mudanças climáticas.

Na tendência da precipitação total anual (Fig. 1), observam-se valores negativos significativos ao nível de 0.05, sobre o extremo noroeste da Amazônia e em postos isolados sobre o estado de Minas Gerais e Rio de Janeiro, com valores entre -180 e -2000 mm/década. Já na região sudeste observa-se tendências positivas significativas, com valores entre +160 e +200 mm/ década. Na região nordeste não se observa tendências significativas. As séries temporais das estações selecionadas (fig. 2 a-d), mostram que as tendências não são exatamente lineares, mas que parecem ser uma mistura de incremento ou diminuição linear com oscilações com períodos longos. Também podem ser observado certos períodos com alta variabilidade interanual em todas as estações selecionadas, mas que não parecem ocorrer simultaneamente.

Figuras 3 a-d mostram as tendências da precipitação total sazonal. As estações de verão (DJF) e Outono (MAM) apresentam padrões similares ao da tendência anual, com valores que variam de acordo com a estação chuvosa de cada

região. Nas outras estações a distribuição é relativamente diferente e a intensidade das tendências é menor, com valores máximos de +40 mm/década e mínimos de -60 mm/década. Ressalta-se que no extremo noroeste da Amazônia e na região Sul as tendências seguem padrões similares que ao do total anual. As séries temporais sazonais que caracterizam as diferentes regiões (fig. 4 a-d), mostram na maioria dos casos, particularmente durante as estações chuvosas, a mesma característica das séries anuais, uma mistura de tendência linear com oscilações de períodos longos, não necessariamente com o mesmo comprimento. Outra característica a ser ressaltada é a alta variabilidade interanual, principalmente nas estações quando as precipitações são mínimas.

Seguindo a distribuição temporal da precipitação, mês a mês, as tendências lineares (Fig. 5 a-l) mostram valores extremos de incremento e diminuição de precipitação similar, ao mesmo tempo estes valores extremos são observados nas regiões onde também são observadas as tendências anuais e sazonais.

## ***4.2 – Tendências lineares da temperatura.***

### ***4.2.1 – Tendências lineares das temperaturas máximas***

Baseados em dados de 24 estações (Tabela 2) e para o período de 1961 a 2000, e algumas com no mínimo de 30 anos, com temperatura máxima calculou-se as tendências lineares, observadas nas figuras 6 a 10. A falta de informação sobre a maioria das regiões do Brasil é sensível. Informação adequada obteve-se ao longo da parte norte da região Amazônica, e estende-se à região Sudeste com regular cobertura.

Sobre a maior parte das regiões com informação observa-se um incremento da temperatura máxima média anual (Fig. 6), com valores até de 0.6 C°/década ( ~2.5 C°/ 40 anos), que são significativos estatisticamente sobre grande parte do

Brasil, com exceção da região Sul. Também se observam pontos isolados sobre a Amazônia e sobre o Sudeste com valores negativos significativos em torno de  $-0.2$  C<sup>o</sup>/década a  $-0.3$ C<sup>o</sup>/década (entre  $-0.8$  a  $-1.2$  C<sup>o</sup>/40 anos).

As séries temporais da distribuição de temperaturas máximas médias anuais, das estações representativas das regiões do Brasil (Fig.7), mostram alta variabilidade interanual e, aparentemente, não existe a mistura de tendência linear com oscilações de períodos longos, como as observadas na precipitação. Existem períodos onde as variabilidades são maiores em todas as estações, porém, não parecem ocorrer em períodos similares.

Para a temperatura máxima média anual, em todas as estações (Fig.8 a-d) observa-se padrão similar às tendências anuais, porém as diferenças mais saltitantes são observadas durante os meses dos verões na tendência negativa, com valores inferiores em  $-0.1$  C<sup>o</sup>/ década, em relação às medias anuais. Os menores valores das tendências são observados nas estações de outono e inverno, atingindo valores de  $\sim -0.4$  °C/década.

Nas séries temporais das estações selecionadas para as temperaturas máximas médias sazonais (Fig. 9 a-d) é mais notória a mistura de tendência linear e oscilações de períodos longos. A variabilidade anual é intensa, intercalam-se períodos com alta e baixa variabilidade. Há um comportamento oposto entre a variabilidade interanual, observada na Amazônia e a região Sul nas estações dos verões e invernos e, em menor intensidade durante as primaveras.

As tendências das temperaturas mínimas durante os meses (Fig.10 a-l), seguem a distribuição espacial das tendências das médias anuais na maioria dos meses, porém, ressalta-se que entre os meses de maio a julho observa-se uma persistência de tendências negativas sobre as regiões Sudeste e Sul.

#### **4.2.2 – Tendências lineares das temperaturas médias**

O cálculo das tendências das temperaturas foi realizado 22 estações (Tabela 2). A distribuição espacial (Fig.11 - 15) apresenta uma melhor distribuição espacial que a observada na distribuição das temperaturas máximas, com a adição de algumas estações sobre a Amazônia, Nordeste e Região Sul.

A distribuição das tendências da temperatura média anual mostra valores negativos sobre a parte norte da Amazônia e sobre o extremo oeste de Minas Gerais, com valores significativos de até  $-0.4$  C<sup>o</sup>/década. No resto do Brasil, com exceção do norte do Rio Grande do Sul e norte de São Paulo, onde as tendências são mínimas, os valores são positivos e significativos com valores entre  $+0.3$  C<sup>o</sup>/década e  $+0.4$  C<sup>o</sup>/década ( $\sim 1.2$  a  $1.6$  °C em 40 anos), na maioria dos casos. O valor extremo positivo é observado em Pesqueira (Nordeste) com valor de  $\sim +0.6$  °C/década.

As distribuições das séries temporais de Temperatura média sazonal (Fig.12), mostra alta variabilidade interanual em todas as regiões. Os maiores valores de variabilidade são observados no Sudeste e Sul, além de apresentarem com maior visibilidade uma mistura de tendências lineares com oscilações de períodos longos.

Durante as estações do ano (Fig.13 a-d), observam-se padrões parecidos ao da média anual, ao mesmo tempo, os valores extremos são também similares. Durante a estação dos verões e primaveras observam-se as mínimas tendências negativas sobre a Amazônia e leste de Minas Gerais, com valores em torno de  $+0.6$  C<sup>o</sup>/década. E as máximas são observadas nos invernos sobre o estado de Pernambuco, com valor de  $1.1$  C<sup>o</sup>/década.

Durante as estações do ano, as séries temporais das várias regiões do Brasil (Fig.14 a-d) mostram características muito diferenciadas entre elas. Com períodos de alta e baixa variabilidade que não ocorrem simultaneamente nas diferentes

regiões, porém, durante os outonos são observadas as maiores variabilidades interanuais nas estações das regiões do Sudeste e Sul.

Na Figura 15 a-l observam-se tendências mensais das temperaturas médias. Não se observam padrões relativamente diferentes das observadas nas distribuições anual e sazonal. Valores mínimos, com valores ao redor de  $-0.4$  °C/década, são observados na Amazônia, regiões Sudeste e Sul, na maioria dos meses. Valores máximos, com valores de  $\sim 1.1$  °C/década, são observados entre junho e agosto, principalmente na região Nordeste.

#### **4.2.3 – Tendências lineares das temperaturas mínimas**

Os cálculos das tendências das temperaturas mínimas, baseados em 25 estações (Tabela 2), e as séries temporais das estações representativas para as regiões do Brasil são mostradas nas figuras 16 – 20. As distribuições espaciais das temperaturas mínimas são similares às distribuições das máximas. Isto é, observa-se uma distribuição deficiente.

Valores positivos de tendências da temperatura mínima média anual (Fig.16) são observados sobre todas as regiões do Brasil. Os valores máximos são observados sobre o estado de Tocantins com valor de  $+1.4$  C°/década. Valores não significativos são observados somente sobre parte do extremo noroeste da Amazônia, Rio de Janeiro e leste do Rio Grande do Sul.

Alta variabilidade interanual é observada em todas as séries temporais das regiões do Brasil das temperaturas mínimas médias anuais (Fig.17). As regiões da Amazônia e do Sul, aparentemente, apresentam modulação de oscilações de período longo.

Na distribuição sazonal (Fig.18 a-d) segue o mesmo padrão da média anual. Durante os verões e outonos existe maior número de postos com valores

significativos, diminuindo no inverno e primavera. Sobre a região Amazônica observa-se persistência de baixos valores, ainda que positivos e não significativos, durante o ano todo. Similar característica é observada sobre as estações do Rio Grande do Sul nas estações de inverno e primavera.

As séries temporais da temperatura mínima média sazonal (Fig.19a-d), são similares aos padrões de variabilidade observados nas outras variáveis, com alta variabilidade interanual e modulados com oscilações de períodos longos em quase todas as estações do ano, sendo com menor intensidade nos meses de inverno. Observa-se que na Amazônia durante os verões e outonos as variabilidades são maiores.

Em alguns meses do ano observam-se em pontos isolados, tendências negativas significativas (Fig.20a-l), porém, não são persistentes. Os valores extremos entre  $-0.3$  C°/década e  $-0.4$  C°/década são observados nos meses de março no extremo noroeste da Amazônia e leste de Minas Gerais. Também, no Rio de Janeiro se observa tendências negativas no mês de setembro. Valores máximos são observados nos meses de julho e agosto, com valores em torno de  $-2.0$  C°/década, sobre o estado do Tocantins. Observa-se também uma característica similar na distribuição sazonal sobre o extremo oeste da Amazônia, onde as tendências são positivas, porém, mínimas com valores inferiores a  $0.1$  C°/década.

#### **4.2.4 – Tendências lineares do ciclo diurno**

As tendências do ciclo diurno foram calculadas a partir da diferença entre as temperaturas máximas e mínimas. Ao todo, os cálculos foram efetuados sobre 22 estações. A distribuição espacial, como não podia ser diferente, segue os padrões das temperaturas máximas e mínimas.

A figura 21 mostra as tendências do ciclo diurno médio anual. Observa-se que, sobre quase todo o Brasil, as tendências são negativas, com pontos isolados de tendências positivas. Os valores significativos localizam-se de forma dispersa sobre as regiões Sudeste e Sul, leste da Amazônia, onde o valor é mínimo em torno de  $-1.0 \text{ }^\circ\text{C}/\text{década}$ . O valor máximo é observado sobre o noroeste da Amazônia com valor entre  $+0.3 \text{ }^\circ\text{C}/\text{década}$  e  $+0.4 \text{ }^\circ\text{C}/\text{década}$ . Este padrão, sem dúvida, deve-se principalmente ao incremento das temperaturas mínimas sobre todo o Brasil.

A Figura 22 a-d mostra as séries temporais do ciclo diurno, das estações selecionadas. Observa-se que a variabilidade interanual é menor na Amazônia, e é a única região das quatro que apresenta tendência positiva. Isto possivelmente deve-se ao fato de que a tendência positiva da temperatura máxima é maior que a tendência positiva da temperatura mínima média anual. Nas demais estações há uma clara dominância das temperaturas mínimas, particularmente nas regiões Sudeste e Sul.

Durante as estações do ano, as distribuições espaciais das tendências (Fig.23a-d) mostram padrões diferentes, porém, com predominância de valores negativos, com intensidades até de  $-1.3 \text{ }^\circ\text{C}/\text{década}$  ( $\sim 5.0 \text{ }^\circ\text{C}/40 \text{ anos}$ ) em todas as estações. Valores positivos são observados em maior quantidade durante as primaveras e verões.

Através dos meses das tendências do ciclo anual (Fig.24 a-l), observa-se um número extremamente maior com valores negativos significativos, com alguns padrões regionais persistentes que não duram aproximadamente uma estação, sendo os meses de janeiro e fevereiro os mais notórios. Os valores máximos das tendências são observados nos meses de fevereiro e outubro, com valores ao redor de  $+0.6 \text{ }^\circ\text{C}/\text{década}$ , entretanto as tendências mínimas registram-se nos meses de julho a setembro com valores ao redor de  $-1.2 \text{ }^\circ\text{C}/\text{década}$ .



Estudos recentes para a América do Sul por Vincent et al. (2005) e Alexander et al (2005) identificaram para o Sudeste da América do Sul tendências positivas na frequência de noites quentes (TN90P, % de dias com  $T_{Min} > 90^{th}$ ), noites medianamente quentes (dias com  $T_{Min} > 20^{\circ}C$ ), e tendências negativas na frequência de noites frias (TN10P, % dias com  $T_{Min} < 10^{th}$ ) e na amplitude térmica diária no período 1960-2000. Eles também identificaram tendências positivas na frequência de noites quentes durante o verão DJF e inverno JJA, assim como uma fraca tendência negativa de aumento na frequência de dias frios.

O Relatório 1 (Fig.25) mostra as tendências de noites quentes e frias e dias quentes e frios para Campinas e Água Funda, em São Paulo, e as duas estações mostram já desde 1950 sinais típicos de mudanças nas temperaturas extremas: tendências positivas na frequência de noites e dias quentes, e tendências negativas de noites e dias frios. Tudo isto é consistente com as tendências positivas na temperatura mínima e máxima em Campinas, explicando a tendência positiva da mínima temperatura pela redução do número de dias frios e do aumento na frequência de noites quentes. A tendência positiva na máxima temperatura (menos pronunciada que a de temperatura mínima) pode se dever a uma tendência de aumento na frequência de dias quentes e de redução na frequência de dias frios. Esta tendência de aquecimento detectada nas temperaturas mínimas e na frequência de noites quentes pode se dever ao efeito urbano.

## TABELAS

TABELA 1. Estações pluviométricas base: 1951-2001.

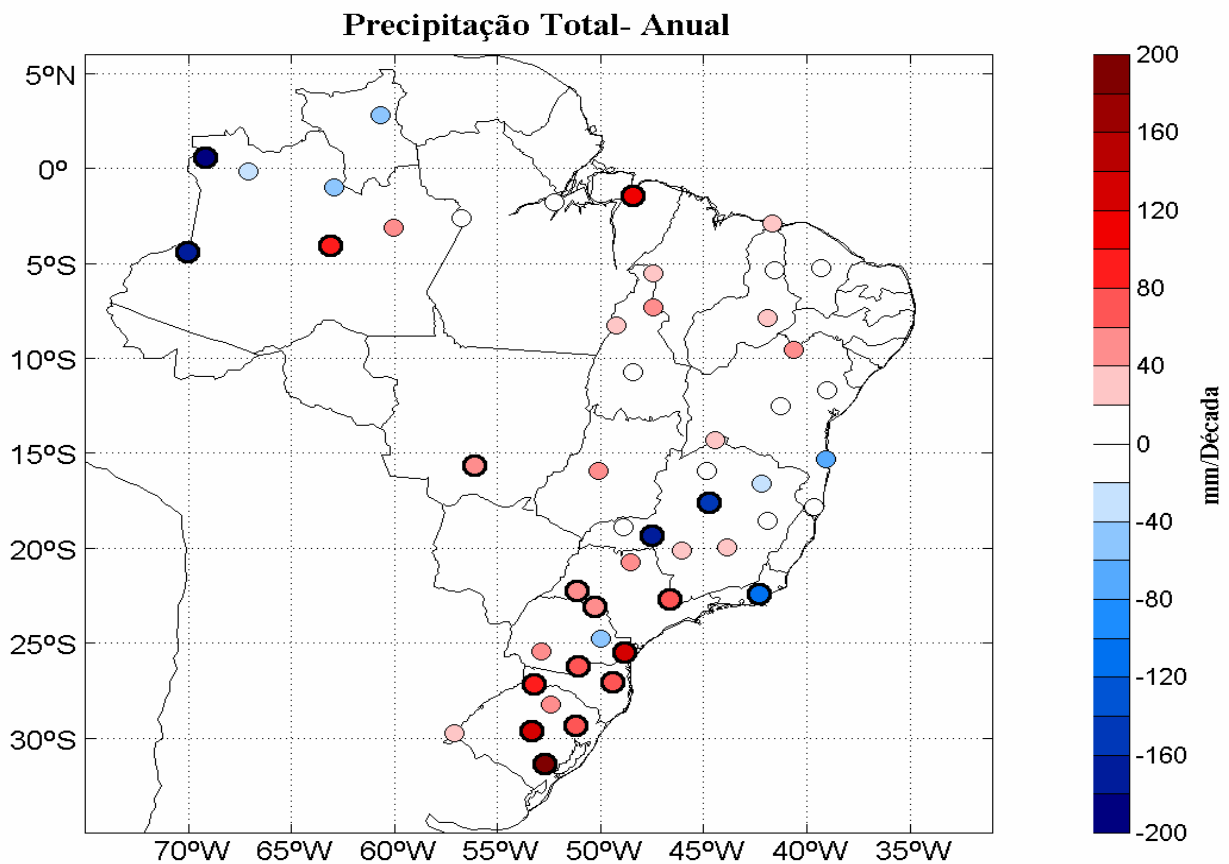
COD. ANA	COD. INMET	NOME DO POSTO	LONG	LAT
62000	82113	BARCELOS	-62.93	-0.97
67000	82106	SAO GABRIEL DA CACHOIRA	-41.67	-1.75
148002	82191	BELEM	-67.09	-0.13
152001	82184	PORTO DE MOZ	-48.44	-1.43
241000	----	LUIZ CORREIA	-41.67	-2.88
256000	82240	PARINTINS	-56.73	-2.62
360000	82331	MANAUS	-60.03	-3.14
463001	82425	COARI	-63.13	-4.08
470001	82410	BENJAMIN CONSTANT	-70.03	-4.38
539000	----	QUIXERAMOBIN	-39.30	-5.22
541003	----	CASTELO DO PIAUI	-41.57	-5.33
547000	82564	IMPERATRIZ	-47.48	-5.53
741010	----	SIMPLICIO MENDES	-41.92	-7.85
747003	82765	CAROLINA	-47.47	-7.33
849000	82861	CONCEICAO ARAGUAIA	-49.26	-8.26
940018	----	CAMPO DOS CAVALOS	-40.65	-9.56
1048003	83064	PORTO NACIONAL	-48.42	-10.70
1139016	83190	SERRINHA	-39.00	-11.65
1241017	----	PORTO	-41.30	-12.50
1444000	----	SAO GONCALO	-44.46	-14.31
1539010	----	MASCOTE	-39.05	-15.30
1544012	----	SAO FRANCISCO	-44.87	-15.95
1550003	83374	GOIAS	-50.14	-15.94
1556002	83361	CUIABA	-56.11	-15.62
1642002	----	CORONEL MURTA	-42.19	-16.61
1739006	----	HELVECIA (EFBM)	-39.66	-17.81
1744009	----	VARZEA DA PALMA	-44.72	-17.59
1841001	----	VILA MATIAS-MONTANTE	-41.92	-18.57
1848000	----	MONTE ALEGRE DE MINAS	-48.87	-18.87
1943000	----	MINERACAO MORRO VELHO	-43.85	-19.98
1947001	----	SANTA JULIANA	-47.53	-19.32
2046007	----	FAZENDA AJUDAS	-46.06	-20.10
2048021	----	COLINA	-48.55	-20.73
2242003	----	PILLER	-42.34	-22.40
2246022	----	MONTE ALEGRE DO SUL	-46.67	-22.70
2251010	----	USINA LARANJA	-51.17	-22.25
2350002	----	ANDIR?	-50.29	-23.09
2450010	83813	CASTRO	-50.00	-24.78
2548000	----	MORRETES	-48.83	-25.47
2552000	----	QUEDAS DO IGUACU	-52.90	-25.45
2651000	----	UNIAO DA VITORIA	-51.08	-26.23
2749000	----	APIUNA	-49.40	-27.04
2753003	83881	IRAI	-53.25	-27.19
2852020	83914	PASSO FUNDO	-52.40	-28.23
2951022	----	NOVA PALMIRA	-51.19	-29.33
2953008	----	DONA FRANCISCA	-53.35	-29.63
2957001	83927	URUGUAIANA	-57.08	-29.75
3152003	----	CANGUCU	-52.70	-31.39
8069000	82067	IAUARETE	-69.19	0.60
8260000	82024	BOA VISTA	-60.66	2.83

**TABELA 2. Estações base com dados de temperatura. Indica-se o início e fim do registro e tipo de dados contido: Tx, indicaTem. Máxima, Tm, Temperatura**

**Média e ,Ti, Temperatura Mínima**

COD.	INST.	ESTAÇÃO	LONG	LAT	INI.	FIM	Tx	Tm	Ti
82022	CTA	BOA VISTA	-60.70	2,83	1967	1997	X	X	X
82067	INMET	IAUARETE	-69.20	0.62	1961	2000			X
82106	INMET	SÃO GABRIEL DA CACHOEIRA	-67.08	-0.13	1961	2000	X	X	X
82191	INMET	BELEM	-48.47	-1.45	1961	2000	X	X	X
82240	INMET	PARINTINS	-56.73	-2.63	1961	2000	X		
82244	CTA	SANTARÉM	-2.43	-54.72	1961	1997	X	X	X
82281	CTA	SÃO LUIZ	-2.60	-44.23	1961	1991	X	X	X
82331	INMET	MANAUS	-60.02	-3.13	1961	2000	X	x	X
82353	INMET	ALTAMIRA	-52.20	-3.20	1961	2000	X		
82571	INMET	BARRA DO CORDA	-45.27	-5.50	1961	2000	X		
82599	CTA	NATAL	-5.92	-35.25	1961	1990	X	X	X
82825	INMET	PORTOVELHO	-63.92	-8.7	1961	2000		X	
82861	INMET	CONCEICAO DO ARAGUAIA	-49.28	-8.25	1961	2000	X		X
82892	INMET	PESQUEIRA	-36.77	-8.40	1961	2000	X	X	
83064	INMET	PORTONACIONAL	-48.42	-10.72	1961	2000	X	X	X
83235	INMET	TAGUATINGA	-46.43	-12.40	1961	2000	X	X	X
83374	INMET	GOIAS	-50.13	-15.92	1961	2000			X
83423	INMET	GOIÂNIA	-49.25	-16.67	1961	2000	X	X	X
83481	INMET	JOAOPINHEIRO	-46.17	-17.70	1961	2000			X
83497	CTA	CARAVELAS	-17.63	-39.20	1961	1997	X	X	X
83526	INMET	CATALAO	-47.95	-18.18	1961	2000	X	X	X
83669	INMET	SÃO SIMÃO	-47.55	-21.48	1961	2000		X	
83676	INMET	CATANDUVA	-48.97	-21.13	1961	2000	X	X	X
83692	INMET	JUIZ DE FORA	-43.35	-21.77	1961	2000		X	
83716	INMET	PRESIDENTE PRUDENTE	-51.38	-22.12	1961	2000	X	X	X
83738	INMET	RESENDE	-44.47	-22.48	1961	2000	X		X
83745	INMET	NOVAFRIBURGO	-42.53	-22.2	1961	2000			X
83780	CTA	SÃO PAULO	-23.62	-46.65	1961	1997	X	X	X
83842	INMET	CURITIBA	-49.27	-25.42	1961	2000	X		X
83844	INMET	PARANAGUA	-48.52	-25.52	1961	2000			X
83914	INMET	PASSOFUNDO	-52.40	-28.25	1961	2000		X	
83971	CTA	PORTO ALEGRE	-30.00	-51.10	1961	1996	X	X	X
83981	CTA	BAGÉ	-31.35	-54.12	1961	1990	X	X	x

