

Universidade Federal de Minas Gerais  
Instituto de Ciências Exatas  
Departamento de Estatística

Welder Fabiane de Oliveira

**Estudo da variabilidade da temperatura média mensal e precipitação total nas cinco regiões  
do Brasil no período de 2009 a 2011**

Belo Horizonte  
2013

Welder Fabiane de Oliveira

**Estudo da variabilidade da temperatura média mensal e precipitação total nas cinco regiões do Brasil no período de 2009 a 2011**

Trabalho apresentado ao Curso de Especialização em Estatística do Departamento de Estatística do Instituto de Ciências Exatas da Universidade Federal de Minas Gerais, para a obtenção do grau de Especialista em Estatística.

Aluno: Welder Fabiane de Oliveira

Orientador(a): Ela Mercedes Medrano de Toscano

Belo Horizonte

2013

**Estudo da variabilidade da temperatura média mensal e precipitação total nas cinco regiões  
do Brasil no período de 2009 a 2011**

**Nome do orientado**

Welder Fabiane de Oliveira

**Nome do Orientador(a)**

Ela Mercedes Medrano de Toscano

Belo Horizonte

**Junho/2013**

## RESUMO

A aplicação de técnicas estatísticas é de grande valia na climatologia, por tratar-se de uma ciência onde observações são medidas ao longo do tempo. Baseado nesta necessidade este trabalho analisará o problema do aquecimento global nas cinco regiões do Brasil. O presente estudo tem como objetivo estudar se a tendência de aumento na temperatura média e de variações da precipitação total apontada pelos estudiosos já está ocorrendo nas cinco regiões do Brasil.

As variáveis utilizadas foram temperatura média e precipitação total no triênio (2009-2011) registrado nas cinco regiões do Brasil e as normais climatológicas no período 1961-1990, dados levantados pelo Instituto Nacional de Meteorologia. Neste trabalho, chegar-se a corroborar as afirmações dos estudiosos, usando os modelos ARMA e/ou modelos de regressão dinâmica,.

**Palavras-Chave: Temperatura, Precipitação total, Modelos ARMA, Regressão Dinâmica.**

## **AGRADECIMENTOS:**

Agradeço imensamente a minha esposa, Rosa Elane, aos meus pais Dinarte e Laura e a orientadora Ela Mercedes que contribuíram decisivamente para que este trabalho ficasse pronto.

## **LISTA DE TABELAS E FIGURAS:**

### **TABELAS:**

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1: Estatística descritiva da variável TM na região Norte.....            | 22 |
| Tabela 2: Estatística descritiva da variável TM na região Nordeste.....         | 23 |
| Tabela 3: Estatística descritiva da variável TM na região Centro-Oeste.....     | 24 |
| Tabela 4: Estatística descritiva da variável TM na região Sudeste.....          | 26 |
| Tabela 5: Estatística descritiva da variável TM na região Sul.....              | 27 |
| Tabela 6: Estatística descritiva da variável Chuvas na região Norte.....        | 28 |
| Tabela 7: Estatística descritiva da variável Chuvas na região Nordeste.....     | 29 |
| Tabela 8: Estatística descritiva da variável Chuvas na região Centro-Oeste..... | 31 |
| Tabela 9: Estatística descritiva da variável Chuvas na região Sudeste.....      | 32 |
| Tabela 10: Estatística descritiva da variável Chuvas na região Sul.....         | 33 |
| Tabela 11: Dados da regressão do modelo ajustado da Região Norte.....           | 42 |
| Tabela 12: Dados do modelo ajustado da Região Nordeste.....                     | 44 |
| Tabela 13: Dados da regressão do modelo ajustado da Região Centro-Oeste.....    | 47 |
| Tabela 14: Dados da regressão do modelo ajustado da Região Sudeste.....         | 50 |
| Tabela 15: Dados do modelo ajustado da Região Sul.....                          | 53 |

### **FIGURAS:**

|   |    |
|---|----|
| Figura 01: Gráfico de séries temporais da variável TM da Região Norte.....            | 22 |
| Figura 02: Gráfico de séries temporais da variável TM da Região Nordeste.....         | 24 |
| Figura 03: Gráfico de séries temporais da variável TM da Região Centro-Oeste.....     | 25 |
| Figura 04: Gráfico de séries temporais da variável TM da Região Sudeste.....          | 26 |
| Figura 05: Gráfico de séries temporais da variável TM da Região Sul.....              | 28 |
| Figura 06: Gráfico de séries temporais da variável Chuvas da Região Norte.....        | 29 |
| Figura 07: Gráfico de séries temporais da variável Chuvas da Região Nordeste.....     | 30 |
| Figura 08: Gráfico de séries temporais da variável Chuvas da Região Centro-Oeste..... | 31 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 09: Gráfico de séries temporais da variável Chuvas da Região Sudeste.....       | 32 |
| Figura 10: Gráfico de séries temporais da variável Chuvas da Região Sul.....           | 33 |
| Figura 11: Gráfico de dispersão chuvas X temperatura média da Região Norte.....        | 35 |
| Figura 12: Gráfico de dispersão chuvas X temperatura média da Região Nordeste.....     | 36 |
| Figura 13: Gráfico de dispersão chuvas X temperatura média da Região Centro-Oeste..... | 38 |
| Figura 14: Gráfico de dispersão chuvas X temperatura média da Região Sudeste.....      | 39 |
| Figura 15: Gráfico de dispersão chuvas X temperatura média da Região Sul.....          | 41 |
| Figura 16: Gráfico dos resíduos do modelo ajustado da Região Norte.....                | 42 |
| Figura 17: FAC dos resíduos do modelo ajustado da Região Norte.....                    | 43 |
| Figura 18: FACP dos resíduos do modelo ajustado da Região Norte.....                   | 43 |
| Figura 19: Modelo ajustado X dados reais e os resíduos da Região Norte.....            | 43 |
| Figura 20: Gráfico dos resíduos do modelo ajustado da Região Nordeste.....             | 45 |
| Figura 21: FAC dos resíduos do modelo ajustado da Região Nordeste.....                 | 45 |
| Figura 22: FACP dos resíduos do modelo ajustado da Região Nordeste.....                | 46 |
| Figura 23: Modelo ajustado X dados reais e os resíduos da Região Nordeste.....         | 46 |
| Figura 24: Gráfico dos resíduos do modelo ajustado da Região Centro-Oeste.....         | 48 |
| Figura 25: FAC dos resíduos do modelo ajustado da Região Centro-Oeste.....             | 48 |
| Figura 26: FACP dos resíduos do modelo ajustado da Região Centro-Oeste.....            | 49 |
| Figura 27: Modelo ajustado X dados reais e os resíduos da Região Centro-Oeste.....     | 49 |
| Figura 28: Gráfico dos resíduos do modelo ajustado da Região Sudeste.....              | 51 |
| Figura 29: FAC dos resíduos do modelo ajustado da Região Sudeste.....                  | 51 |
| Figura 30: FACP dos resíduos do modelo ajustado da Região Sudeste.....                 | 52 |
| Figura 31: Modelo ajustado X dados reais e os resíduos da Região Sudeste.....          | 52 |
| Figura 32: Gráfico dos resíduos do modelo ajustado da Região Sul.....                  | 54 |
| Figura 33: FAC dos resíduos do modelo ajustado da Região Sul.....                      | 54 |
| Figura 34: FACP dos resíduos do modelo ajustado da Região Sul.....                     | 55 |
| Figura 35: Modelo ajustado X dados reais e os resíduos da Região Sul.....              | 55 |

## SUMÁRIO

|   |    |
|---|----|
| 1. TENDÊNCIAS DO CLIMA NO BRASIL NOS ÚLTIMOS 100 ANOS.....  | 10 |
| 1.1. Introdução.....  | 10 |
| 1.2. O problema e sua importância.....                      | 12 |
| 1.3. OBJETIVOS.....   | 13 |
| 1.3.1. Objetivo geral.....                                  | 13 |
| 1.3.2. Objetivos específicos.....                           | 13 |
| 2. METODOLOGIA.....   | 14 |
| 2.1. Gráficos sequenciais temporais.....                    | 14 |
| 2.2. Diagramas de caixa.....                                | 14 |
| 2.3. Análise de covariância e correlação.....               | 15 |
| 2.4. Análise de regressão simples.....                      | 15 |
| 2.5. Análise de séries temporais.....                       | 16 |
| 2.5.1. Identificação de modelos ARIMA.....                  | 18 |
| 2.5.2. Estimção de modelos.....                             | 19 |
| 2.5.3. Verificação de modelos.....                          | 19 |
| 2.6. Regressão Dinâmica.....                                | 20 |
| 3. RESULTADOS DA PESQUISA.....                              | 21 |
| 3.1. Análise da variável Temperatura Média por regiões..... | 21 |
| 3.1.1. Região Norte.....                                    | 21 |
| 3.1.2. Região Nordeste.....                                 | 23 |
| 3.1.3. Região Centro-Oeste.....                             | 24 |
| 3.1.4. Região Sudeste.....                                  | 25 |
| 3.1.5. Região Sul.....                                      | 27 |
| 3.2. Análise da variável Chuva por regiões.....             | 28 |
| 3.2.1. Região Norte.....                                    | 28 |
| 3.2.2. Região Nordeste.....                                 | 29 |
| 3.2.3. Região Centro-Oeste.....                             | 30 |
| 3.2.4. Região Sudeste.....                                  | 31 |
| 3.2.5. Região Sul.....                                      | 33 |

|   |    |
|---|----|
| 3.3. Análise do relacionamento entre as duas variáveis..... | 34 |
| 3.3.1. Região Norte.....                                    | 34 |
| 3.3.2. Região Nordeste.....                                 | 35 |
| 3.3.3. Região Centro-Oeste.....                             | 36 |
| 3.3.4. Região Sudeste.....                                  | 38 |
| 3.3.5. Região Sul.....                                      | 40 |
| 3.4. Análise do melhor modelo ajustado.....                 | 41 |
| 3.4.1. Região Norte.....                                    | 41 |
| 3.4.2. Região Nordeste.....                                 | 44 |
| 3.4.3. Região Centro-Oeste.....                             | 47 |
| 3.4.4. Região Sudeste.....                                  | 50 |
| 3.4.5. Região Sul.....                                      | 53 |
| 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....                               | 56 |
| 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....                         | 57 |

# Estudo da variabilidade da temperatura média mensal e precipitação total nas cinco regiões do Brasil no período de 2009 a 2011

## I. Tendências do clima no Brasil nos últimos 100 anos

### 1.1. Introdução

Segundo Marengo et al (2007), no Brasil, até o final do século XX, a temperatura média aumentou aproximadamente  $0,75^{\circ}\text{C}$ , sendo os maiores aumentos ocorridos na Região Norte, seguido das regiões Nordeste, Sudeste, Centro-Oeste e Sul, comparando-se com as normais climatológicas (1961-1990). No mundo, segundo o relatório do IPCC (2007) (*Intergovernmental Panel on Climate Change*), o aumento da temperatura média global é muito semelhante, em torno de  $0,74^{\circ}\text{C}$ .

Ainda em relação a temperatura do ar estudos apontam para um aumento da temperatura nos últimos 100 anos, especialmente em cidades maiores, onde principalmente devido a urbanização as temperaturas tem aumentado significativamente. Como exemplo temos  $+0,12^{\circ}\text{C}$  em Quito (Equador) e  $+0,6^{\circ}\text{C}$  em São Paulo, dados extraídos de Duursma (2002). Segundo Victoria et al (1998) nos últimos 100 anos observou-se aumento de  $0,85^{\circ}\text{C}$  na Amazônia. Segundo Pinto et al (2001) observou-se em Campinas (SP) aumento da temperatura mínima nos últimos 100 anos de  $2,5^{\circ}\text{C}$  e em Pelotas (RS) de  $1^{\circ}\text{C}$ . Outros estudiosos, como Marengo e Camargo (2007), citam aumentos sistemáticos das temperaturas mínimas e máximas na região Sul. Gonçalves et al (2002) aponta aumentos sistemáticos das temperaturas mínimas e máximas para São Paulo. Vários estudos apontam para uma continuidade desta tendência no século XXI.

Quanto ao índice pluviométrico, estudos feitos por Marengo (2007) apontam para uma variabilidade interanual e intercadal na Amazônia que são muito importantes. Cita-se, como

exemplo, que entre 2005 e 2010 aconteceram três eventos extremos na Amazônia. Em 2005 e 2010, observou-se uma seca severa, por outro lado em 2009 verificaram-se enchentes rigorosas. Todos estes eventos causaram grandes prejuízos ao Brasil em diversas áreas, mas principalmente a população dessas regiões que tem como principal ou única fonte de subsistência as atividades de exploração das bacias hidrográficas da região. Por outro lado, no sul do Brasil observou-se ligeiro aumento das chuvas desde meados do século XX. A região nordeste é tradicionalmente assolada por grandes secas e em alguns anos por grandes índices pluviométricos no período chuvoso. Nesta região observou-se ligeiro aumento das chuvas no longo prazo, mas este valor não é estatisticamente significativo, porém a partir da década de 70 registrou-se queda nos índices pluviométricos.

Estas alterações são em grande parte atribuídas a fatores antropogênicos, isto é, a ação do homem, através da emissão excessiva de gases do efeito estufa, desmatamento etc. Por outro lado, há estudos que atribuem esta alteração a grande urbanização e ao crescente aumento da população mundial, que leva a aumento significativo no consumo. Outros estudiosos acreditam que o aumento na temperatura média é um ciclo normal do nosso planeta, que no passado já enfrentou aumentos e reduções na temperatura média, pois há indícios na história da humanidade de épocas extremamente quentes e de “eras do gelo”. De qualquer forma, ressalta-se que as medições regulares e confiáveis de temperatura ocorreram no Brasil a partir de 1915 nas principais metrópoles. Ao longo dos anos, a instalação de aparelhos de medição foi aumentando gradualmente no país, sendo que hoje há aparelhos que apresentam resultados precisos instalados em todas as regiões, apesar de que áreas consideráveis do país ainda não possuem aparelhos de medição, especialmente nas regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste. Devido a esta recente instalação de aparelhos de medição no Brasil, somente é possível inferir com exatidão sobre os dados a partir das normais climatológicas de 1961 a 1990, que é um dos parâmetros utilizados neste estudo.

