



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ**  
**INSTITUTO DE TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**



**FRANCIANI PANTOJA MENEZES**

**AVALIAÇÃO ESPACIAL E SAZONAL DA PRECIPITAÇÃO NO  
ESTADO DO PARÁ**

**ORIENTADOR: PROF. DR. LINDEMBERG LIMA FERNANDES**

**BELÉM-PA**

**2013**

**FRANCIANI PANTOJA MENEZES**

**AVALIAÇÃO ESPACIAL E SAZONAL DA PRECIPITAÇÃO NO  
ESTADO DO PARÁ**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal do Pará, como requisito para a obtenção do Título de Mestre em Engenharia Civil, Área de Concentração Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental.

Orientador: Prof<sup>o</sup>. Dr. Lindemberg Lima Fernandes.

**BELÉM-PA**

**2013**



## AVALIAÇÃO ESPACIAL E SANZONAL DA PRECIPITAÇÃO NO ESTADO DO PARÁ.

AUTORA:

**FRANCIANI PANTOJA MENEZES**

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA A BANCA EXAMINADORA APROVADA PELO COLEGIADO DO CURSO DE MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL DO INSTITUTO DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ, COMO REQUISITO PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL NA ÁREA DE RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO AMBIENTAL.

APROVADA EM: 21/10/2013

BANCA EXAMINADORA:

  
Prof. Dr. LINDÉMBERG LIMA FERNANDES  
Orientador

  
Prof. Dr. ANDRÉ AUGUSTO AZEVEDO MONTENEGRO DUARTE  
Membro Interno

  
Prof. Dr. EDSON JOSÉ PAULINO DA ROCHA  
Membro Externo

Visto:

  
Prof. CLAUDIO JOSÉ CAVALCANTE BLANCO, Ph.D  
Coordenador do PPGEC / ITEC / UFPA

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

---

Menezes, Franciani Pantoja, 1986-

Avaliação espacial e sazonal da precipitação  
no estado do Pará / Franciani Pantoja Menezes.  
- 2013.

Orientador: Lindemberg Lima Fernandes.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal  
do Pará, Instituto de Tecnologia, Programa de  
Pós-Graduação em Engenharia Civil, Belém, 2013.

1. Recursos hídricos - Desenvolvimento. 2.  
Precipitação (Meteorologia) - Pará. 3. Saúde  
ambiental - Pará. 4. Engenharia civil. I.  
Título.

CDD 23. ed. 627

## **DEDICATÓRIA**

À memória da minha avó Graziela, que hoje está na companhia de Deus e deixou saudades de seus ensinamentos e dos momentos de felicidade e cumplicidade.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus pela sabedoria e força para superar as dificuldades.

Aos meus pais Deonata e Celino pelo carinho, amor, dedicação, presença constante, incentivo nos momentos difíceis e por serem maravilhosos.

As minhas irmãs Francineth e Francilene pelo companheirismo, amizade e ajuda.

Ao meu namorado Thyago que me ajudou a superar os dias de cansaço e desânimo com amor e compreensão.

Ao meu tio Osvaldo e minha prima Milene por estarem presentes em minha vida, sempre dispostos a me auxiliar.

Ao meu orientador Professor Lindemberg Lima Fernandes por gentilmente aceitar contribuir com o desenvolvimento deste estudo, pelo incentivo, paciência, amizade, oportunidade e pela orientação durante o estágio docência que foi um grande aprendizado.

Aos Professores André Montenegro e Edson Rocha por aceitarem participar da Banca Examinadora e pelas críticas e sugestões, oferecidas durante a qualificação que foram importantes para a conclusão deste estudo.

A minha amiga Liliane pelo incentivo e convivência.

A Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado do Pará – FAPESPA pela bolsa de estudo concedida, que possibilitou o desenvolvimento deste trabalho.

A todos que contribuíram, mesmo que indiretamente para a concretização deste estudo, muito obrigada.

## RESUMO

O objetivo deste estudo foi avaliar a variabilidade espacial e sazonal da precipitação no Estado do Pará. Foram utilizados dados mensais e anuais de precipitação de 66 estações pluviométricas, disponíveis na rede hidrometeorológica da Agência Nacional de Águas - ANA, relativos ao período de 1982 a 2011. Os dados foram sistematizados com o auxílio de planilhas eletrônicas do Microsoft Excel. As séries históricas que apresentavam falhas, estas foram corrigidas e consistidas. O Pará é o segundo maior estado brasileiro em extensão e detém grande diversidade de recursos naturais. Em termos de densidade, o estado, bem como as 7 regiões hidrográficas apresentaram baixa densidade de estações pluviométricas, não atendendo as recomendações da OMM quanto a densidade mínima de postos pluviométricos, são áreas que necessitam de um melhor monitoramento. Quanto a sazonalidade, a precipitação apresenta duas estações distintas, uma seca (inverno e primavera do Hemisfério Sul), com precipitações inferiores a 100 mm, e outra chuvosa (verão e outono do Hemisfério Sul) com precipitações superiores a 200 mm. Os resultados obtidos através dos testes de Mann-Kendall e Spearman não detectaram nenhuma tendência de aumento ou diminuição da precipitação no período estudado. Através da análise de agrupamento das precipitações mensais, foram definidas 3 Regiões Homogêneas, com características climáticas semelhantes (R1, R2 e R3) para o estado do Pará.

**Palavras-Chave:** Estado do Pará. Precipitação. Regiões Homogêneas. Sazonalidade. Tendência.

## ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the spatial variability and seasonal rainfall in the State of Para. Were used monthly data and annual rainfall of 66 rainfall stations available in hydrometeorological network of National Water Agency - ANA for the period 1982 - 2011. The data were organized with the help of Microsoft Excel spreadsheets. The historical series that fail, these were corrected and consisted. Para is the second largest Brazilian state holds great extent and diversity of natural resources. In terms of density, the state, as well as the seven river basin showed low density of rainfall stations do not comply with the recommendations of the WMO as the minimum density of rain gauges, are areas that require better monitoring. As for seasonality, precipitation shows two distinct seasons, a drought (winter and spring in the Southern Hemisphere), with rainfall less than 100 mm, and a rainy season (summer and autumn in the Southern Hemisphere) with rainfall exceeding 200 mm. The results obtained by the Mann - Kendall and Spearman did not detect any trend of increase or decrease in rainfall during the study period. Through cluster analysis of monthly precipitation were defined 3 Homogeneous Regions with similar climatic characteristics (R1, R2 and R3) to the state of Para.

**Keywords:** State of Para. Precipitation. Homogeneous Regions. Seasonality. Trend

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Componentes do Ciclo Hidrológico.....	18
<b>Figura 2</b> - Classificação das Precipitações.....	20
<b>Figura 3</b> - Análise de Dupla-Massa: (a) situação ideal e (b) anormalidade.....	24
<b>Figura 4</b> - Método das Isoietas.....	26
<b>Figura 5</b> - Isoietas da Precipitação Média Anual no Brasil no Período de 1977 – 2006.....	28
<b>Figura 6</b> - Distribuição Sazonal da Precipitação no Brasil (1961-1990).....	29
<b>Figura 7</b> - Efeitos Globais Ocasionados pelo El Niño.....	34
<b>Figura 8</b> - Efeitos Globais Ocasionados pela La Niña.....	35
<b>Figura 9</b> - Linha de Instabilidade na Amazônia.....	37
<b>Figura 10</b> - Mapa de Localização do Estado do Pará e sua Divisão Hidrográfica.	39
<b>Figura 11</b> - Precipitação Média Anual para o Estado do Pará (1970-2007).....	44
<b>Figura 12</b> - Mapa de Cobertura e Uso da Terra no Pará.....	46
<b>Figura 13</b> - Número de Estações Pluviométricas por Região Hidrográfica (1982 a 2011).....	54
<b>Figura 14</b> - Análise de Consistência da Estação Altamira.....	55
<b>Figura 15</b> - Distribuição Espacial das Estações Pluviométricas (1982 a 2011).....	56
<b>Figura 16</b> - Precipitação Sazonal (1982-2011): (a) Verão (b) Outono (c) Inverno (d) Primavera.....	58
<b>Figura 17</b> - Sazonalidade da precipitação (1982-2011).....	59
<b>Figura 18</b> - Precipitação Média: Ano de 1982.....	60
<b>Figura 19</b> - Precipitação Média: Ano de 1983.....	61
<b>Figura 20</b> - Precipitação Média: Ano de 1984.....	61
<b>Figura 21</b> - Precipitação Média: Ano de 1985.....	62
<b>Figura 22</b> - Precipitação Média: Ano de 1986.....	62
<b>Figura 23</b> - Precipitação Média: Ano de 1987.....	63
<b>Figura 24</b> - Precipitação Média: Ano de 1988.....	63
<b>Figura 25</b> - Precipitação Média: Ano de 1989.....	64
<b>Figura 26</b> - Precipitação Média: Ano de 1990.....	64
<b>Figura 27</b> - Precipitação Média: Ano de 1991.....	65
<b>Figura 28</b> - Precipitação Média: Ano de 1992.....	65
<b>Figura 29</b> - Precipitação Média: Ano de 1993.....	66

<b>Figura 30</b> - Precipitação Média: Ano de 1994.....	66
<b>Figura 31</b> - Precipitação Média: Ano de 1995.....	67
<b>Figura 32</b> - Precipitação Média: Ano de 1996.....	67
<b>Figura 33</b> - Precipitação Média: Ano de 1997.....	68
<b>Figura 34</b> - Precipitação Média: Ano de 1998.....	68
<b>Figura 35</b> - Precipitação Média: Ano de 1999.....	69
<b>Figura 36</b> - Precipitação Média: Ano de 2000.....	69
<b>Figura 37</b> - Precipitação Média: Ano de 2001.....	70
<b>Figura 38</b> - Precipitação Média: Ano de 2002.....	70
<b>Figura 39</b> - Precipitação Média: Ano de 2003.....	71
<b>Figura 40</b> - Precipitação Média: Ano de 2004.....	71
<b>Figura 41</b> - Precipitação Média: Ano de 2005.....	72
<b>Figura 42</b> - Precipitação Média: Ano de 2006.....	72
<b>Figura 43</b> - Precipitação Média: Ano de 2007.....	73
<b>Figura 44</b> - Precipitação Média: Ano de 2008.....	73
<b>Figura 45</b> - Precipitação Média: Ano de 2009.....	74
<b>Figura 46</b> - Precipitação Média: Ano de 2010.....	74
<b>Figura 47</b> - Precipitação Média: Ano de 2011.....	75
<b>Figura 48</b> - Dendrograma de Agrupamento das Estações Pluviométricas.....	77
<b>Figura 49</b> - Espacialização das Estações Pluviométricas por Região Homogênea e Histogramas da Precipitação Média mensal.....	78

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Densidade Mínima de Redes Pluviométricas (Modelo Original).....	30
<b>Tabela 2</b> - Densidade Mínima de Redes Pluviométricas (Modelo Revisado).....	31
<b>Tabela 3</b> - Densidade de Estações Pluviométricas na Amazônia Legal.....	31
<b>Tabela 4</b> - Ocorrências de El Niño e La Niña.....	36
<b>Tabela 5</b> - Densidade de Estações Pluviométricas por Região Hidrográfica.....	57
<b>Tabela 6</b> - Volume Anual Precipitado (Km <sup>3</sup> ).....	75
<b>Tabela 7</b> - Análise de Tendência: Mann-Kendall e Spearman.....	77

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas
AB	Alta Bolívia
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
CMB	Comissão Mundial de Barragens
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INCRA	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
NOAA	National Oceanic And Atmospheric Administration
OMM	Organização Meteorológica Mundial
RPCH	Rede de Previsão Climática e Hidrometeorológica do Pará
SECTAM	Secretaria Executiva de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente
SEMA	Secretaria Estadual de Meio Ambiente
TSM	Temperatura da Superfície do Mar
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	15
1.1 OBJETIVOS.....	17
<b>1.1.1 Objetivo Geral</b> .....	17
<b>1.1.2 Objetivos Específicos</b> .....	17
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	18
2.1 CICLO HIDROLÓGICO.....	18
2.2 PRECIPITAÇÃO.....	19
<b>2.2.1 Classificação das Precipitações</b> .....	19
<b>2.2.2 Grandezas e Medidas</b> .....	20
2.3 ANÁLISE DE DADOS PLUVIOMÉTRICOS.....	21
<b>2.3.1 Preenchimento de Falhas</b> .....	22
<b>2.3.2 Análise de Consistência de Séries Pluviométricas</b> .....	23
<b>2.3.3 Precipitação Média em uma Área</b> .....	25
<b>2.3.4 Volume Precipitado</b> .....	27
2.4 VARIABILIDADE DA PRECIPITAÇÃO.....	27
2.5 DENSIDADE MÍNIMA DE REDES PLUVIOMÉTRICAS SEGUNDO A OMM...	30
2.6 TESTE DE TENDÊNCIA DE SERIES TEMPORAIS.....	32
2.7 REGIONALIZAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO.....	32
<b>2.7.1 Métodos e Análise de Agrupamento</b> .....	33
2.8 PRINCIPAIS SISTEMAS ATMOSFÉRICOS ATUANTES SOBRE A REGIÃO AMAZÔNICA.....	33
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	39
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	39
<b>3.1.1 Características Climáticas</b> .....	43
<b>3.1.2 Uso e Ocupação do Solo</b> .....	45
3.2 MATERIAIS UTILIZADOS.....	47
3.3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	47
<b>3.3.1 Coleta e Sistematização dos Dados</b> .....	47
<b>3.3.2 Análise das Séries Históricas</b> .....	48
<b>3.3.3 Análise de Consistência dos Dados de precipitação</b> .....	49
<b>3.3.4 Plotagem das Estações Pluviométricas</b> .....	49
<b>3.3.5 Mapas de Isoietas</b> .....	49

<b>3.3.6 Cálculo do Volume Precipitado.....</b>	<b>49</b>
<b>3.3.7 Análise de Tendência.....</b>	<b>50</b>
<b>3.3.8 Regionalização da Precipitação.....</b>	<b>52</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>54</b>
4.1 BANCO DE DADOS.....	54
4.2 CONSISTÊNCIA DAS SÉRIES HISTÓRICAS.....	54
4.3 DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DAS ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS POR REGIÃO HIDROGRÁFICA.....	55
4.4 SAZONALIDADE DA PRECIPITAÇÃO.....	57
4.5 PRECIPITAÇÃO ANUAL.....	59
4.6 VOLUME ANUAL E TENDÊNCIA TEMPORAL.....	75
4.7 REGIÕES HOMOGÊNEAS DE PRECIPITAÇÃO.....	77
<b>5 CONCLUSÕES .....</b>	<b>80</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>81</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>89</b>
ANEXO A.....	90

## 1 INTRODUÇÃO

A precipitação constitui-se na variável climática que exerce maior influência na qualidade do meio ambiente, compreender a sua variabilidade é essencial, pois além de ser um agente regulador da produção agrícola é a variável climática mais importante nas regiões tropicais.

O estudo da distribuição espacial, temporal e sazonal da precipitação é de extrema importância para o planejamento e a gestão dos Recursos Hídricos, uma vez que serve de ferramenta para entender os fenômenos atmosféricos e detectar possíveis tendências ou alterações no clima. Para o planejamento adequado dos recursos hídricos, é necessário dispor de instrumentos que permitam a quantificação de sua disponibilidade e possam constituir fundamento para sua adequada gestão (JÚNIOR; *et al.*, 2006).

A região amazônica segundo Alcântara (2011) sofre influência de vários sistemas atmosféricos com variações espaciais e temporais bastante diferenciadas. Os fenômenos El Niño e La Niña, por exemplo, afetam diretamente a circulação atmosférica definindo alterações na precipitação, podendo atingir a produtividade agrícola.

Estudos sobre tendências climáticas adquirem grande importância ao ser considerado que na agricultura brasileira, a precipitação pluvial é um importante fator de risco. A variabilidade espacial da precipitação pluviométrica no Pará tem sido um dos fatores que limitam a estabilização da produção agrícola no estado (SAGRI, 1996).

O Estado do Pará é privilegiado em termo de recursos hídricos, detém as maiores reservas de água doce do planeta, é o quinto maior produtor e o terceiro maior exportador de energia do Brasil, um insumo de extrema importância para o desenvolvimento do país. Na Amazônia, principalmente no estado do Pará, a infraestrutura de energia elétrica apresenta importância ímpar quanto ao papel indutor do desenvolvimento das atividades produtivas. A geração de energia hidrelétrica é um fator importante para o desenvolvimento da economia do estado principalmente a mineral (PEREIRA; *et al.*, 2008), e que depende, do regime de precipitação.

O estudo da sazonalidade da precipitação pluvial no Estado do Pará torna-se interessante sob diversos aspectos, mas principalmente aqueles relacionados a

dinâmica ambiental, onde a delimitação dos períodos e áreas de maior e menor concentração pluviométrica tornam-se importante para a gestão do recursos hídricos do Estado.

A análise climática de locais ou regiões através da análise multivariada mostra-se interessante, pois através desta análise é possível identificar estações meteorológicas cujos padrões do comportamento da precipitação pluvial são semelhantes.