## 7. Figuras



*Figura 1 - Tendência da precipitação total anual (1951-2000) em mm/ década. Círculos com contornos grossos indicam significância estatística do Teste Mann-Kendal ao nível de significância de 0.05.*

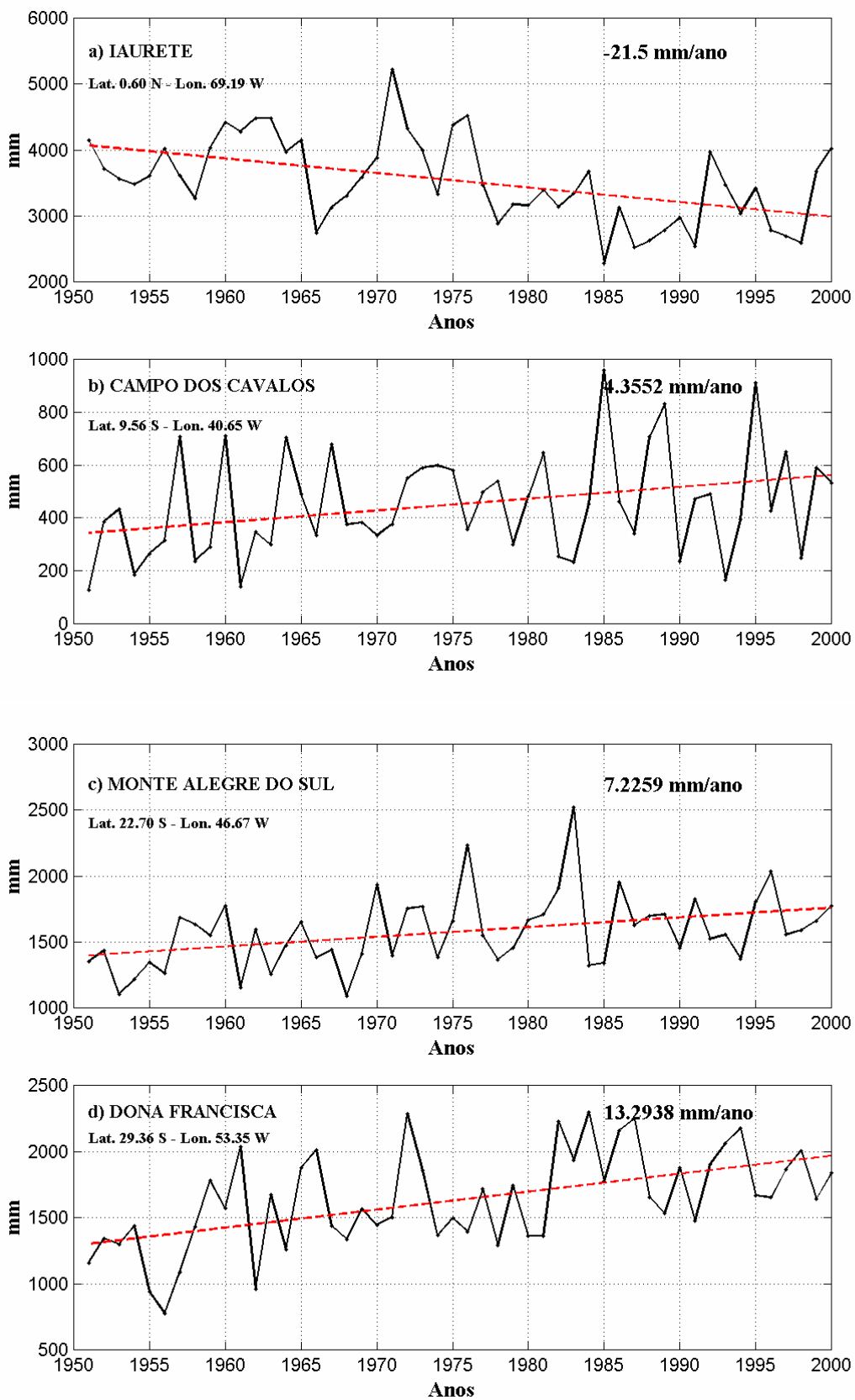


Figura 2 – Séries temporais de precipitação total anual de estações representativas das regiões do Brasil.

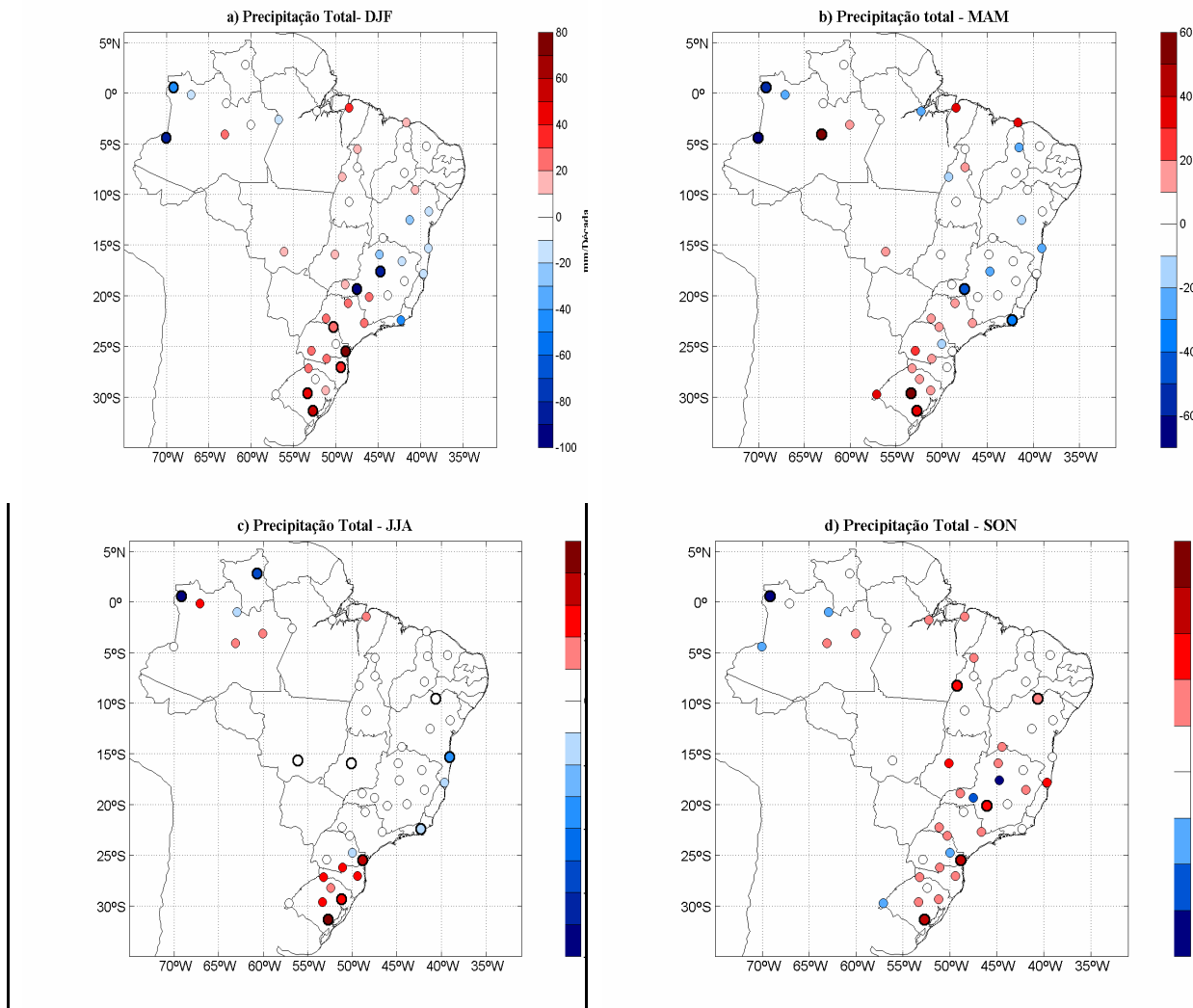


Figura 3 - Tendência da precipitação total sazonal (1951-2000) em mm/ década.

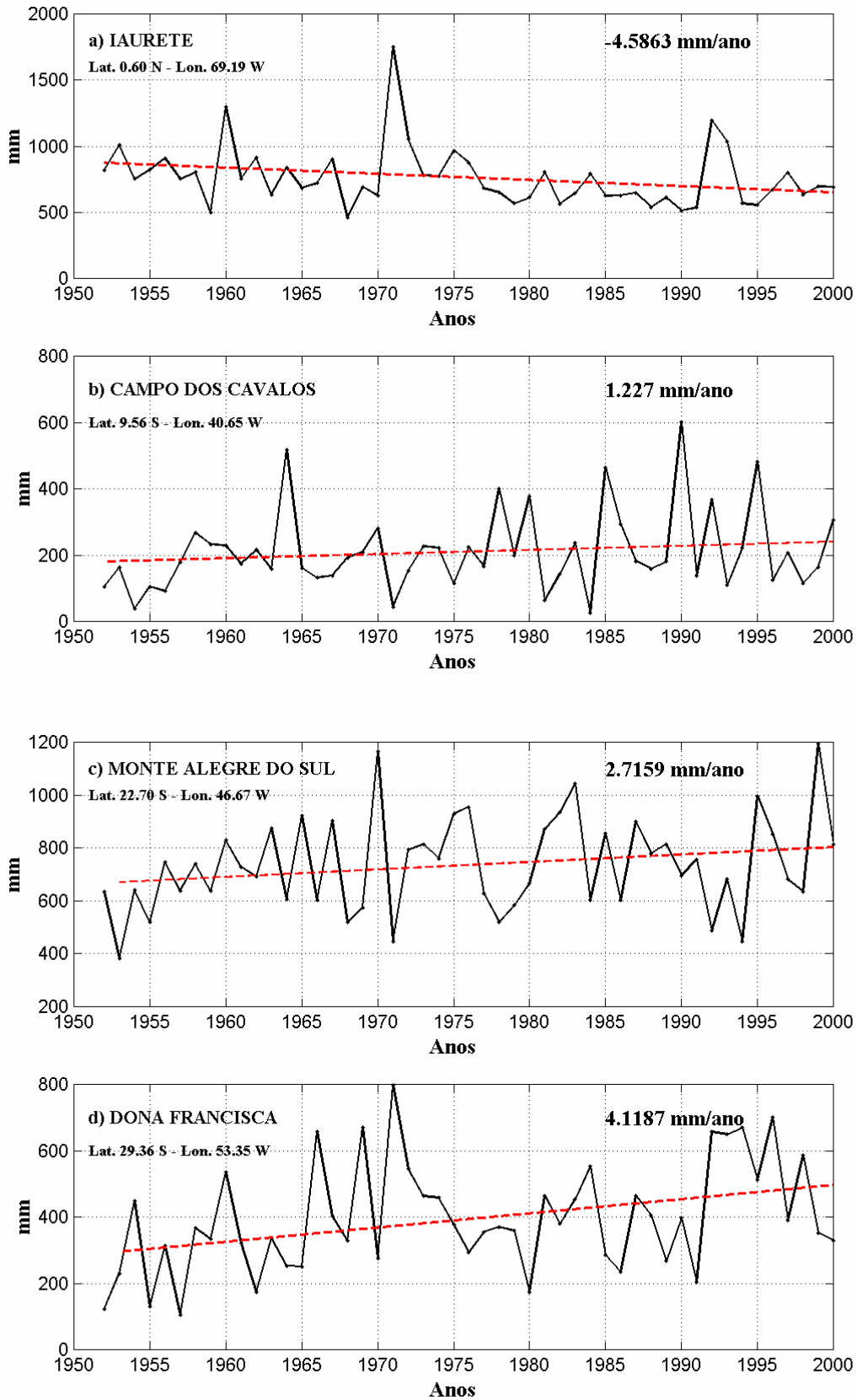


Figura 4 a – Séries temporais de precipitação total sazonal - verões de estações representativas das regiões do Brasil.

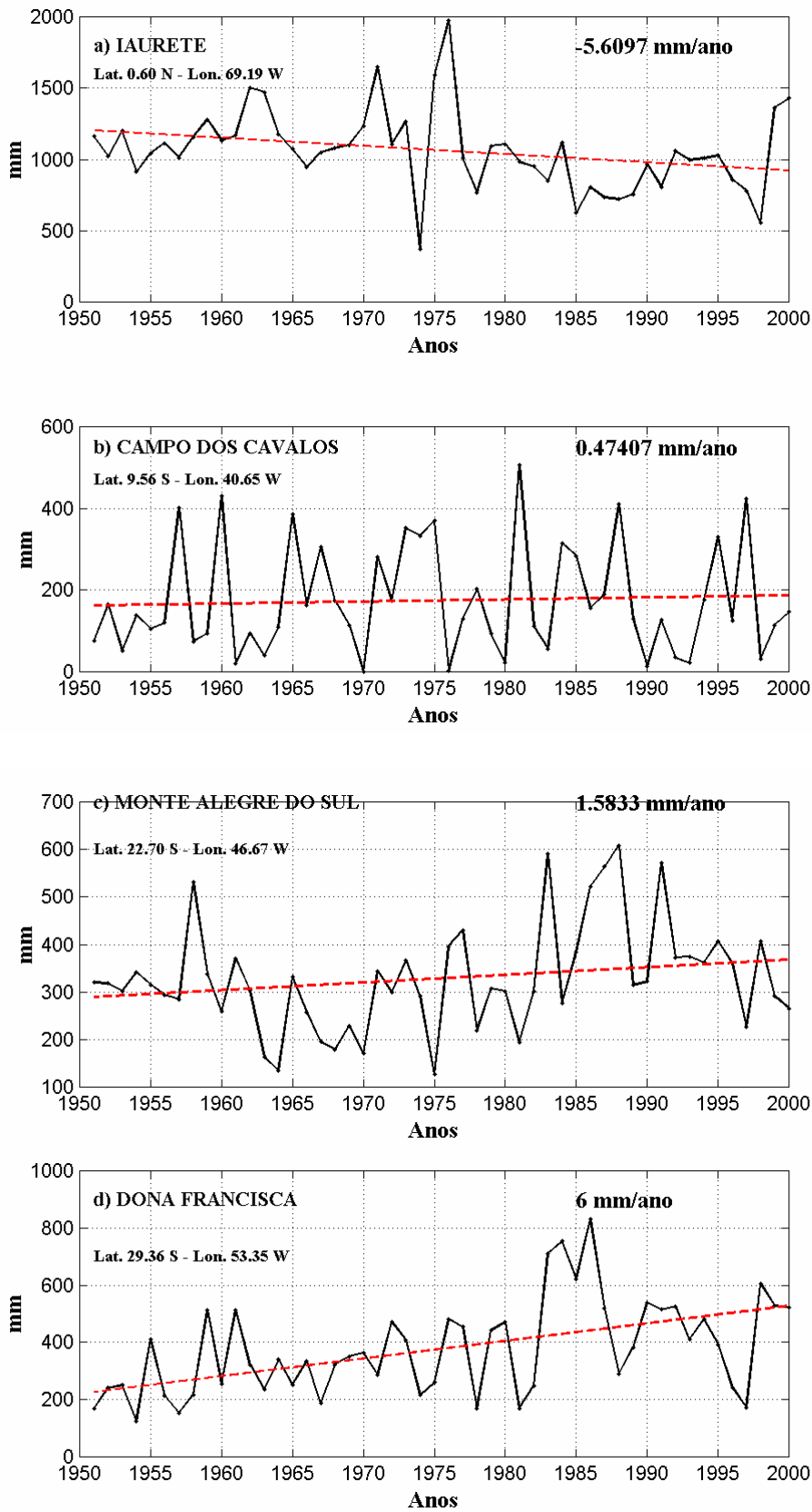
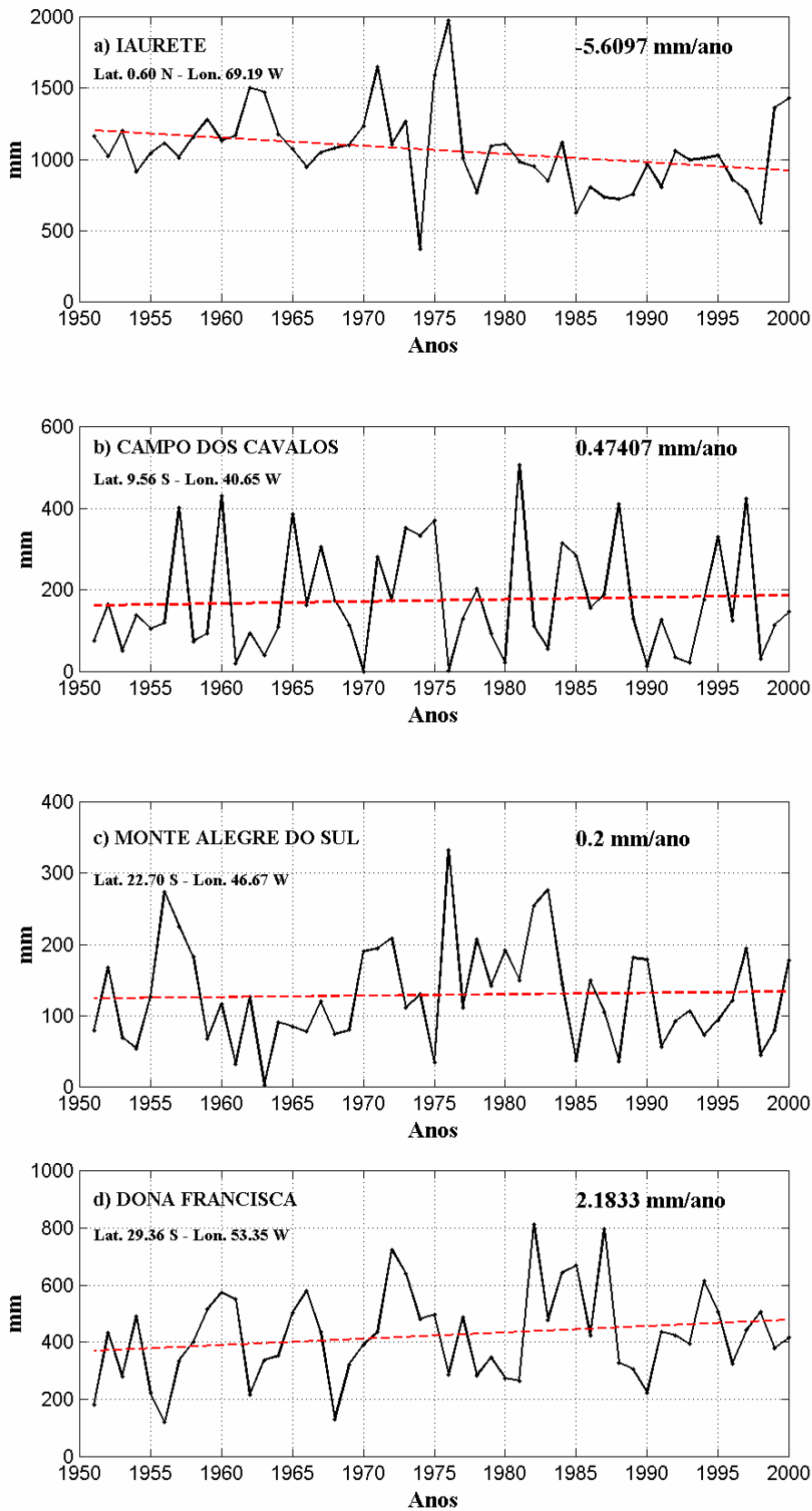


Figura 4 b – Séries temporais de precipitação total sazonal - Outonos de estações representativas das regiões do Brasil.