Importante ressaltar também que o clima sofre influências constantemente da temperatura da água dos oceanos, já que este fato influencia as correntes de ar que vão para os continentes, portanto é normal ocorrerem oscilações pequenas ano a ano devido a este fator. Em virtude disto, grande importância no Brasil tem os fenômenos El Niño, que se trata do aquecimento acima do

normal das águas do Oceano Pacífico e o fenômeno La Nina, que se trata do resfriamento das águas do Oceano Pacífico abaixo do normal. Segundo Marengo (2007) estes fenômenos explicam em grande parte a variabilidade interanual e interdecadal de temperatura e índices pluviométricos no Brasil.

## **1.2 – O problema e sua importância**

Naturalmente que o estudo estatístico das variações do clima no Brasil é de grande importância para entender o comportamento do mesmo, identificar as tendências e fazer previsões para o futuro, pois baseado nestas previsões as autoridades podem planejar ações com o objetivo de minimizar os efeitos das mudanças e das variações naturais do clima. Para se ter uma noção desta importância basta lembrar que a maioria esmagadora das cidades brasileiras mostram a cada grande tempestade que não estão preparadas para enfrentar as mudanças climáticas. Segundo Marengo (2007), entre 2070 e 2100 uma elevação média na temperatura da região de 2°C a 3°C poderá dobrar o número de dias com chuvas acima de 10 milímetros na capital paulista, que já nos dias atuais enfrenta grandes problemas nas tempestades.

Na Amazônia, esta mudança poderá transformar a vegetação tropical em cerrado, o que provocaria uma mudança na exploração e no tipo das culturas que poderão ser cultivadas na região. A região semiárida nordestina será a mais prejudicada com as mudanças climáticas no Brasil, a desertificação que já vêm ocorrendo se acelerará ainda mais o que provocará uma redução significativa das áreas propícias ao plantio, especialmente da soja, do café e do milho. Este fato pode levar a uma grande migração da região Nordeste para outras regiões do país, especialmente para o Sudeste. Estima-se uma perda na população do Nordeste de até 247 mil habitantes até 2040.

Em nível nacional, as mudanças climáticas poderão ser desastrosas, pesquisadores estimam que a segurança alimentar possa ser comprometida e que prejuízos de cerca de 247 milhões de reais ocorreram até 2020. O governo terá que montar um plano ambicioso de adaptação às mudanças baseado nas tendências apontadas por estudiosos.

## **1.3 – Objetivos**

### **1.3.1 – Objetivo geral**

Este trabalho tem como objetivo geral comparar os dados registrados das variáveis temperatura média e chuva no triênio 2009-2011 com as normais climatológicas de 1961-1990 nas cinco regiões do Brasil através de métodos estatísticos e encontrar um modelo que explique a variabilidade das médias da precipitação em função do passado da série e/ou das médias mensais da temperatura, no período de 2009 à 2011.

### **1.3.2 – Objetivos específicos**

- Demonstrar as tendências de aumento na temperatura média apontadas pelos estudiosos, como José Marengo, nas cinco regiões do Brasil no período 2009-2011 em comparação com o período 1961-1990;
- Entender o comportamento do clima no Brasil, identificando as tendências relevantes no longo prazo e pontuando que pequenas variações anuais ocorrem devido as oscilações naturais do clima, fato este conhecido tecnicamente como dinâmica climática;

O restante do trabalho está estruturado da seguinte forma:

Na próxima seção um resumo dos principais conceitos relacionado ao trabalho. A seção 3 descreve e demonstra os resultados obtidos a partir dos valores reais dos dados e propõe os modelos que melhor acompanham a série de dados reais observados no ano de 2011. Finalmente, a seção 4 relata os comentários finais e as conclusões obtidas no trabalho.

## **2 – METODOLOGIA**

### **2.1. – Gráficos sequenciais temporais**

Uma série temporal é uma sequência de dados registrados ao longo do tempo, por exemplo, a sequência de temperaturas médias registradas todos os dias em um determinado local constitui uma série temporal com N observações. Se observados durante um mês constitui uma série temporal com 30 observações, se registradas durante um ano constitui uma série temporal com 365 observações e assim por diante. Segundo Montgomery (2009) o gráfico de séries temporais é uma técnica de apresentação de dados que consiste em no eixo vertical denotar o valor observado da variável (no caso deste trabalho temperatura média ou índice pluviométrico) e no eixo horizontal denotar o tempo (por ano, por mês, por dia etc), conforme o caso. Esta técnica permite visualizar com facilidade tendências, variações sazonais, variações cíclicas etc. Analisado juntamente com os dados das estatísticas descritivas em valores absolutos os gráficos provenientes desta técnica fornecem ao leitor uma ideia exata do que está acontecendo com os dados analisados.

### **2.2. – Diagramas de caixa**

O principal tipo de diagrama de caixa é o box plot. Segundo Montgomery (2009) esta técnica é uma apresentação gráfica que descreve simultaneamente várias características importantes de um conjunto de dados, tais como centro, dispersão, desvio da simetria e identificação das observações não usuais tecnicamente denominadas por outliers. A parte interna deste diagrama divide os dados em três linhas horizontais, que representam respectivamente o primeiro quartil, o segundo quartil ou mediana e o terceiro quartil. A parte externa do diagrama é composta por duas linhas verticais que representam os valores que estão abaixo e acima do primeiro e terceiro quartil, respectivamente, sendo que os limites inferiores e superiores das

linhas identificam o menor e o maior valor dos dados observados. A presença de outliers é indicada por asteriscos.

Neste gráfico o leitor pode identificar com clareza diversos aspectos do banco de dados que analisados juntamente com os valores absolutos das estatísticas descritivas levam o leitor a ter uma ideia do que representa os dados analisados. A grande vantagem deste tipo de gráfico é que se pode apenas com a inspeção visual do mesmo aferir sobre as características do conjunto de dados em estudo ou comparar se um ou outro apresenta melhor desempenho.

### **2.3. – Análise de covariância e correlação**

Segundo Montgomery (2009), a covariância é uma medida de relação linear entre as variáveis aleatórias. Se a relação entre as variáveis aleatórias for não linear, a covariância pode não ser sensível à relação. Similar à covariância, a correlação é uma medida da relação linear entre as variáveis aleatórias. Se duas variáveis aleatórias tem correlação diferente de zero diz-se que elas são correlacionadas, sendo a intensidade desta correlação determinada pelo valor da mesma. Quanto mais próxima de zero, mais baixa a correlação e conseqüentemente quanto mais próxima de um maior a correlação. O sentido da correlação é identificado pelo sinal, sendo que o sinal positivo indica que as variáveis relacionam-se no mesmo sentido e o sinal negativo no índice de correlação indica que as variáveis relacionam-se em sentido contrário.

### **2.4. Análise de regressão simples:**

Segundo Montgomery (2009), análise de regressão é uma técnica estatística utilizada para modelar e investigar a relação entre duas ou mais variáveis, podendo ser utilizada para construir um modelo que irá prever o resultado de um processo com base nos valores observados. Na análise de regressão simples usa-se uma variável como sendo explicativa, outra variável como

sendo a preditora. A partir desta definição considera-se que a média da variável aleatória Y esteja relacionada linearmente com a variável aleatória X e, por conseguinte constrói-se a relação linear, sendo que a inclinação e a interseção da linha são denominadas coeficientes de regressão. Como o valor observado não cai exatamente sobre a linha, têm-se o termo do erro aleatório E com média zero e variância  $\sigma^2$ . As estimativas de beta zero e beta um são estimadas a partir do método dos mínimos quadrados. Já para estimar  $\sigma^2$  usa-se a soma dos quadrados dos erros que é um estimador não tendencioso de  $\sigma^2$ . Se o modelo for baseado apenas em observações, sem utilizar qualquer conhecimento teórico sobre as variáveis ele é considerado um modelo de regressão empírico.

A adequacidade do modelo de regressão é testada com base nos resíduos encontrados, considerando que os erros sejam variáveis aleatórias não correlacionadas, com média zero e variância constante e normalmente distribuídos, plotando os mesmos contra valores do banco de dados e fazendo-se o teste de normalidade. Se o resultado não for adequado ainda têm-se a opção de fazer transformações ao banco de dados para que a análise forneça um resultado mais adequado. Neste contexto, a correlação entre as variáveis é muito importante, já que interfere diretamente na qualidade da análise de regressão.

Outra medida muito útil para identificar a adequacidade do modelo é o coeficiente de determinação ( $R^2$ ). Sendo as variáveis aleatórias distribuídas conjuntamente seu valor corresponde ao quadrado do coeficiente de correlação entre duas variáveis. Esta estatística indica a quantidade da variabilidade nos dados explicada ou considerada pelo modelo de regressão. Baixo valor desta estatística indica que a variabilidade do modelo é pouco explicada, consequentemente altos valores desta estatística, indica que a variabilidade do modelo é bem explicada.

## **2.5. Análise de séries temporais**

Para Morettin (2005) os objetivos da análise de séries temporais são:

- Investigar o mecanismo gerador da série temporal;

- Fazer previsões de valores futuros da série;
- Descrever apenas o comportamento da série;
- Procurar periodicidades relevantes nos dados.

Diz-se que uma série temporal é um processo estocástico porque este é uma família de variáveis aleatórias indexadas no tempo, isto é, cada observação é considerada como uma realização de um processo estocástico. Uma classe especial de processos estocásticos são os estacionários que são aqueles que se encontram em um estado de equilíbrio estatístico. Se o processo não é estacionário é necessário fazer uma transformação na série. Há duas formas de fazer essa transformação, se o processo é não estacionário em média aplica-se sucessivas diferenças a série até obter uma série estacionária ou se o processo é não estacionário em variância aplica-se transformações para estabilizar a variância e tornar o efeito sazonal aditivo. Processo de ruído branco é um processo com média zero, variância constante não correlacionada. O principal ponto na análise de séries temporais é a identificação de qual tipo de modelo adéqua-se melhor a série. Segundo Morettin (2005) a estratégia sugerida por Box e Jenkins para a construção do modelo é baseada em um ciclo iterativo, cujos estágios são:

- Uma classe geral de modelos é considerada para a análise;
- Há identificação de um modelo, com base na análise de autocorrelações, autocorrelações parciais e outros critérios;
- A seguir vem a fase de estimação, na qual os parâmetros do modelo identificado são estimados;
- Finalmente, há a verificação ou diagnóstico do modelo ajustado, através de uma análise de resíduos para concluir se o modelo encontrado é adequado.

### 2.5.1. Identificação de modelos ARIMA

Para Morettin (2005) essa é a fase mais crítica do método. A escolha é feita principalmente com base nas autocorrelações e autocorrelações parciais estimadas. Os principais tipos de modelos em análise de séries temporais com suas respectivas características são:

1 – Auto-regressivos (AR): Neste modelo o suposto básico da independência dos erros (resíduo) pode ser facilmente violado, desde que as variáveis regressoras usualmente têm uma relação de dependência. Podem ser de ordem um, se as autocorrelações tendem exponencialmente para zero, se  $k = \infty$ , para  $\emptyset$  próximo de um, as correlações decaem mais lentamente, as correlações parciais decaem para zero após a primeira defasagem ou podem ser de ordem dois. Neste caso o gráfico FAC é uma mistura de decaimento exponencial. Dependendo do sinal dos coeficientes, as autocorrelações podem apresentar decaimento alternado, se as raízes são complexas, as autocorrelações podem apresentar uma mistura de decaimento exponencial senoidal.

2 – Médias Móveis (MA): Neste modelo está explícito a relação da dependência entre os sucessivos erros defasados no tempo. Pode ser de ordem um, se uma única correlação diferente de zero ocorre na defasagem um e as autocorrelações parciais tendem exponencialmente para zero se  $k = \infty$ , ou de ordem dois, que só as duas primeiras correlações são significativas e o FACP apresenta uma mistura de decaimento exponencial senoidal, decaimento exponencial e senoidal alternado, dependendo do sinal dos coeficientes.

3 – Modelos autoregressivos e médias móveis (ARMA): O correlograma FAC apresenta um decaimento exponencial após a primeira defasagem e o correlograma FACP apresenta decaimento exponencial após a primeira defasagem.

### 2.5.2. Estimação de modelos:

A estimação é feita usando os seguintes métodos:

- Método dos momentos: Segundo Morettin (2005), este método consiste em substituir nas equações que relacionam as autocorrelações (ou autocovariâncias) e os parâmetros do modelo, os momentos teóricos (média, variância e autocorrelação) pelos correspondentes momentos amostrais e resolver as equações resultantes.
- Método da máxima verossimilhança condicional: Neste método os valores iniciais desconhecidos são substituídos por valores que supomos serem razoáveis.
- Método da máxima verossimilhança não-condicional: Neste método os valores iniciais são estimados utilizando um procedimento denominado “backforecasting”.

### 2.5.3. Verificação de modelos:

A verificação da adequacidade do modelo ocorre através de diversas formas, são elas:

- Análise dos resíduos: se os mesmos estão localizados ao redor da reta centrada em  $a_t = 0$ , se todos os resíduos padronizados estão dentro da faixa: -2,00 e 2,00 não existem elementos discrepantes. No gráfico dos resíduos pode ser verificada a validade da suposição de que os erros são não correlacionados, sendo que a presença de configurações especiais neste gráfico pode indicar que os erros são correlacionados.
- Gráfico de probabilidade normal: através deste gráfico pode-se verificar se a suposição de normalidade foi violada.
- Teste de hipóteses:  $H_0$ : os erros seguem distribuição normal VS  $H_1$ : os erros não seguem distribuição normal. Se no teste de Earson Darling o P-valor  $>$  alfa, então não rejeita-se  $H_0$ .