A regionalização permitir o aprimoramento da rede de coleta de dados hidrológicos, a medida que a metodologia explora melhor as informações disponíveis e identifica as lacunas (TUCCI, 2009). O objetivo deste estudo é dar uma contribuição aos estudos das condições climáticas do Estado do Pará, visando a uma melhor Classificação Climática por meio da identificação de regiões homogêneas de precipitação.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

Estudar a variabilidade espacial e sazonal da precipitação no Estado do Pará no período de 30 anos (1982 a 2011).

### 1.1.2 Objetivos Específicos

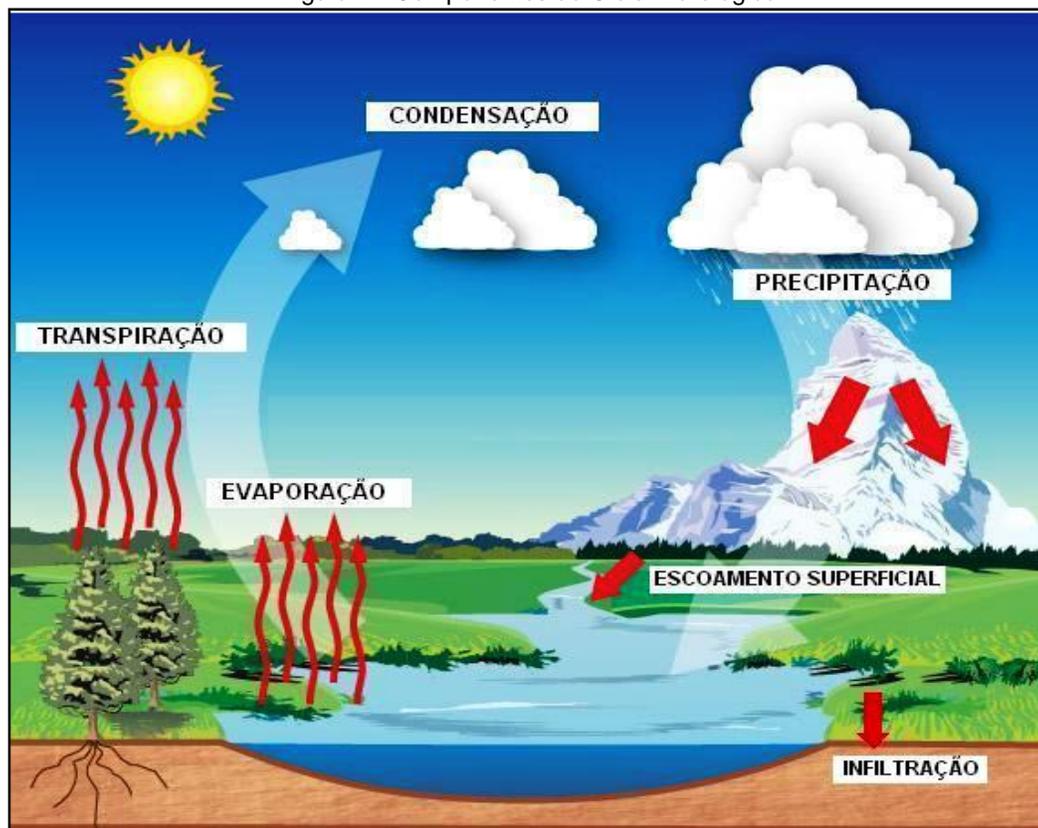
- ✓ Caracterizar as principais bacias hidrográficas do estado;
- ✓ Avaliar a distribuição espacial e temporal da precipitação no estado do Pará;
- ✓ Avaliar a distribuição espacial das estações pluviométricas, correlacionando com as recomendações da OMM;
- ✓ Avaliar a distribuição sazonal da precipitação no Pará;
- ✓ Gerar mapas anuais georeferenciados de precipitação, representados através de curvas de isoietas;
- ✓ Calcular o volume anual precipitado no estado do Pará no período de 30 anos e verificar a tendência da precipitação através dos testes de Mann Kendall e Spearman;
- ✓ Identificar estações pluviométricas com padrões do comportamento da precipitação semelhantes, visando a regionalização.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 CICLO HIDROLÓGICO

A água é um elemento essencial à existência de todas as vidas e fundamental para a manutenção dos ciclos biogeoquímicos. Está em constante movimento no planeta Terra, em diferentes estados físicos: sólido, líquido e gasoso, passando por um enorme processo de reciclagem chamado de ciclo hidrológico ou ciclo da água (Figura 1).

Figura 1 - Componentes do Ciclo Hidrológico



Fonte: Adaptado de NOAA (2011)

Este ciclo é impulsionado pela energia solar associada a força gravitacional e a rotação terrestre, podendo sendo considerado como um sistema fechado, permanecendo constante em termos quantitativos, sem troca de matéria. Mas como há uma grande quantidade de matéria (água) possível de ingressar no ciclo hidrológico através de atividades vulcânicas, meteoros e cometas, pode ser

caracterizado também como um sistema aberto (ABREU; DUARTE; RIBEIRO; LIMA; SOUZA, 2005).

A precipitação é a etapa do ciclo hidrológico responsável pela transferência das águas da atmosfera para a superfície terrestre. A chuva é a forma mais comum de precipitação. Fatores como temperatura, cobertura vegetal, altitude, tipo do solo, topografia e geologia, exercem influência sobre a quantidade e a velocidade com que a água se movimenta nas diversas fases deste ciclo.

## 2.2 PRECIPITAÇÃO

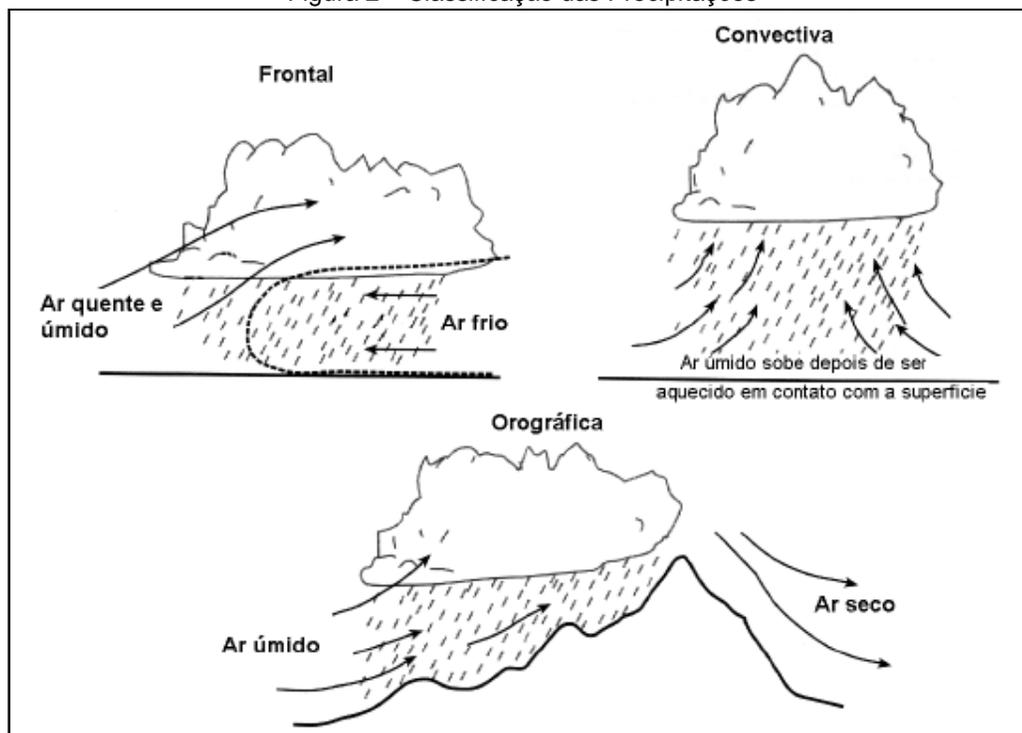
Toda água da atmosfera que atinge a superfície terrestre na forma de chuva, neve, granizo e orvalho é chamada de precipitação. É a variável do ciclo hidrológico que apresenta a maior variabilidade espacial (COLLISCHONN, 2006). No Brasil a chuva é a forma mais importante de precipitação, sendo que em algumas regiões ela pode ocorrer na forma de granizo e neve. Em regiões tropicais a chuva assume papel importante como fornecedora de insumo hídrico essencial à produtividade agrícola (LUCENA; *et al.*, 2012).

### 2.2.1 Classificação das Precipitações

As precipitações são classificadas de acordo com as condições pelas quais se produz a ascensão de massas de ar. Essas condições são criadas em função de fatores tais como convecção térmica, relevo e ação frontal de massas de ar. Desta forma, as precipitações podem ser classificadas em: convectivas; orográficas; frontais ou ciclônicas (Figura 2).

As chuvas convectivas segundo Tucci (2009) são caracterizadas pela alta intensidade e curta duração, ocorrem através do aquecimento das massas de ar que se encontram próximas a superfície, o que pode ocasionar a ascensão do ar aquecido para níveis mais altos da atmosfera onde as baixas temperaturas condensam o vapor, formando nuvens, o que pode ou não resultar em chuva. São chuvas características de regiões tropicais onde os ventos são fracos e os movimentos de ar são essencialmente verticais.

Figura 2 – Classificação das Precipitações



Fonte: Collischonn (2006)

As precipitações orográficas são de pequena intensidade e grande duração, ocorrem em regiões onde existem barreiras topográficas, como uma cordilheira, por exemplo, que impede a passagem de ventos quentes e úmidos que sopram do oceano para o continente, forçando o ar a subir. Em maiores altitudes a umidade do ar se condensa, formando as nuvens e ocorrência de chuva (TUCCI, 2009).

Já as chuvas frontais ou ciclônicas ocorrem quando duas massas de ar de diferentes temperatura e umidade se encontram, o ar mais quente é empurrado para cima rapidamente, onde atinge temperaturas mais baixas, resultando na condensação do vapor, de forma a produzir chuva. Caracterizam-se pela longa duração e por atingirem grandes extensões. No Brasil de acordo com Collischonn (2006) as chuvas frontais são muito frequentes na região Sul, atingindo também as regiões Sudeste, Centro-Oeste e por vezes o Nordeste.

### 2.2.2 Grandezas e Medidas

- **Altura pluviométrica:** corresponde a espessura média da lâmina d'água precipitada que recobriria a região atingida pela precipitação, sob a hipótese dessa

região ser plana e não haver infiltração, escoamento ou evaporação da água precipitada. A unidade de medição é milímetro de chuva.

- **Intensidade da precipitação:** normalmente é expressa em mm/h ou mm/min, é a relação entre a altura pluviométrica e a duração da precipitação. Esta grandeza apresenta grande variabilidade temporal, mas em processos hidrológicos, geralmente se define um intervalo de tempo nos quais é considerada constante (TUCCI, 2009).

- **Duração:** é o intervalo entre o início e o término de uma chuva, expresso normalmente em horas ou minutos.

- **Frequência de probabilidade e tempo de recorrência:** é o número médio de anos durante o qual se espera que a precipitação analisada seja igualada ou superada. E o inverso é a probabilidade de um fenômeno igual ou superior ao analisado acontecer em um determinado ano.

Convencionalmente, no Brasil a precipitação é medida através dos aparelhos pluviômetros e pluviógrafos. O pluviômetro consiste em um cilindro receptor de água com medidas padronizadas, com volume suficiente para conter as maiores precipitações dentro de um intervalo de tempo definido para a frequência das observações, segundo Tucci (2009) é um aparelho totalizador que marca a altura de chuva total acumulada num dado período de tempo. Este aparelho é mais utilizado para totalizar a precipitação diária.

Como a chuva apresenta grande variabilidade ao longo do tempo, é necessário o uso de equipamento automático (pluviógrafo) que permiti medir as intensidades das chuvas durante intervalos de tempo inferiores àqueles obtidos com as observações manuais feitas nos pluviômetros. O pluviógrafo é um aparelho que registra automaticamente as variações da precipitação ao longo do tempo. A principal vantagem em relação ao pluviômetro é que permite analisar detalhadamente os eventos de precipitação e sua variação ao longo do dia.

## 2.3 ANÁLISE DE DADOS PLUVIOMÉTRICOS

Para estudos hidrológicos é necessário que as séries sejam de boa qualidade, ou seja, consistentes, representativas e com longos períodos de dados. Séries pluviométricas confiáveis são fundamentais para uma eficaz previsão de

eventos impactantes ao meio ambiente devido a grande influência que a precipitação exerce sobre as condições ambientais (ZANETTI; *et al.*, 2006). A qualidade dos resultados esperados nas estimativas está relacionada com a disponibilidade de dados de precipitação e a qualidade destes, bem como sua distribuição espacial (COSTA; *et al.*, 2012).

As causas mais comuns de erros grosseiros nas observações segundo Tucci (2009) são: a) preenchimento errado do valor na caderneta de campo; b) soma errada do número de provetas, quando a precipitação é alta; c) valor estimado pelo observador, por estar ausente do local no dia da amostragem; d) crescimento de vegetação ou outra obstrução próxima ao posto de observação; e) danificação do aparelho; f) problemas mecânicos no registrador gráfico, e g) urbanização da área onde a estação está localizada.

Entre as principais dificuldades dos estudos do clima amazônico está a falta de dados climáticos representativos e séries que tenham no mínimo 30 anos de dados (FURLAN, 2009). Na bacia Amazônica, a compreensão da precipitação é dificultada pela falta de registros climáticos adequados e contínuos (MARENGO, 2004; ISHIHARA, 2010).

### **2.3.1 Preenchimento de Falhas**

Antes de iniciar um estudo hidrológico de uma região é necessário fazer uma análise das séries históricas das estações pluviométricas. Para Tucci (2009), antes de qualquer tratamento estatístico dos dados, primeiro deve-se identificar e corrigir erros existentes, pois após esta análise as séries poderão apresentar lacunas que deverão ser preenchidas.

A falta de registro de dados de precipitação em estações pluviométricas relativa a problemas com os aparelhos de coleta e a ausência do operador em determinadas épocas, por exemplo, comprometem a continuidade das informações. Os métodos mais usuais para o preenchimento de falhas de acordo com Oliveira; *et al.* (2010) são: ponderação regional; regressão linear; regressão potencial; ponderação regional com base em regressões lineares e vetor regional.

O método da Ponderação Regional com Base em Regressões Lineares foi utilizado neste estudo para o preenchimento das falhas, pois segundo Ramesh e

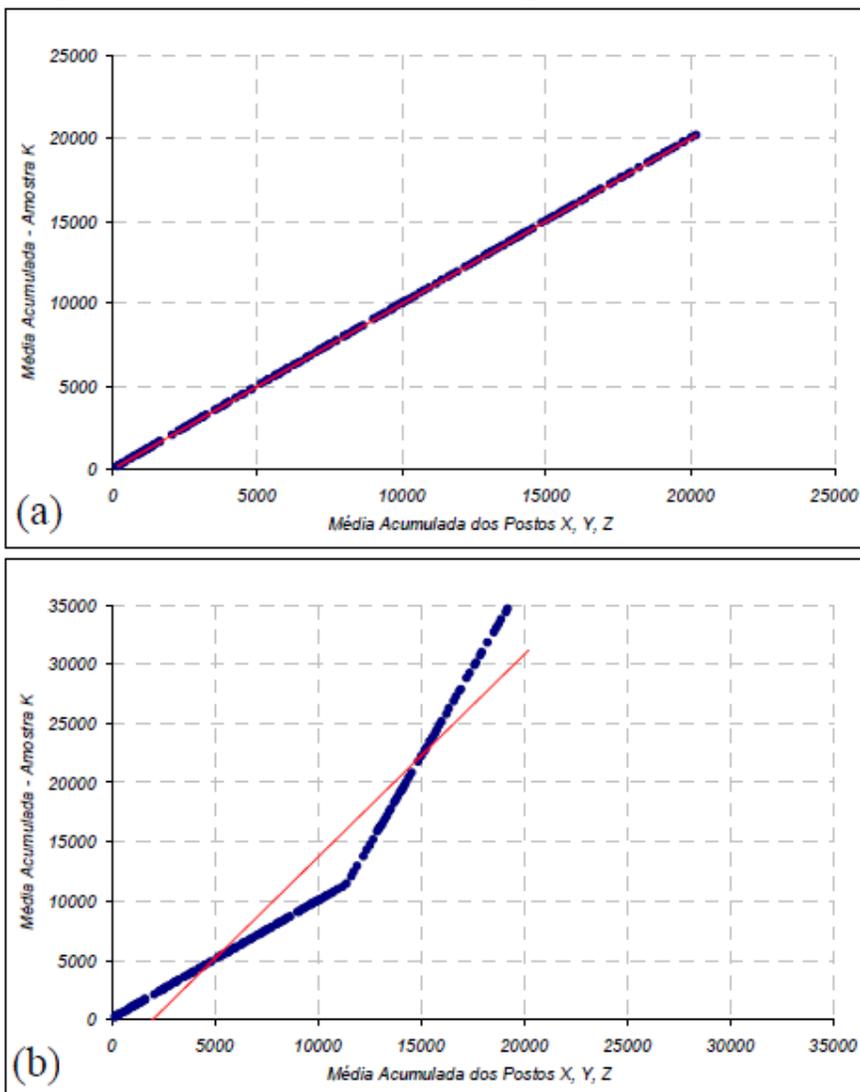
Chandramouli (2005) este método é superior aos demais para estimar dados faltantes de precipitação e avaliar a existência de autocorrelação.