*Figura 4c – Séries temporais de precipitação total sazonal - Invernos de estações representativas das regiões do Brasil.*

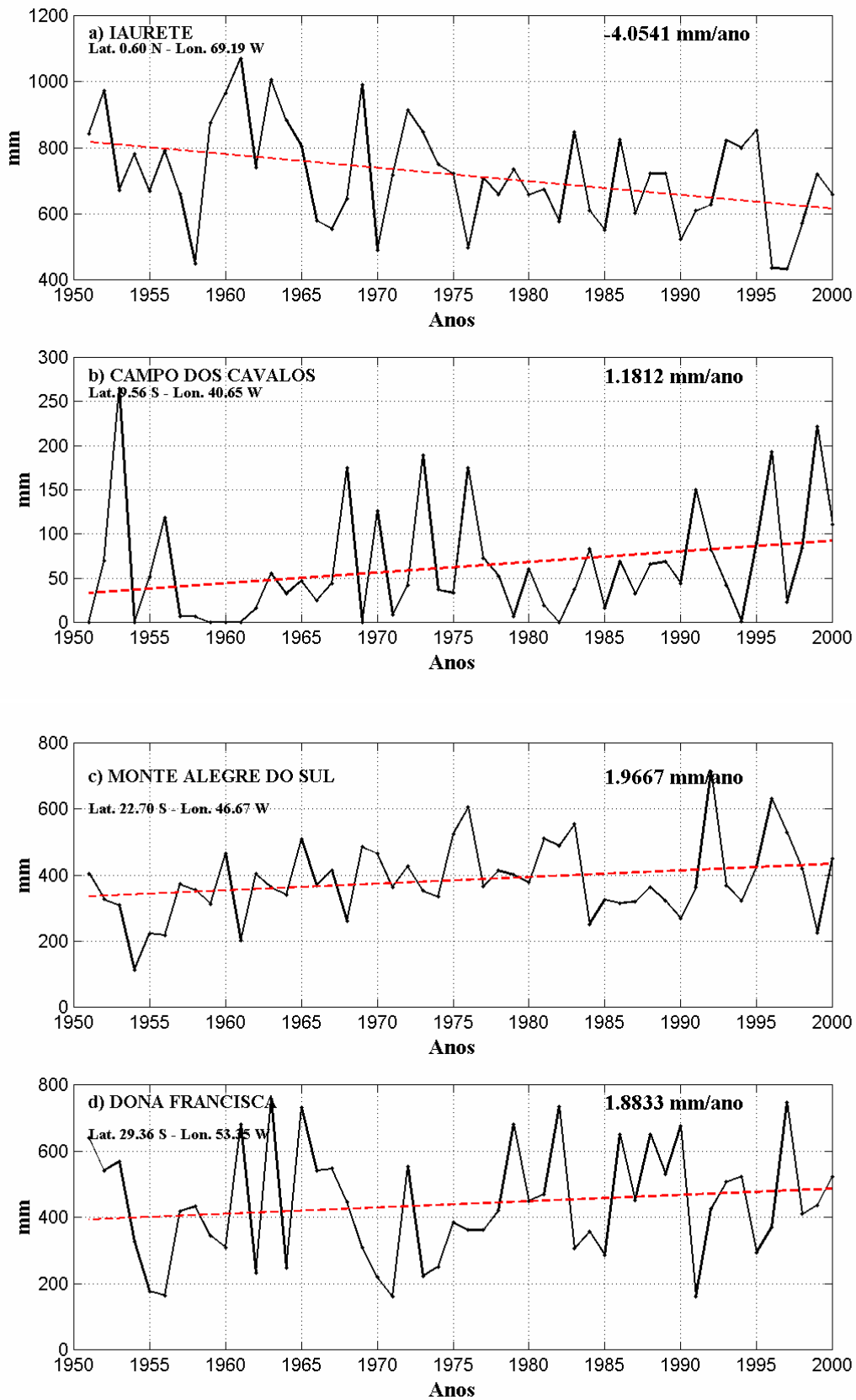


Figura 4d – Séries temporais de precipitação total sazonal - Primaveras de estações representativas das regiões do Brasil.

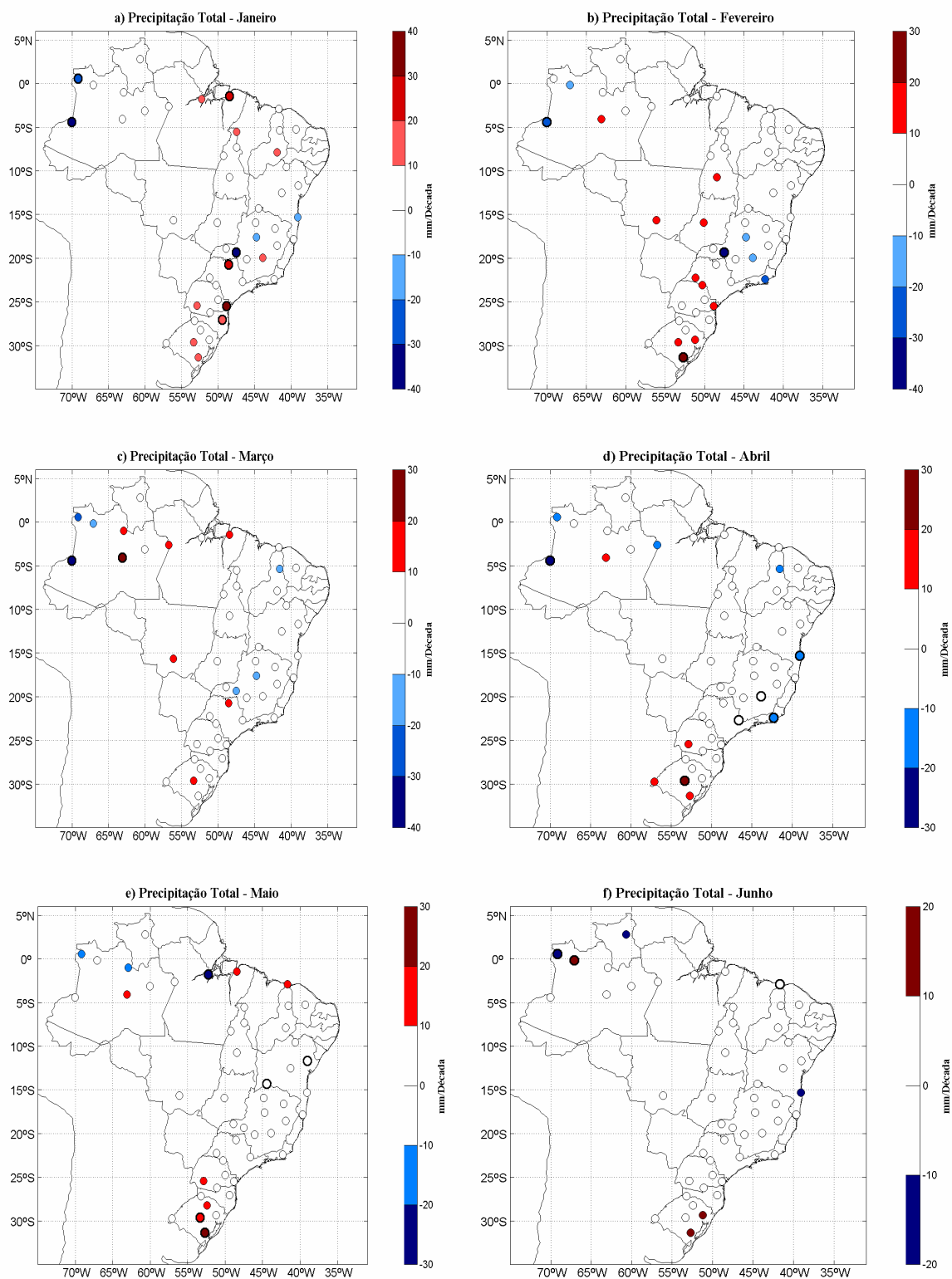


Figura 5a - Tendência da precipitação total mensal (1951-2000) em mm/ década.

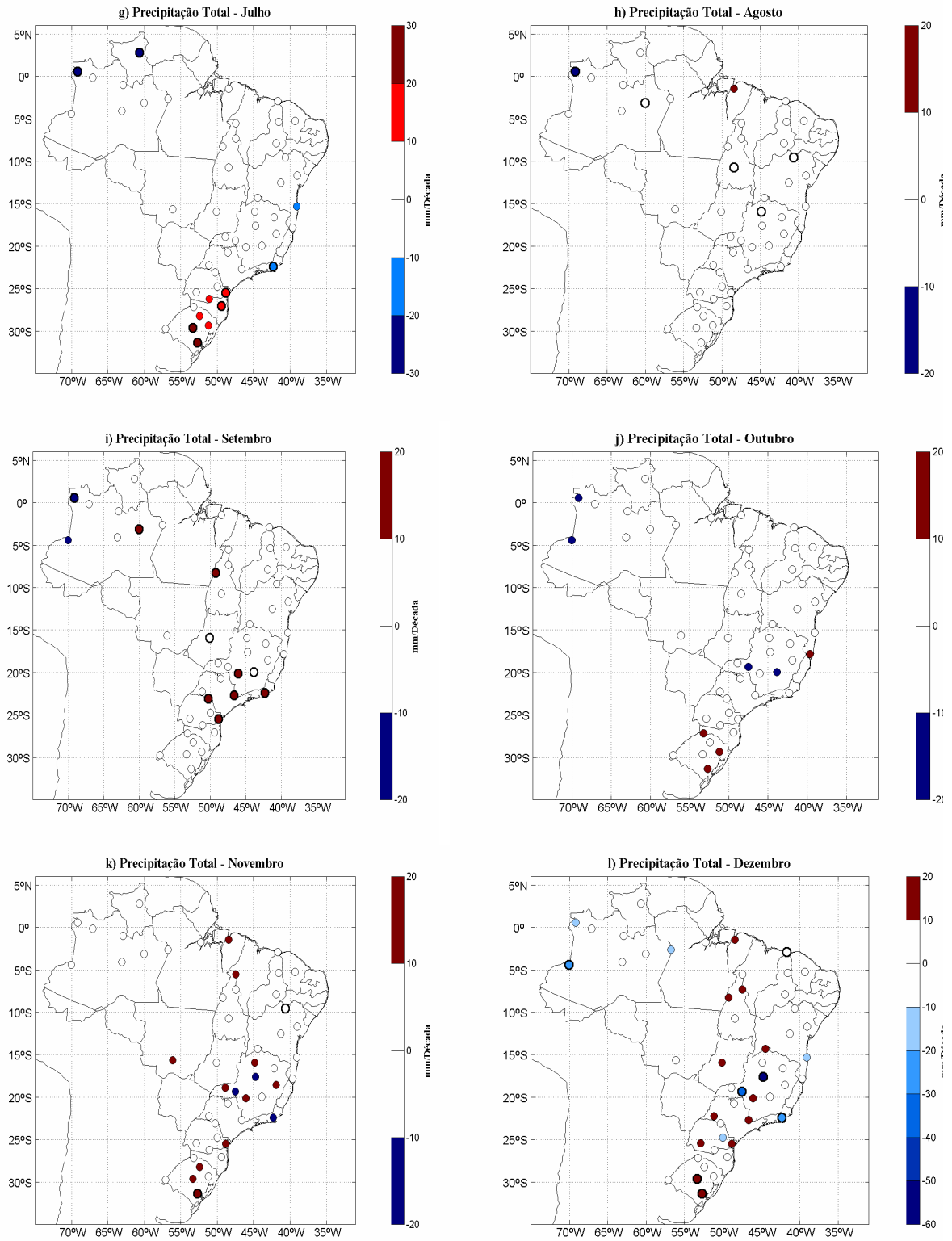
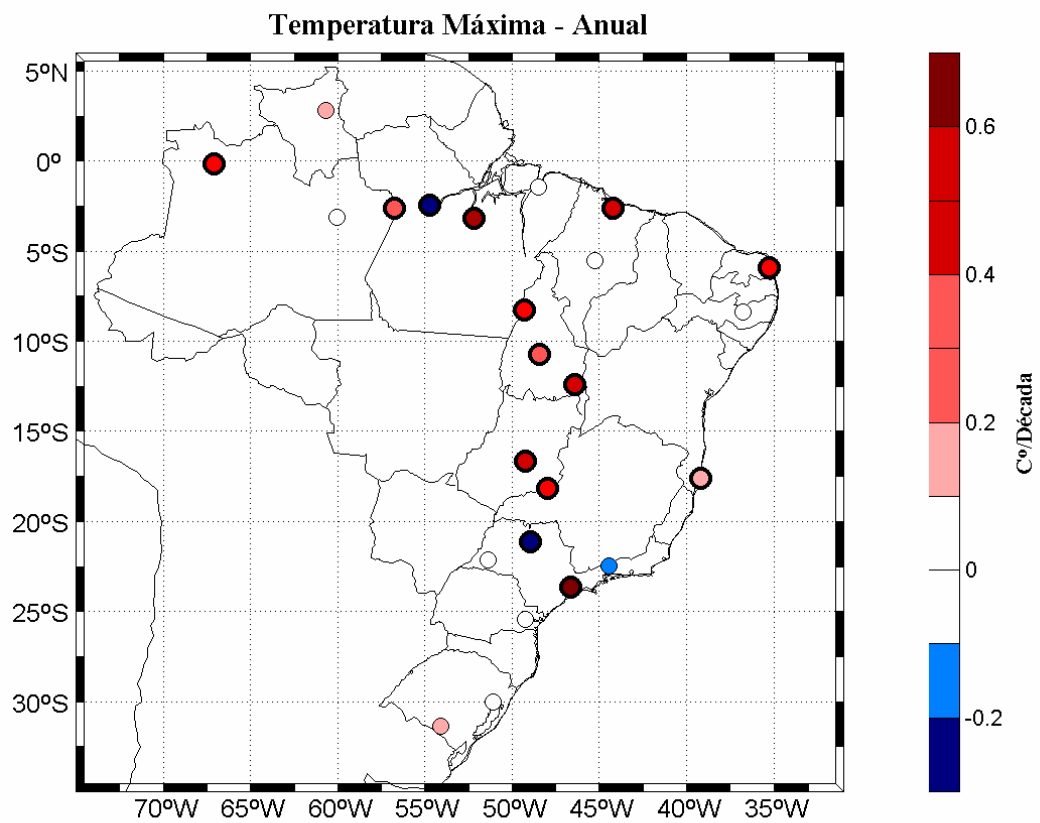


Figura 5b - Tendência da precipitação total mensal (1951-2000) em mm/ década.



*Figura 6 - Tendência da Temperatura máxima média anual (1961-2000) em C° / década. Círculos com contornos grossos indicam significância estatística do Teste Mann-Kendal ao nível de significância de 0.05.*

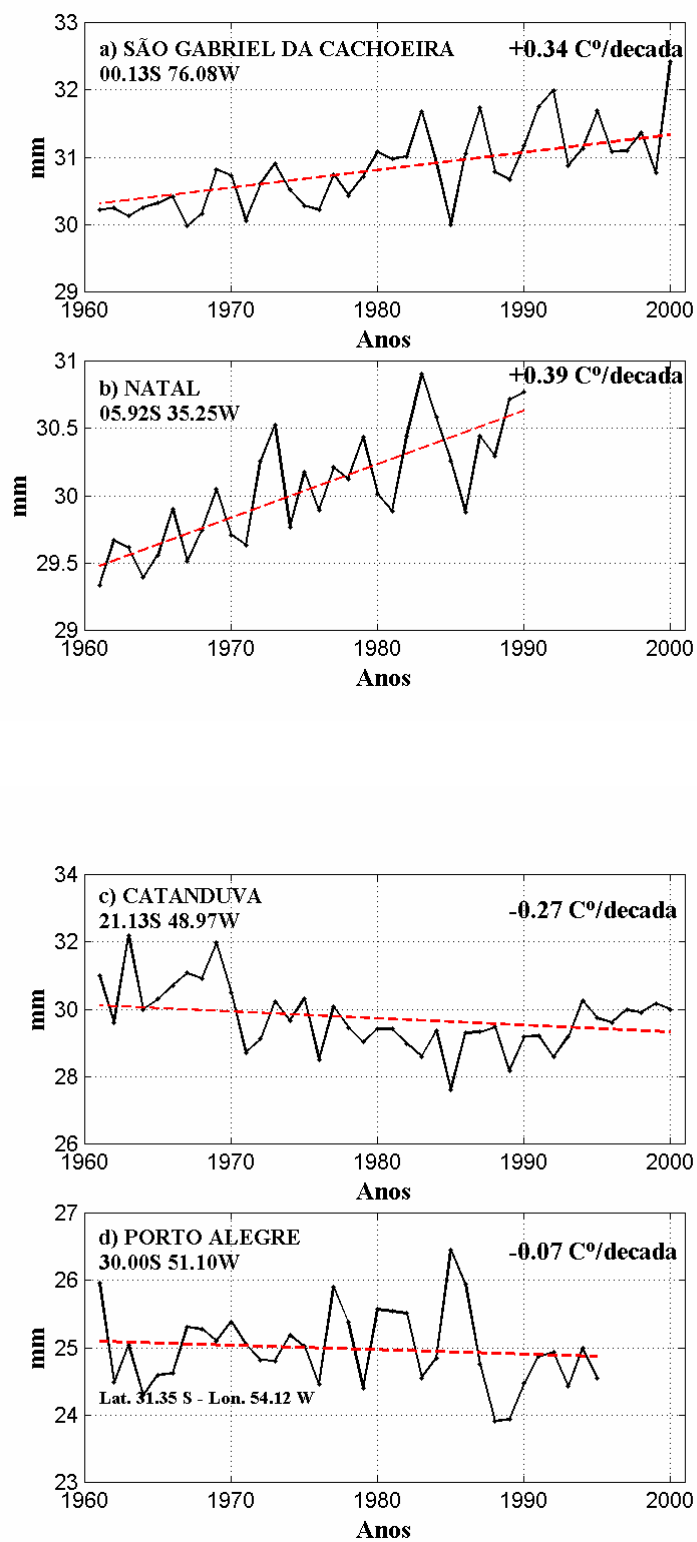


Figura 7 – Séries temporais de temperatura máxima. Média anual de estações representativas das regiões do Brasil.

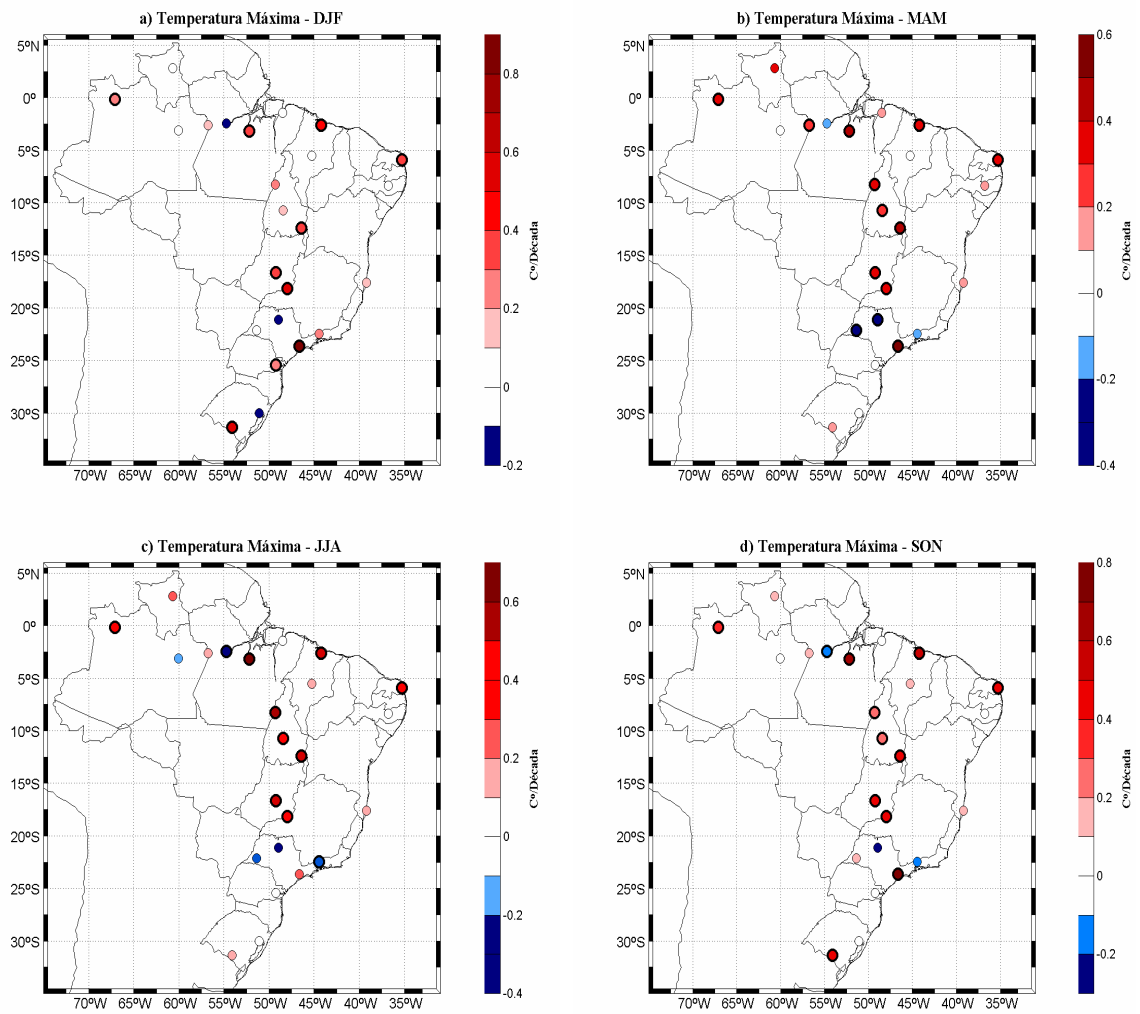


Figura 8 - Tendência da Temperatura máxima média sazonal (1961-2000) em Cº/década.

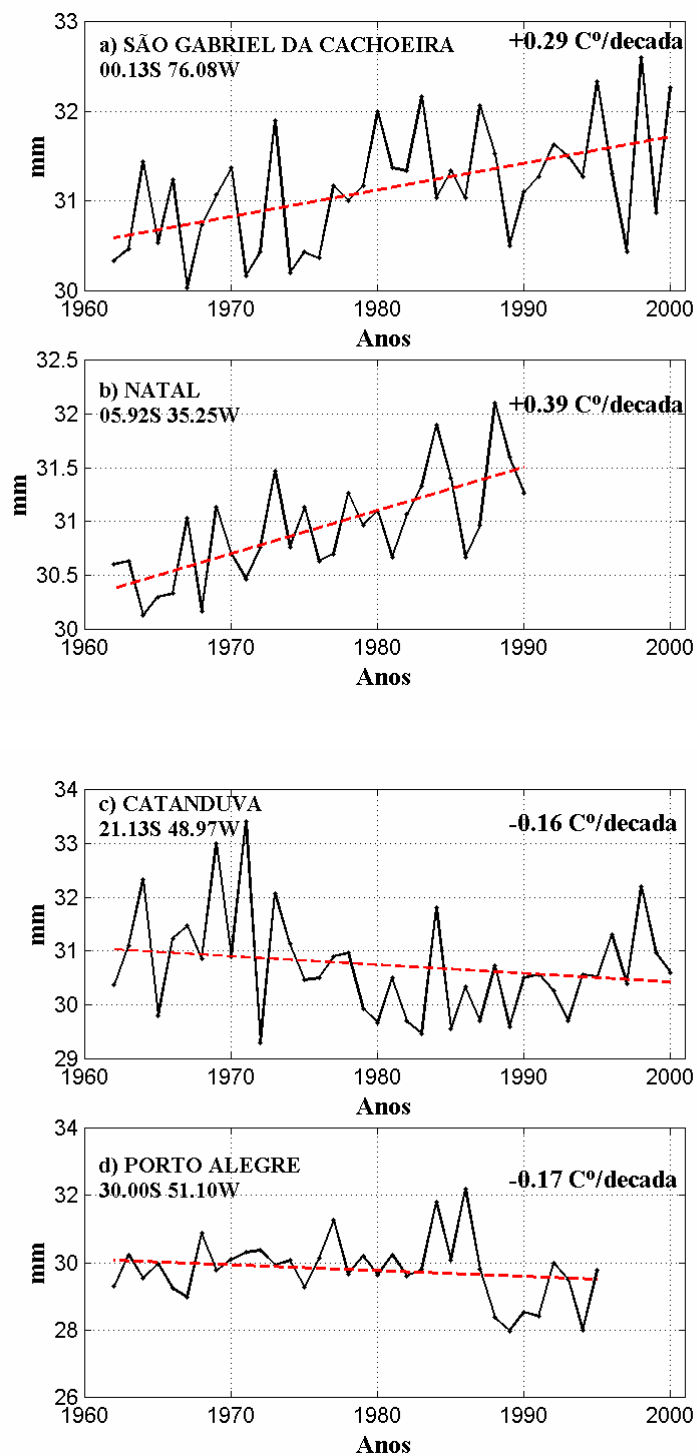


Figura 9a – Séries temporais de temperatura máxima sazonal. Média dos verões de estações representativas das regiões do Brasil.