- Critério de seleção AIC (Critério de informação Akaike): O melhor modelo é aquele que apresenta o menor valor AIC.
- Critério de seleção BIC: Segundo Shibata (1976) esta técnica mostra que o critério AIC tende a superestimar a ordem regressiva, sendo assim a diferença básica entre BIC e AIC é o segundo termo, que é substituído pelo termo. Este tem o efeito de aumentar o peso ao termo de penalidade de acordo com o número de parâmetros no modelo, e consequentemente minimizar o valor de BIC.

## 2.6. Regressão dinâmica

Os Modelos de Regressão Dinâmica (MRD) combinam a dinâmica de séries temporais e o efeito de variáveis explicativas, assim trata-se de um modelo matemático de regressão envolvendo séries no tempo, que inclui não somente valores atuais da variável em estudo como também os valores passados (autorregressivos) (PANKRATZ, 1991). Além disso, é possível incluir as variáveis explicativas da variável resposta ao modelo com ou sem defasagens (em inglês lag) e criar intervalos de confiança. Dois problemas podem ocorrer neste tipo de regressão:

- 1) a possibilidade de correlação serial dos resíduos;
- 2) variáveis explicativas estocásticas.

Estas duas situações podem fazer com que o método MQO não seja diretamente aplicável, pois não satisfaz algumas de suas hipóteses. Então, deve-se mostrar que a variável explicativa estocástica (endógena defasada) se distribui independente do termo dos erros, pois se uma variável explicativa em um modelo de regressão se correlaciona com o termo de perturbação estocástica, os estimadores de MQO são não somente viesados, mas também são não consistentes. Para detectar autocorrelação, nestes casos autorregressivos, utiliza-se o teste h de Durbin-Watson, porém não se pode utilizar a estatística d de Durbin-Watson (DW) em modelos autorregressivos, pois o valor calculado de d tende geralmente para o valor esperado 2, para sequencias aleatórias. Então, para resolver este problema, formulam-se duas hipóteses:

$H_0$  : Não há autocorrelação de primeira ordem;

$H_1$  : Há autocorrelação de primeira ordem;

Onde a regra de decisão é a seguinte: a estatística  $h$  se distribui assintoticamente normalmente com média zero e variância um, sendo que se  $h$  se encontrar entre -1,96 e 1,96 (considerando um IC = 95%), não se rejeita a hipótese nula de que não há autocorrelação de primeira ordem (positiva ou negativa).

### **3 – RESULTADOS DA PESQUISA**

Para análise dos dados foi utilizado o software MINITAB 16. Os dados foram fornecidos pelo INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). As variáveis utilizadas foram temperatura média e somatório das chuvas observadas nas 27 (vinte e sete) capitais brasileiras no período de 1961-1990 (normais climatológicas) e nos anos de 2009, 2010 e 2011. Para fins didáticos e de comparação, tendo em vista que as análises dos estudiosos são feitas por regiões devido a extensão do território brasileiro, fez-se a análise por regiões agrupando os dados observados nas capitais de acordo com a região em que se localizam.

#### **3.1. – Análise da variável temperatura média por regiões**

##### **3.1.1. – Região Norte**

As estatísticas descritivas na Tabela 01, aumento na temperatura média em torno de 1.2° e aumento também no desvio-padrão, no período de 2009 a 2011, em comparação as normais climatológicas no período (1961 – 1990). Conclui-se então que o aquecimento é uma realidade

nesta região e observa-se também aumento na amplitude térmica, com uma variabilidade que chega a 3% em 2009.

Tabela 01: Estatística descritiva da variável temperatura media na região Norte

| Variável  | Média  | Desv.Pad. | Mínimo | Q1     | Mediana | Q3     | Máximo | Assimetria |
|-----------|--------|-----------|--------|--------|---------|--------|--------|------------|
| 1961-1990 | 26.725 | 0.589     | 25.700 | 26.450 | 26.700  | 27.300 | 27.600 | -0.32      |
| 2009      | 27.842 | 0.807     | 26.900 | 27.300 | 27.500  | 28.825 | 29.000 | 0.53       |
| 2010      | 28.258 | 0.664     | 27.400 | 27.800 | 28.100  | 28.575 | 29.700 | 1.02       |
| 2011      | 27.925 | 0.740     | 27.000 | 27.275 | 27.850  | 28.575 | 29.400 | 0.56       |

Fonte: Resultados da pesquisa

Pelo gráfico das temperaturas médias mensais, Figura 01, observa-se que a temperatura média mensal no triênio 2009-2011 são maiores que as normais climatológicas (1961-1990), chegando até 3° C de diferencia, o que confirma que o aquecimento na região já é uma realidade.

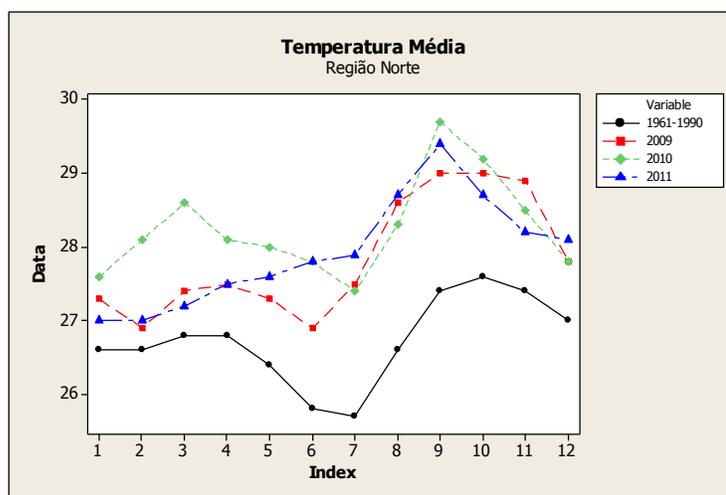


Figura 01: Gráfico da temperatura média mensal (TM) na região Norte

### 3.1.2. – Região Nordeste

Observa-se pelas estatísticas descritivas da Tabela 02, que no período de 2009 a 2011, um aumento na temperatura média mensal em torno de 0.9° em comparação as normais climatológicas no período (1961 – 1990), observa-se também aumento na amplitude térmica, com uma variabilidade da temperatura média que chega até 3,5% em 2010. Conclui-se então que o aquecimento é uma realidade nesta região.

Tabela 02: Estatística descritiva da variável temperatura media na região Nordeste

| Variável  | Média  | Desv.Pad. | Mínimo | Q1     | Mediana | Q3     | Máximo | Assimetria |
|-----------|--------|-----------|--------|--------|---------|--------|--------|------------|
| 1961-1990 | 26.167 | 0.766     | 24.900 | 25.400 | 26.450  | 26.800 | 27.000 | -0.66      |
| 2009      | 26.933 | 0.775     | 25.800 | 26.125 | 27.050  | 27.550 | 28.100 | -0.07      |
| 2010      | 27.275 | 0.964     | 25.700 | 26.325 | 27.650  | 28.000 | 28.400 | -0.64      |
| 2011      | 26.683 | 0.810     | 25.300 | 25.900 | 26.900  | 27.350 | 27.700 | -0.46      |

Fonte: Resultados da pesquisa

Pelo gráfico das temperaturas médias mensais, Figura 02, observa-se que a temperatura média mensal no triênio 2009-2011 são maiores que as normais climatológicas (1961-1990), chegando a até 1,5° C de diferencia, o que confirma que o aquecimento na região já é uma realidade.

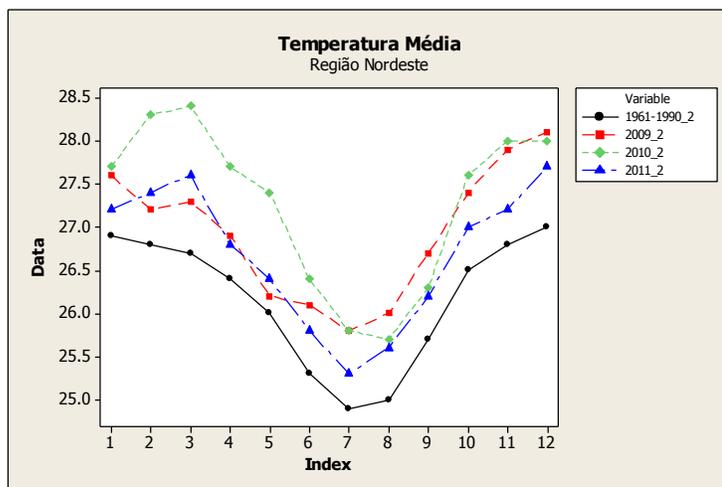


Figura 02: Gráfico da temperatura média mensal <sup>TM</sup> na região Nordeste

### 3.1.3. – Região Centro-Oeste

Observando-se as estatísticas descritivas da temperatura média, Tabela 03, que no período de 2009 a 2011, um aumento na temperatura média em torno de 0.8° em comparação as normais climatológicas no período (1961–1990), este aumento de temperatura é menor que na região norte e nordeste. Observa-se também aumento na amplitude térmica, com uma variabilidade da temperatura média que chega até 6,6% em 2010, maior que nas regiões norte e nordeste. Conclui-se então que o aquecimento é uma realidade nesta região.

Tabela 03: Estatística descritiva da variável temperatura media na região Centro-Oeste

| Variável  | Média  | Desv.Pad. | Mínimo | Q1     | Mediana | Q3     | Máximo | Assimetria |
|-----------|--------|-----------|--------|--------|---------|--------|--------|------------|
| 1961-1990 | 24.017 | 1.426     | 21.400 | 22.850 | 24.750  | 25.000 | 25.300 | -1.11      |
| 2009      | 24.742 | 1.504     | 21.400 | 23.700 | 25.300  | 25.875 | 26.300 | -1.17      |
| 2010      | 24.925 | 1.646     | 22.200 | 23.075 | 25.350  | 26.275 | 27.100 | -0.51      |
| 2011      | 24.767 | 1.300     | 22.200 | 23.625 | 25.350  | 25.500 | 26.500 | -1.02      |

Fonte: Resultados da pesquisa

Pelo gráfico das temperaturas médias mensais, Figura 03, observa-se que a temperatura média mensal no triênio 2009-2011 são maiores que as normais climatológicas (1961-1990), chegando a até 2° C, excetuando-se os meses de junho e dezembro de 2009 e novembro de 2010 (0° C). Em comparação com temperaturas médias das regiões Norte e Nordeste o aumento nesta região foi menor, porém significativo, o que confirma que o aquecimento na região já é uma realidade.

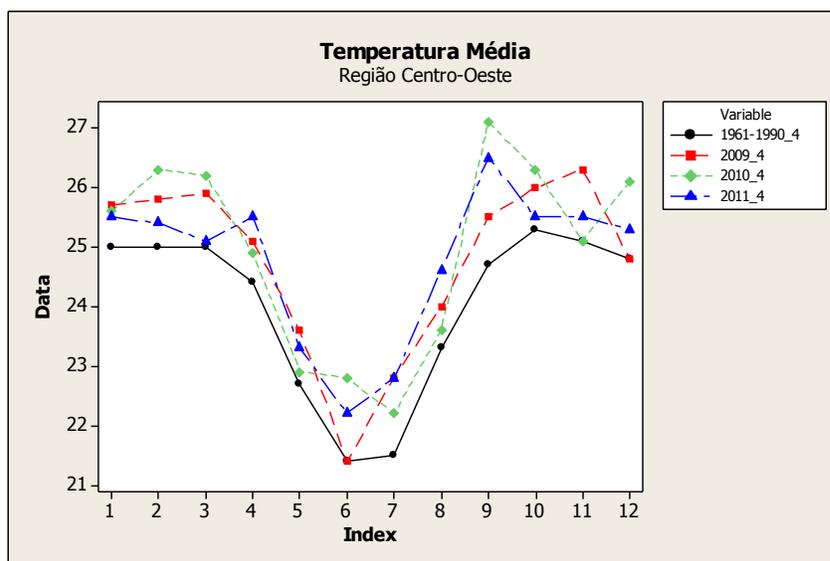


Figura 03: Gráfico da temperatura média mensal (TM) na região Centro-Oeste

### 3.1.4. – Região Sudeste

Analisando as estatísticas descritivas da temperatura média da região sudeste, Tabela 04, observa-se um aumento na temperatura média mensal no período de 2009 a 2011, em comparação as normais climatológicas no período (1961–1990), este aumento de temperatura chega 0,6° C, este aumento de temperatura é menor que nas regiões norte e nordeste. Observa-se também aumento na amplitude térmica, com uma variabilidade da temperatura média que chega até 10,9% em 2010, maior que nas regiões norte, nordeste e centro-oeste. Conclui-se então que o aquecimento é uma realidade nesta região.

Tabela 04: Estatística descritiva da variável temperatura média na região Sudeste

| Variável  | Média  | Desv.Pad. | Mínimo | Q1     | Mediana | Q3     | Máximo | Assimetria |
|-----------|--------|-----------|--------|--------|---------|--------|--------|------------|
| 1961-1990 | 22.800 | 1.911     | 20.000 | 21.050 | 22.950  | 24.775 | 25.500 | -0.01      |
| 2009      | 23.783 | 2.346     | 19.900 | 21.550 | 23.700  | 26.325 | 26.500 | -0.28      |
| 2010      | 23.408 | 2.544     | 19.600 | 21.225 | 23.050  | 25.875 | 27.300 | 0.16       |
| 2011      | 23.067 | 2.200     | 20.000 | 21.375 | 22.600  | 24.450 | 27.100 | 0.45       |

Fonte: Resultados da pesquisa

Pelo gráfico de séries temporais da Figura 04, observa-se que a temperatura média mensal no triênio 2009-2011, varia em torno à tendência temperatura média no período 1961-1990, excetuando-se as temperaturas médias de setembro a novembro de 2010, o aumento chega até 3° C. Em comparação com as regiões Norte, Nordeste e Sudeste, o aumento nesta região foi menor, porém significativo, o que confirma que o aquecimento na região já é uma realidade.