### **2.3.2 Análise de Consistência de Séries Pluviométricas**

Para comprovar o grau de homogeneidade dos dados disponíveis em uma estação pluviométrica com as observações registradas em estações vizinhas, é necessário após o preenchimento das falhas existentes nas séries pluviométricas analisar a consistência dos dados. Um dos métodos mais conhecidos para a análise de consistência é o método da Dupla Massa, desenvolvido pelo Geological Survey (USA), a principal finalidade do método é identificar se ocorreram mudanças no comportamento da precipitação ao longo do tempo, ou mesmo no local de observação.

O método consiste em construir em um gráfico cartesiano uma curva duplo acumulativa, relacionando os totais anuais (ou mensais) acumulados do posto a consistir (nas ordenadas) e a média acumulada dos totais anuais (ou mensais) de vários postos da região (nas abscissas). Se os valores do posto a consistir são proporcionais aos observados na base de comparação, os pontos devem alinhar-se segundo uma única reta (Figura 3a). A declividade da reta determina o fator de proporcionalidade entre ambas as séries. Mas também é possível que os pontos não se alinhem segundo uma única reta (Figura 3b).

Figura 3 - Análise de Dupla-Massa: (a) situação ideal e (b) anormalidade



Fonte: Viana (2009)

Os valores inconsistentes devem ser corrigidos de acordo com a Equação 1 (TUCCI, 2009).

$$P_c = P + \frac{M_a}{M_0} \cdot \Delta P_0 \quad (1)$$

Onde:

$P_c$ : Precipitação acumulada ajustada à tendência desejada;

$P$ : Valor da ordenada correspondente a interseção das retas das duas tendências;

$M_a$ : Coeficiente angular da tendência desejada;

$M_0$ : Coeficiente angular da tendência a corrigir;

$\Delta P_0$ :  $P_0 - P$ , sendo  $P_0$  o valor acumulado a ser corrigido.

### 2.3.3 Precipitação Média em uma Área

A determinação da altura média de precipitação em uma área é importante para o balanço hídrico de uma bacia hidrográfica (TUCCI, 2009). Os métodos mais usuais para determinar a precipitação média em uma área são:

#### a) Método da Média Aritmética

Neste método a precipitação média será a média aritmética dos valores de precipitação medidos na área da bacia, onde todas as estações pluviométricas têm o mesmo peso. É o método mais simples de determinação da precipitação média, e de acordo com Collischonn (2006) os resultados serão satisfatórios se os postos estiverem distribuídos uniformemente sobre a bacia e a altura medida nos postos não variar muito em relação à média.

#### b) Método de Thiessen

No método de Thiessen, primeiro determinam-se as áreas de influência de cada estação, estas áreas são divididas pela área total da região em estudo, assim obtêm-se um peso para cada estação, com estes pesos determina-se a precipitação média da bacia considerando-se para tanto a média ponderada. O método considera a não-uniformidade da distribuição espacial das estações, o que pode torná-lo inviável em algumas situações por não considerar a influência do relevo. A precipitação média é calculada por:

$$P_m = 1/A \cdot \sum A_i P_i \quad (2)$$

Onde:

$A_i$ : área de Influência do Posto  $i$ ;

$P_i$ : Precipitação registrada no posto  $i$ ;

$A$ : Área total da bacia.

### c) Método das Isoietas

O método das isoietas é o mais preciso para avaliar a precipitação média em uma área segundo Villela e Mattos (1975). Neste método em vez de pontos isolados de precipitação, utilizam-se as curvas de igual precipitação (isoietas). A precipitação média é então calculada pelo método das isoietas (Figura 4), multiplicando-se a precipitação média entre isoietas sucessivas pela área entre as isoietas, totalizando-se esse produto e dividindo-se pela área total, conforme Equação 3.

$$\bar{P} = \frac{1}{A} \sum_{i=1}^n \left[ \frac{1}{2} (P_i + P_{i+1}) \cdot A_{i,i+1} \right] \quad (3)$$

Onde:

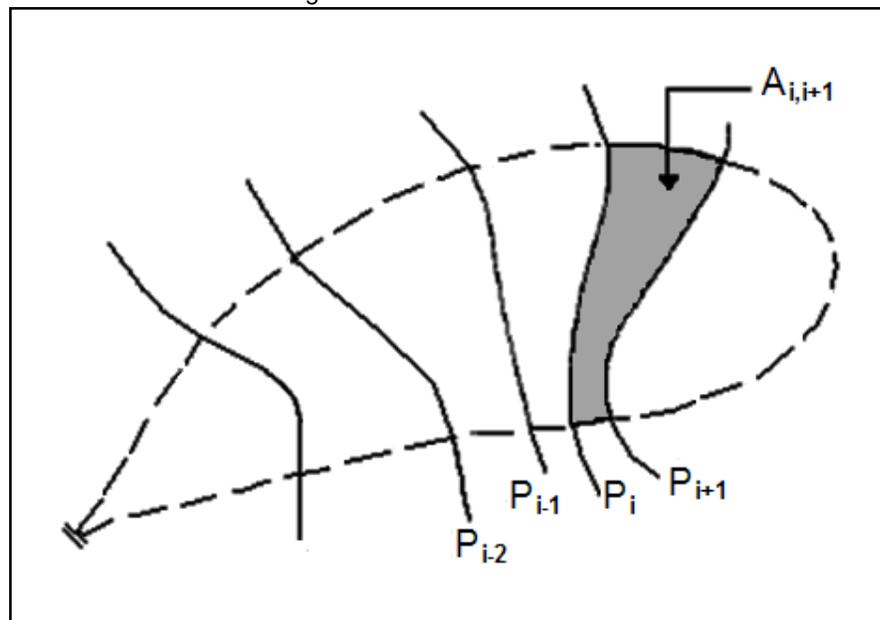
$\bar{P}$  = Precipitação média na bacia (mm);

$P_{i+1}$  = Valor da precipitação para isoietas de ordem  $i+1$ ;

$A_{i,i+1}$  = Área entre isoietas de ordem  $i$  e  $i+1$ ;

$A$  = Área total da bacia (km<sup>2</sup>).

Figura 4 - Método das Isoietas



Fonte: Tucci (2009)

### 2.3.4 Volume Precipitado

Segundo Borges (1992), os principais métodos para calcular o volume precipitado são:

#### a) Por Áreas ou Seções Extremas

O método é baseado na aproximação do espaço real no qual há a necessidade de calcular o volume em um sólido em que se calculam as áreas no plano vertical dos limites e se conhece a distância no plano horizontal que separa estes limites. Geralmente a distância (D) que separa as seções extremas é constante.

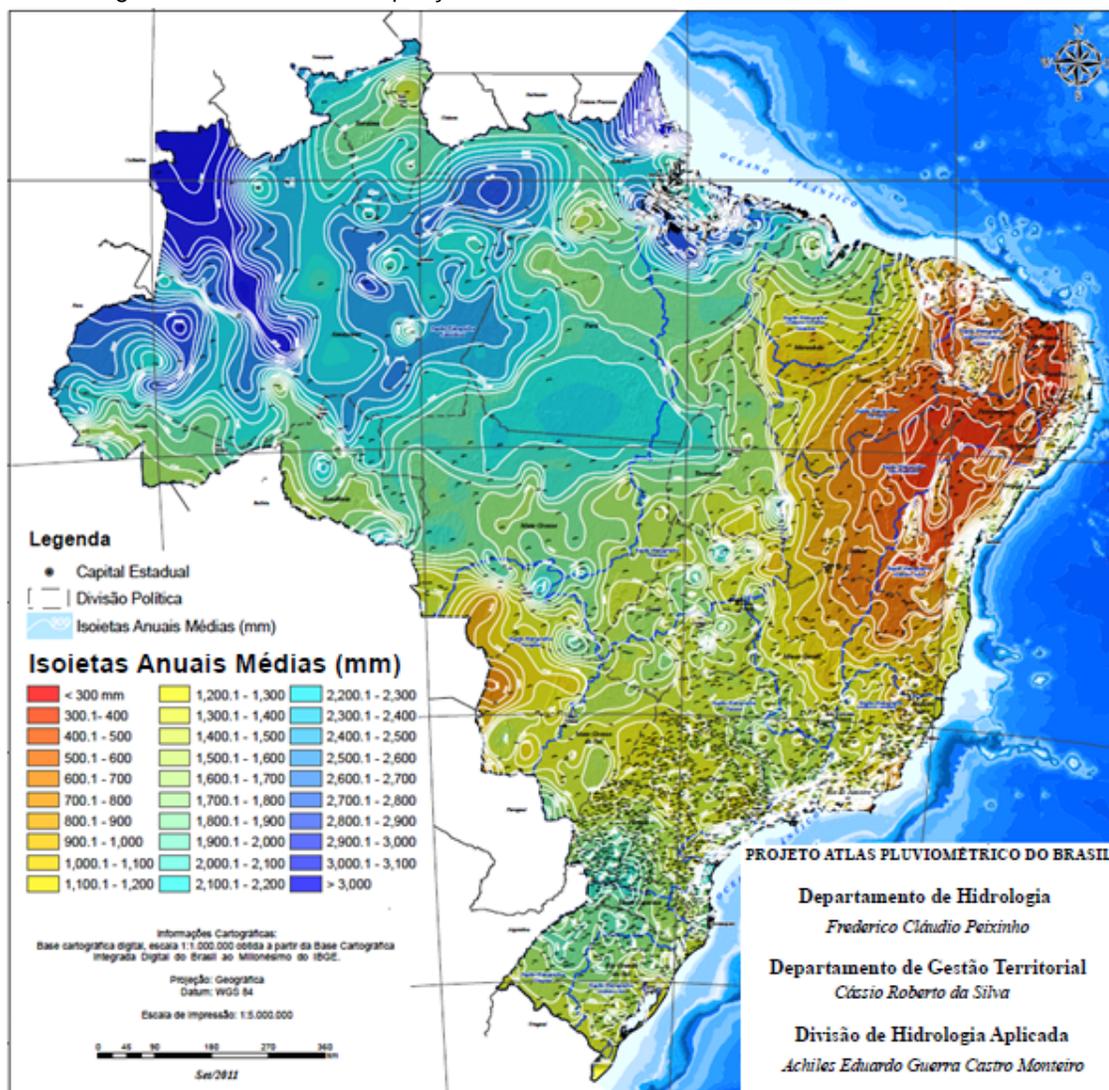
#### b) Por Contornos

No método por contornos o volume é calculado através do produto da área no plano horizontal e a altura média (distância na vertical) entre os contornos ou linhas que delimitam o espaço.

## 2.4 VARIABILIDADE DA PRECIPITAÇÃO

A precipitação na região Norte do Brasil é bastante heterogênea apresentando grande variabilidade espacial e temporal devido as interações de diferentes sistemas atmosféricos (LOUREIRO, 2006). Compreender a variabilidade espaço-temporal e a sazonalidade da precipitação é importante para a obtenção de conhecimentos da dinâmica do balanço hídrico (WONG; *et al.*, 2009). O Brasil, por ser um país de grande extensão territorial, possui diferenciados regimes de precipitação e temperatura. A precipitação média anual do Brasil pode ser observada na Figura 5.

Figura 5 - Isoietas da Precipitação Média Anual no Brasil no Período de 1977 – 2006

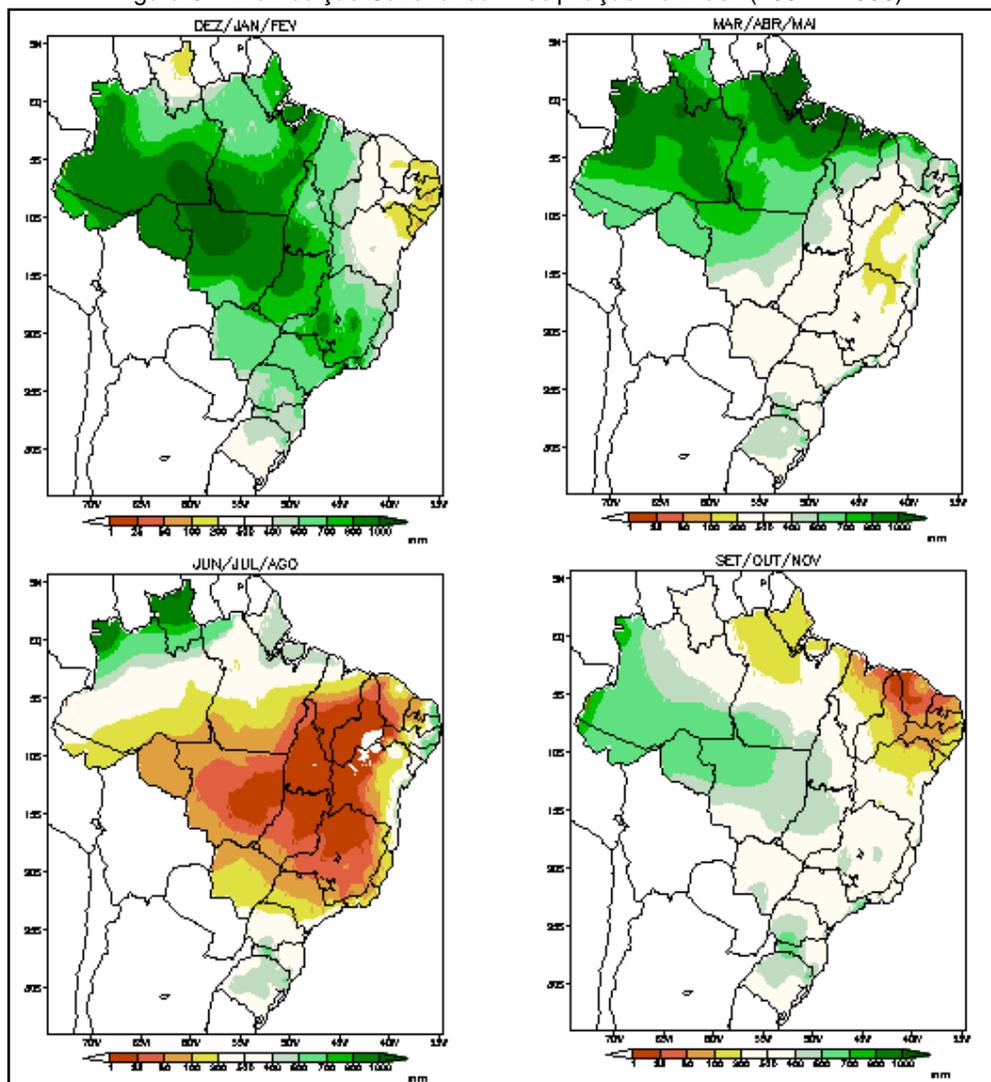


Fonte: Adaptado de CPRM (2011)

A distribuição sazonal da precipitação no Brasil é mostrada na Figura 6, onde podemos observar que no trimestre de Dezembro-Janeiro-Fevereiro (verão austral), as chuvas são mais acentuadas na parte central e na porção sul da Região Norte (INPE, 2012). A distribuição da Chuva neste trimestre mostra uma região de precipitação alta (superior a 900 mm) situada na parte oeste e central da Amazônia em conexão com a posição geográfica da Alta da Bolívia (FISCH; MARENGO; NOBRE, 1998). Figueroa e Nobre (1990), analisaram a distribuição sazonal das precipitações na região da Amazônia e verificaram que nos meses de DJF A precipitação máxima ocorre na porção sul da região, orientada no sentido NW-SE,

coincidindo com uma maior organização e atuação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS).

Figura 6 – Distribuição Sazonal da Precipitação no Brasil (1961 – 1990)



Fonte: INMET (2012)

O trimestre Março-Abril-Maio (MAM) é climatologicamente caracterizado pelos elevados totais de chuva no extremo norte da Região Norte, com precipitação acima de 900 mm, apresentando duas regiões de máxima pluviosidade a nordeste e noroeste, que estão associadas a linhas de instabilidade e a circulação de brisa marítima (KOUSKY, 1980).

Nos meses de Junho-Julho-Agosto, os maiores totais de chuva ocorrem sobre o extremo norte do Amazonas e norte de Roraima, e segundo o INPE (2012) estão

associadas a ocorrência de fenômenos climáticos como a ZCIT e a formação de Linhas de Instabilidade. No trimestre de Setembro-Outubro-Novembro, os totais acumulados atingem valores entre 500 mm e 800 mm no oeste do estado do Amazonas.