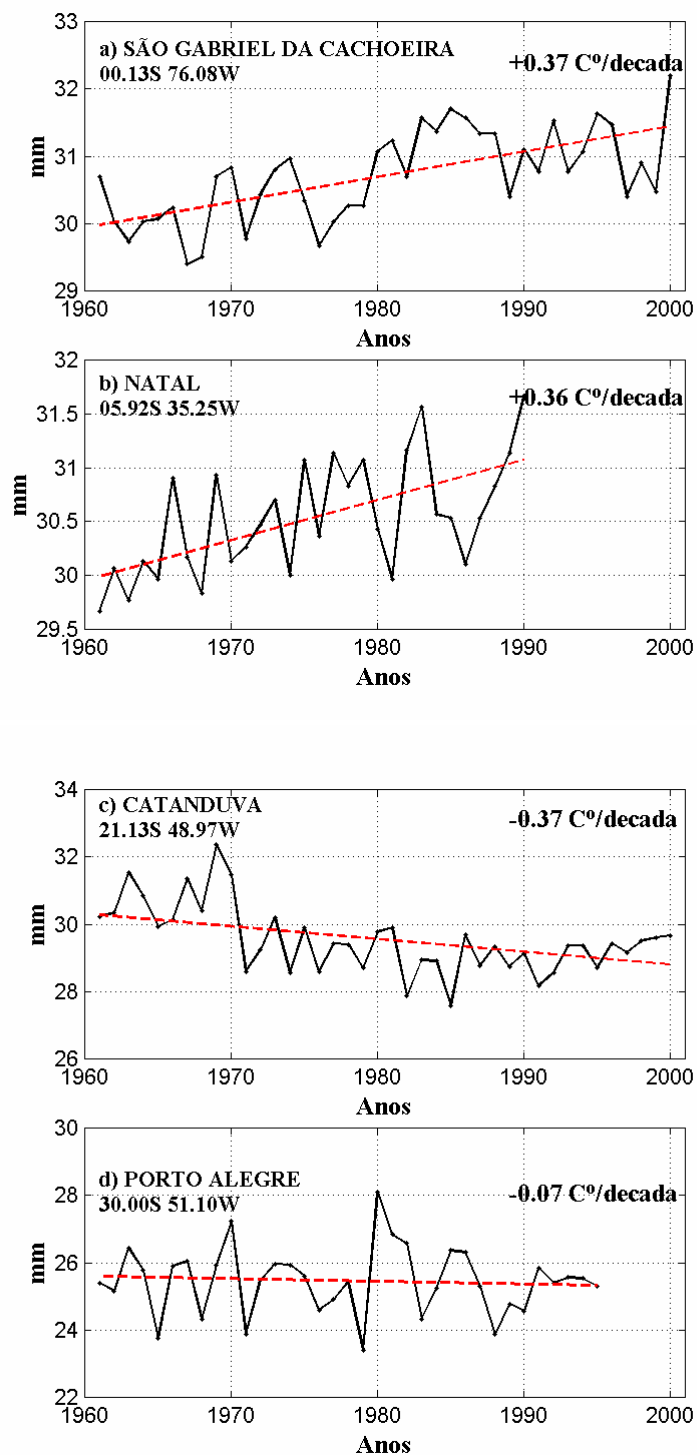


Figura 9b – Séries temporais de temperatura máxima sazonal. Média dos outonos de estações representativas das regiões do Brasil.

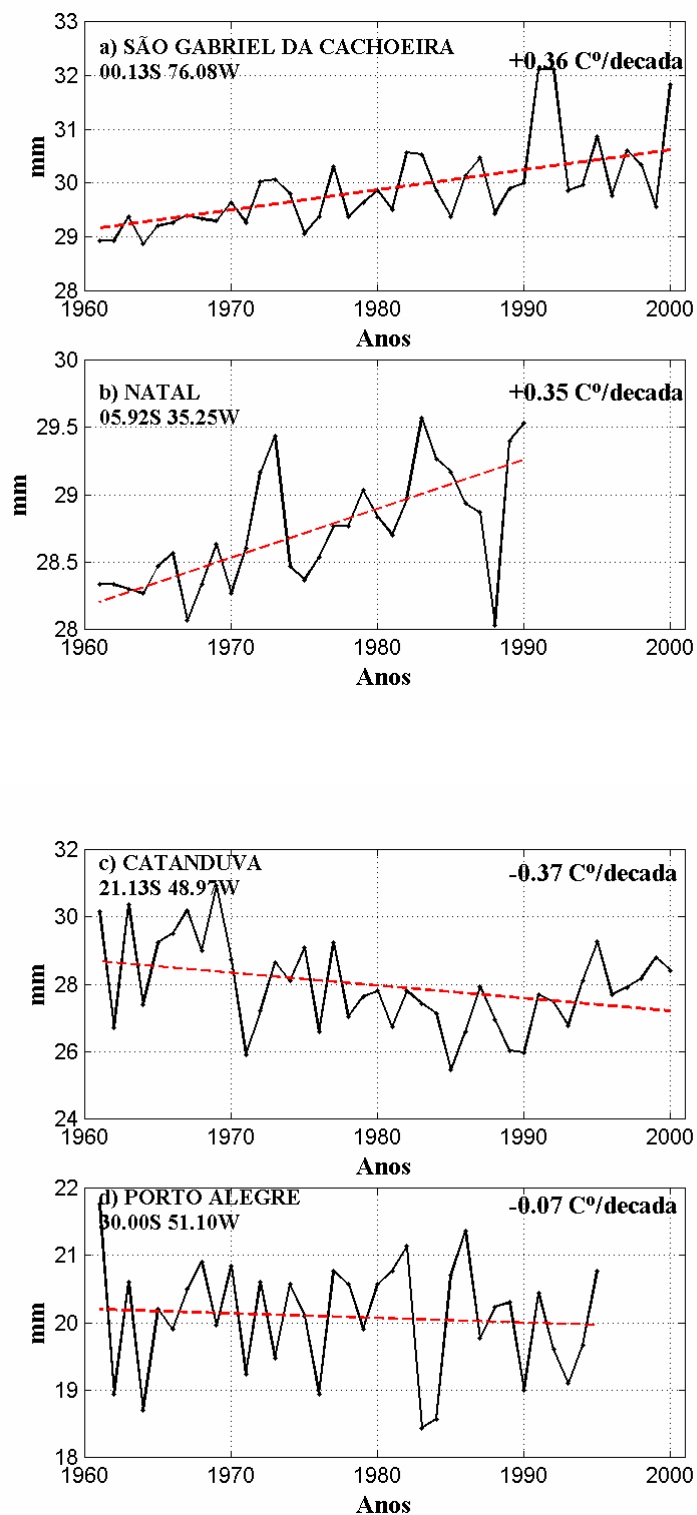


Figura 9c – Séries temporais de temperatura máxima sazonal. Média dos invernos de estações representativas das regiões do Brasil.

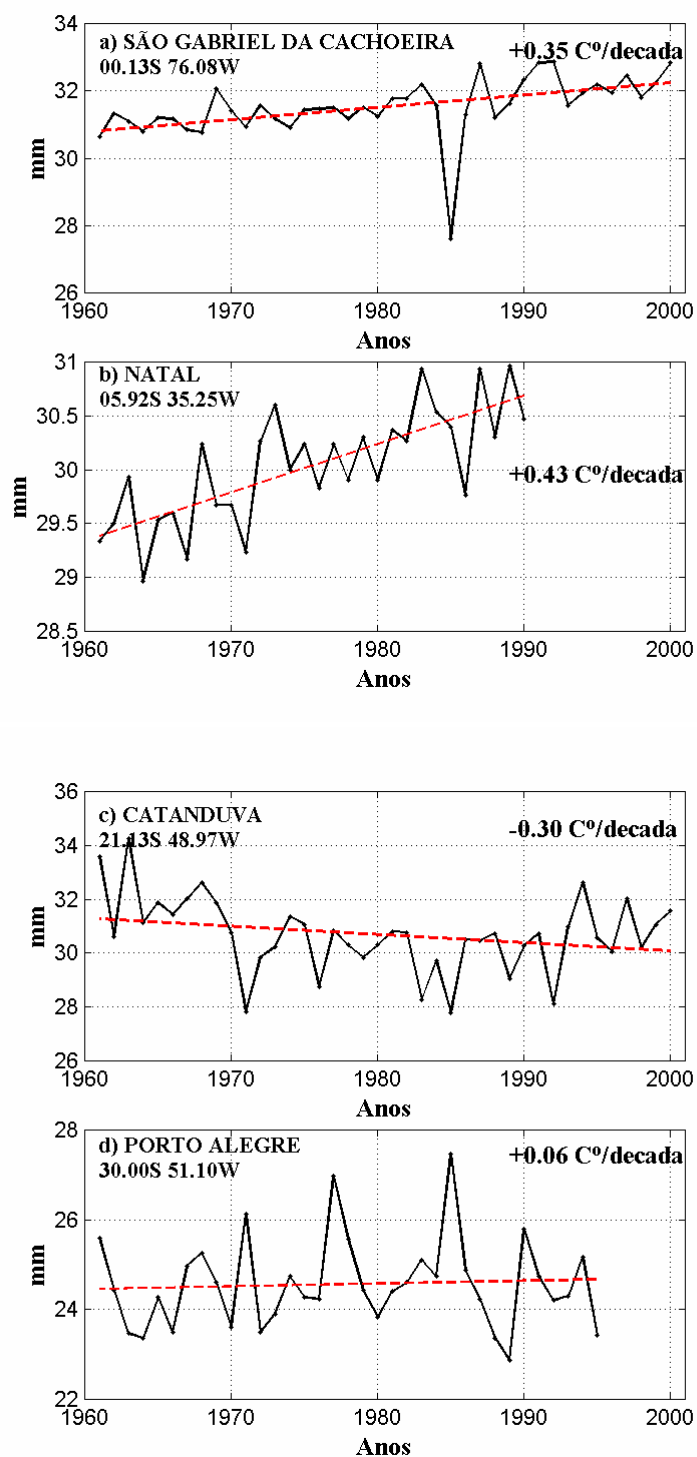


Figura 9d – Séries temporais de temperatura máxima sazonal. Média das primaveras de estações representativas das regiões do Brasil.

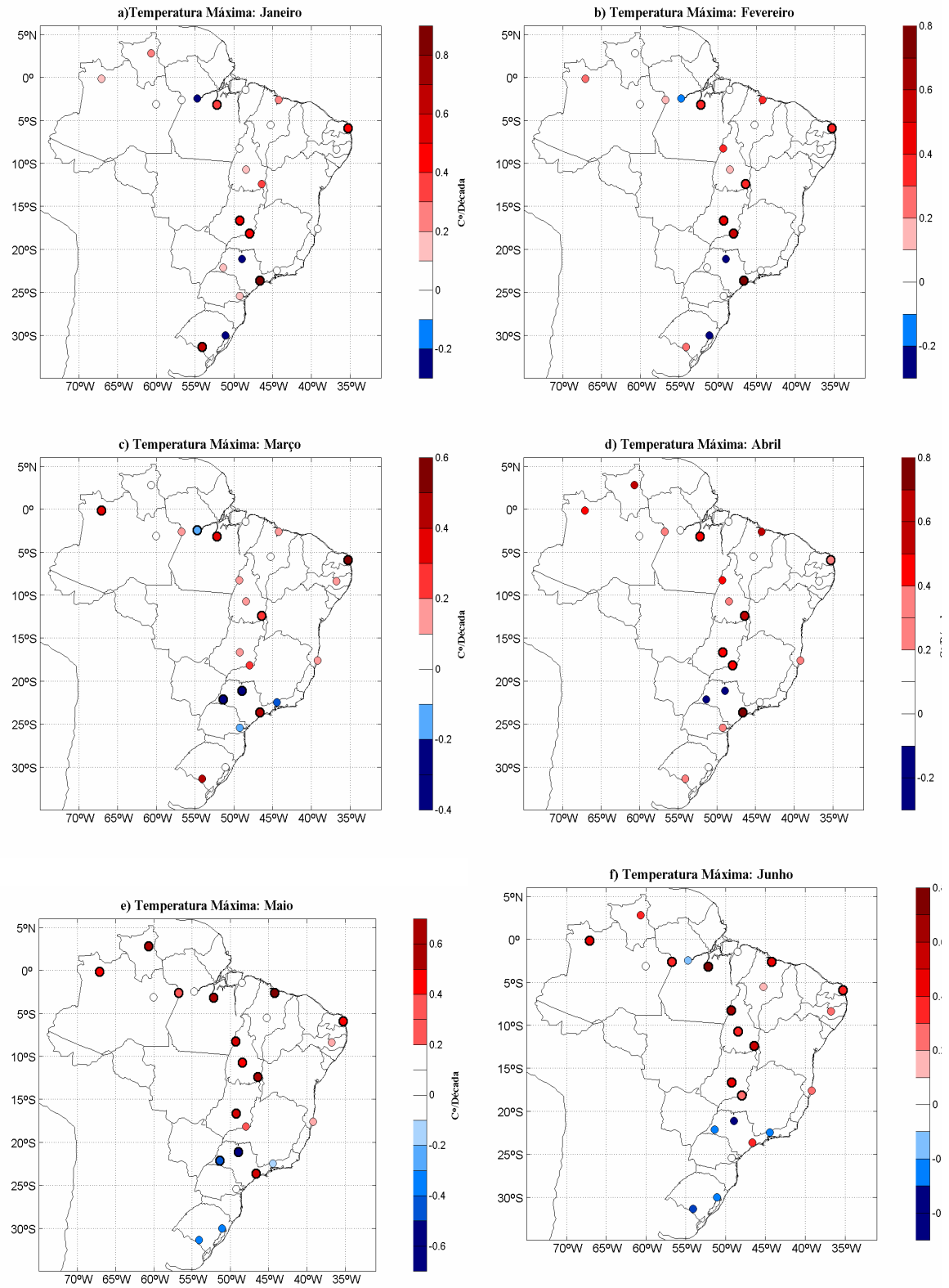


Figura 10a - Tendência da Temperatura máxima média mensal (1961-2000) em C°/década.

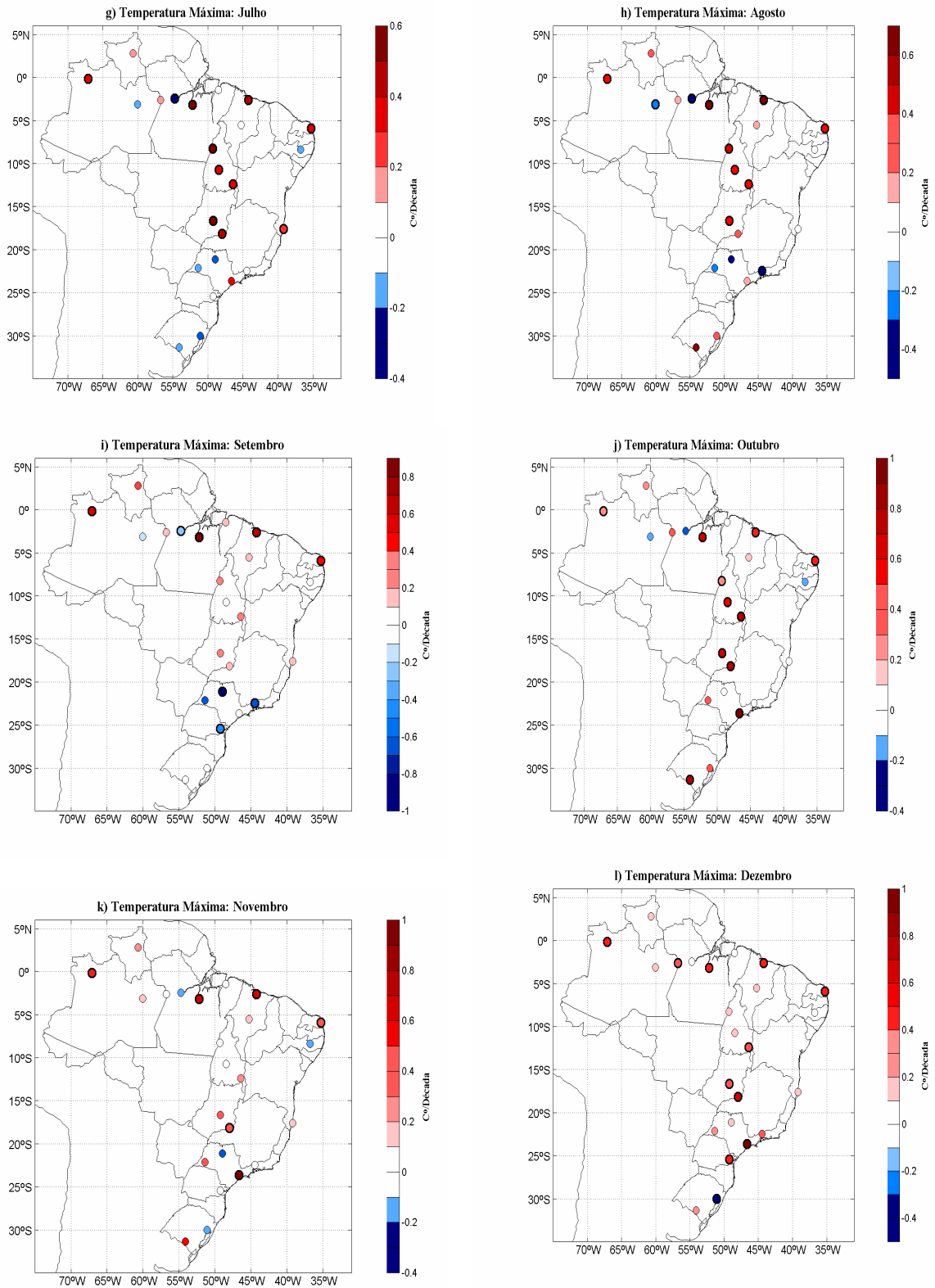


Figura 10b - Tendência da Temperatura máxima média mensal (1961-2000) em Cº/década.

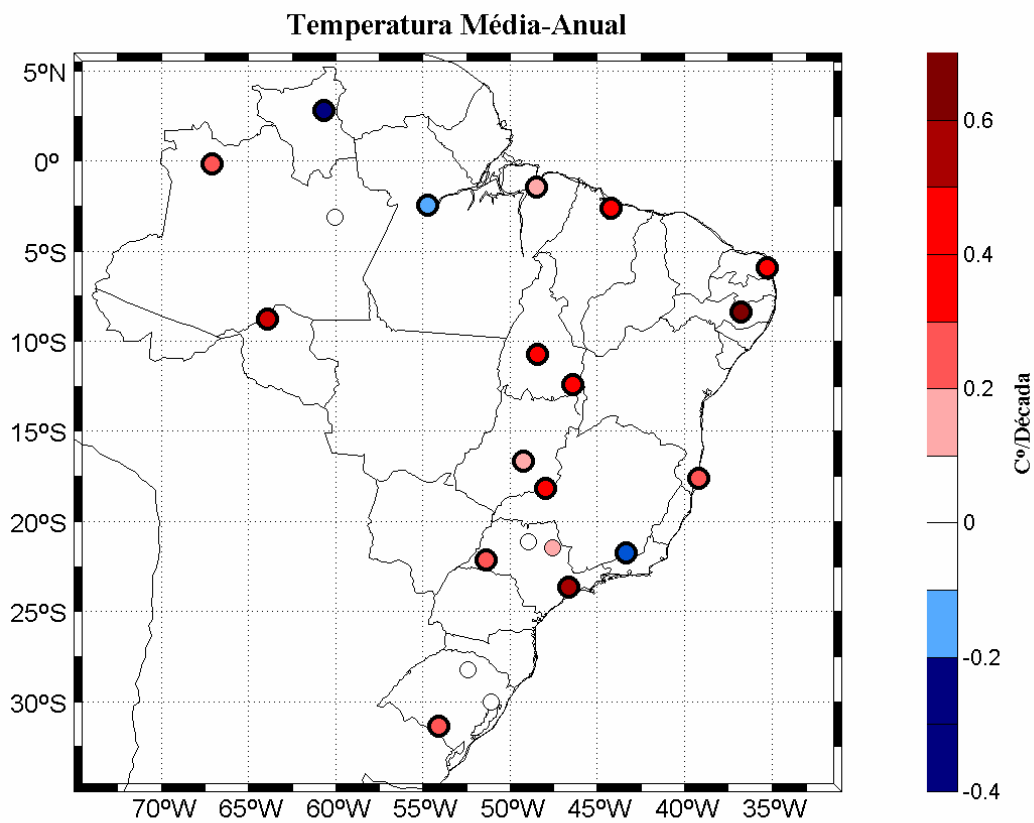


Figura 11 - Tendência da Temperatura média anual (1961-2000) em  $C^{\circ}$  / década. Círculos com contornos grossos indicam significância estatística do Teste Mann-Kendal ao nível de significância de 0.05.