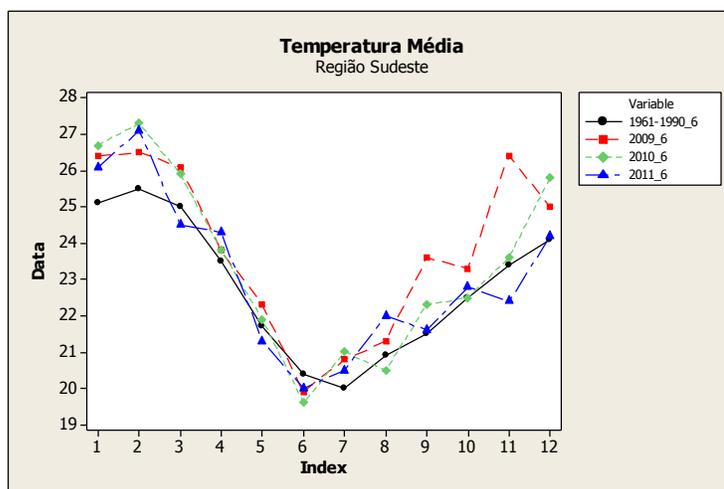


Figura 04: Gráfico da temperatura média mensal (TM) na região Sudeste

### 3.1.5. – Região Sul

Analisando as estatísticas descritivas da temperatura média da região sudeste, Tabela 05, observa-se um aumento na temperatura média mensal no período de 2009 a 2011, em comparação as normais climatológicas no período (1961–1990), este aumento de temperatura chega 0,5° C, este aumento de temperatura é menor que nas regiões norte, nordeste e sudeste. Observa-se também aumento na amplitude térmica, com uma variabilidade da temperatura média que chega até 18,5% em 2011, maior que nas regiões norte, nordeste e centro-oeste. Conclui-se então que o aquecimento é uma realidade nesta região.

Tabela 05: Estatística descritiva da variável temperatura media na região Sul

| Variável  | Média  | Desv.Pad. | Mínimo | Q1     | Mediana | Q3     | Máximo | Assimetria |
|-----------|--------|-----------|--------|--------|---------|--------|--------|------------|
| 1961-1990 | 19.617 | 3.250     | 15.400 | 16.475 | 19.650  | 22.750 | 24.000 | 0.04       |
| 2009      | 20.19  | 3.74      | 14.10  | 17.23  | 20.40   | 23.85  | 24.50  | -0.39      |
| 2010      | 20.14  | 3.55      | 15.70  | 16.77  | 19.50   | 23.38  | 26.00  | 0.33       |
| 2011      | 19.96  | 3.72      | 15.00  | 16.25  | 20.60   | 22.75  | 25.60  | 0.05       |

Fonte: Resultados da pesquisa

Pelo gráfico de séries temporais da Figura 05, observa-se que a temperatura média mensal no triênio 2009-2011, varia em torno à tendência temperatura média no período 1961-1990, em novembro de 2009 se observou um aumento de temperatura de 2,5° C. Em comparação com as regiões Norte, Nordeste, Centro-oeste e Sudeste, o aumento nesta região foi menor, porém significativo, o que confirma que o aquecimento na região já é uma realidade.

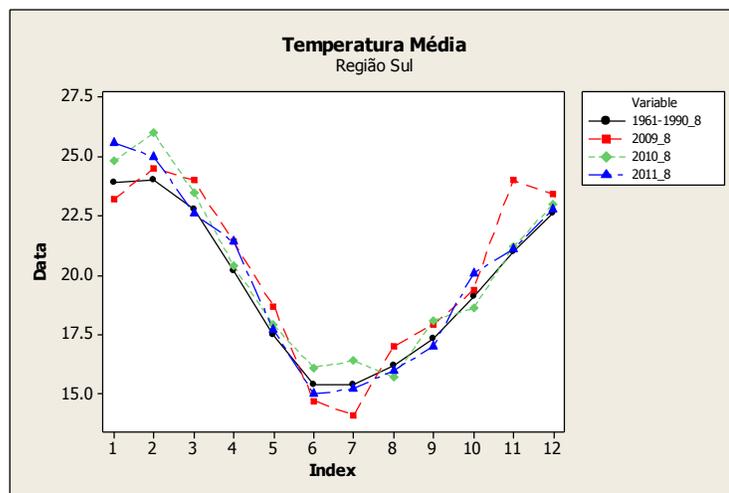


Figura 05: Gráfico temperatura média mensal (TM) na região Sul

### 3.2. – Análise da variável chuva por regiões

#### 3.2.1. – Região Norte

Observa-se pelas estatísticas descritivas da tabela 06 e pelo gráfico de séries temporais da figura 06, estabilidade quanto as chuvas observadas no período 1961-1990 e o triênio 2009-2011, com poucas variações, havendo alternância entre os valores nos meses, não caracterizando predomínio de um período ou outro.

Tabela 06: Estatística descritiva da variável chuvas na região Norte

| Variável  | Média | Desv.Pad. | Mínimo | Q1  | Mediana | Q3   | Máximo | Assimetria |
|-----------|-------|-----------|--------|-----|---------|------|--------|------------|
| 1961-1990 | 1222  | 518       | 537    | 771 | 1224    | 1795 | 1896   | 0.09       |
| 2009      | 1317  | 647       | 454    | 744 | 1394    | 1849 | 2372   | 0.08       |
| 2010      | 1167  | 532       | 318    | 697 | 1146    | 1611 | 1975   | -0.00      |
| 2011      | 1341  | 659       | 244    | 864 | 1285    | 1962 | 2350   | -0.04      |

Fonte: Resultados da pesquisa

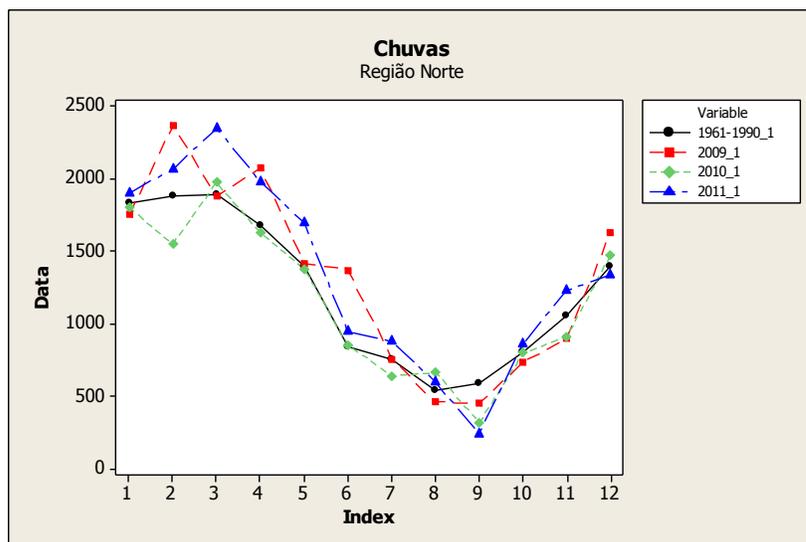


Figura 06: Gráfico do índice pluviométrico (CH) na região Norte

### 3.2.2. – Região Nordeste

Observa-se pelas estatísticas descritivas da tabela 07 e pelo gráfico de séries temporais da figura 07, estabilidade quanto as chuvas observadas no período 1961-1990 e o triênio 2009-2011, com poucas variações, havendo alternância entre os valores nos meses, não caracterizando predomínio de um período ou outro. Ressalta-se apenas que a região teve um período mais seco no primeiro semestre de 2010, o que resultou em um índice pluviométrico mais baixo neste ano em relação aos demais.

Tabela 07: Estatística descritiva da variável chuvas na região Nordeste

| Variável  | Média | Desv.Pad. | Mínimo | Q1  | Mediana | Q3   | Máximo | Assimetria |
|-----------|-------|-----------|--------|-----|---------|------|--------|------------|
| 1961-1990 | 1443  | 879       | 392    | 617 | 1289    | 2219 | 2896   | 0.34       |
| 2009      | 1679  | 1364      | 201    | 332 | 1649    | 2145 | 4170   | 0.74       |
| 2010      | 1143  | 779       | 169    | 511 | 999     | 1682 | 2542   | 0.65       |
| 2011      | 1659  | 1153      | 232    | 716 | 1718    | 2186 | 3979   | 0.73       |

Fonte: Resultados da pesquisa

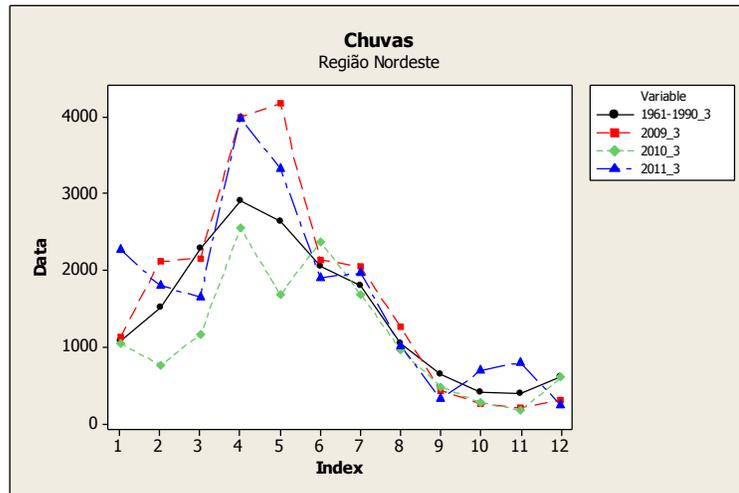


Figura 07: Gráfico de séries temporais da variável chuvas na região Nordeste

### 3.2.3. – Região Centro-Oeste

Observa-se pelas estatísticas descritivas da tabela 08 e pelo gráfico de séries temporais da figura 08, estabilidade quanto as chuvas observadas no período 1961-1990 e o triênio 2009-2011, com poucas variações, havendo alternância entre os valores nos meses, não caracterizando predomínio de um período ou outro. Destaca-se que 2009 teve um primeiro trimestre mais seco, porém no restante do ano o índice pluviométrico aumentou, tendo registrado inclusive um ponto discrepante em dezembro. No final acabou sendo o ano mais chuvoso na comparação com os demais, mas esta tendência não foi verificada nos anos seguintes, inclusive 2011 foi o mais seco e seu índice pluviométrico foi o mais baixo principalmente no período de abril a setembro.

Tabela 08: Estatística descritiva da variável chuvas na região Centro-Oeste

| Variável  | Média | Desv.Pad. | Mínimo | Q1  | Mediana | Q3  | Máximo | Assimetria |
|-----------|-------|-----------|--------|-----|---------|-----|--------|------------|
| 1961-1990 | 499   | 352       | 69     | 110 | 541     | 816 | 961    | -0.05      |
| 2009      | 536   | 397       | 45     | 215 | 495     | 757 | 1506   | 1.25       |
| 2010      | 497   | 377       | 23     | 122 | 580     | 843 | 972    | -0.15      |
| 2011      | 474   | 415       | 15     | 50  | 534     | 868 | 958    | -0.02      |

Fonte: Resultados da pesquisa

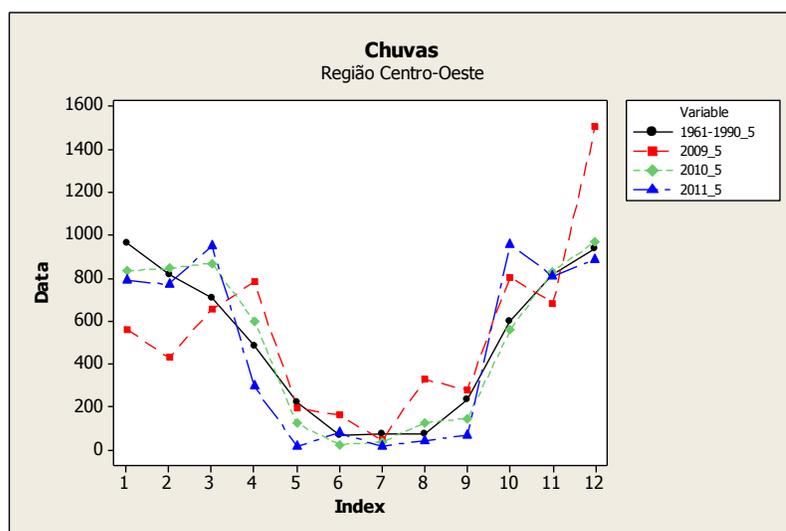


Figura 08: Gráfico de séries temporais da variável chuvas na região Centro-Oeste

### 3.2.4. – Região Sudeste

Observa-se pelas estatísticas descritivas da tabela 09 e pelo gráfico de séries temporais da figura 09, tendência de aumento no índice pluviométrico em torno de 110mm, comparando-se o triênio 2009-2011 com o período 1961-1990, já que em todos os anos do triênio 2009-2011 o índice pluviométrico médio foi maior do que no período 1961-1990, no entanto, há alternância

entre os valores nos meses, não caracterizando predomínio de um período ou outro. Observa-se também que a média de chuvas vem caindo gradualmente de 2009 para 2011.