## 2.5 DENSIDADE MÍNIMA DE REDES PLUVIOMÉTRICAS SEGUNDO A OMM

A densidade mínima de estações pluviométricas para diferentes zonas climáticas e geográficas são mostradas nas Tabelas 1 e 2. A Tabela 1 mostra a densidade mínima publicada pela OMM em 1984, ainda em seu perfil original. Com o intuito de melhorar a precisão dos limites de densidades pluviométricas para uma rede mínima, a OMM publicou em 1994 um novo procedimento, constando agora de sete unidades fisiográficas diferentes (Tabela 2).

Tabela 1 - Densidade Mínima de Redes Pluviométricas (Modelo Original)

<b>Características Fisiográficas</b>	<b>Limite das Normas para uma Rede Mínima</b> Área (em Km <sup>2</sup> ) por estação	<b>Limite das Normas Admissíveis em Circunstâncias Difíceis</b> Área (em Km <sup>2</sup> ) por estação
Regiões planas de zonas temperadas, mediterrâneas e tropicais;	600 – 900	900 – 3.000
Regiões montanhosas de zonas temperadas, mediterrâneas;	100 – 250	250 – 1.000
Pequenas ilhas montanhosas com precipitação muito irregular e rede hidrológica muito densa;	25	-
Zonas áridas e polares	1.500 – 10.000	-

Fonte: Adaptado de OMM (1984)

Tabela 2 - Densidade Mínima de Redes Pluviométricas (Modelo Revisado)

Unidades Fisiográficas	Densidade Mínima por Estação (Km <sup>2</sup> /estação)	
	Sem Registrador	Com Registrador
Zonas Costeiras	900	9.000
Zonas Montanhosas	250	2.500
Planas e Interiores	575	5.750
Montanhosas/Onduladas	575	5.750
Pequenas Ilhas	25	250
Áreas Urbanas	-	10 - 20
Zonas Polares/Áridas	10.000	100.000

Fonte: Adaptado de OMM (1994)

A baixa densidade de postos pluviométricos em bacias brasileiras, segundo Collischonn (2006) tem sido o fator determinante nas incertezas dos resultados de diversos modelos hidrológicos que têm sido aplicados no Brasil. Na Tabela 3 são mostrados os estados que compõem a Amazônia Brasileira com suas respectivas áreas (para o estado do Maranhão está somente a área do estado inserida na Amazônia Legal), e a densidade de postos pluviométricos por estado.

Tabela 3 - Densidade de Estações Pluviométricas na Amazônia Legal (1982 – 2011)

Amazônia Legal			
Estado	Área (Km <sup>2</sup> )	Nº de Estações	Densidade (Km <sup>2</sup> /Est)
Acre	164.123,040	52	3.156,2
Amapá	142.828,521	53	2.694,8
Amazonas	1.559.159,148	284	5.489,9
Mato Grosso	903.366,192	553	1.633,5
Maranhão	225.741,946	266	848,6
Pará	1.247.954,666	335	3.725,2
Rondônia	237.590,547	100	2.375,9
Roraima	224.300,506	60	3.738,3
Tocantins	277.720,520	141	1.969,6

Fonte: ANA (2013)

## 2.6 TESTE DE TENDÊNCIA DE SERIES TEMPORAIS

A variabilidade nos dados de precipitação pode fornecer um indicador sobre as mudanças no comportamento natural dos ecossistemas. Um passo importante neste processo é a capacidade de revelar que uma mudança ou tendência está presente nos registros de pluviosidade (MODARRES; SILVA, 2007).

Em geral, os sistemas de recursos hídricos são projetados a partir da suposição de que a sequência de dados hidrológicos de precipitação, seja estatisticamente estacionária. Entretanto, tal suposição pode não ser verificada quando são considerados aspectos como a mudança de cobertura vegetal, variabilidade e mudança climática (ALEXANDRE; *et al.*, 2012).

Os principais testes estatísticos utilizados no estudo de mudanças em séries de dados hidrológicos segundo Kundzewicz e Robson (2004) são: teste de Mann Kendall (não paramétrico); Kendall Sazonal (não paramétrico); Spearman's rho (não paramétrico) e teste de Regressão Linear (paramétrico).

A principal razão para a utilização de testes estatísticos não-paramétricos é que, em comparação com testes estatísticos paramétricos, são pensados para serem mais adequados para dados não normalmente distribuídos que são frequentemente encontrados em séries hidrológicas (YUE; *et al.*, 2002).

## 2.7 REGIONALIZAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO

A regionalização da precipitação pluviométrica permite identificar regiões homogêneas com base nas características pluviométricas dessas regiões. Segundo Tucci (2009), o termo regionalização tem sido utilizado em hidrologia para denominar a transferência de informações de um local para o outro dentro de uma área com comportamento hidrológico semelhante. Esta informação pode ocorrer na forma de uma variável, função ou parâmetro. O princípio da regionalização se baseia na similaridade espacial destas informações que permitem essa transferência.

### 2.7.1 Métodos e Análise de Agrupamento

Análise de agrupamentos é uma técnica da Estatística Multivariada que tem como objetivo principal de formar grupos heterogêneos de modo que os elementos dentro de cada grupo sejam homogêneos. A idéia consiste em colocar em um mesmo grupo objetos que sejam similares de acordo com algum critério pré-determinado (LINDEN, 2009).

Os principais métodos de agrupamento são: ligação simples, ligação completa, agrupamento pareado proporcionalmente ponderado, agrupamento pareado igualmente ponderado, variância mínima ou Ward's.

O resultado da análise de agrupamento são classificações hierárquicas, e que podem ser representadas por um diagrama bidimensional (dendrograma). Nele estão dispostas linhas ligadas segundo os níveis de similaridade, que agrupará pares de indivíduos ou de variáveis.

A literatura não apresenta como proceder para melhor fazer a escolha do número de grupos, ou seja, como definir o número de exato de grupos e nem qual o melhor índice ou aquele que deve ser utilizado de acordo com alguma característica específica do conjunto de dados. Em alguns casos a análise visual do dendrograma aliada a certo conhecimento do pesquisador muitas vezes prevalece na escolha do número ótimo de grupos a ser trabalhado, o que caracteriza a subjetividade na decisão. Os procedimentos existentes para aplicação da análise de agrupamento desdobram-se em quatro etapas: escolha das variáveis classificatórias, especificação de uma medida de similaridade, seleção do método de agrupamento e decisão quanto ao número de grupos a serem formados.

## 2.8 PRINCIPAIS SISTEMAS ATMOSFÉRICOS ATUANTES SOBRE A REGIÃO AMAZÔNICA

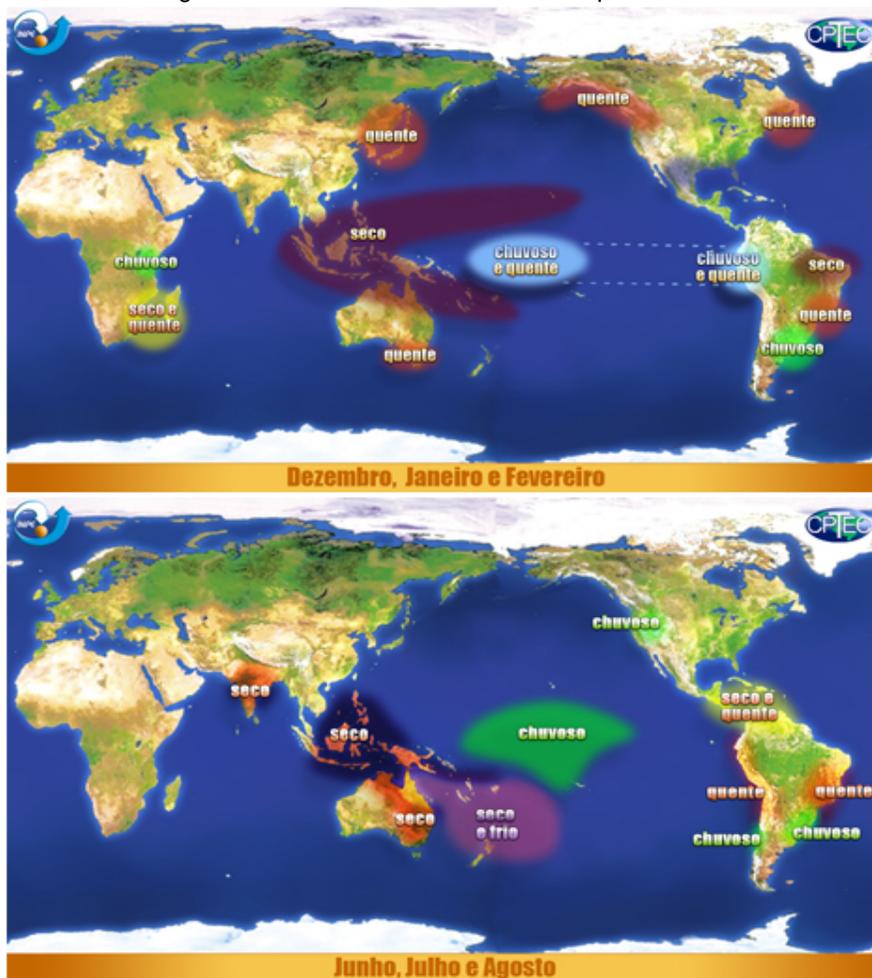
### El Niño e La Niña

O El Niño é um fenômeno atmosférico-oceânico caracterizado por um aquecimento anormal das águas superficiais do oceano Pacífico, e que pode afetar o clima regional e global, mudando os padrões de vento a nível mundial, e afetando assim, os regimes de chuva em regiões tropicais e de latitudes médias. O La Niña

representa um fenômeno atmosférico-oceânico com características opostas ao El Niño, caracteriza-se por um resfriamento anormal nas águas superficiais do Oceano Pacífico.

Os eventos de El Niño ocorrem de forma irregular, geralmente uma vez a cada três a seis anos. Durante um episódio de El Niño, as chuvas aumentam drasticamente em certas áreas do mundo, enquanto as secas graves ocorrem em outras regiões (Figura 7), e o fenômeno dura aproximadamente um ano. Já os episódios de La Niña produzem padrões climáticos opostos (Figura 8) aos encontrados durante um episódio de El Niño (HOLMGREN; *et al.*, 2001).

Figura 7 - Efeitos Globais Ocasionados pelo El Niño

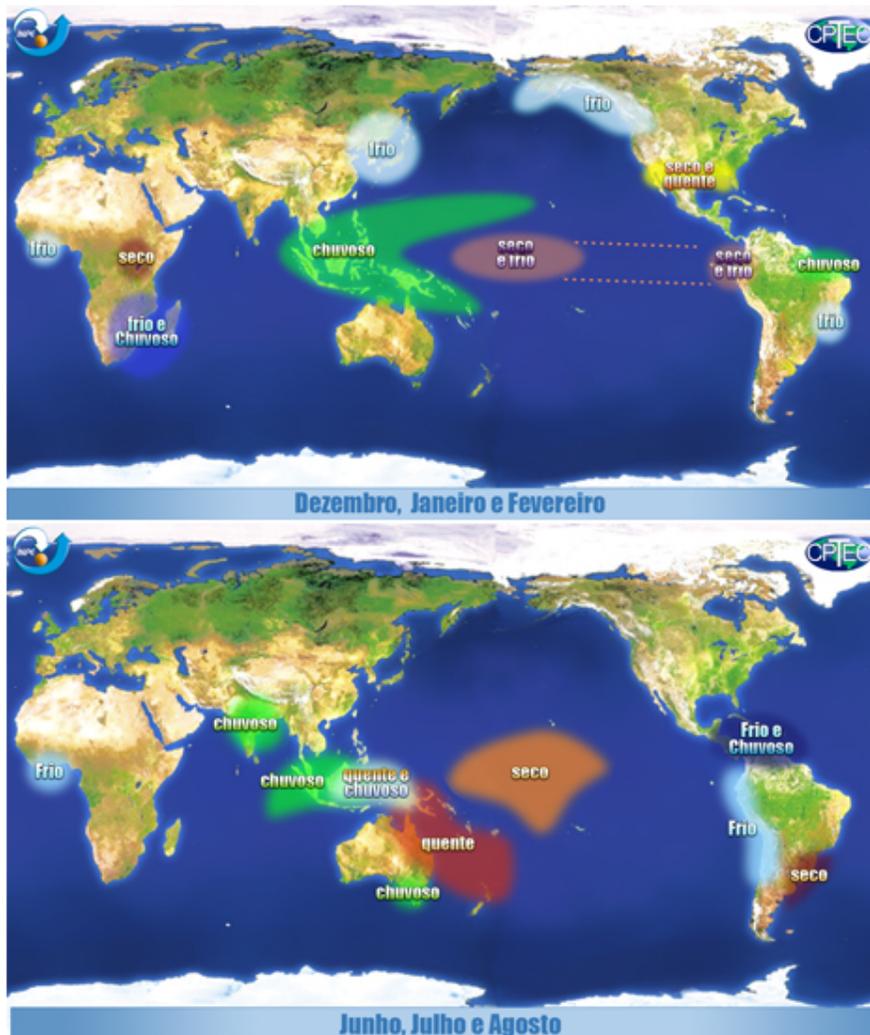


Fonte: INPE/CPTEC (2012)

Em seu estudo sobre a variabilidade da precipitação na Bacia Amazônica, Marengo (2004) utilizando dados mensais de precipitação no período de 1929 a

1999, observou que a baixa precipitação pluviométrica na bacia nos anos de 1983, 1987 e 1998, estava relacionada ao forte El Niño.

Figura 8 - Efeitos Globais Ocasionados pelo La Niña



Fonte: INPE/CPTec (2012)

Avaliando a variabilidade climática interanual da precipitação, Marengo; *et al.* (2011) constatou que o fenômeno El Niño, é um dos padrões que afetam o clima da região Amazônica. No Norte e Leste da Amazônia o efeito do La Niña é tendências de chuvas abundantes. A fase de baixa da Oscilação Sul, associado com El Niño, coincide com baixa precipitação pluvial da Amazônia, especialmente nas regiões Central e Norte, enquanto anomalias opostas ocorrem frequentemente durante a fase de alta, associado com o La Niña. As ocorrências de El Niño e La Niña são mostradas na Tabela 4.

Tabela 4 - Ocorrências de El Niño e La Niña

El Niño		La Niña	
1877 – 1878	1888 – 1889	1886	1903 – 1904
1896 – 1897	1899	1906 – 1908	1909 – 1910
1902 – 1903	1905 – 1906	1916 – 1918	1924 – 1925
1911 – 1912	1913 – 1914	1928 – 1929	1938 – 1939
1918 – 1919	1923	1949 – 1951	1954 – 1956
1925 – 1926	1932	1964 – 1965	1970 – 1971
1939 – 1941	1946 – 1947	1973 – 1976	1983 – 1984
1951	1953	1984 – 1985	1988 – 1989
1957 – 1959	1963	1995 – 1996	1998 – 2001
1965 – 1966	1968 – 1970	2007 – 2008	-
1972 – 1973	1976 – 1977		
1977 – 1978	1979 – 1980		
1982 – 1983	1986 – 1988		
1990 – 1993	1994 – 1995		
1997 – 1998	2002 – 2003		
2004 – 2005	2006 – 2007		
2009 – 2010	-		

Legenda:	
Moderado	
Forte	Fraco

Fonte: INPE/CPTEC (2012)

### Alta Bolívia

A Alta Bolívia (AB) é um anti-ciclone que se forma na alta troposfera, sobre a América do Sul durante os meses de verão, quando a região Amazônica apresenta forte convecção (FISCH; MARENGO; NOBRE, 1998). Recebe este nome por estar situada sobre a região do altiplano Boliviano, é uma grande área de instabilidade que se forma devido ao calor elevado e umidade gerada pela floresta Amazônica.

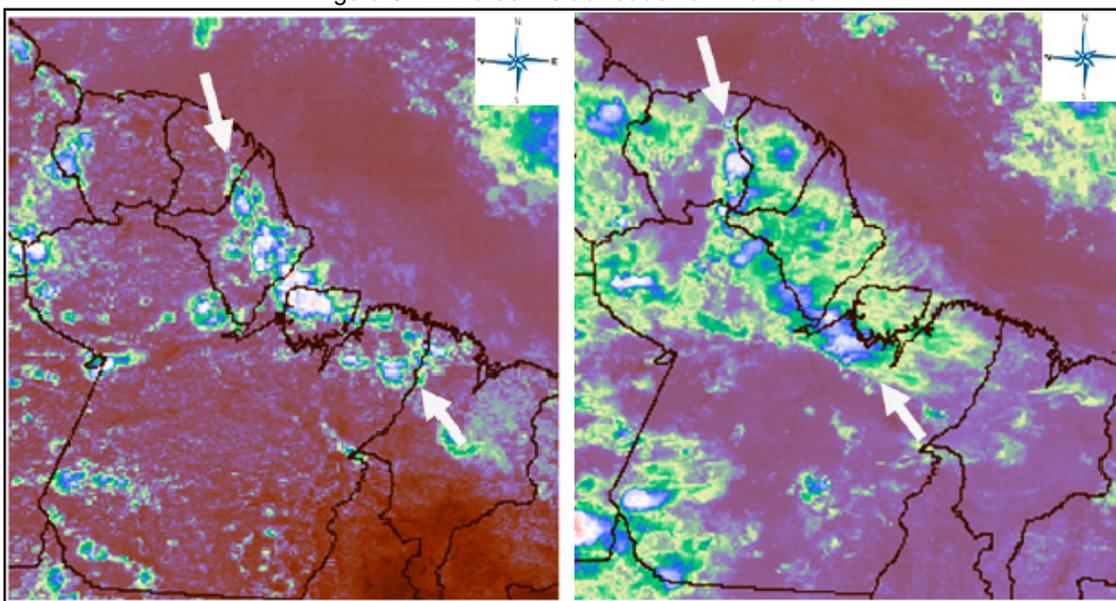
A localização geográfica da AB apresenta variação intra-sazonal e intra-anual, segundo Andrade (2007) a Alta Bolívia surge em outubro sobre o oeste da Amazônia, posicionando-se sobre a Bolívia no verão e deslocando-se em abril para a Amazônia Oriental. A variabilidade sazonal da Alta Bolívia, tanto em intensidade como em posição, está diretamente associada com a distribuição espacial e temporal da precipitação. Quando a AB enfraquece e se move para o norte no

inverno os setores sul e leste da Amazônia experimentam sua estação seca Molion (1987).