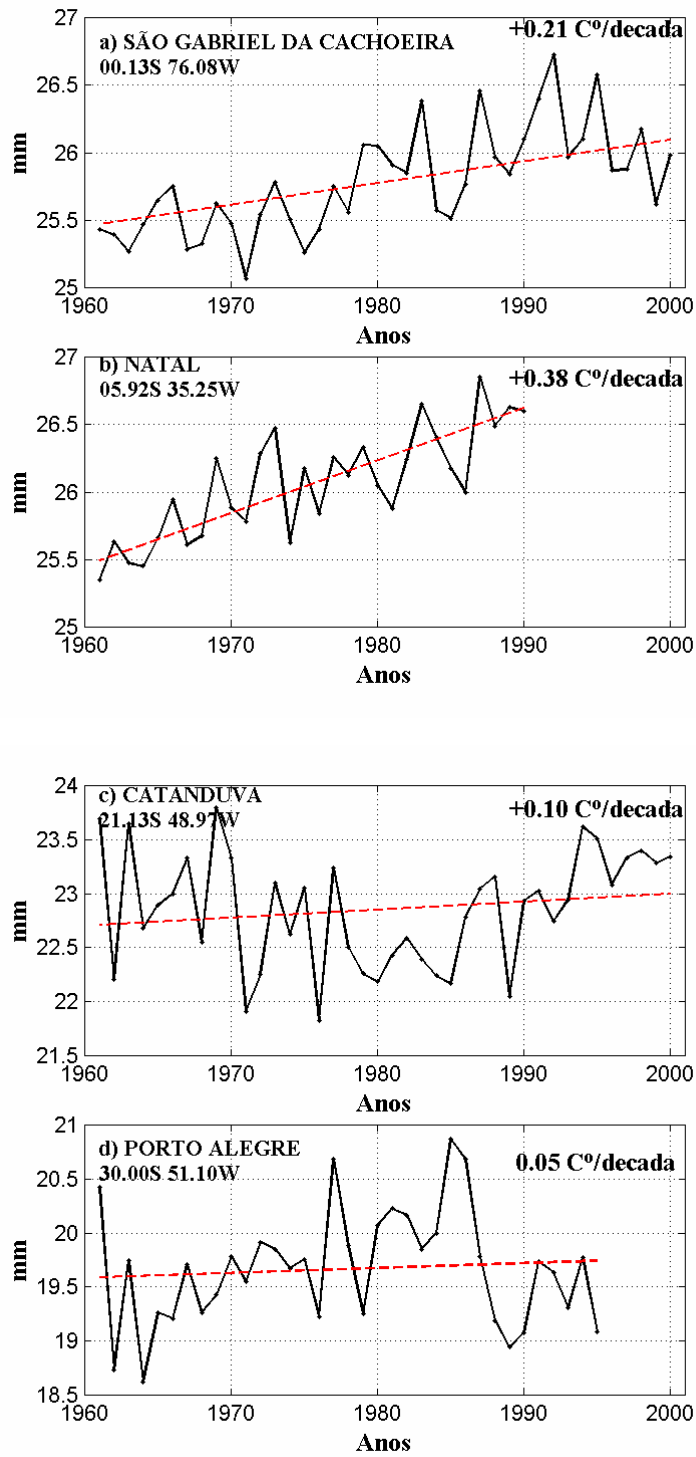


Figura 12 – Séries temporais de temperaturas médias anuais. Média de estações representativas das regiões do Brasil.

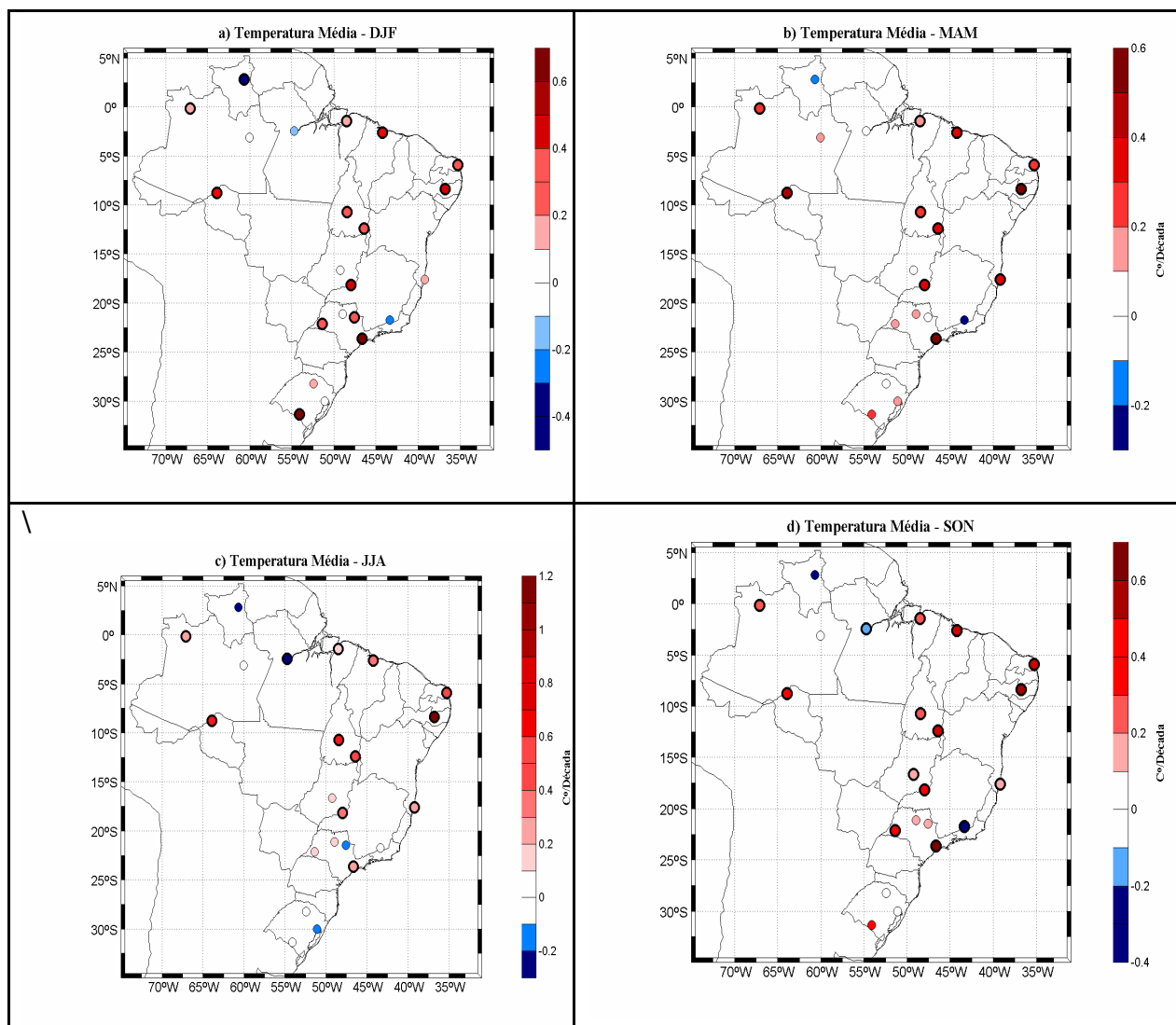


Figura 13 - Tendência da Temperatura média sazonal (1961-2000) em C°/década.



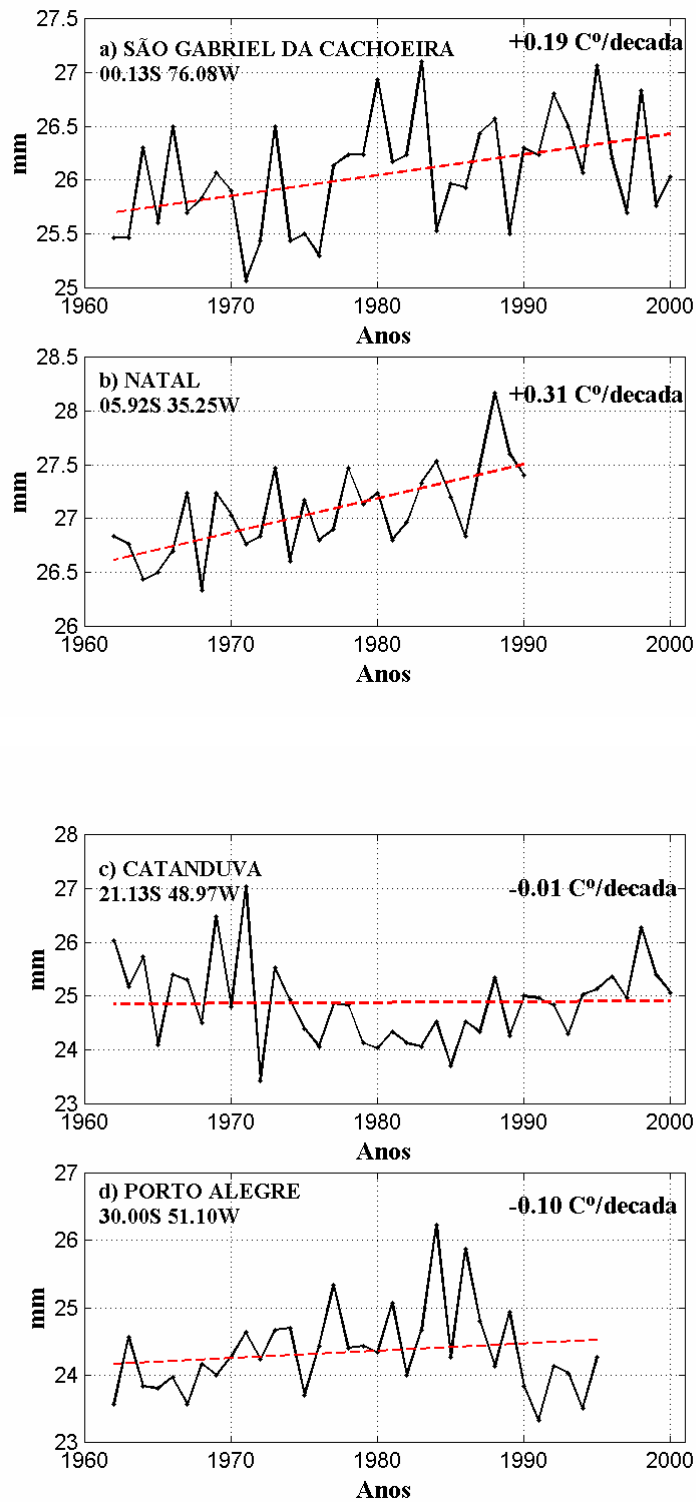


Figura 14a – Séries temporais de temperatura média sazonal. Média dos verões de estações representativas das regiões do Brasil.

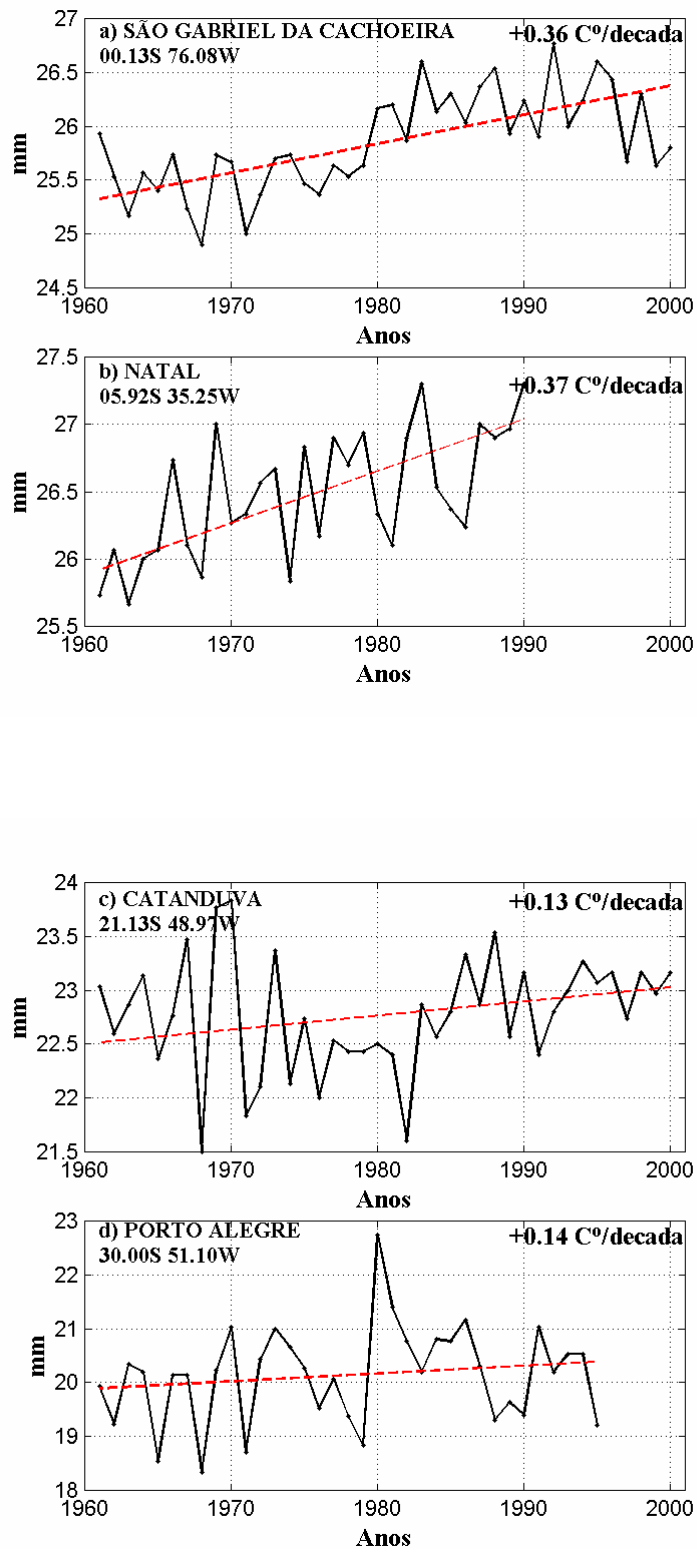


Figura 14b – Séries temporais de temperatura média sazonal. Média dos outonos de estações representativas das regiões do Brasil.

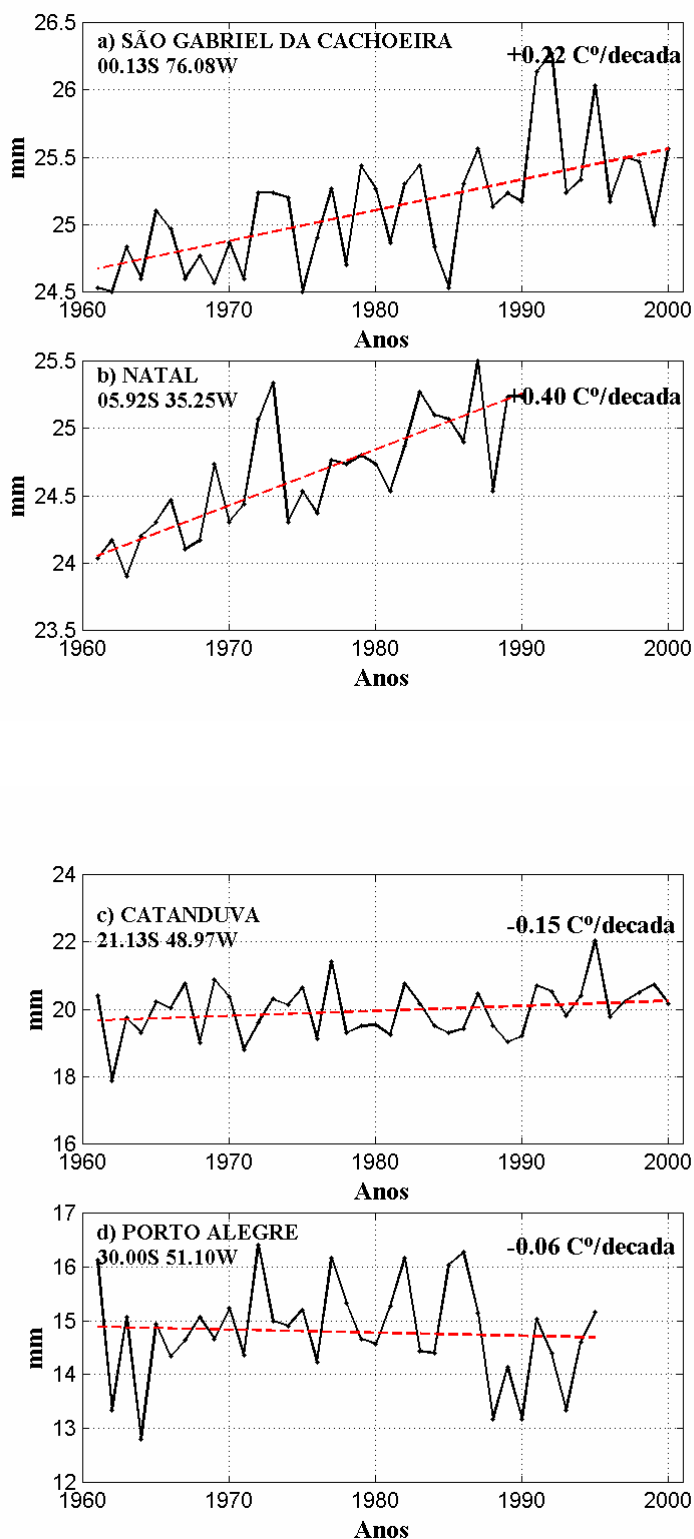


Figura 14c – Séries temporais de temperatura média sazonal. Média dos invernos de estações representativas das regiões do Brasil.

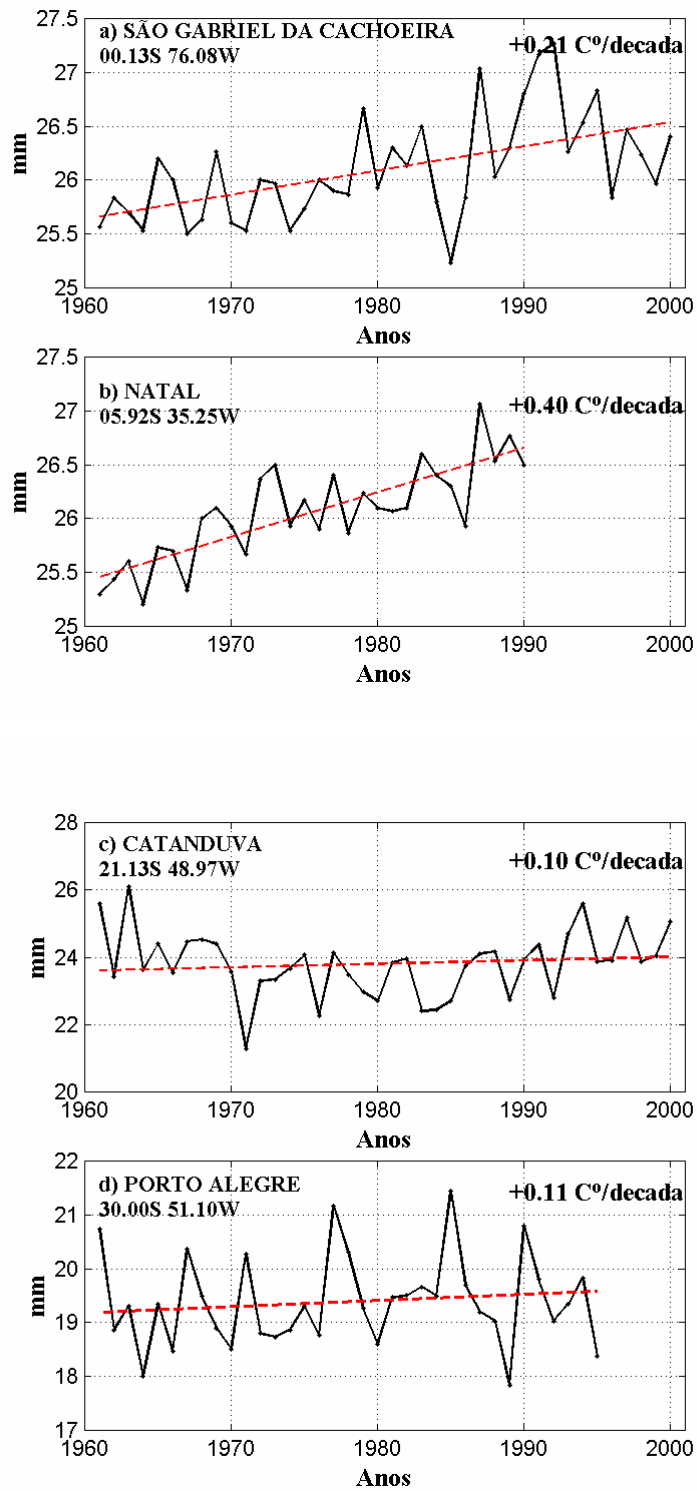


Figura 14d – Séries temporais de temperatura média sazonal. Média das primaveras de estações representativas das regiões do Brasil.