Tabela 09: Estatística descritiva da variável chuvas na região Sudeste

| Variável  | Média | Desv.Pad. | Mínimo | Q1    | Mediana | Q3    | Máximo | Assimetria |
|-----------|-------|-----------|--------|-------|---------|-------|--------|------------|
| 1961-1990 | 435.5 | 243.0     | 139.2  | 203.1 | 410.2   | 646.7 | 802.7  | 0.24       |
| 2009      | 585   | 429       | 145    | 215   | 478     | 999   | 1438   | 0.83       |
| 2010      | 546   | 383       | 36     | 241   | 490     | 972   | 1101   | 0.32       |
| 2011      | 504   | 396       | 50     | 98    | 477     | 849   | 1225   | 0.36       |

Fonte: Resultados da pesquisa

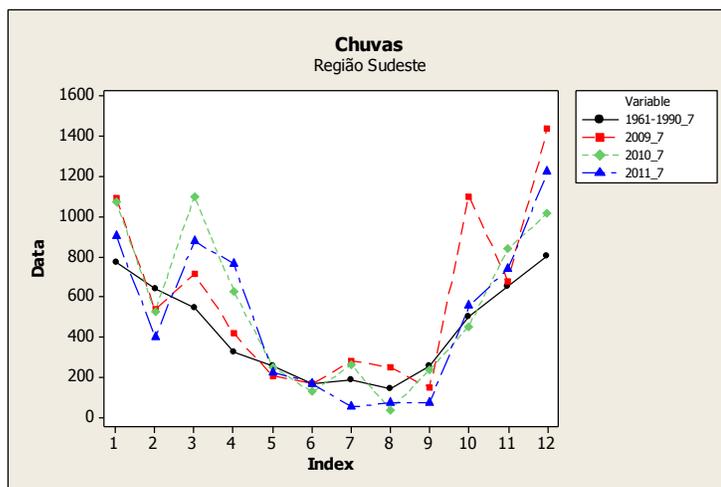


Figura 09: Gráfico de séries temporais da variável chuvas na região Sudeste

### 3.2.5. – Região Sul

Observa-se pelas estatísticas descritivas da tabela 10 e pelo gráfico de séries temporais da figura 10, aumento no índice pluviométrico em torno de 75mm, comparando-se o triênio 2009-2011 com o período 1961-1990, já que em todos os anos do triênio 2009-2011 o índice pluviométrico médio foi maior do que no período 1961-1990, no entanto, há alternância entre os valores nos meses, não caracterizando predomínio de um período ou outro.

Tabela 10: Estatística descritiva da variável chuvas na região Sul

| Variável  | Média | Desv.Pad. | Mínimo | Q1    | Mediana | Q3    | Máximo | Assimetria |
|-----------|-------|-----------|--------|-------|---------|-------|--------|------------|
| 1961-1990 | 360.1 | 60.1      | 264.9  | 308.6 | 356.9   | 411.3 | 453.7  | 0.04       |
| 2009      | 420.8 | 144.7     | 162.2  | 312.4 | 399.3   | 569.2 | 638.4  | 0.03       |
| 2010      | 457.8 | 168.2     | 208.1  | 347.1 | 400.0   | 556.0 | 833.3  | 0.98       |
| 2011      | 436.2 | 191.0     | 169.2  | 303.9 | 400.1   | 654.4 | 716.6  | 0.42       |

Fonte: Resultados da pesquisa

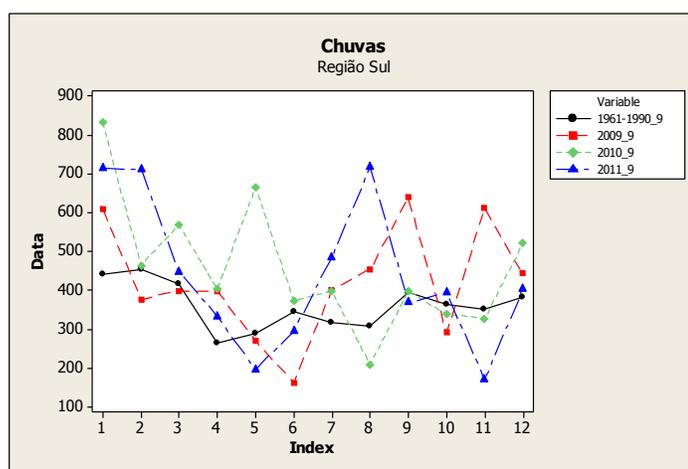


Figura 10: Gráfico de séries temporais da variável chuvas na região Sul

### **3.3. – Análise do relacionamento entre as duas variáveis**

#### **3.3.1. – Região Norte**

O índice de correlação é de -0,722 indicando que as variáveis relacionam-se em sentido inverso, isto é, quanto maior a temperatura média menor o volume pluviométrico o que também pode ser visualizado através do gráfico de dispersão da figura 11. Este fato é explicado pelo fato da Região Norte está localizada próxima a linha do Equador numa região de clima equatorial que sofre pouquíssima influência das massas de ar polar vindas do sul do continente, conseqüentemente o que provoca as maiores temperaturas é a ausência de nebulosidade que por sua vez resulta em ausência de precipitação.

#### **Covariância: CH-NO 2009 a 2011; TM-NO 2009 a 2011**

|                  | CH-NO 2009 a 201 | TM-NO 2009 a 201 |
|------------------|------------------|------------------|
| CH-NO 2009 a 201 | 363242.15        |                  |
| TM-NO 2009 a 201 | -322.47          | 0.55             |

#### **Correlação: CH-NO 2009 a 2011; TM-NO 2009 a 2011**

A correlação de Pearson é CH-NO 2009 a 2011 e TM-NO 2009 a 2011 = **-0.722**

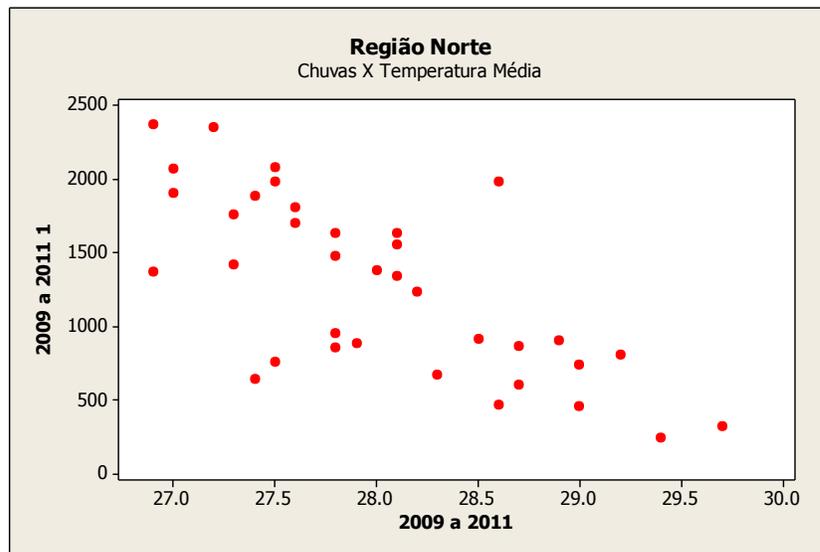


Figura 11: Gráfico de dispersão chuvas X temperatura média da Região Norte

### 3.3.2. – Região Nordeste

O índice de correlação é de  $-0,327$  indicando que as variáveis relacionam-se em sentido inverso, isto é, quanto maior a temperatura média menor o volume pluviométrico, porém a correlação é muito baixa, o que indica que a variável temperatura sozinha não consegue explicar bem a variabilidade da variável chuvas. O gráfico de dispersão da figura 12 também mostra este fato, observa-se apenas que altas temperaturas estão relacionadas com baixo índice pluviométrico, motivo pelo qual o índice de correlação foi negativo, isto devido ao fato de que ausência de nebulosidade e consequente ausência de precipitação resultam em temperaturas mais altas. Este fato é explicado pelo fato da Região Nordeste está localizada próxima a linha do Equador numa região parte de clima tropical e parte de clima semi-árido e não sofre influência das massas de ar polar vindas do sul do continente. A variação de temperatura nesta região é muito pequena e independente de ser registrada chuva ou não, geralmente a temperatura concentra-se em torno de uma faixa de valores estável com pouquíssima variação, razão pela qual nesta região estão as menores amplitudes térmicas de temperatura do Brasil.

### Covariância: CH-ND 2009 a 2011; TM-ND 2009 a 2011

|                   | CH-ND 2009 a 2011 | TM-ND 2009 a 2011 |
|-------------------|-------------------|-------------------|
| CH-ND 2009 a 2011 | 1256742.7         |                   |
| TM-ND 2009 a 2011 | -316.5            | 0.7               |

### Correlação: CH-ND 2009 a 2011; TM-ND 2009 a 2011

A correlação de Pearson é CH-ND 2009 a 2011 e TM-ND 2009 a 2011 = **-0.327**

P-Value = 0.052

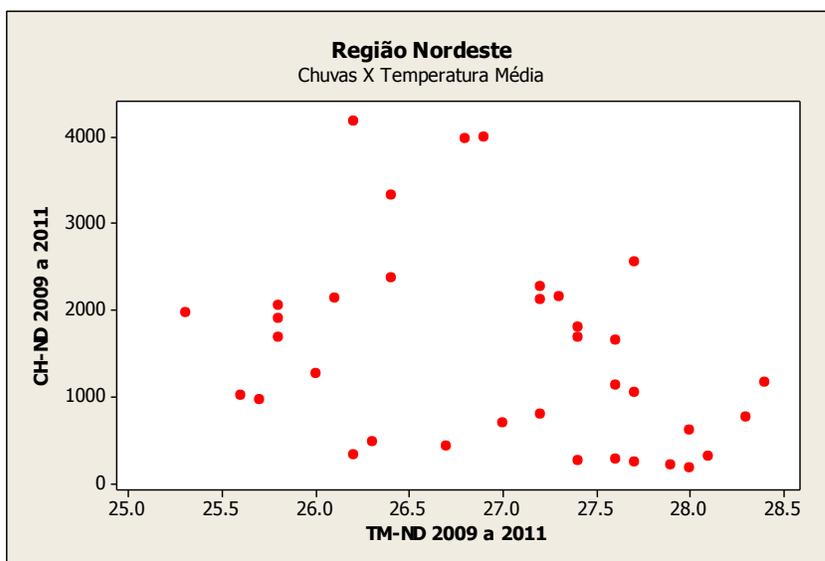


Figura 12: Gráfico de dispersão chuvas X temperatura média da Região Nordeste

### 3.3.3. – Região Centro-Oeste

O índice de correlação de 0,570 indica que as variáveis relacionam-se no sentido idêntico, isto é, quanto maior a temperatura média maior o volume pluviométrico, porém a relação linear

entre a variável chuvas e temperatura média é relativamente baixa. O gráfico de dispersão da figura 13 também mostra este fato, observa-se apenas que baixas temperaturas estão relacionadas com baixo índice pluviométrico, motivo pelo qual o índice de correlação foi positivo, isto explica-se pelo fato de o inverno ser seco e pelo fato de que no mesmo a região sofre influência das massas de ar polar vindas do sul do continente, o que faz cair a temperatura média. Por outro lado o gráfico de dispersão mostra que as temperaturas mais altas estão relacionadas a baixo índice pluviométrico, o que não permitiu que a correlação fosse maior. Isto explica-se pelo fato de que as temperaturas mais altas estão associadas a ausência de nebulosidade e consequentemente ausência de precipitação. Os maiores índices de precipitação ocorrem na faixa intermediária de temperatura, pois neste caso a presença de nebulosidade não deixa a temperatura subir muito, porém a mesma não cai, devido ao fato desta nebulosidade ocorrer especialmente no verão e ciclicamente no outono e primavera.

**Covariância: CH-CO 2009 a 2011; TM-CO 2009 a 2011**

|                   | CH-CO 2009 a 2011 | TM-CO 2009 a 2011 |
|-------------------|-------------------|-------------------|
| CH-CO 2009 a 2011 | 149006.93         |                   |
| TM-CO 2009 a 2011 | 318.91            | 2.10              |

**Correlação: CH-CO 2009 a 2011; TM-CO 2009 a 2011**

A correlação de Pearson é CH-CO 2009 a 2011 e TM-CO 2009 a 2011 = **0.570**

P-Value = 0.000

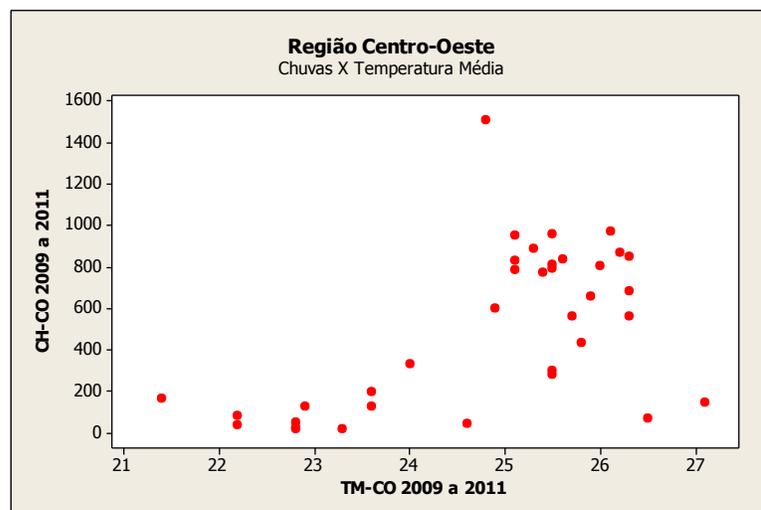


Figura 13: Gráfico de dispersão chuvas X temperatura média da Região Centro-Oeste

### 3.3.4. – Região Sudeste

O índice de correlação é de 0,686 indicando que as variáveis relacionam-se no sentido idêntico, isto é, quanto maior a temperatura média maior o índice pluviométrico, porém a correlação é moderada, o que indica relação moderada entre as variáveis. O gráfico de dispersão da figura 14 também mostra este fato. Observa-se que baixas temperaturas estão relacionadas com baixo índice pluviométrico, motivo pelo qual o índice de correlação foi positivo, isto explica-se pelo fato de o inverno ser seco e pelo fato de que no mesmo a região sofre influência das massas de ar polar vindas do sul do continente, o que faz cair a temperatura média. Por outro lado o gráfico de dispersão mostra que as temperaturas mais altas estão relacionadas a índice pluviométrico moderado, o que não permitiu que a correlação fosse maior, isto explica-se pelo fato de que as temperaturas mais altas estão associadas a nenhuma ou pouca nebulosidade e consequentemente nenhuma ou pouca precipitação. Os maiores índices de precipitação ocorrem na faixa intermediária de temperatura, pois neste caso a presença de nebulosidade não deixa a temperatura subir muito, porém a mesma não cai, devido ao fato desta nebulosidade ocorrer especialmente no verão e ocasionalmente no outono e primavera.