### Linhas de Instabilidade

Linhas de instabilidade são bandas de nuvens normalmente do tipo cumulus, organizadas em forma de linha e produtoras de chuvas. São responsáveis pela exportação de grandes quantidades de energia sendo importantes para o clima global, uma vez que elas são um dos mecanismos responsáveis pela precipitação ao longo da Bacia do rio Amazonas segundo Alcântara (2010). A Figura 9 mostra a formação de uma linha de instabilidade na Amazônia ocorrida em julho de 2001.

Figura 9 - Linha de Instabilidade na Amazônia



Fonte: Adaptado de Alcântara; *et al.* (2010)

Alcântara (2010) em seu estudo para identificar os sistemas que se formam na costa norte do Brasil, observou que as linhas de instabilidade são mais frequentes entre os meses de abril e julho e menos frequente entre outubro e novembro. As linhas de instabilidade que se formam na costa atlântica da Amazônia são responsáveis pela formação de chuvas próximo a costa dos estados do Pará e Amapá, bem como na Amazônia Central (FISH; *et al.*,1998).

### Zona de Convergência Intertropical

Formada pela confluência dos ventos alísios de Nordeste e Sudeste, a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) é um dos sistemas meteorológicos mais importantes que atuam nos trópicos. Está localizada no ramo ascendente da célula de Hadley, é uma região de baixa pressão atmosférica, intensa nebulosidade, associada com altos índices pluviométricos (ANDRADE, 2007).

Os episódios de ZCIT estão frequentemente associados a grandes volumes de chuva. Na Amazônia é considerada um dos principais sistemas geradores de precipitação (ROCHA, 2001). De acordo com a SEMA (2012) é a maior causadora de chuvas no estado do Pará no período compreendido entre dezembro a maio, quando se caracteriza o chamado “inverno”. Na Amazônia, segundo Ferreira (2008) as regiões influenciadas pela ZCIT são os estados do Amapá e Norte/Noroeste e Nordeste do Pará, além de Roraima e parte do Maranhão.

Analisando a precipitação sazonal na Amazônia oriental, Ferreira (2008), verificou que a manifestação da banda de nebulosidade da ZCIT sobre o Atlântico equatorial torna-se primordial na determinação qualitativa e quantitativa da estação chuvosa sobre a Amazônia oriental, em especial nas regiões do Amapá, Pará e Maranhão.

Ao estudar a variabilidade da ZCIT e sua influência na pluviosidade da Região Norte do Brasil, Andrade (2007) e Ribeiro; *et al.* (1996) observaram que nos meses de junho, julho e agosto, a zona de convergência intertropical segue sua marcha anual, se deslocando sobre o continente de acordo com a posição solar e climatologicamente ocorre a estação menos chuvosa da Amazônia. Nos meses de março e abril, as regiões de maiores precipitações na Amazônia segundo Rocha (2001) são moduladas pela Zona de Convergência Intertropical.

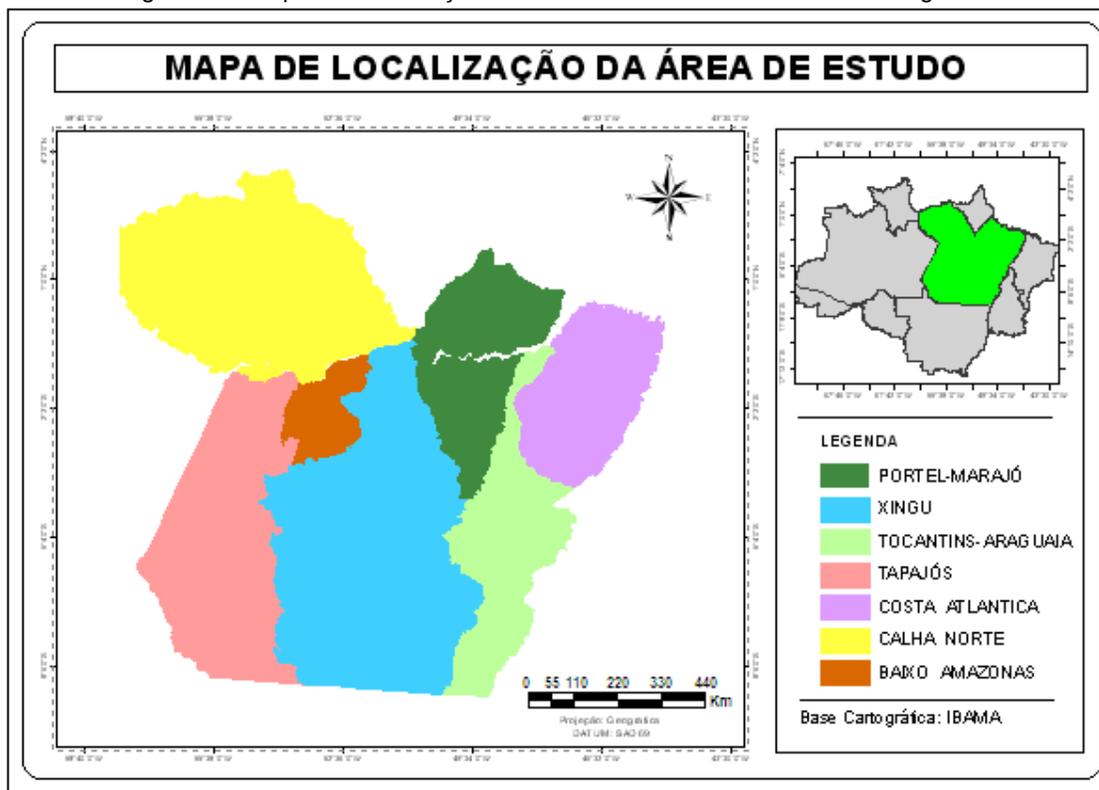
### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O estado do Pará está localizado na Região Norte do Brasil, na Amazônia Oriental, ocupando uma área de 1.247.954,6 Km<sup>2</sup>, é o segundo maior estado brasileiro em extensão, detém grande diversidade de recursos naturais, possui 144 municípios, com uma população de 7.581.051 habitantes e densidade demográfica de 6,07 hab/Km<sup>2</sup> (IBGE, 2010).

Com base nas características geofisiográficas (geomorfologia, geologia, hidrografia, solos e fator climático) e visando facilitar o processo de gerenciamento dos recursos hídricos (SEMA, 2012), o estado do Pará foi dividido em 7 macro-regiões hidrográficas: Baixo Amazonas; Calha Norte; Costa Atlântica-Nordeste; Portel-Marajó; Tapajós; Tocantins-Araguaia e Xingu. A Figura 10 mostra a delimitação do estado do Pará e sua divisão hidrográfica.

Figura 10 - Mapa de Localização do Estado do Pará e sua Divisão Hidrográfica



Fonte: IBAMA (2012)

### Região Hidrográfica Baixo Amazonas

A Região Hidrográfica Baixo Amazonas, possui uma área 59.741,02 Km<sup>2</sup>, que corresponde a 4,7% do estado do Pará. É uma bacia composta pelos rios Curuá-Una, Guajará, Jarauçu e Quati (SECTAM, 2012). Nesta região destaca-se a produção mineral e atividades relacionadas à extração de madeira, pecuária de caráter extensivo tradicionalmente praticada nas várzeas do Baixo Amazonas, agricultura de espécies de ciclo curtos nas várzeas e potencial energético e turístico.

Quanto as características climáticas, apresenta uma temperatura do ar sempre elevada, com média anual de 25,6°C, pluviosidade anual próxima dos 2.000mm, e umidade relativa do ar acima de 80%.

### Região Hidrográfica Calha Norte

Localizada ao norte do rio Amazonas, a Região Hidrográfica Calha Norte possui uma área de 276.327,05 Km<sup>2</sup>, que corresponde a 22,1% do estado, possui baixa densidade demográfica e uma riqueza de biodiversidade ainda bastante preservada, inclusive pelo predomínio de grandes extensões de terras indígenas e outras áreas institucionais. Em termos de economia, a mineração tem sido o setor de maior destaque seguido da indústria, agropecuária, exploração madeireira (clandestina) e o extrativismo. Os municípios que integram a região são de colonização antiga e a principal via de acesso é o rio Amazonas, a ocupação da região se concentrou historicamente na área interna da Bacia, acompanhando o baixo curso do rio Amazonas (SECTAM, 2004).

O clima da região apresenta média mensal elevada de temperatura do ar. A precipitação é em torno de 2.000mm, com distribuição irregular ao longo do ano. A estação de maior pluviosidade vai de Dezembro a Julho, tendo Março como o mês mais chuvoso, enquanto que a de menor vai de Julho a Novembro, sendo outubro o mês mais seco, apresentando total mensal de 60 mm.

### Região Hidrográfica Costa Atlântica-Nordeste

A Região Costa Atlântica-Nordeste ocupa 9,7% do estado abrangendo as terras que vão desde a porção oriental da Ilha de Marajó até a foz do Gurupi e se estende para o sul, é a região mais densamente povoada, é a área de colonização mais antiga e também a mais intensivamente desmatada, restando poucas áreas

ainda preservadas da Floresta Tropical Úmida Primária que não tenha sido explorada para a produção madeireira ou removidas para o assentamento de atividades agropecuárias. Nela se encontram grandes projetos de exploração e industrialização de minérios.

Segundo a (SECTAM, 2004), apresenta clima equatorial amazônico, com temperaturas relativamente elevadas e médias em torno de 24°C. A precipitação é elevada nos meses de Janeiro a Junho e o período menos chuvoso corresponde aos meses de Julho a Dezembro, a média anual encontra-se em torno de 2.300 a 2.500mm. A disponibilidade hídrica é acentuada nos primeiros seis meses do ano e escassa nos demais. Os principais cursos d'água que drenam essa região são: rios do Atlântico, rio Gurupi, rio Capim, rio Acará, rio Moju e o rio Guamá.

#### Região Hidrográfica Portel – Marajó

A Região Portel-Marajó ocupa uma área 123.209,90 Km<sup>2</sup>, abrange duas sub-regiões que se contemplam, mas que possuem características geográficas distintas. A extração e beneficiamento da madeira para a exportação, o extrativismo, a pesca e a pequena produção agrícola de acordo com a (SECTAM, 2004) são as atividades econômicas predominantes na sub-região insular, enquanto que na sub-região continental se acrescenta a pecuária de corte. As terras sob influência da BR-230, correspondente aos altos cursos dos rios Anapu e Pacajá, foram alteradas pela lavoura, pastagem, extrativismo e exploração madeireira.

O clima nesta região é equatorial úmido, com temperatura média em torno de 27°C, o índice pluviométrico anual é em torno de 2.300mm, apresenta alta pluviosidade entre os meses de Janeiro a Junho, sendo o trimestre mais chuvoso Fevereiro, Março e Abril, os meses de Agosto, Setembro e Outubro correspondem ao período menos chuvoso.

#### Região Hidrográfica Tapajós

A região Tapajós constituída pela bacia do Rio Tapajós, e ocupando uma área de 17,4% do território paraense (SECTAM, 2004), possuindo como principais drenagens os rios Tapajós, Teles Pires, Jamaxim, São Benedito e rio Arapiuns. É composta pelos municípios de Itaituba, Rurópolis, Trairão, Aveiro, Juriti, Jacareacanga, Novo Progresso, Belterra e Santarém. A economia da região

depende das atividades extrativistas, com predominância daquelas ligadas a indústria madeireira e da pesca. O rio Tapajós tem se destacado nacionalmente pelo seu potencial de geração de energia elétrica.

Esta bacia apresenta temperatura do ar elevada, com média anual de 25,6°C, a precipitação se aproxima de 2.000mm anuais, sendo irregular durante o ano. As estações chuvosas coincidem com os meses de Dezembro a Junho e as menos chuvosas, com os meses de Julho a Novembro.

#### Região Hidrográfica Tocantins-Araguaia

Esta região detém uma área de 139.942,45 Km<sup>2</sup>, que corresponde a 11,2 % do território paraense, os principais rios desta bacia são o Tocantins e o Araguaia com seus formadores localizados nos estados do Mato Grosso e Tocantins. É uma região que se desenvolve bastante nas últimas décadas, quanto à economia o setor de maior destaque é o da indústria mineral, seguido da produção agropecuária e exploração madeireira (SECTAM, 2004). Na bacia do Tocantins está localizada a Usina Hidrelétrica de Tucuruí, responsável pelo abastecimento de energia elétrica das principais cidades paraenses, demonstrando ser uma região de grande relevância para a produção de energia.

Com clima equatorial super-úmido, e temperaturas médias de 26°C. Para a precipitação pluviométrica a região é dividida em 3 faixas. No Norte está regulada entre 2.500 a 3.000mm durante o ano e o trimestre mais chuvoso é Fevereiro, Março e Abril, o trimestre mais seco é Agosto, Setembro e Outubro. Na faixa do meio a precipitação soma anualmente de 2.000 a 2.500mm e no sul o acúmulo é de 1.500 a 2.000mm ao ano, e o trimestre mais chuvoso é Janeiro, Fevereiro e Março, e o mais seco é Junho, Julho e Agosto.

#### Região Hidrográfica Xingu

A bacia do rio Xingu ocupa uma área de aproximadamente 308.950,70 Km<sup>2</sup> (26,9% do estado do Pará), abrange os municípios de Altamira, Brasil Novo, Placas, São Felix do Xingu, Senador José Porfírio, Vitória do Xingu, parte de Medicilândia, e parte oeste de Anapú.

A base da economia dos municípios desta região é formada pelo setor primário, cultura de cacau, café, cana de açúcar e pimenta do reino, a atividade

mineral também é importante para a região representada pela extração do ouro e cassiterita, a atividade econômica que se mostra mais promissora é a implantação do complexo hidroenergético Belo Monte.

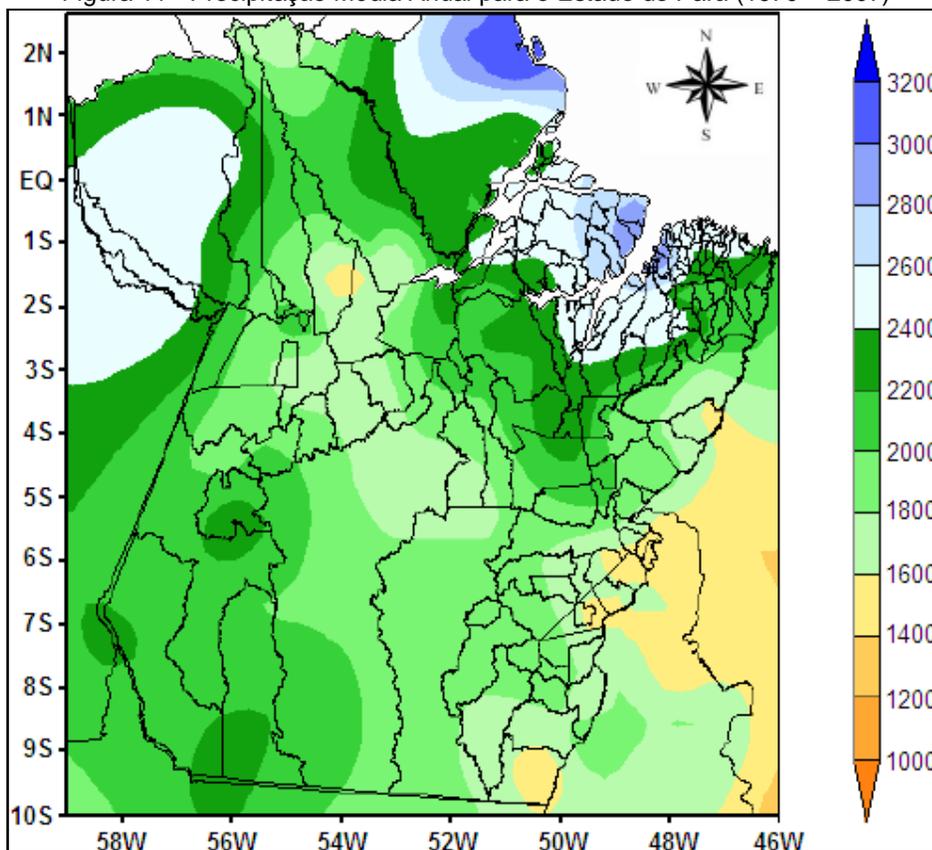
A estação chuvosa vai de Dezembro a Junho e a menos chuvosa de Julho a Novembro, com precipitação que se aproxima de 2.000mm a 2.500mm (SECTAM, 2004).