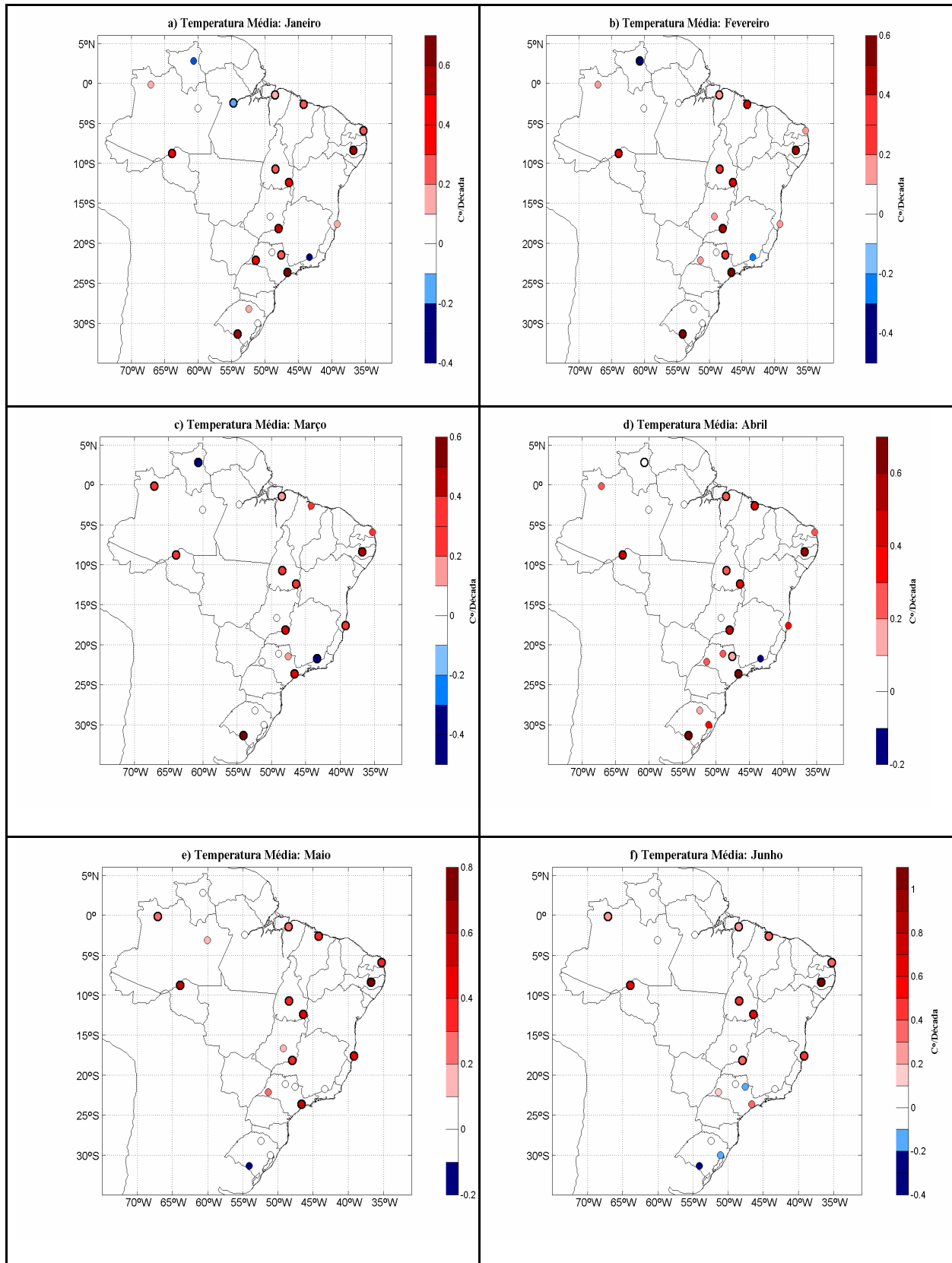


Figura 15a - Tendência da Temperatura média mensal (1961-2000) em C°/década.

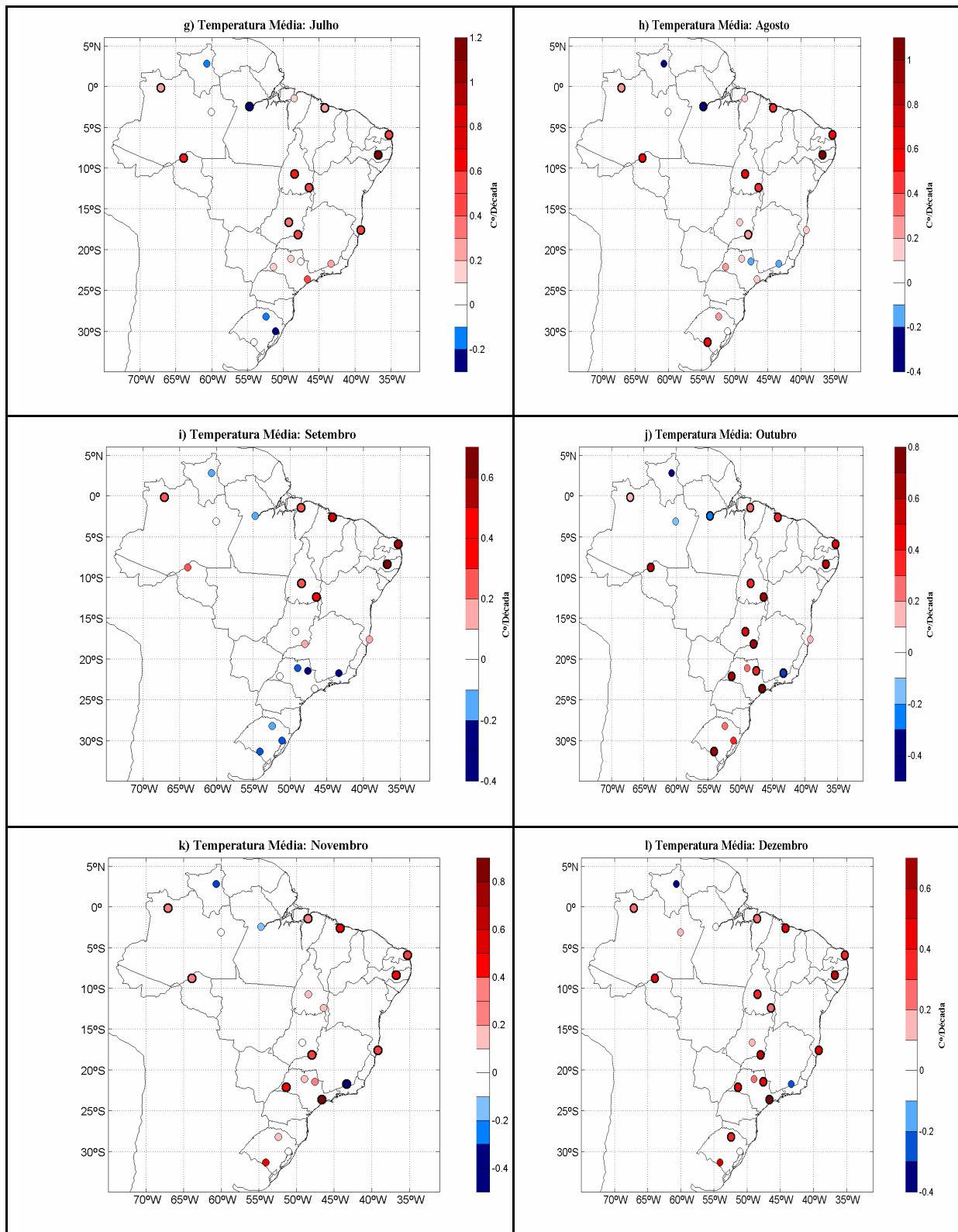
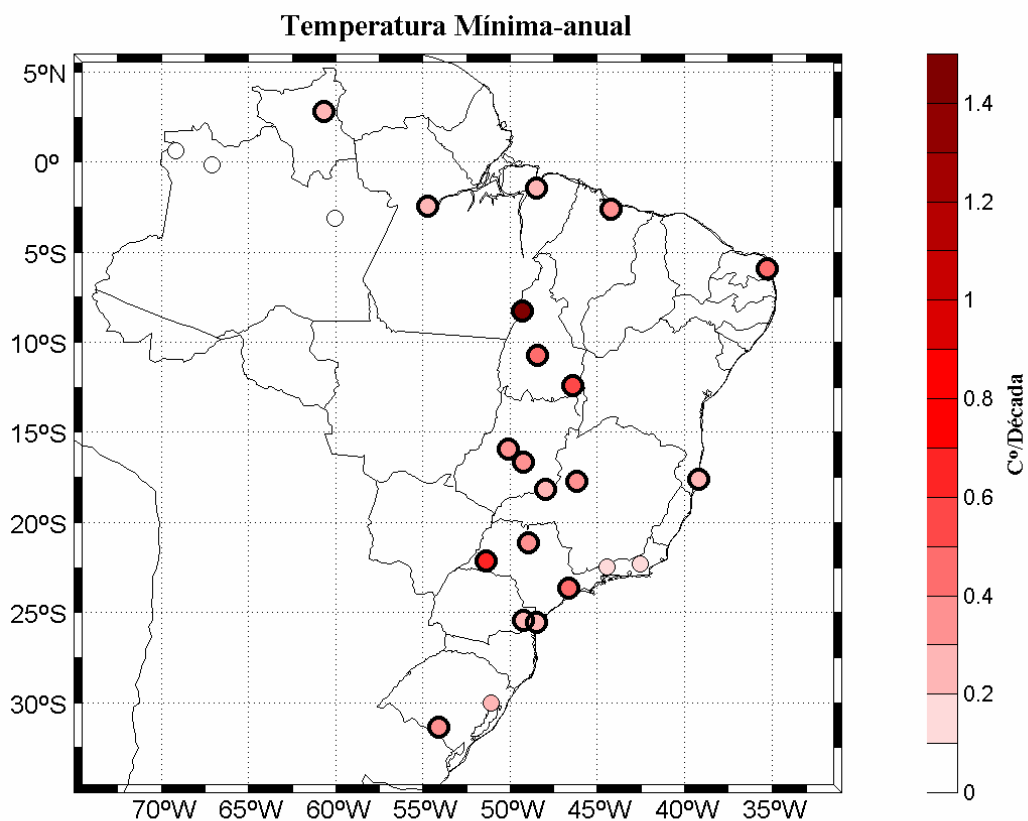


Figura 15b - Tendência da Temperatura média mensal (1961-2000) em C°/década.



*Figura 16 - Tendência da Temperatura mínima média anual (1961-2000) em C°/década. Círculos com contornos grossos indicam significância estatística do Teste Mann-Kendal ao nível de significância de 0.05.*

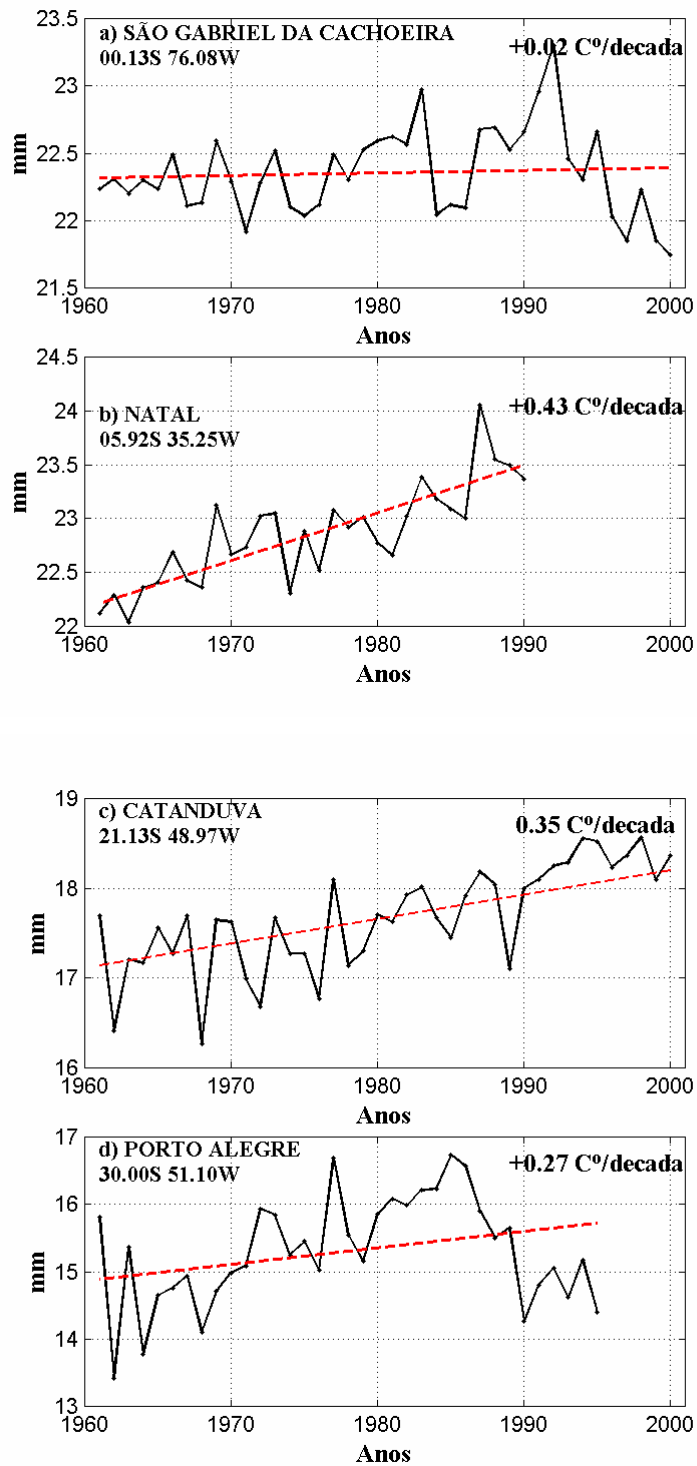
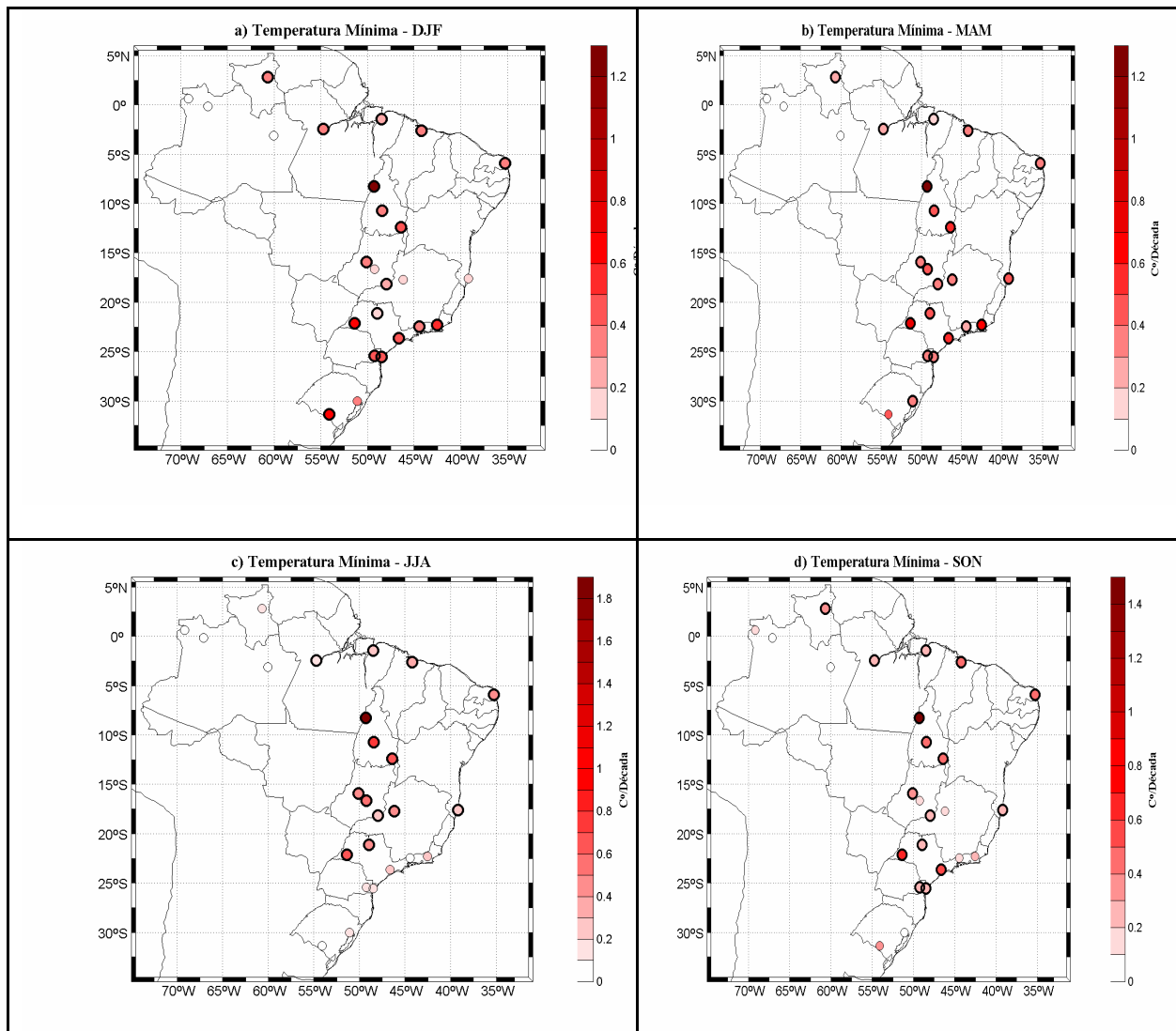


Figura 17 – Séries temporais de temperatura mínima. Média anual de estações representativas das regiões do Brasil.





*Figura 18 - Tendência da Temperatura mínima média sazonal (1961-2000) em C°/década.*

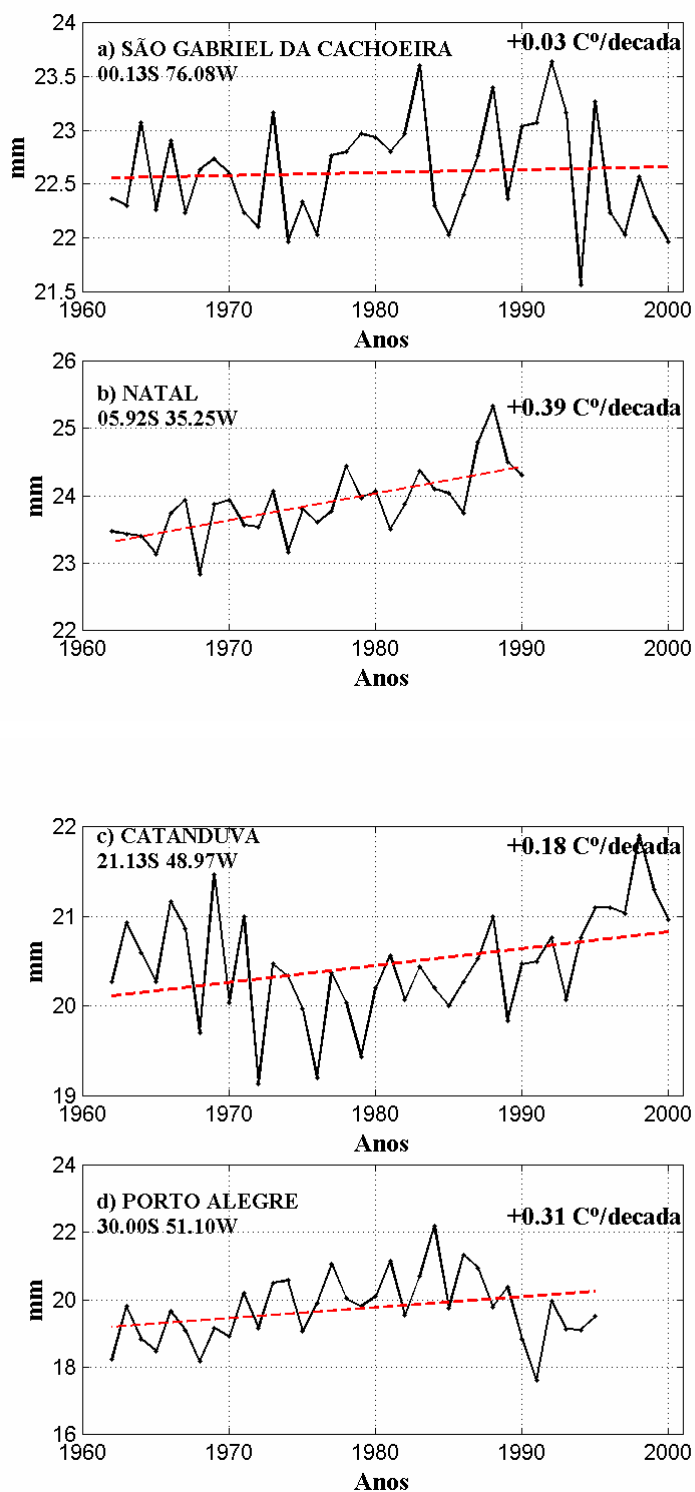


Figura 19a – Séries temporais de temperatura mínima sazonal. Média dos verões de estações representativas das regiões do Brasil.

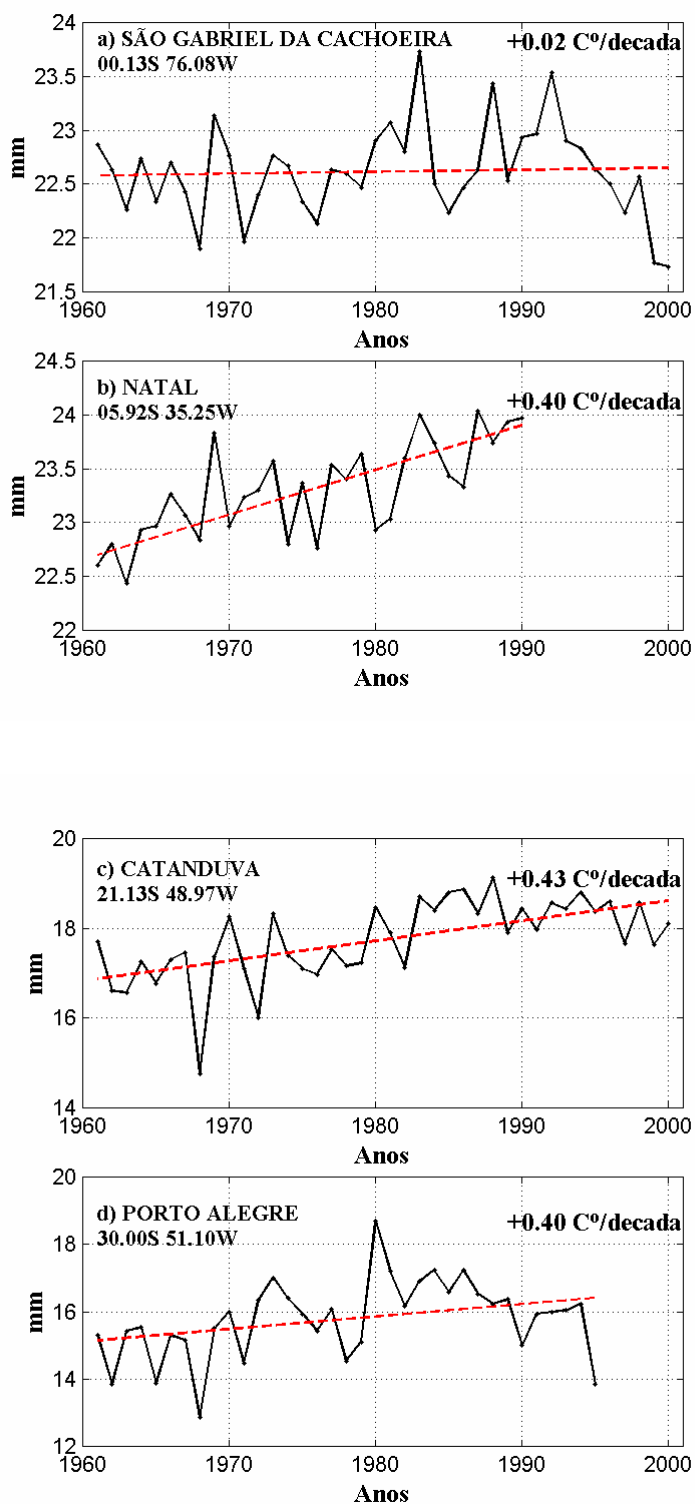


Figura 19b – Séries temporais de temperatura mínima sazonal. Média dos outonos de estações representativas das regiões do Brasil.