**Covariância: CH-SD 2009 a 2011; TM-SD 2009 a 2011**

|                  | CH-SD 2009 a 201 | TM-SD 2009 a 201 |
|------------------|------------------|------------------|
| CH-SD 2009 a 201 | 154361.71        |                  |
| TM-SD 2009 a 201 | 625.14           | 5.37             |

**Correlação: CH-SD 2009 a 2011; TM-SD 2009 a 2011**

A correlação de Pearson é CH-SD 2009 a 2011 e TM-SD 2009 a 2011 = **0.686**

P-Value = 0.000

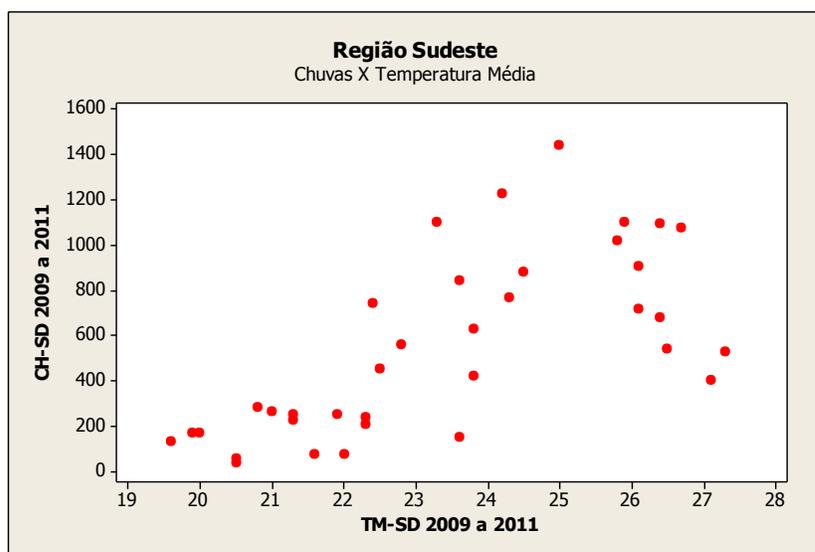


Figura 14: Gráfico de dispersão chuvas X temperatura média da Região Sudeste

### 3.3.5. – Região Sul

O índice de correlação de 0,417 indica que as variáveis relacionam-se no sentido idêntico, isto é, quanto maior a temperatura média maior o índice pluviométrico, porém a correlação é baixa, o que indica relação baixa entre as variáveis. O gráfico de dispersão da figura 15 também mostra este fato, observa-se que as temperaturas estão pouco relacionadas com o índice pluviométrico, observa-se apenas uma tendência de aumento no índice pluviométrico para temperaturas mais altas, motivo pelo qual o índice de correlação foi positivo, isto explica-se pelo fato da região não possuir período seco. As chuvas são bem distribuídas ao longo do ano, mesmo no inverno, que são registradas as menores temperaturas devido a frequente passagem de massas de ar polar advindas do sul do continente.

#### **Covariância: CH-SUL 2009 a 2011; TM-SUL 2009 a 2011**

|                  |                  |                  |
|------------------|------------------|------------------|
|                  | CH-SUL 2009 a 20 | TM-SUL 2009 a 20 |
| CH-SUL 2009 a 20 | 27184.036        |                  |
| TM-SUL 2009 a 20 | 244.995          | 12.715           |

#### **Correlação: CH-SUL 2009 a 2011; TM-SUL 2009 a 2011**

A correlação de Pearson é CH-SUL 2009 a 2011 e TM-SUL 2009 a 2011 = **0.417**

P-Value = 0.011

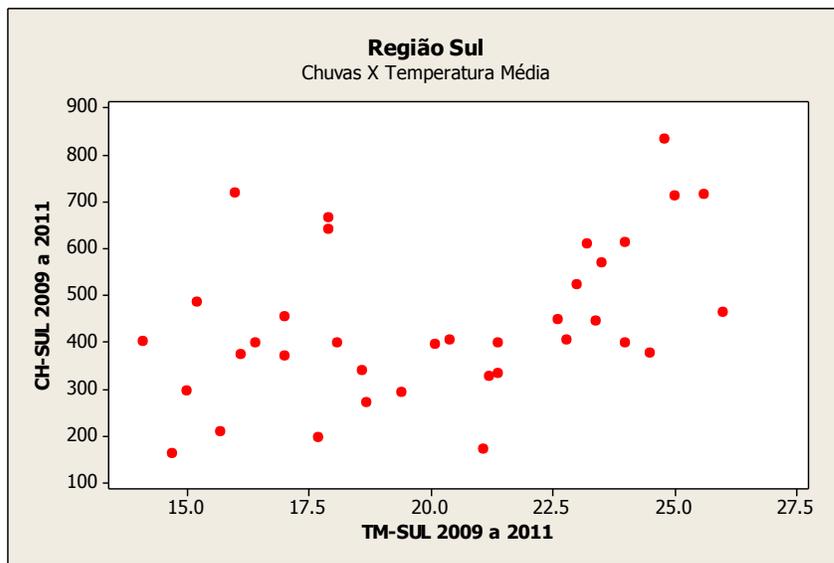


Figura 15: Gráfico de dispersão chuvas X temperatura média da Região Sul

### 3.4. – Análise do melhor modelo ajustado por regiões

#### 3.4.1. – Região Norte

Usando-se técnicas de regressão dinâmica, com temperatura média sendo a variável explicativa e chuvas, chuvas com uma defasagem e resíduos da variável chuvas com uma defasagem, sendo as variáveis resposta, elaborou-se o modelo cujos resultados são apresentados a seguir:

Tabela 11: Dados da regressão do modelo ajustado da região Norte

A equação de regressão é

$$\text{CH-NO 2009 a 2011} = 8873 + 0.303 \text{ CHNO}_{t-1} - 286 \text{ TM-NO 2009 a 2011} + 0.591 \text{ RES}_{t-1}$$

| Preditor            | Coef   | SE Coef | T     | P     | VIF   |
|---------------------|--------|---------|-------|-------|-------|
| Constante           | 8873   | 3277    | 2.71  | 0.011 |       |
| CHNO <sub>t-1</sub> | 0.3033 | 0.1553  | 1.95  | 0.060 | 3.038 |
| TM-NO 2009 a 2011   | -285.9 | 111.7   | -2.56 | 0.016 | 2.190 |
| RES <sub>t-1</sub>  | 0.5913 | 0.1936  | 3.05  | 0.005 | 1.599 |

S = 314.750 R-Sq = 73.5% R-Sq(adj) = 70.8%

Análise de Variância

| Fonte        | DF | SS       | MS      | F     | P     |
|--------------|----|----------|---------|-------|-------|
| Regressão    | 3  | 8238410  | 2746137 | 27.72 | 0.000 |
| Erro Resíduo | 30 | 2972034  | 99068   |       |       |
| Total        | 33 | 11210444 |         |       |       |

Durbin-Watson statistic = 2.40906

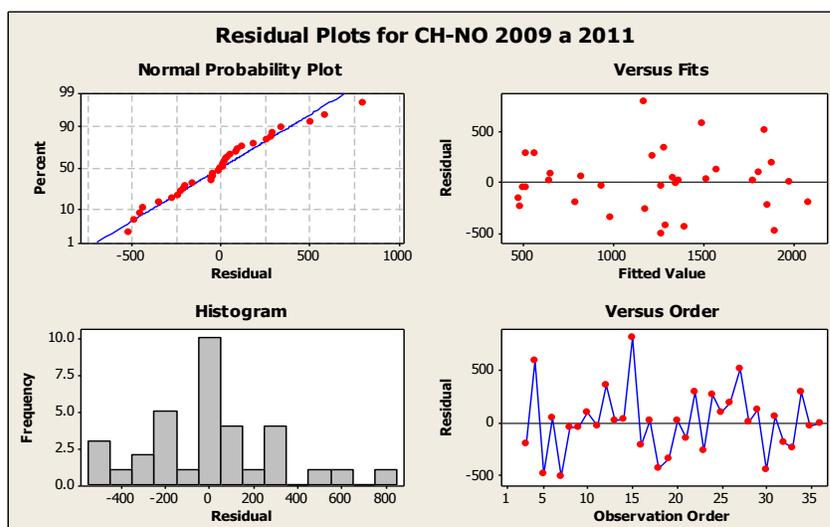


Figura 16: Gráfico dos resíduos do modelo ajustado da Região Norte

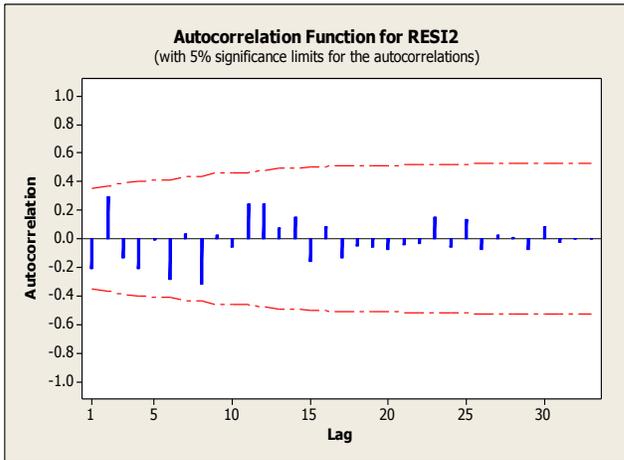


Figura 17: FAC dos resíduos do modelo ajustado: Norte

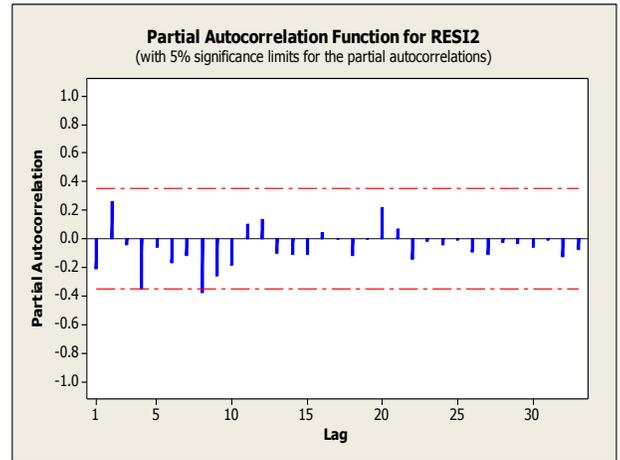


Figura 18: FACP dos resíduos do modelo ajustado: Norte

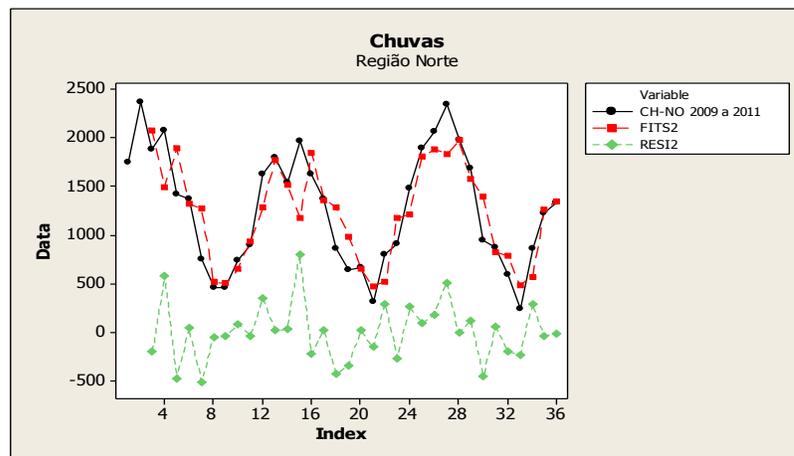


Figura 19: Modelo ajustado X dados reais e os resíduos da Região Norte

Uma vez que  $R^2$  ajustado, as estatísticas F e DW estão adequadas e as autocorrelações não são significativas no correlograma, este modelo, no qual se ajustou uma componente AR (1) da variável dependente chuvas, que conforme pode ser verificado na figura 25, consegue acompanhar bem a variabilidade da variável dependente, ajusta-se bem ao conjunto de dados.