### **3.1.1 Características Climáticas**

Segundo a classificação de Köppen, são identificados 3 subtipos climáticos para o estado do Pará: “Af”, “Am”, “Aw”. Tais subtipos pertencem ao clima tropical chuvoso, caracterizando-se por apresentar temperaturas médias mensais sempre superiores a 18°C e de acordo com a (SECTAM, 2004), se diferenciam pela quantidade de precipitação pluviométrica média mensal e anual.

A Figura 11 mostra o mapa da precipitação média anual (1970-2007) no estado do Pará, onde é possível observar que a região da ilha de Marajó e o nordeste paraense são as regiões com os maiores totais pluviométricos. O fato do alto índice pluviométrico segundo a (SEMA, 2013) se deve a influência de sistemas de grande escala como a ZCIT (Zona de Convergência Intertropical), que provoca forte convecção local, e por ser uma região localizada próxima a área litorânea. De acordo com Guimarães (2000), 45% das chuvas que caem na sua parte Leste do estado do Pará são reguladas por linhas de instabilidade.

Figura 11 - Precipitação Média Anual para o Estado do Pará (1970 – 2007)



Fonte: SEMA/RPCH (2013)

O regime pluviométrico do Estado do Pará é bem definido em estação chuvosa, que vai de dezembro a maio, regionalmente chamada de inverno, e estação menos chuvosa, que vai de junho a novembro, regionalmente chamada de verão (SECTAM, 2004). A variação sazonal da precipitação no Pará foi analisada por Moraes; *et al.* (2005) entre os anos de 1976 e 1998 e concluíram que essa variação é caracterizada por uma estação chuvosa, que na maioria das localidades compreende os meses de dezembro a maio, e por uma estação menos chuvosa (estação seca) que corresponde geralmente ao período de junho a novembro.

Segundo Figueroa e Nobre (1990) as precipitações anuais na Amazônia Oriental, onde está localizado o Estado do Pará, tendem a decrescer do setor costeiro para o interior, decorrente da forma como se originam os sistemas de circulação ao penetrarem a região.

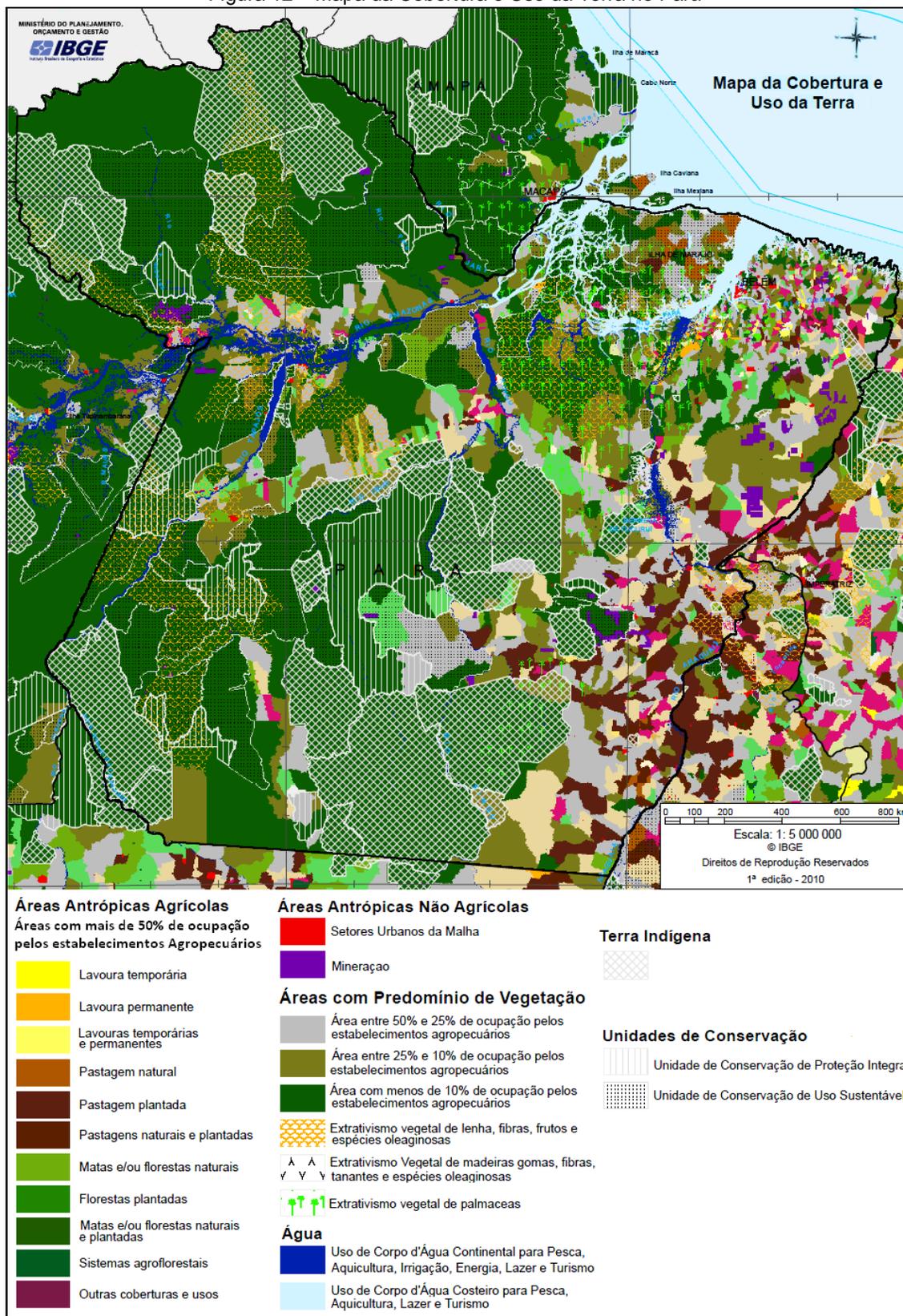
### 3.1.2 Uso e Ocupação do Solo

O uso e a ocupação do solo no estado do Pará são caracterizados pelo extrativismo vegetal, incluindo a extração da madeira, pecuária e agricultura. A produção de grãos iniciada na década de 90 ocupa uma área de 2.550,38 Km<sup>2</sup> do estado (IBGE, 2007). A mineração e o garimpo também são responsáveis pela alteração do solo no Pará. Os projetos de assentamento do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), ocupam uma área de 113.104,89 Km<sup>2</sup>, o que corresponde a 9% da área total do estado. O crescimento das cidades, intensificado a partir da década de 70, teve como resultado a retirada de boa parte da cobertura vegetal do Estado, resultando em uma área urbanizada de 731 Km<sup>2</sup> (0,058% do estado) (MIRANDA; GOMES; GUIMARÃES, 2005).

Segundo o IBGE (2006) dos 217.435,06 Km<sup>2</sup> apropriados pelos estabelecimentos rurais, 85.335,22 Km<sup>2</sup> permaneciam cobertos com matas e florestas naturais, significando que os estabelecimentos rurais existentes no estado mantinham até 2006 39,2% de sua cobertura florestal primitiva e 60,8% alterada.

O desmatamento extensivo provocado pelo desenvolvimento da pecuária e agricultura no sul do estado do Pará, onde o solo é pouco permeável, tem agravado o déficit de água e modificado o regime de alguns rios (SEMA, 2004). Na Figura 12 é possível observar a cobertura e utilização das terras no Pará.

Figura 12 – Mapa da Cobertura e Uso da Terra no Pará



Fonte: Adaptado de IBGE (2012)

## 3.2 MATERIAIS UTILIZADOS

Para a realização deste estudo foram utilizados os seguintes materiais:

- ✓ Dados mensais e anuais de precipitação pluvial no estado do Pará, no período de 1982 a 2011, disponíveis na rede hidrometeorológica da Agência Nacional de Águas.
- ✓ Cartografia;
- ✓ Os softwares Autocad 2013; Surfer 8.0 e Statistica 12.0.

## 3.3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

### 3.3.1 Coleta e Sistematização dos Dados

Atualmente o estado do Pará possui 335 estações pluviométricas cadastradas no banco de dados da ANA, sendo que 260 estão ativas e apenas 224 apresentam dados disponíveis, de posse dessas informações, foram selecionadas somente as estações contendo séries históricas com no mínimo de 30 anos de dados, no período compreendido entre os anos de 1982 e 2011, pois de acordo a OMM (1994), são necessários pelo menos 30 anos de dados para que se tenha uma confiabilidade na caracterização climática de uma região.

Apenas 68 estações encontrava-se com séries dentro do período de estudo. Para análise da precipitação, foram usados somente dados de 66 estações, pois foi necessário retirar os postos Santarém-Taperinha e Conceição do Araguaia por apresentarem falhas muito extensas

Os dados foram sistematizados com o auxílio de planilhas eletrônica do Programa Microsoft Excel, onde cada estação foi organizada de acordo com o nome, código, latitude e longitude em graus decimais e período de funcionamento, conforme Anexo A.

### 3.3.2 Análise das Séries Históricas

Com o banco de dados definido, fez-se a análise das séries históricas. Observou-se que todos os postos apresentavam falhas nos seus registros. Mas como foi necessário trabalhar com séries contínuas, essas lacunas foram preenchidas.

O preenchimento das falhas foi realizado utilizando-se o método da ponderação regional com base em regressões lineares, pois segundo Ramesh e Chandramouli (2005) é o melhor método para estimar dados faltantes. Foram usadas séries históricas de três postos vizinhos as 66 estações que apresentavam falhas. A definição das estações baseou-se nos seguintes critérios: a) estar localizada próximo aos postos com falhas; b) situar-se em região com característica climática semelhante ao posto a ser preenchido; c) não conter falhas em períodos similares as falhas encontradas no estudo da série; e d) possuir no mínimo dez anos de dados, conforme recomendações de Tucci, (2009). Os dados das estações vizinhas foram estatisticamente comparados através de análises de regressão sendo utilizadas nos preenchimentos apenas as estações que apresentaram forte correlação espacial, cujos coeficientes de correlação foram superiores a 0,7, conforme recomendações de Barbosa; *et al.*, 2005 e Pruski; *et al.*, 2004.

#### Método da Ponderação Regional com Base em Regressões Lineares

Neste método são estabelecidas regressões lineares entre o posto pluviométrico com dado a ser preenchido e cada um dos postos vizinhos. A cada regressão linear efetuada obtém-se o coeficiente de correlação  $r$ . Para um posto  $Y$  que apresenta falhas, o preenchimento desta foi realizado de acordo com a Equação 4.

$$P_y = \frac{r_{yx1}P_{x1} + r_{yx2}P_{x2} + r_{yx3}P_{x3}}{r_{yx1} + r_{yx2} + r_{yx3}} \quad (4)$$

Os índices  $r_{x1}$ ,  $r_{x2}$  e  $r_{x3}$  representam os coeficientes de correlação das precipitações em  $Y$  e  $X_1$ ,  $Y$  e  $X_2$  e  $Y$  e  $X_3$ .

### **3.3.3 Análise de Consistência dos Dados de Precipitação**

Com a finalidade de verificar a homogeneidade das séries anuais de precipitação, após o preenchimento das falhas fez-se a análise de consistência para cada estação, empregando-se o método da dupla massa descrita por (TUCCI, 2009).

### **3.3.4 Plotagem das Estações Pluviométricas**

Após a consistência dos dados, realizou-se a plotagem das estações pluviométricas em mapa georeferenciado do estado do Pará e sua divisão hidrográfica, com o auxílio do software Surfer 8.0. A partir dos dados de longitude (x) e latitude (y) pode-se localizar cada estação no seu devido local.

### **3.3.5 Mapas de Isoietas**

As curvas de isoietas utilizadas para avaliar a variabilidade sazonal e anual da precipitação, foram traçadas de acordo com os valores das alturas pluviométricas observadas em cada posto. Para este procedimento foi utilizado o software Surfer 8.0, que tem esta capacidade de leitura dos valores quantitativos pontuais da precipitação, traçando as isoietas segundo o método da interpolação.

Para a interpolação dos dados de precipitação utilizou-se o Método de Krigagem, neste método 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 estudos similares ao que se está realizando.

### **3.3.6 Cálculo do Volume Precipitado**

A partir dos mapas de isoietas, foi realizado o cálculo do volume precipitado utilizando o método dos contornos (BORGES, 1992), sendo que as alturas “h” correspondem a altura pluviométrica expressa no mapa de isoietas.

Os mapas de isoietas confeccionados com o auxílio do Surfer 8.0 foram exportados para o Autocad 2013, onde foram calculadas as áreas entre as isolinhas com o mapa em escala. As áreas com dados interpolados foram desconsideradas e o cálculo do volume foi realizado apenas na área do Estado que possui alta densidade de postos pluviométricos.

A equação para o cálculo do volume precipitado em uma determinada área segue as mesmas características do método das isoietas utilizado para o cálculo da precipitação média, sendo que, para o cálculo do volume não é incluso a divisão pela área total. Para o cálculo do volume foi utilizada a seguinte equação 5:

$$V_p = \sum_{i=1}^n A_i \cdot A_{i+1} \cdot \left( \frac{h_i + h_{i+1}}{2} \right) \quad (5)$$

Onde:

$V_p$ : Volume anual precipitado;

$A_i, A_{i+1}$ : Área entre isolinhas de ordem  $i$ ;

$h_i, h_{i+1}$ : Altura da lâmina precipitada de isolinha de ordem  $i$ .

### 3.3.7 Análise de Tendência

A análise de tendência da precipitação no Estado do Pará foi realizada através dos testes não-paramétricos de Mann-Kendall e Spearman.

#### Teste de Mann-Kendall

O teste de Mann-Kendall é um teste não paramétrico sugerido pela Organização Meteorológica Mundial para a avaliação da tendência em séries temporais de dados ambientais (YUE; *et al.*, 2002). Uma vantagem deste teste é que os dados não precisam estar em conformidade com qualquer distribuição particular.

Para Modarres e Silva (2007) o teste de Mann-Kendall avalia com bastante eficiência a tendência de séries temporais de dados ambientais, sendo o mais adequado para a detecção de tendências em séries temporais hidrológicas (HAMED, 2008). Trata-se de um teste que compara cada valor de uma série temporal com os outros valores restantes, sempre em ordem sequencial. De acordo com Yue; *et al.* (2002), o teste é baseado na estatística “S” definida como:

$$S = \sum_{j=i+1}^n (R_j - R_i) \quad (6)$$

Em que  $R_j$  e  $R_i$  representam a ordem relativa de cada elemento da série temporal. As diferenças  $(R_j - R_i)$  recebem valor zero (0) se  $(R_j - R_i) = 0$ , valor -1 se  $(R_j - R_i) < 0$  e 1 se  $(R_j - R_i) > 0$ .

Sob a hipótese nula ( $H_0$ ) de ausência de tendência, "S" apresenta uma distribuição aproximadamente normal com média zero e variância dada por:

$$Var(S) = \frac{n*(n-1)*(2n+5)}{18} \quad (7)$$

A estatística do teste Z é dada por:

$$Z_{MK} = \begin{cases} \frac{S - 1}{\sqrt{Var(S)}} & \text{se } S > 0 \\ 0 & \text{se } S = 0 \\ \frac{S + 1}{\sqrt{Var(S)}} & \text{se } S < 0 \end{cases} \quad (8)$$

A hipótese nula de ausência de tendência ( $H_0$ ), é rejeitada sempre que  $|Z| > Z_{\alpha/2}$ , em que  $\alpha$  é o nível de significância adotado e  $Z_{\alpha/2}$  é a variável normal reduzida para a função de distribuição normal padrão. O sinal da estatística Z indicará se a tendência é positiva ( $Z > 0$ ) ou negativa ( $Z < 0$ ).

A presença estatística de tendência é avaliada usando o valor de Z da tabela padrão normal para o nível de significância de 5%. A estatística é usada para testar a hipótese nula de que não há tendência. O valor de Z indica crescimento de tendência quando é positivo e seu valor é maior que o nível de significância. Para um valor de decréscimo de tendência, o valor de Z é negativo e menor que o nível de significância. Se o valor de Z for entre nível de significância não há tendência.

### Teste de Spearman

Posteriormente, aplicou-se o teste de Spearman. Segundo Gauthier (2001) é um teste não-paramétrico utilizado para detecção de tendência em séries. As hipóteses a serem testadas são:

$H_0$  – Série sem tendência

$H_1$  – Série com tendência.

A estatística do teste de Spearman segundo Gauthier (2001) é dada pela seguinte equação:

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^N d_i^2}{N^3 - N} \quad (9)$$

Onde:

$d_i = X_i - Y_i$ : Diferença nos postos sobre as duas variáveis;

N: Número de pares da amostra.