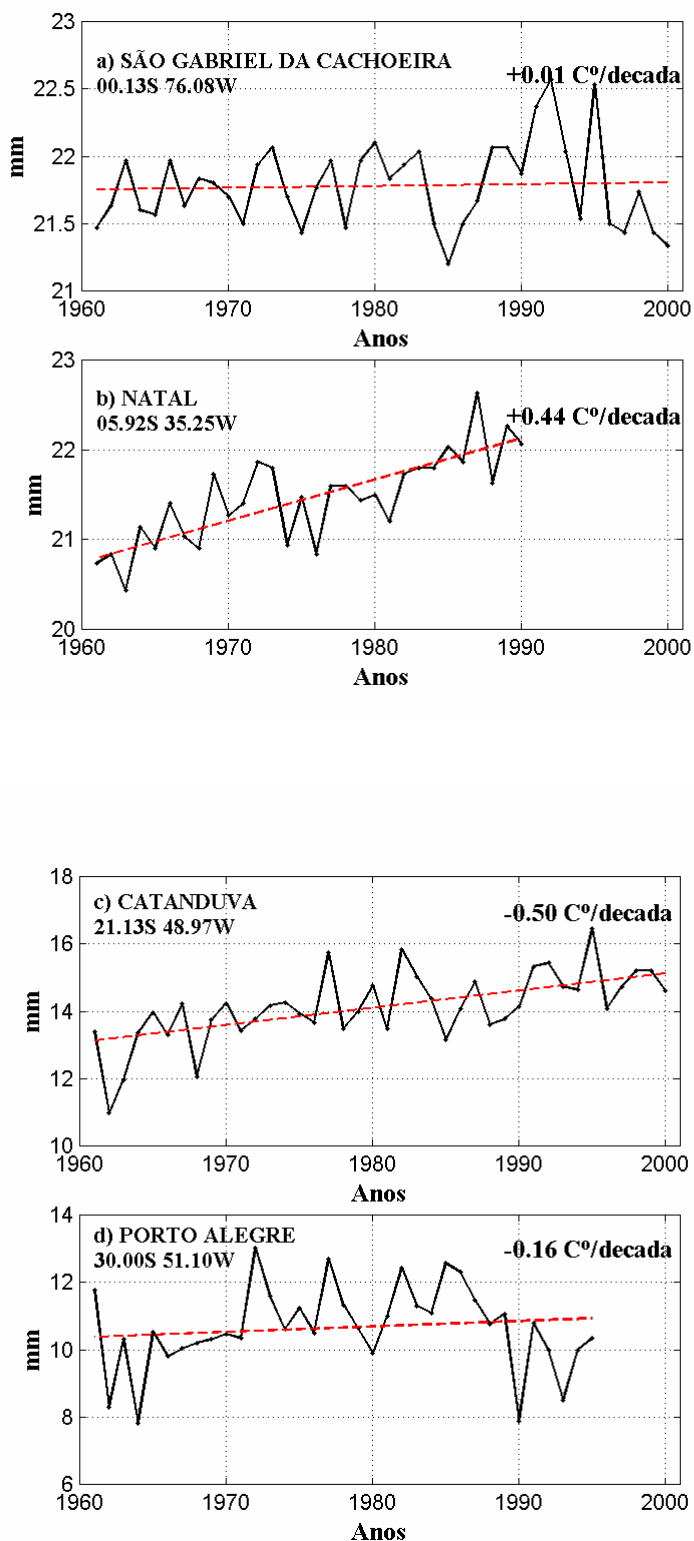


Figura 19c – Séries temporais de temperatura mínima sazonal. Média dos invernos de estações representativas das regiões do Brasil.

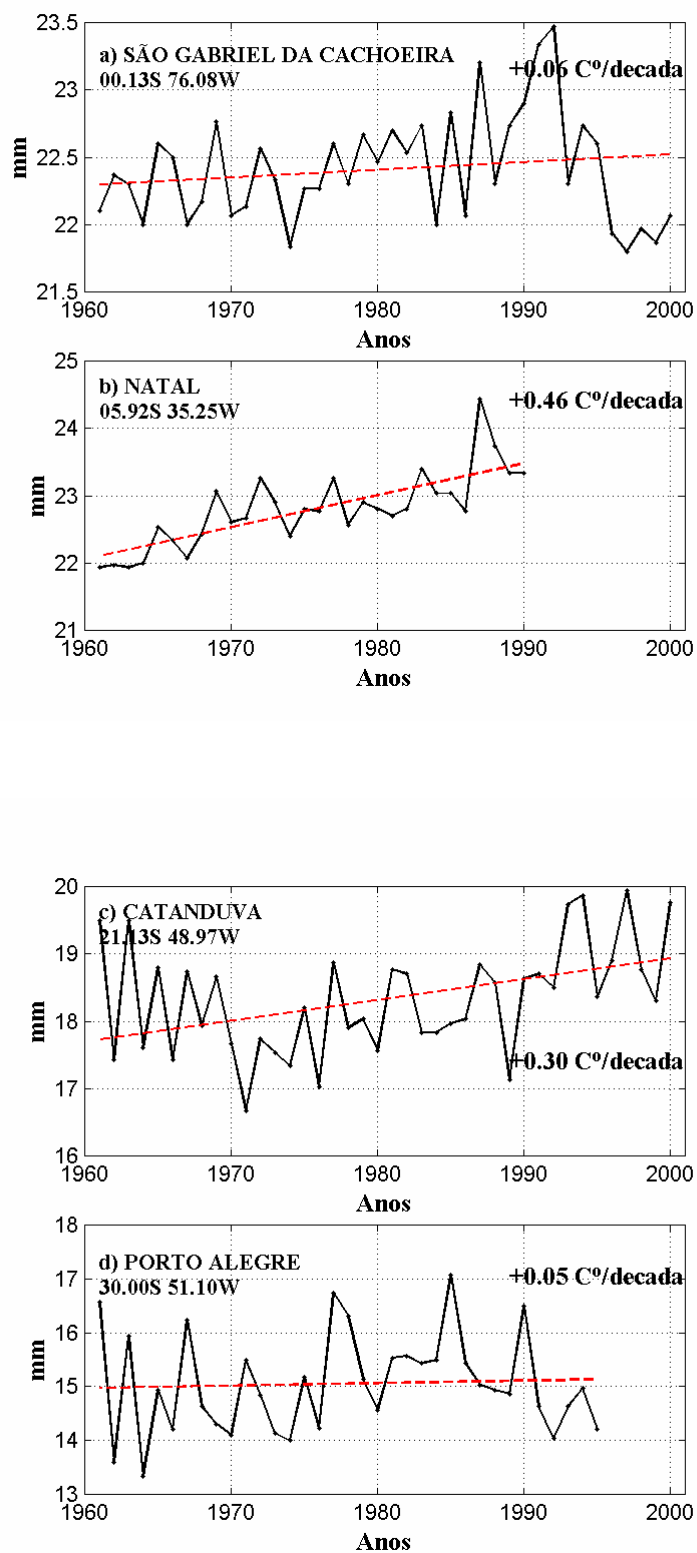


Figura 19c – Séries temporais de temperatura mínima sazonal. Média das primaveras de estações representativas das regiões do Brasil.

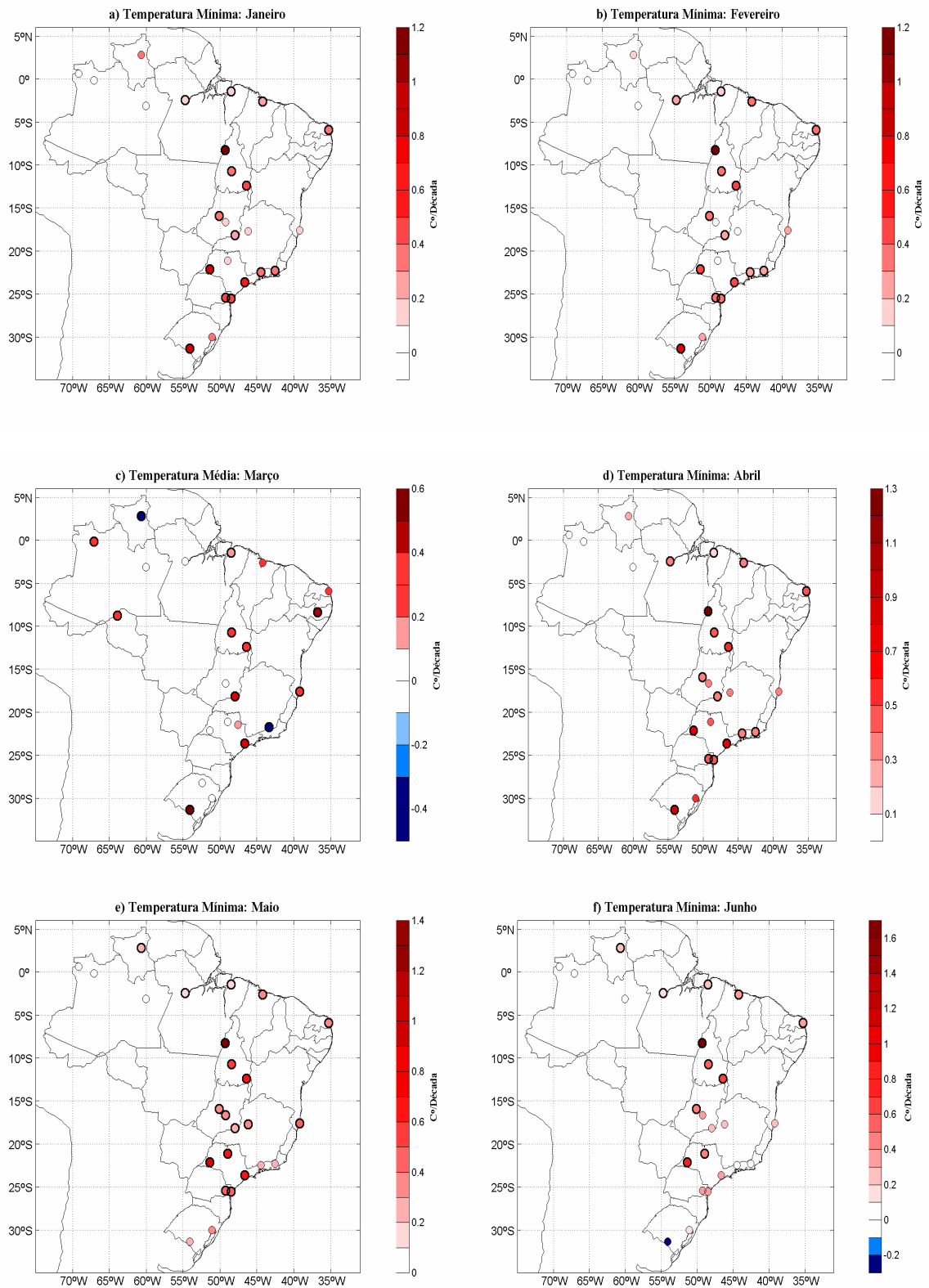


Figura 20a - Tendência da Temperatura mínima média mensal (1961-2000) em C°/década.

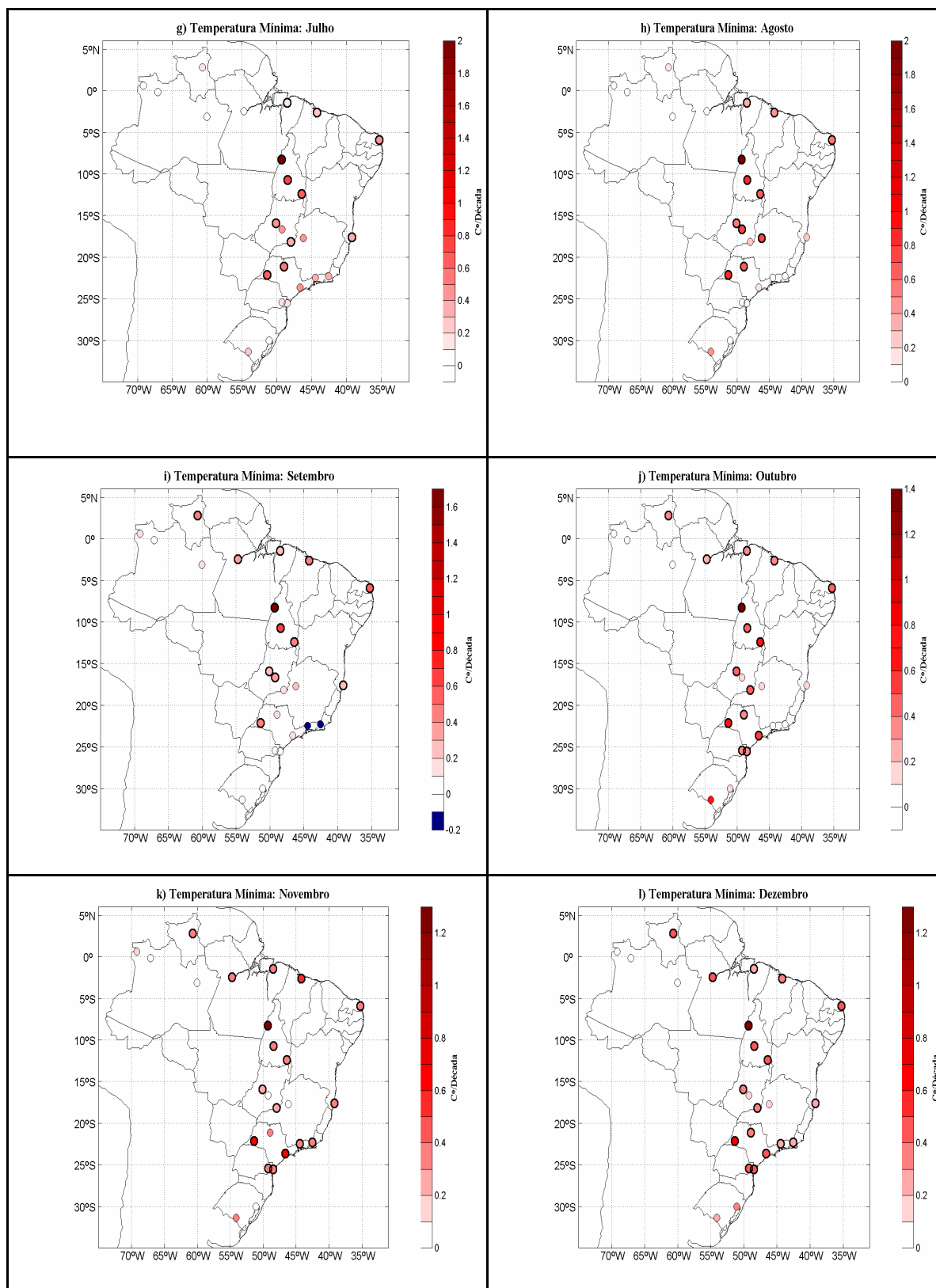
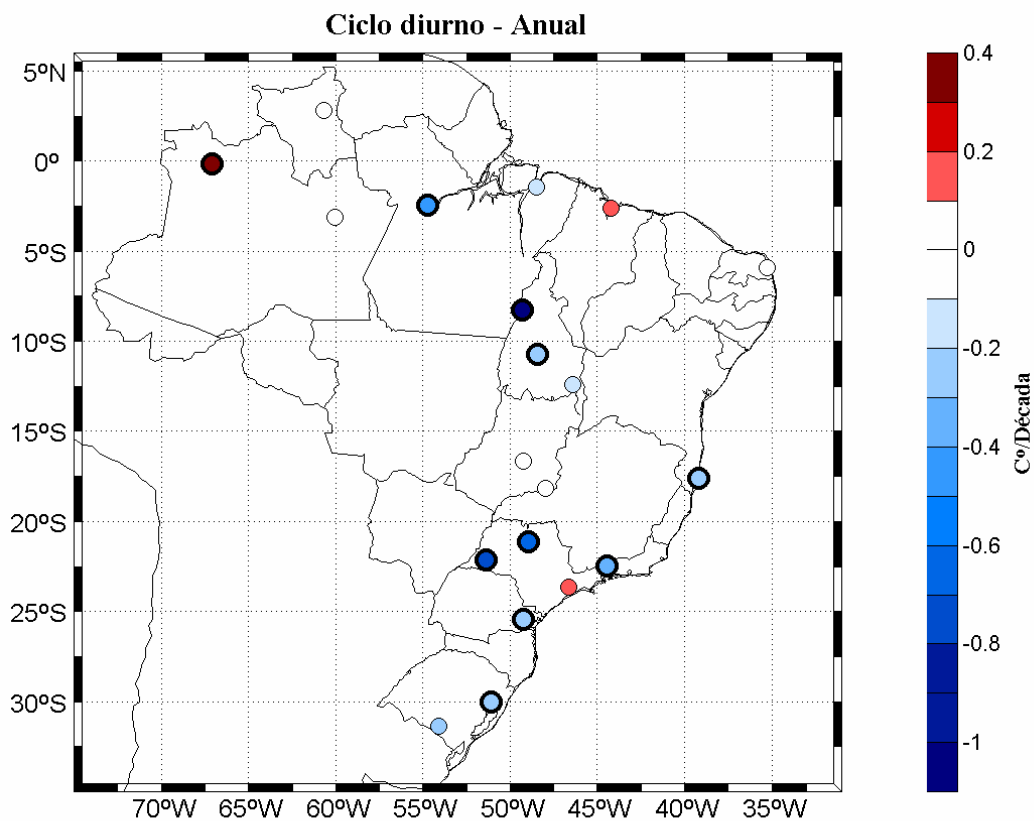


Figura 20b - Tendência da Temperatura mínima média mensal (1961-2000) em C°/década.



*Figura 21 - Tendência do Ciclo diurno anual: Temperatura média anual Máxima - Mínima (1961-2000) em C°/ década. Círculos com contornos grossos indicam significância estatística do Teste Mann-Kendal ao nível de significância de 0.05.*



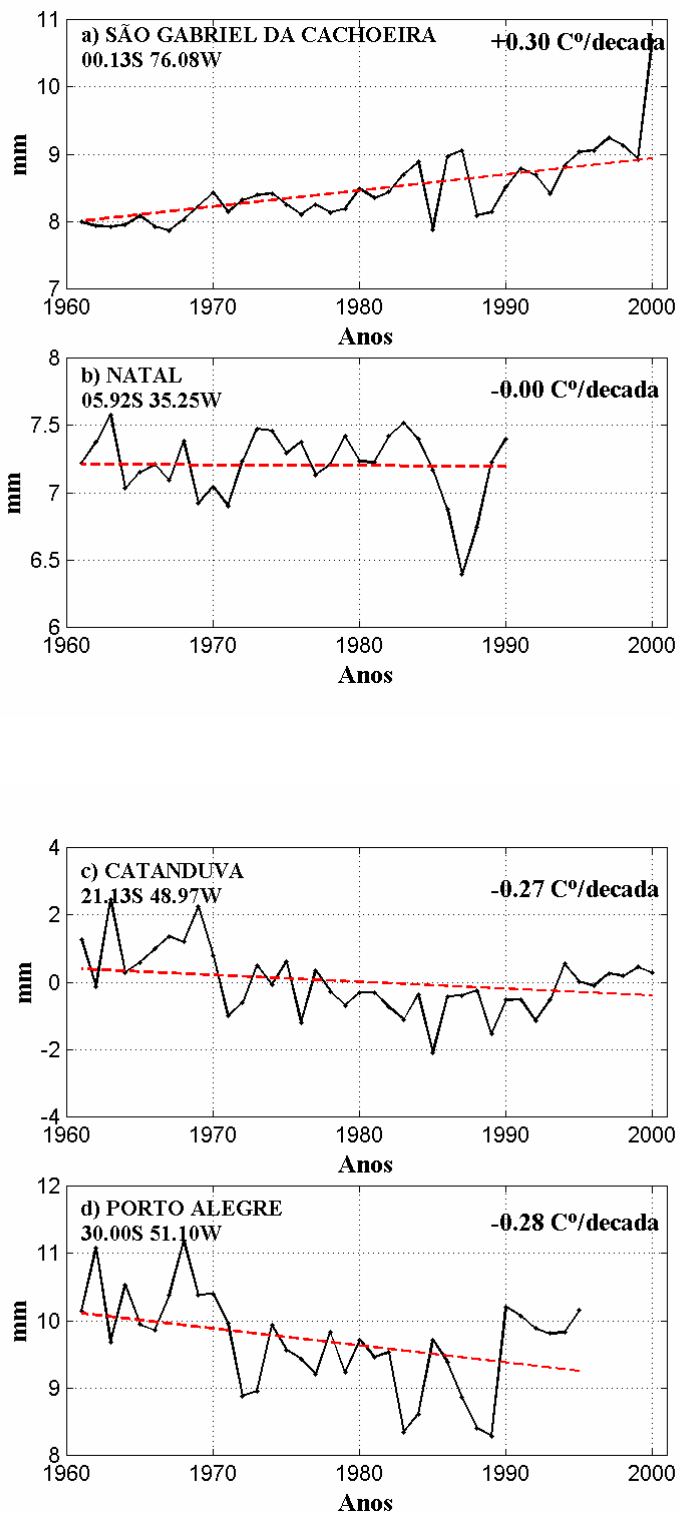


Figura 22 – Séries temporais do ciclo diurno. Média anual de estações representativas das regiões do Brasil.