### 3.4.2. – Região Nordeste

O modelo que melhor ajustou-se aos dados foi o modelo AR(1), cujos resultados são demonstrados abaixo:

Tabela 12: Dados do modelo ajustado da Região Nordeste

| Final     | Estimativas de parâmetros |         |      |       |
|-----------|---------------------------|---------|------|-------|
| Tipo      | Coef                      | SE Coef | T    | P     |
| AR 1      | 0.6891                    | 0.1287  | 5.35 | 0.000 |
| Constante | 436.5                     | 140.6   | 3.10 | 0.004 |
| Média     | 1403.8                    | 452.2   |      |       |

Número de observações: 36

Resíduos SS = 23922979 (backforecasts excluídos)

MS = 703617 DF = 34

Modificado Box-Pierce (Ljung-Box) estatística qui-quadrado

|            |       |       |    |    |
|------------|-------|-------|----|----|
| Lag        | 12    | 24    | 36 | 48 |
| Chi-Square | 22.3  | 47.8  | *  | *  |
| DF         | 10    | 22    | *  | *  |
| P-Value    | 0.014 | 0.001 | *  | *  |

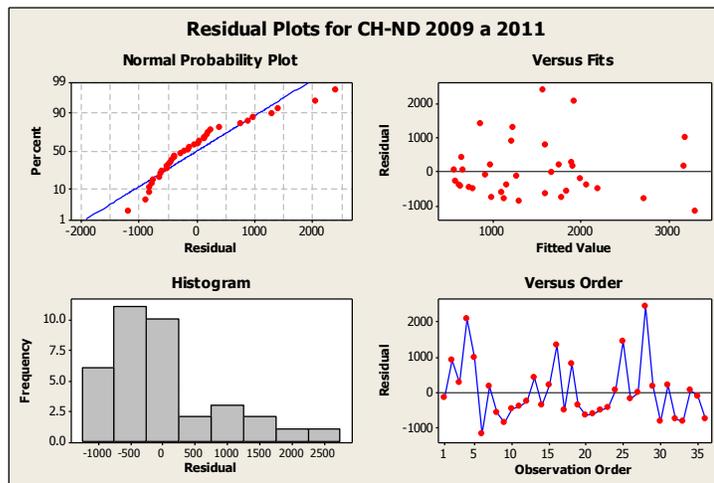


Figura 20: Gráfico dos resíduos do modelo ajustado da Região Nordeste

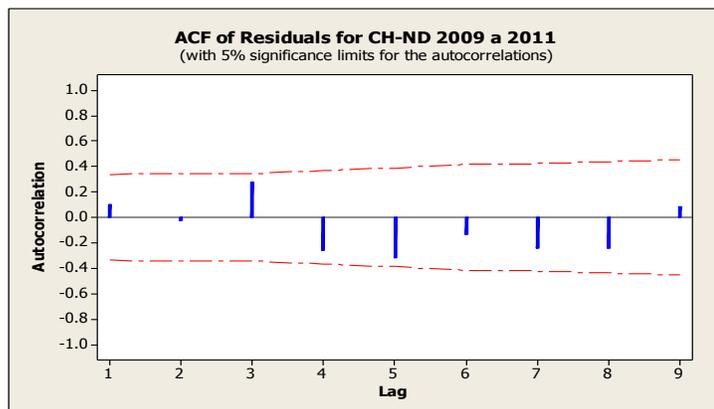


Figura 21: FAC dos resíduos do modelo ajustado da região Nordeste

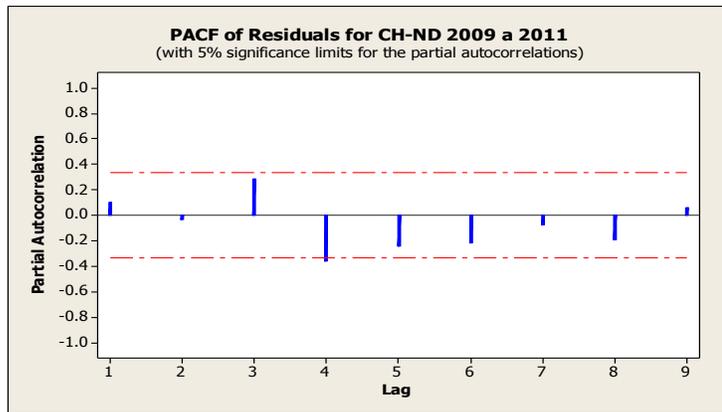


Figura 22: FACP dos resíduos do modelo ajustado da região Nordeste

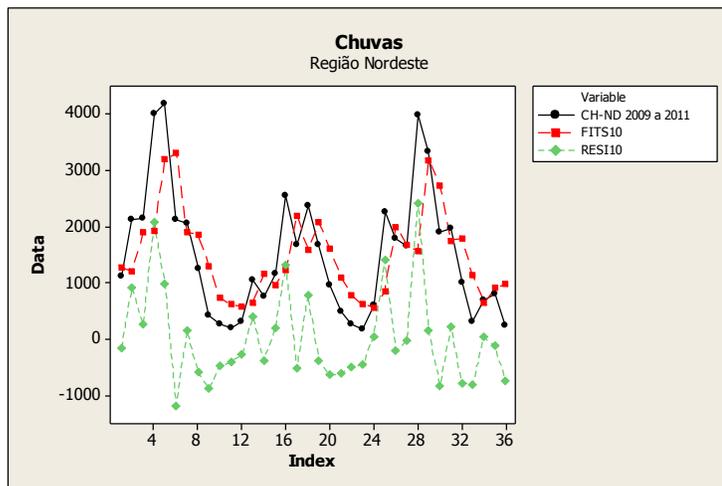


Figura 23: Modelo ajustado X dados reais e os resíduos da Região Nordeste

Percebe-se que o modelo ajusta-se bem aos dados, pois não há autocorrelações significativas no FAC e FACP e o modelo acompanha bem a série real conforme pode ser verificado no gráfico de séries temporais. P-Value está abaixo de 0,05.

### 3.4.3. – Região Centro-Oeste

Através de técnicas de regressão dinâmica, com temperatura média sendo a variável explicativa e chuvas e chuvas com uma defasagem sendo as variáveis respostas ajustou-se o modelo, cujos resultados estão descritos a seguir:

Tabela 13: Dados da regressão do modelo ajustado da região Centro-Oeste

A equação de regressão é:  $CH-CO\ 2009\ a\ 2011 = -2261 + 0.466\ CHCO_{t-1} + 102\ TM-CO\ 2009\ a\ 2011$

| Preditor            | Coef    | SE Coef | T     | P     | VIF   |
|---------------------|---------|---------|-------|-------|-------|
| Constante           | -2261.3 | 884.5   | -2.56 | 0.016 |       |
| CHCO <sub>t-1</sub> | 0.4662  | 0.1390  | 3.35  | 0.002 | 1.204 |
| TM-CO 2009 a 2011   | 102.19  | 36.68   | 2.79  | 0.009 | 1.204 |

S = 285.058 R-Sq = 50.1% R-Sq(adj) = 47.0%

#### Análise de Variância

| Fonte        | DF | SS      | MS      | F     | P     |
|--------------|----|---------|---------|-------|-------|
| Regressão    | 2  | 2611495 | 1305748 | 16.07 | 0.000 |
| Erro Resíduo | 32 | 2600255 | 81258   |       |       |
| Total        | 34 | 5211750 |         |       |       |

**Durbin-Watson statistic = 2.44388**

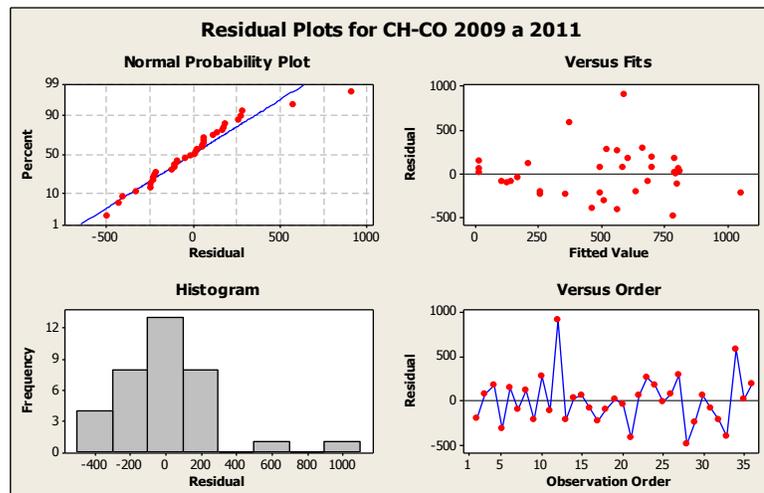


Figura 24: Gráfico dos resíduos do modelo ajustado da Região Centro-Oeste

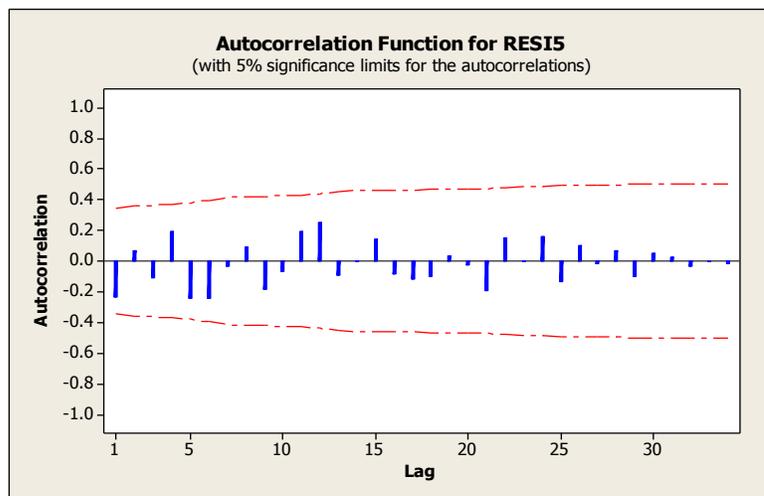


Figura 25: FAC dos resíduos do modelo ajustado da região Centro-Oeste

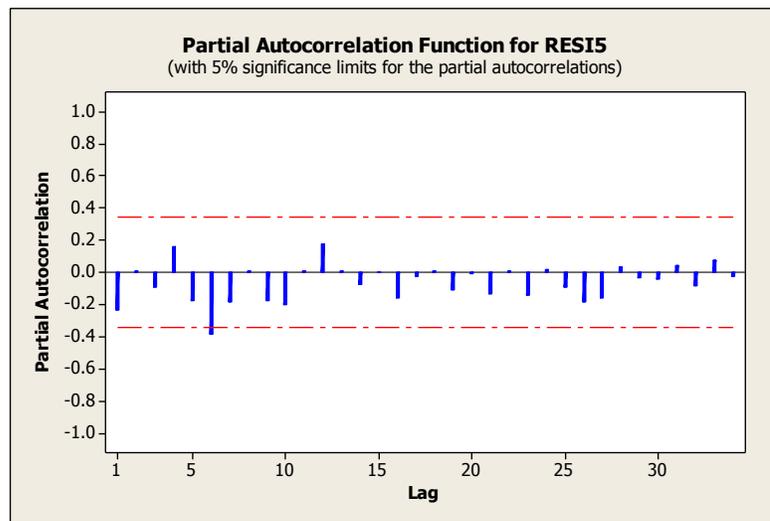


Figura 26: FACP dos resíduos do modelo ajustado da região Centro-Oeste

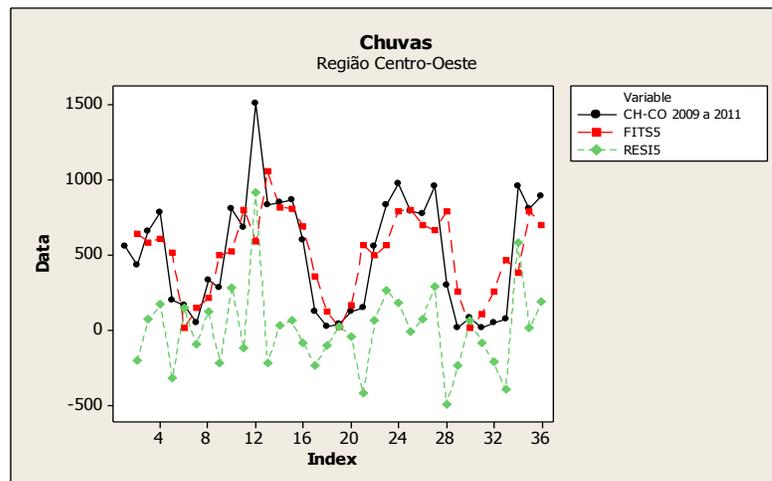


Figura 27: Modelo ajustado X dados reais e os resíduos da Região Centro-Oeste

Percebe-se que o modelo ajustou-se bem aos dados. O valor das estatísticas  $R^2$ , DW e F são adequados e as autocorrelações no correlograma não são significativas e o modelo acompanha bem a série de dados observados.