Para amostras grandes ( $n > 20$ ) a estatística do teste t, utilizada para testar a hipótese nula, segue aproximadamente a distribuição t de student obtida através da seguinte equação:

$$t = N \sqrt{\frac{N-2}{1-r_s^2}} \quad (10)$$

Para testar se havia tendência significativa na série de dados analisados, a estatística t foi comparada com os percentis superior e inferior da distribuição t de Student.

### **3.3.8 Regionalização da Precipitação**

Neste estudo utilizou-se a Análise de Agrupamento para obter as regiões pluviometricamente homogêneas. A análise de agrupamento foi realizada considerando-se como variável a precipitação média mensal das 66 estações selecionadas para o estudo. O programa computacional utilizado para aplicar esta análise foi o Statistica 12.0.

O dendrograma foi construído segundo o método da ligação completa, onde os grupos são formados fundindo os membros mais distantes entre os grupos. As estações pluviométricas foram agrupadas de forma sucessiva, baseando-se em sua similaridade. Foram formados assim pares de indivíduos mais semelhantes. A cada grupo formado foi reconstruída a matriz de similaridade, definindo a distância entre o

novo grupo. Os passos do agrupamento serão representados graficamente através do dendrograma, nos quais os eixos das ordenadas representam os níveis em que as estações foram agrupadas e o eixo das abscissas representa as estações.

A medida de similaridade empregada foi o coeficiente de correlação de Pearson, optou-se por este coeficiente por ele correlacionar os dados observados no espaço e não se baseia na proximidade física entre das estações, como a medida da distância Euclidiana muito utilizada em análises de agrupamento, mas que não garante a semelhança climática entre as estações.

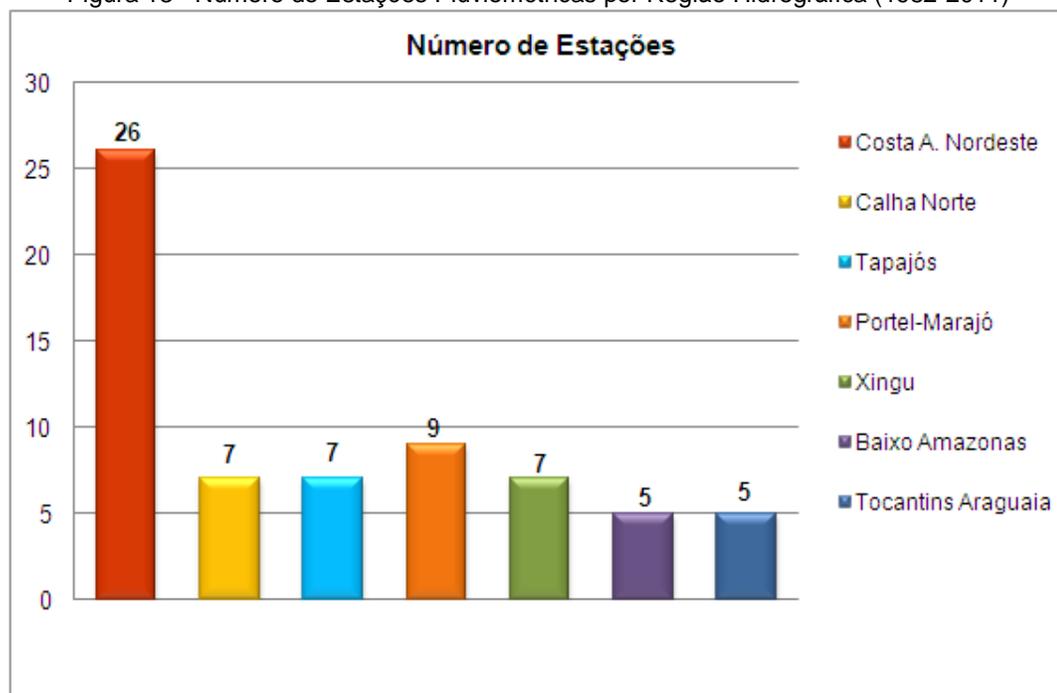
Os grupos formados pela técnica do agrupamento tiveram suas médias comparadas pelo teste t de Student aos níveis de 5%. A determinação do número de grupos no dendrograma foi realizado com base no nível de similaridade.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 BANCO DE DADOS

Das 66 estações pluviométricas selecionadas para o estudo, constatou-se que, 39,4% estão localizadas na região Costa Atlântica-Nordeste, 10,6% na Calha Norte, 13,6% na região Portel-Marajó, 10,6% no Xingu, 7,6% na região hidrográfica Baixo Amazonas, 10,6% região tapajós e 7,6% no Tocantins-Araguaia. A região Costa Atlântica-Nordeste é a que possui o maior percentual de estações pluviométricas, dentro do período de estudo. A Figura 13 mostra a quantidade de estações pluviométricas por região hidrográfica.

Figura 13 - Número de Estações Pluviométricas por Região Hidrográfica (1982-2011)

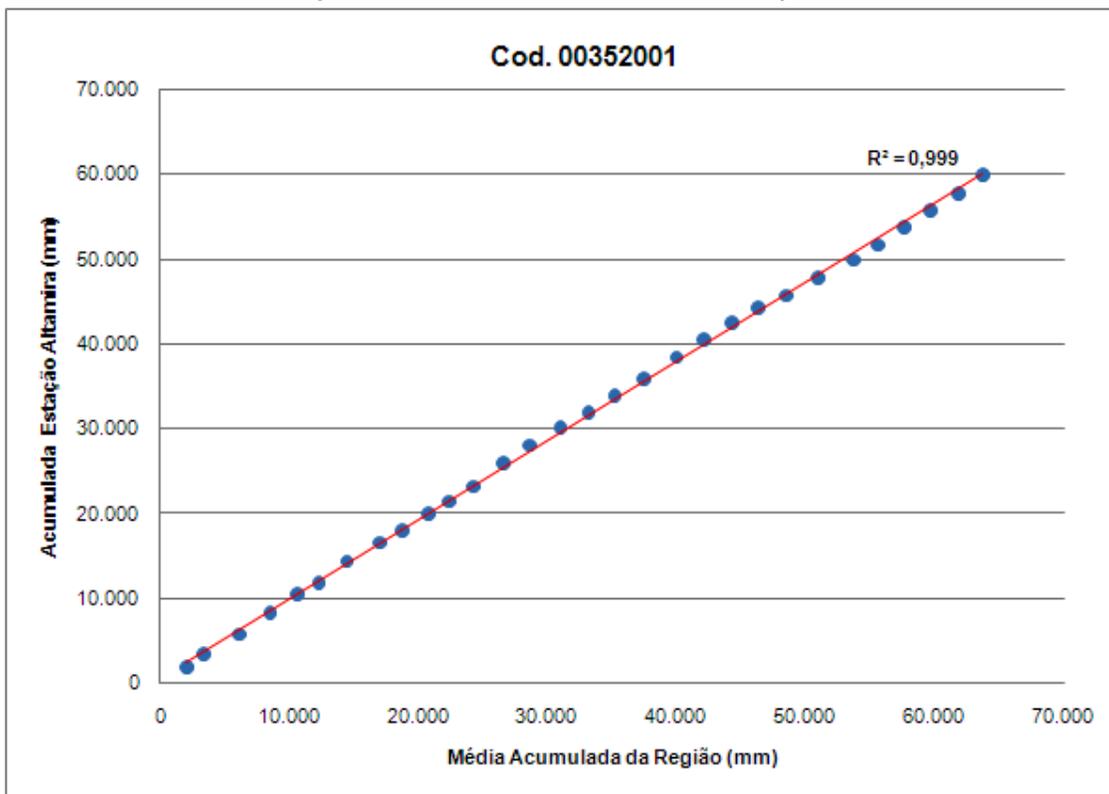


Fonte: Dados da Pesquisa (2013)

### 4.2 CONSISTÊNCIA DAS SÉRIES HISTÓRICAS

Para todas as estações observou-se uma consistência das séries históricas com comportamento linear e os coeficientes de determinação próximos de 1 o que garante a homogeneidade regional das estações selecionadas, na Figura 14, podemos observar a análise de consistência para a estação Altamira.

Figura 14 - Análise de Consistência da Estação Altamira

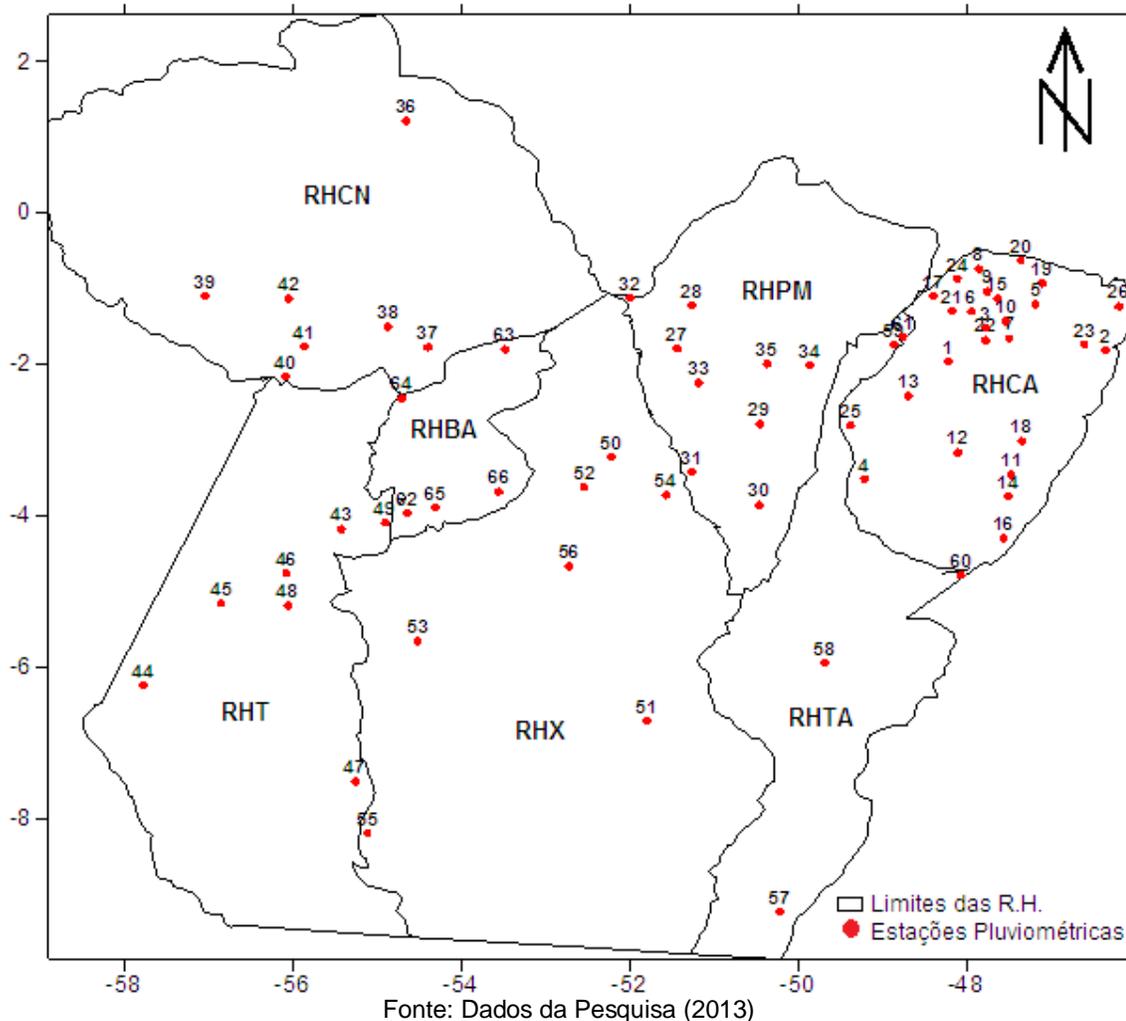


Fonte: Dados da Pesquisa (2013)

#### 4.3 DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DAS ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS POR REGIÃO HIDROGRÁFICA

No mapa de localização das estações pluviométricas (Figuras 15), pode-se visualizar a irregular distribuição espacial das estações nas regiões hidrográficas do estado do Pará. Observa-se que há maior concentração de postos pluviométricos na porção noroeste da região Costa Atlântica-Nordeste. As regiões que apresentam maior carência de estações pluviométricas são: Oeste da região Calha Norte, Sul das regiões Tapajós e Xingu e Leste da região hidrográfica do Baixo Amazonas. A região Costa Atlântica-Nordeste é que possui um melhor monitoramento, concentrando o maior percentual (39,4%) das estações selecionadas para o estudo no período de 1982 a 2011.

Figura 15 - Distribuição Espacial das Estações Pluviométricas (1982 a 2011)



Em termos de densidade, a área do território paraense é formada por planícies, planaltos e depressões. As estações pluviométricas existentes no banco de dados da ANA para o estado são estações convencionais (sem registrador). Diante de tais características e com base nos limites de densidades para uma rede mínima recomendada pela OMM (1994), o estado do Pará se enquadrava em duas unidades fisiográficas: planas e interiores e montanhosas/onduladas, para estas duas categorias o limite para uma rede mínima é de 575 Km<sup>2</sup>/estação.

O estado do Pará possui 335 estações pluviométricas cadastradas na rede hidrometeorológica da ANA, o que resulta em uma densidade de um aparelho a cada 3.725,2 km<sup>2</sup>, demonstrando ser uma região com uma baixa densidade de estações pluviométricas. A densidade por região hidrográfica no período de 1982 a 2011 está contida na Tabela 5.

Tabela 5 - Densidade de Estações Pluviométricas por Região Hidrográfica

<b>Estado do Pará</b>				
<b>Região Hidrográfica</b>	<b>Área (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>Nº de Estações</b>	<b>Densidade (Km<sup>2</sup>/Est)</b>	<b>Recomendações OMM</b>
Baixo Amazonas (RHBA)	59.741,02	5	11.948,2	575 Km <sup>2</sup> /est.
Calha Norte (RHCN)	276.327,05	7	39.475,2	575 Km <sup>2</sup> /est.
Costa Atlântica-Nordeste (RHCA)	122.050,94	26	4.694,2	575 Km <sup>2</sup> /est.
Portel-Marajó (RHPM)	123.209,90	9	13.689,9	575 Km <sup>2</sup> /est.
Tapajós (RHT)	217.732,54	7	31.104,6	575 Km <sup>2</sup> /est.
Tocantins-Araguaia (RHTA)	139.942,45	5	27.988,4	575 Km <sup>2</sup> /est.
Xingu (RHX)	308.950,70	7	44.135,8	575 Km <sup>2</sup> /est.

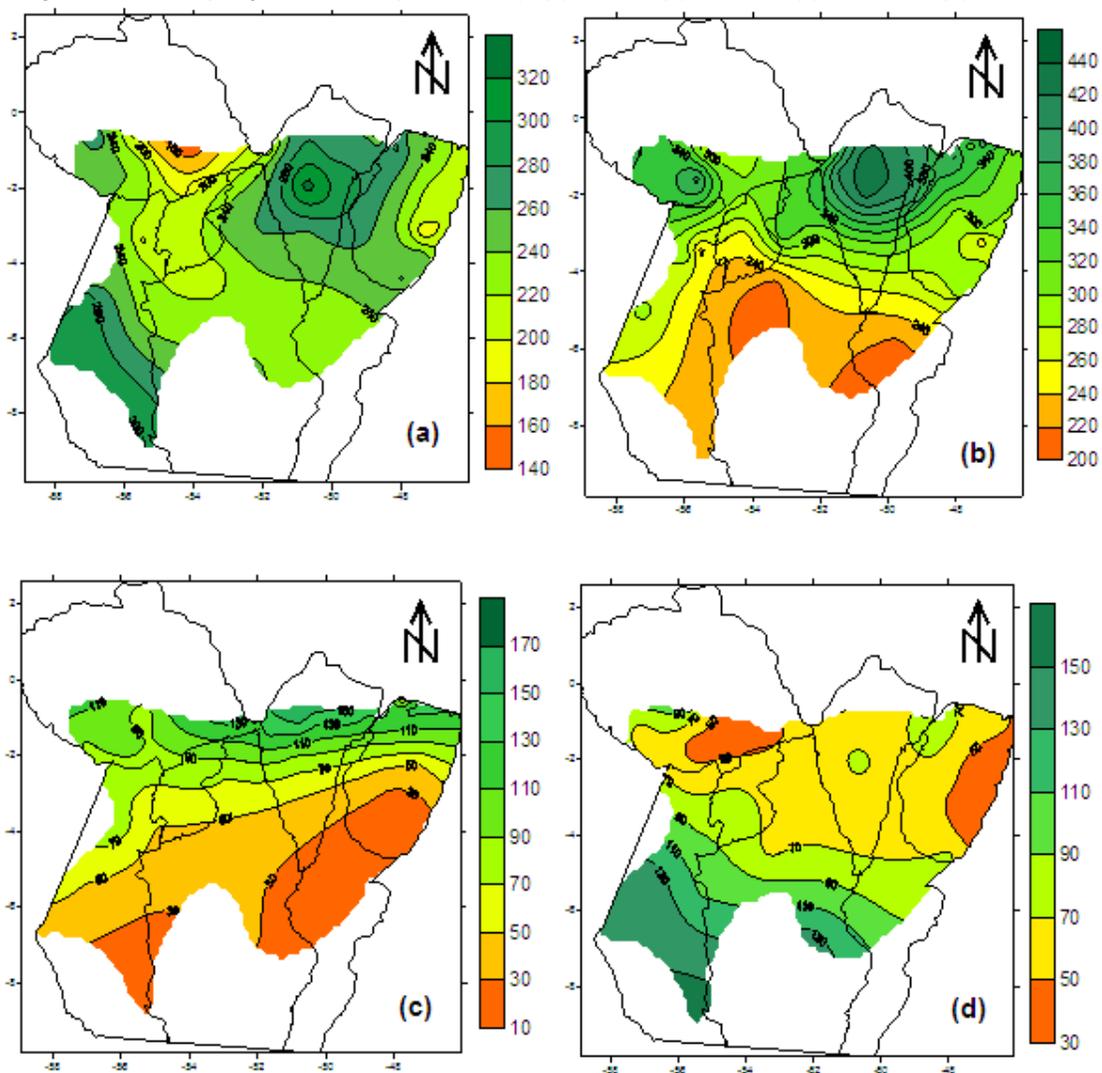
Fonte: Dados da Pesquisa (2013)

A densidade mínima de postos pluviométricos nas regiões que compõem a rede hidrográfica do Pará, bem como para todo o estado, excederam o limite estabelecido pela OMM de 575 Km<sup>2</sup>/estação, considerando-se como um resultado insatisfatório. As regiões hidrográficas Calha Norte, Tapajós e Xingu, são as detentoras dos maiores percentuais de área do estado do Pará e apresentaram uma densidade de 39.475,2 Km<sup>2</sup>/estação, 31.104,6 Km<sup>2</sup>/estação e 44.135,8 Km<sup>2</sup>/estação respectivamente, não atendendo as recomendações da OMM. São, portanto regiões que necessitam de um melhor monitoramento.