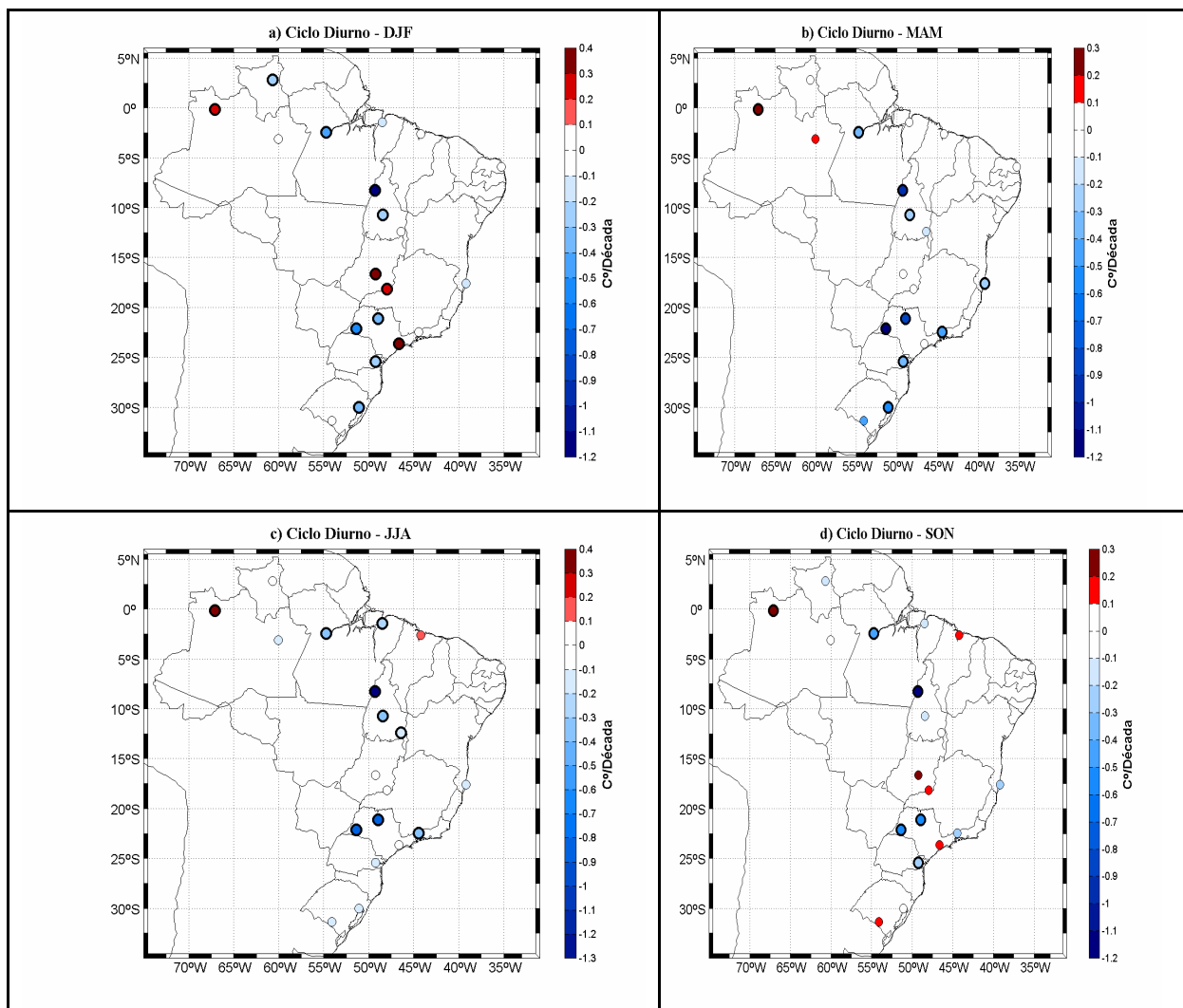


Figura 23 - Tendência do Ciclo diurno sazonal: Temperatura média sazonal Máxima - Mínima (1961-2000) em C°/década.

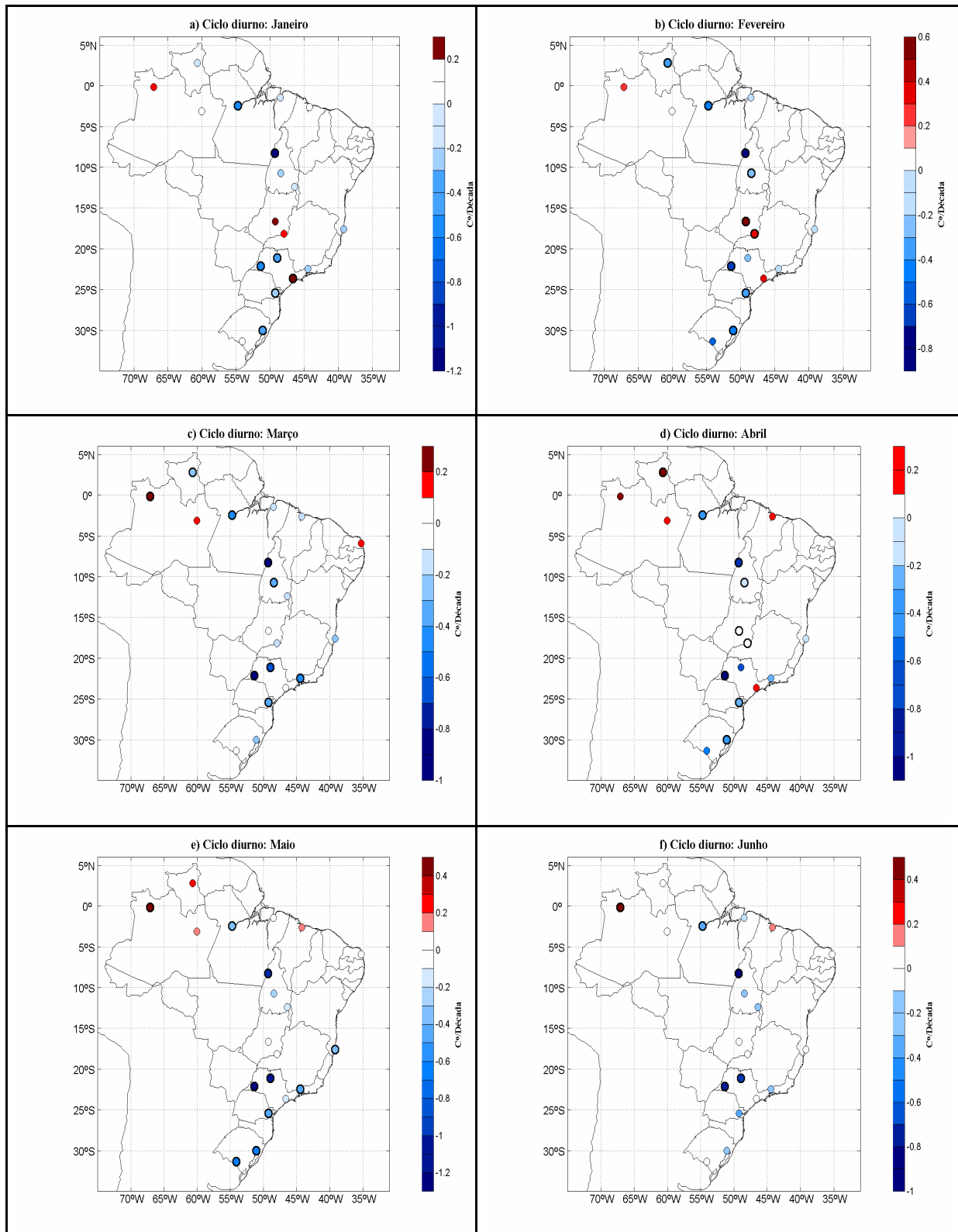


Figura 24a - Tendência do Ciclo diurno mensal: Temperatura média mensal Máxima - Mínima (1961-2000) em C°/década.

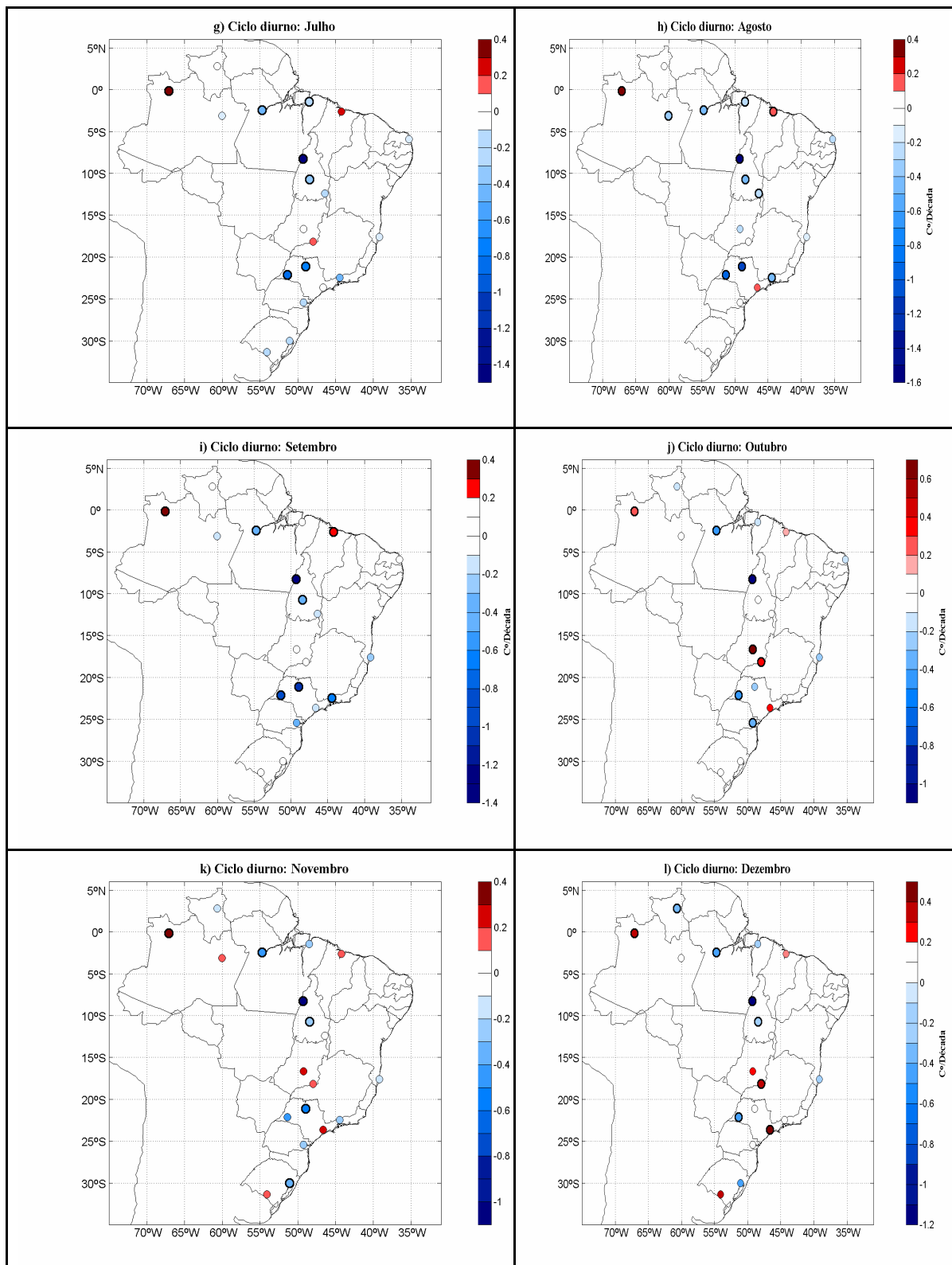


Figura 25b - Tendência do ciclo diurno mensal: Temperatura média mensal Máxima - Mínima (1961-2000) em C°/década.

# Capítulo 3

## ***Discussões e conclusões***

Criaram-se dados de precipitação em pontos de grade de  $1^\circ \times 1^\circ$  para todo o Brasil para o período de 1981 a 2000 utilizando o método Kriging. No projeto, inicialmente se propôs que os pontos de grade seriam de  $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ , porém, nos cálculos preliminares observou-se, em vários períodos, uma inadequada densidade de postos pluviométricos, dando lugar a valores calculados muito ruidosos, pelo qual se decidiu trabalhar em uma escala maior para minimizar estes erros.

Desde que a precipitação é a variável mais aleatória de todas as variáveis climáticas, a exatidão dos valores obtidos nos pontos de grade pode variar desde que estes são dependentes da natureza da variável (precipitação), além da densidade e representatividade os dados utilizados na krigagem. Assim, é possível ter erros em regiões como a Amazônia e o extremo Nordeste em períodos curtos, onde não existiu uma densidade adequada e necessária de estações para interpolar, tendo-se que ampliar o raio de influência, e obter-se valores com pequeno erro relativo.

Tendo em vista as considerações descritas acima, pode-se indicar que os dados obtidos são espacial e temporalmente compactos, como confirmam as distribuições espaciais mostradas nos totais anuais, sazonais e mensais, a distribuição anual e sazonal de dias chuvosos e os extremos. Uma outra característica muito importante destes dados é que as distribuições espaciais mostram características regionais muito específicas, dando um ganho nos estudos a realizar-se com estes dados, tais como alguns efeitos de fenômenos regionais e/ou globais sobre o clima localizado numa região particular.

Escolheram-se 50 estações de precipitação distribuídas ao longo do Brasil, 24 de temperatura máxima, 22 de temperatura média e 25 de temperatura mínima, que são a base dos estudos de mudanças climáticas. Isto se fez através de um controle de qualidade que resultou em um árduo trabalho, sendo as principais razões a falta de continuidade dos dados e uma distribuição espacial inadequada.

A partir dos dados de precipitação e temperaturas médias mensais homogêneas realizaram-se as análises estatísticas das tendências lineares. Os parâmetros obtidos e apresentados são confiáveis.

As distribuições espaciais das tendências de precipitação apresentam fatos ressaltantes, como as características regionais não observados em estudos anteriores, devido principalmente à falta de uma adequada distribuição espacial e homogeneidade temporal das séries utilizadas. Isto porque as tendências lineares são muito sensíveis ao período de dados utilizados. Também, os resultados mostram que as tendências são sensíveis ao período de tempo, seja anual, sazonal ou mensal, e mostram a existência de serem modulados por oscilações de períodos longos, como corroboradas pelas séries temporais que caracterizam as diversas regiões do Brasil.

Resultados das tendências das temperaturas mostram também características regionais intrínsecas na suas distribuições espaciais. De todas estas distribuições é necessário ressaltar a distribuição das tendências das temperaturas mínimas médias anuais, desde que sobre todo o Brasil apresentam-se valores positivos, não acontecendo com as outras temperaturas. As tendências positivas das temperaturas mínimas parecem ser a razão principal pelas quais as tendências do ciclo diurno apresentam valores negativos, o que significa que o range entre as temperaturas máximas e temperaturas mínimas foram diminuindo ao longo dos últimos 40 anos do século passado. As distribuições das séries temporais mostram

algumas características regionais associadas principalmente a algumas estações do ano, tal como se observa no contraste da variabilidade interanual entre a região Amazônica e a região Sul, durante as estações dos invernos e verões. Também a ocorrência de maior variabilidade interanual durante os outonos nas regiões Sudeste e Sul na temperatura média sazonal, que por sua vez, estas características estão presentes na primavera nas séries temporais das temperaturas mínimas médias.

## Referências

- Alexander, L. V., X. Zhang, T. C. Peterson, J. Caesar, B. Gleason, A. Klein Tank, M. Haylock, D. Collins, B. Trewin, F. Rahimzadeh, A. Tagipour, P. Ambenje, K. Rupa Kumar, J. Revadekar, G. Griffiths, L. Vincent, D. Stephenson, J. Burn, E. Aguilar, M. Brunet, M. Taylor, M. New, P. Zhai, M. Rusticucci, J. L. Vazquez-Aguirre, 2006: Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation, *Submitted to J. Geophys Res.*
- Alexandersson, H. A homogeneity test applied to precipitation data. *J. of Climatology*, v.6, p. 661-675, 1986.
- Brown DP, Comrie AC. 2002. Spatial modelling of winter temperature and precipitation in Arizona and New Mexico, USA. *Climate Research* 22: 115-128.
- Brunsdon C, McClatchey J, Unwin DJ. 2001. Spatial variations in the average rainfall-altitude relationship in Great Britain: and approach using geographically weighted regression. *International Journal of Climatology* 21: 455-466.
- Buishand, T. A. Some methods for testing the homogeneity of rainfall records. *J. Of Hidrology*, v. 58, p. 11-27, 1982.
- Easterling, D. R.; Peterson, T. C. A new method for detecting undocumented discontinuities in climatological time series. *Int. J. of Climatology*, v. 15, p. 369-377, 1995
- Gilbert, R. O, *Statistical methods for environmental pollution monitoring*. New York: Van Nostrand Reinhold, 1983. 320 p.
- Goovaerts P. 2000. Geostatistical approaches for incorporating elevation into the spatial interpolation of rainfall. *Journal of Hydrology* 228: 113-129.
- Grimm, A. G. e I. Pscheidt, 2001: Padrões atmosféricos associados a eventos severos de chuva na primavera durante El Niño, La Niña e anos neutros. *Anais do IX Congresso da Federação Latino-Americana e Ibérica de Sociedades de Meteorologia e VIII Congresso Argentino de Meteorologia* (em CD, nº 269), Buenos Aires, maio de 2001, Centro Argentino de Meteorologistas e Federação Latino-Americana e Ibérica de Sociedades de Meteorologia.
- Haylock M. R., Peterson T., Abreu de Sousa J. R., Alves L. M., Ambrizzi T., Baez J, Barbosa de Brito J. I., Barros V. R., Berlato M. A., Bidegain M., Coronel G., Corradi V., Garcia V. J., Grimm A. M., Jaido dos Anjos R., Karoly D., Marengo J. A., Marino M. B., Meira P. R., Miranda G. C., Molion L., Muncunil D. F., Nechet D., Ontaneda G., Quintana J., Ramirez E., Rebello E., Rusticucci M., Santos J. L., Varillas I. T., Vincent L., and Yumiko M. 2005: Trends in total and extreme South American rainfall 1960-2000 and links with sea surface temperature. *Journal of Climate*, 19, 1490-1512.



- Hirsch, R. M.; Slack, J. R. A nonparametric trend test for seasonal data with serial dependence. *Water Resources Research*, v. 20, n. 6, p. 727-732, June 1984
- Hirsch, R. M.; Slack, J. R.; Smith, R. A. Techniques of trend analysis for monthly water quality data. *Water Resources Research*, v. 18, n. 1, p. 107-121, Jan. 1982.
- Katz, R. W. Statistical procedures for making inferences about precipitation changes simulated by an atmospheric general circulation model. *Journal of Atmospheric Sciences*, v. 40, n. 9, p. 2193-2201, Sept. 1983.
- Kendall, M. G. Rank correlation methods. London: Charles Griffin, 1975. 120 p.
- Kyriakidis PC, Kim J, Miller NL. 2001. Geostatistical mapping of precipitation from rain gauge data using atmospheric and terrain characteristics. *Journal of Applied Meteorology* 40: 1855-1877.
- Liebmann, B, Vera, C, L. Carvalho, Camilloni, I, Hoerling, M.P., Allured, D. Barros, V., Baez, J., Bidegain, M, 2004: An Observed Trend in Central South American Precipitation. Accepted. *Journal of Climate*.
- Marengo, J. 2004: Interdecadal and long term rainfall variability in the Amazon basin. *Theoretical and Applied Climatology*. V. 78(1-3), p. 79-96.
- New M, Hulme M, Jones P. 1999. Representing twentieth century space-time variability. Part II: Development of a 1901-96 monthly grids of terrestrial surface climate. *Journal of Climate* 13: 2217-2238.
- Obregón, G.O.; Nobre, C.A . *A Climate Shift in mid-1970'S in Nortwest Amazonia and Southern Brazil*. In: *International Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography*, Wellington, 7., New Zealand, Mar. 24-28, 2003. Proceedings. Boston, MA, AMS, 2003. p.88-89.
- Peterson T. C; Easterling, D. R. Creation of homogeneous composite climatological reference series. *Int. J. of Climatology*, v. 14, p. 671-679, 1994.
- Sen, P. K. Estimates of the regression coefficient based on Kendalls's tau. *Journal of the American Statistical Association*, v. 63, p. 1379-1389, 1968.
- Tabony, R. C. The estimation of missing climatological data. *J. of Climatology*, v.3 p. 297-314, 1983.
- Teixeira, M. S. 2004: Atividade de ondas sinópticas relacionadas a episódios de chuvas intensas na região Sul do Brasil. Dissertação de Mestrado-Meteorologia. INPE, São Jose dos Campos. 94 pp.
- Vicente - Serrano SM, Saz-Sanchez MA, Cuadrat JM. 2003. Comparative analysis of interpolation methods in the middle Ebro Valley (Spain): application to annual precipitation and temperature. *Climate Research* 24: 161-180.
- Vincent L., Peterson, T., Barros V. R, Marino M. B., Rusticucci M., P. R., Miranda G., Ramirez E., Alves L. M., Ambrizzi T., Baez J, Barbosa de Brito J. I, Berlato M., Grimm A. M., Jaildo dos Anjos R., Marengo J. A., Meira. C., Molion L., Muncunil D.

F., Nechet D, Rebello E., Abreu de Sousa J., Anunciação, Y. M. T., Quintana J., Santos J. Ontaneda G., Baez, J., Coronel G., Garcia V. L., Varillas I. T., Bidegain M., Corradi V., Haylock M. R., and Karoly, D. 2005: Observed Trends in Indices of Daily Temperature Extremes In South America, 1960-2002. *Journal of Climate*. 19, 1490-1512..

Xavier, T.M.B.S , A.F.S.Xavier e M.A.F.Silva Dias, 1994: Evolução da Precipitação Diária num Ambiente urbano: O Caso da Cidade de São Paulo. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 9, 44- 53.



Ministério da  
Ciência e Tecnologia