### 3.4.4. – Região Sudeste

Através de técnicas de regressão dinâmica, com temperatura média sendo a variável explicativa e chuvas sendo a variável resposta ajustou-se o modelo, cujos resultados são apresentados a seguir:

Tabela 14: Dados da regressão do modelo ajustado da região Sudeste

A equação de regressão é:  $CH-SD\ 2009\ a\ 2011 = -2180 + 116\ TM-SD\ 2009\ a\ 2011$

| Preditor          | Coef    | SE Coef | T     | P     |
|-------------------|---------|---------|-------|-------|
| Constante         | -2179.6 | 497.4   | -4.38 | 0.000 |
| TM-SD 2009 a 2011 | 116.35  | 21.14   | 5.50  | 0.000 |

S = 289.877 R-Sq = 47.1% R-Sq(adj) = 45.6%

#### Análise de Variância

| Fonte        | DF | SS      | MS      | F     | P     |
|--------------|----|---------|---------|-------|-------|
| Regressão    | 1  | 2545684 | 2545684 | 30.30 | 0.000 |
| Erro Resíduo | 34 | 2856976 | 84029   |       |       |
| Total        | 35 | 5402660 |         |       |       |

**Durbin-Watson statistic = 2.04989**

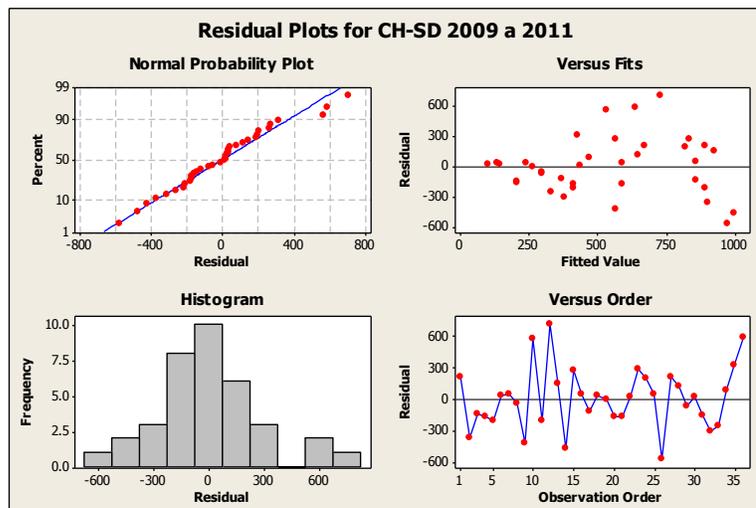


Figura 28: Gráfico dos resíduos do modelo ajustado da Região Sudeste

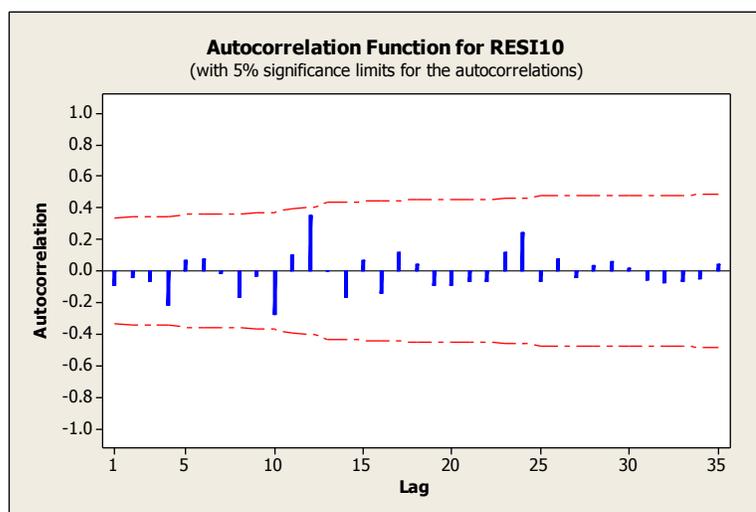


Figura 29: FAC dos resíduos do modelo ajustado da região Sudeste

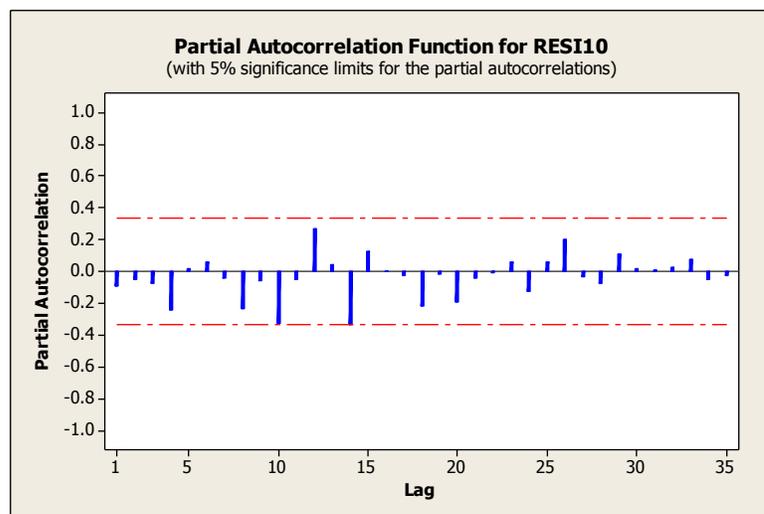


Figura 30: FACP dos resíduos do modelo ajustado da região Sudeste

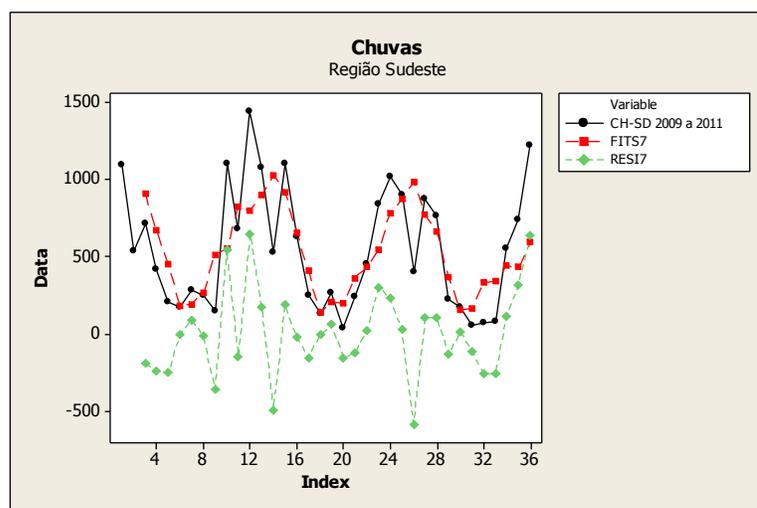


Figura 31: Modelo ajustado X dados reais e os resíduos da Região Sudeste

O modelo ajustado de regressão é  $-2180 + 116 \text{ TM-SD } 2009 \text{ a } 2011$ .  $R^2$  é 47,1%. Conforme verifica-se no gráfico de dispersão a relação entre as variáveis não é totalmente linear. O índice de correlação é de apenas 0,686, por isto  $R^2$  ficou baixo. O valor da estatística DW está adequado e não há autocorrelações saindo do IC no correlograma. O modelo ajustado acompanha bem a série de dados reais observado, portanto o modelo está adequado.

### 3.4.5. – Região Sul

Para esta região, ajustou-se um modelo MA(2), cujos resultados são apresentados a seguir:

Tabela 15: Dados do modelo ajustado da Região Sul

| Tipo      | Coef    | SE Coef | T     | P     |
|-----------|---------|---------|-------|-------|
| MA 1      | -0.7257 | 0.1294  | -5.61 | 0.000 |
| MA 2      | -0.7550 | 0.1279  | -5.90 | 0.000 |
| Constante | 445.21  | 56.36   | 7.90  | 0.000 |
| Média     | 445.21  | 56.36   |       |       |

Número de observações: 36

Resíduos: SS = 669271 (backforecasts excluídos)

MS = 20281 DF = 33

Modificado Box-Pierce (Ljung-Box) estatística qui-quadrado

|            |       |       |    |    |
|------------|-------|-------|----|----|
| Lag        | 12    | 24    | 36 | 48 |
| Chi-Square | 14.8  | 28.0  | *  | *  |
| DF         | 9     | 21    | *  | *  |
| P-Value    | 0.097 | 0.140 | *  | *  |

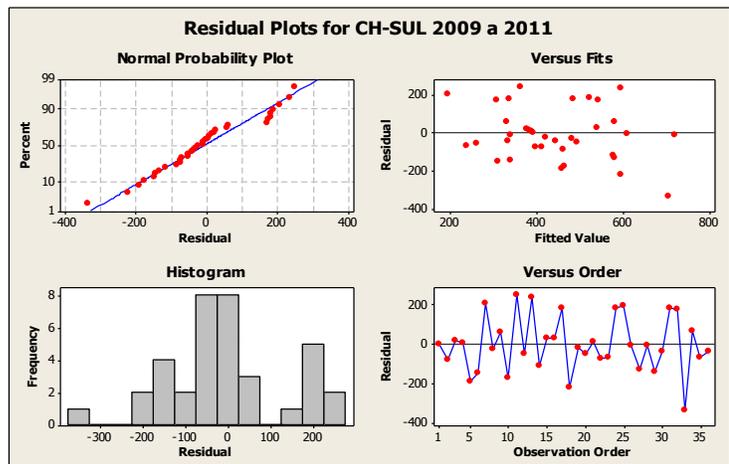


Figura 32: Gráfico dos resíduos do modelo ajustado da Região Sul

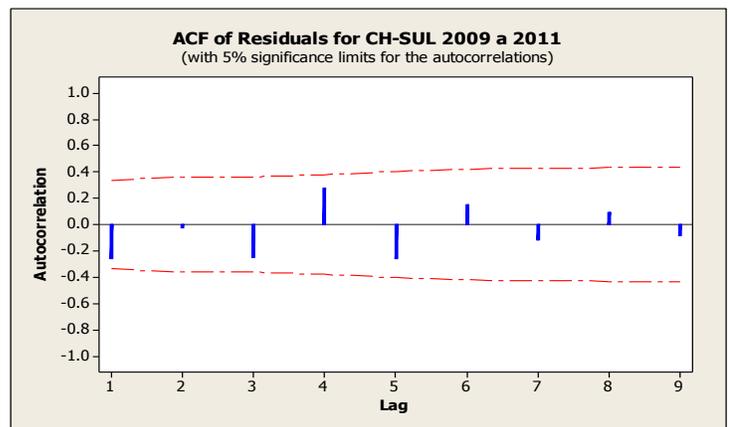


Figura 33: FAC dos resíduos do modelo ajustado da região Sul

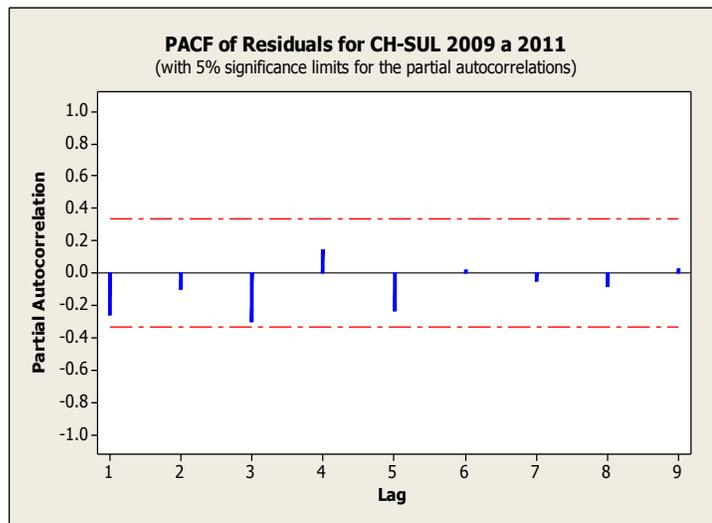


Figura 34: FACP dos resíduos do modelo ajustado da região Sul

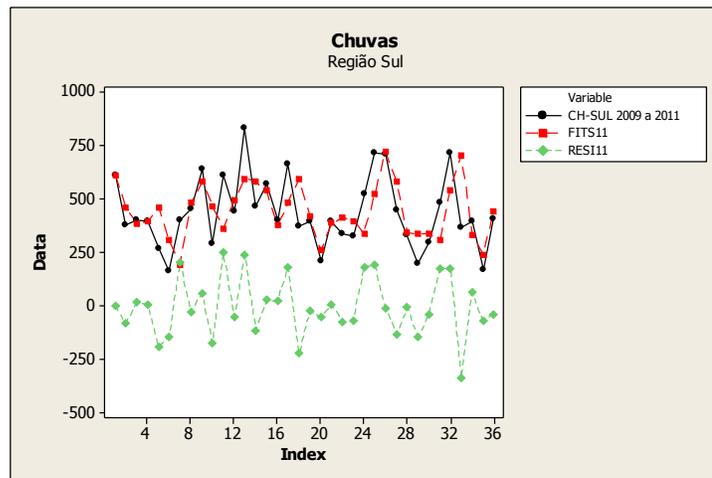


Figura 35: Modelo ajustado X dados reais e os resíduos da Região Sul

Uma vez que P-Value está adequado, não há autocorrelações significativas no FAC e FACP e o modelo ajustado acompanha bem a série de dados reais o modelo é satisfatório.

#### **4 – CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O presente trabalho estudou as temperaturas médias e o índice pluviométrico observados no Brasil no período 2009-2011 em comparação com as normais climatológicas de 1961-1990 e comparou os resultados alcançados com a opinião de estudiosos no assunto.

Concluiu-se que o aumento nas temperaturas médias já é uma realidade em todo o Brasil. Quanto ao índice pluviométrico conclui-se que o mesmo não possui diferenças significativas, exceto nas regiões Sul e Sudeste, onde verificou-se um aumento nesta variável.

Através de técnicas de análise de séries temporais foram propostos vários modelos para acompanhar a série real do ano de 2011, até que se chegasse a conclusão de qual deles melhor acompanhava a série real e conseqüentemente é o mais adequado para o caso.

O trabalho atendeu ao objetivo proposto e pode ser utilizado como uma importante ferramenta para tomada de decisões de políticas ligadas aos efeitos que as variações naturais do clima e as mudanças climáticas possam ocasionar e ao mesmo tempo demonstrou que o aumento na temperatura média apontado pelos estudiosos está de fato já ocorrendo nas cinco regiões do Brasil.

## 5 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

GONÇALVES, Cintia de Oliveira. Perspectivas da siderurgia brasileira para os próximos 10 anos: uma análise por vetores autoregressivos 2011. 55 f. Monografia (Especialização em Estatística)- Departamento de Estatística, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA, Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>. Acesso em 08/02/2013.

MAGALHAES, Marcos Nascimento e LIMA, Antônio Carlos Pedroso de, Noções de Probabilidade e Estatística. 6º edição, São Paulo, Universidade de São Paulo, 2004.

MARENCO, José A., Valverde C., Caracterização do clima no Século XX e Cenário de Mudanças de clima para o Brasil no Século XXI usando os modelos do IPCC-AR4. São Paulo, Edição nº 08, Maio/2007, 01-28.

MONTGOMERY, Douglas C. e RUNGER, George C., Estatística Aplicada e Probabilidade para Engenheiros, 4º Edição, Rio de Janeiro, LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda, 2009.

MORETTIN, Pedro.A. e TOLOI, Clélia M.C. Análise de Séries Temporais, 2º Edição, São Paulo, Edgard Blücher, 2006.