#### 4.4 SAZONALIDADE DA PRECIPITAÇÃO

A precipitação sazonal para o Estado do Pará entre os anos de 1982 a 2011 é mostrada na Figura 16. Quando comparada a climatologia do INMET (2012), observamos que no geral a distribuição espacial da precipitação é semelhante, apresentando algumas discrepâncias em função do período analisado ser diferente.

Figura 16 – Precipitação Sazonal (1982-2011): (a) Verão, (b) Outono, (c) Inverno e (d) Primavera



Fonte: Dados da Pesquisa (2013)

Verão (DJF): Na análise sazonal da precipitação para o trimestre Dezembro-Janeiro-Fevereiro, observa-se acentuados índices de precipitação nas regiões Sudoeste e Nordeste do estado, caracterizando o início do período chuvoso determinado pela chegada da ZCIT que coincide com a época de maior ocorrência da ZCAS (FIGUEROA; NOBRE, 1990).

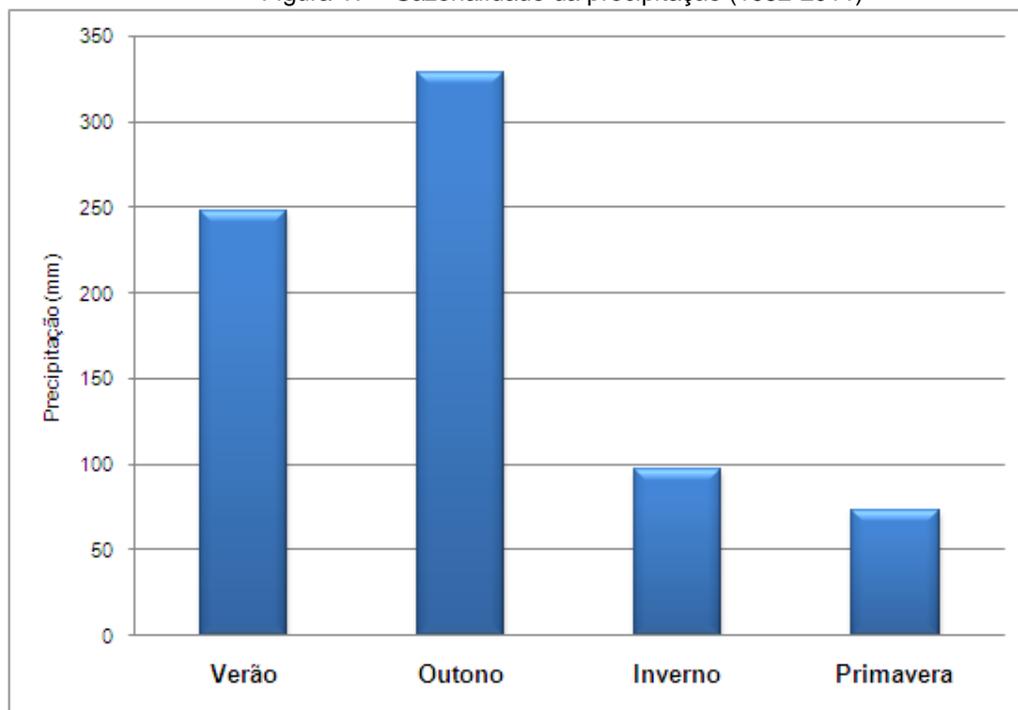
Outono (MAM): nota-se que as regiões localizadas ao Norte e Nordeste Paraense apresentam os maiores índices pluviométricos, pois é uma área que sofre influência da ZCIT.

Inverno (JJA): é a estação mais seca do estado, pois a ZCIT desloca-se para o Hemisfério Norte. As regiões Sul, Sudeste e Sudoeste do estado apresentam os menores valores dentre os trimestres, com precipitação abaixo de 100 mm.

(Primavera (SON): observamos que região Sudoeste apresenta os maiores índices de precipitação, isso se dá pelo início da atividade convectiva associada a ZCAS, iniciando nestas áreas o ciclo de chuvas.

Para o Estado do Pará, a marcha sazonal da precipitação média apresenta duas estações distintas, a estação seca (inverno e primavera do Hemisfério Sul), com precipitações inferiores a 100 mm, e a estação chuvosa (verão e outono do Hemisfério Sul) com precipitações superiores a 200 mm (Figura 17).

Figura 17 – Sazonalidade da precipitação (1982-2011)



Fonte: Dados da Pesquisa (2013)

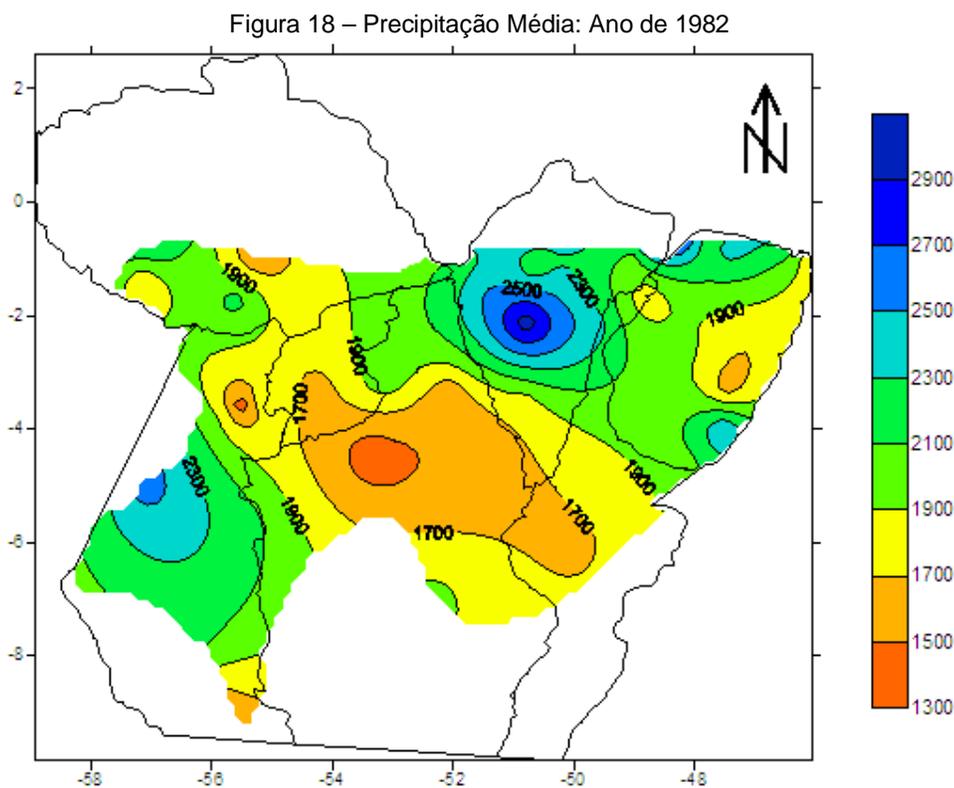
#### 4.5 PRECIPITAÇÃO ANUAL

Analisando os mapas da distribuição da precipitação anual (Figuras 18 a 47), observamos que, para a área do estado de apresenta alta densidade de estações pluviométricas, há uma grande variabilidade espacial e temporal da chuva, que pode estar relacionada a grande extensão do Estado e também a atuação de vários

sistemas atmosféricos que atuam na região. E que a precipitação tende a decrescer da área costeira para o interior do Estado, conforme estudos de Figuerosa e Nobre (1990).

As áreas de maior pluviosidade no Estado observadas nos 30 mapas de isoietas correspondem às porções Norte e Nordeste, com precipitações anuais acima de 4000 mm. É uma área fortemente influenciada pela ZCIT, que provoca forte convecção local.

As áreas que apresentam as menores precipitações estão a sudeste do Pará. No ano de 1983 nota-se os menores índices pluviométrico, provavelmente está relacionado ao episódio de forte El Niño observado neste ano.



Fonte: Dados da Pesquisa (2013)

Figura 19 – Precipitação Média: Ano de 1983

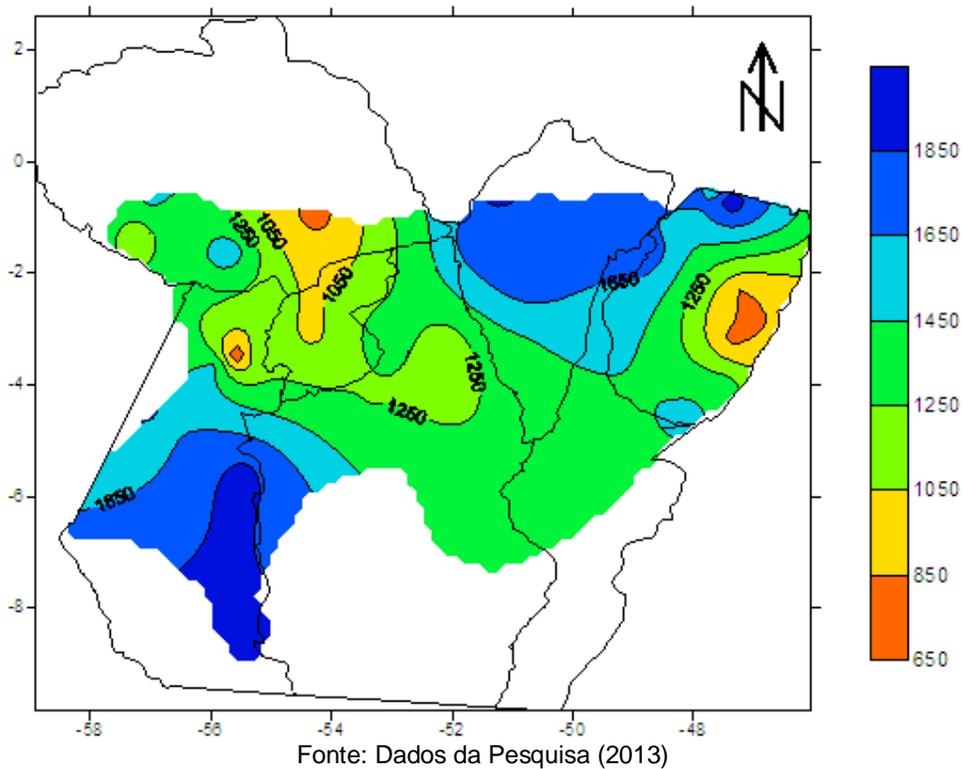


Figura 20 – Precipitação Média: Ano de 1984

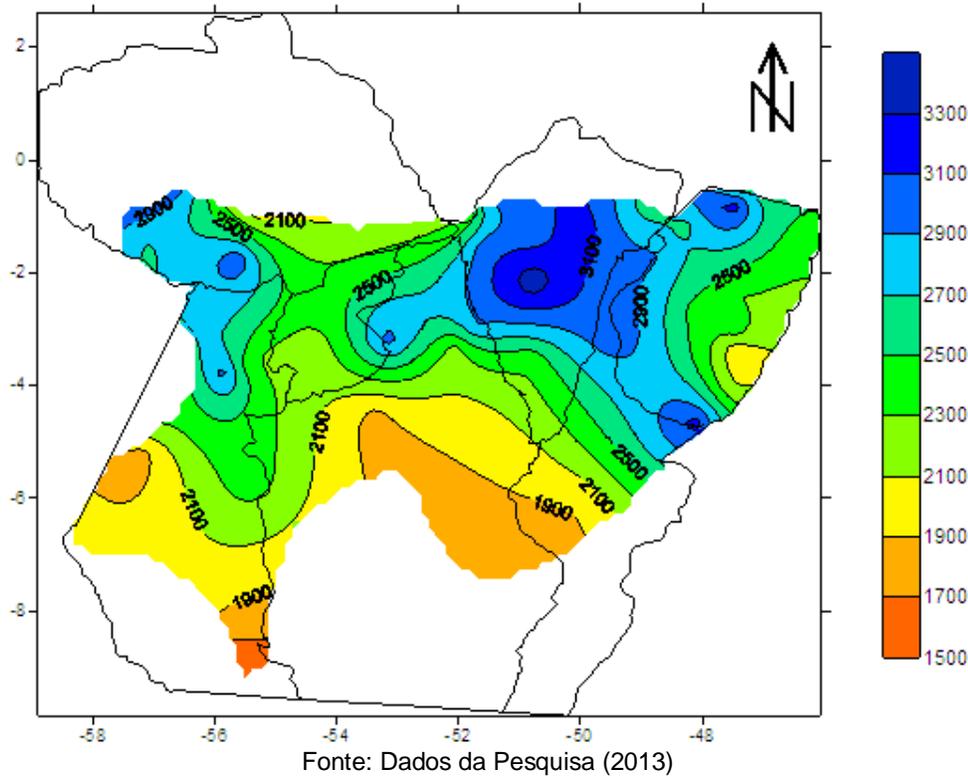
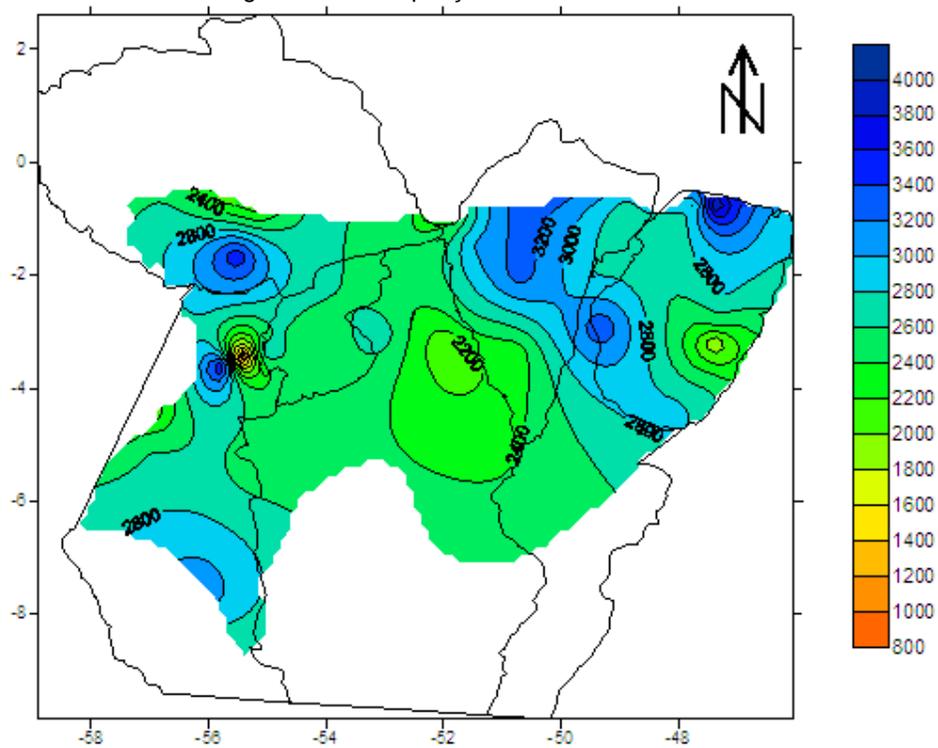
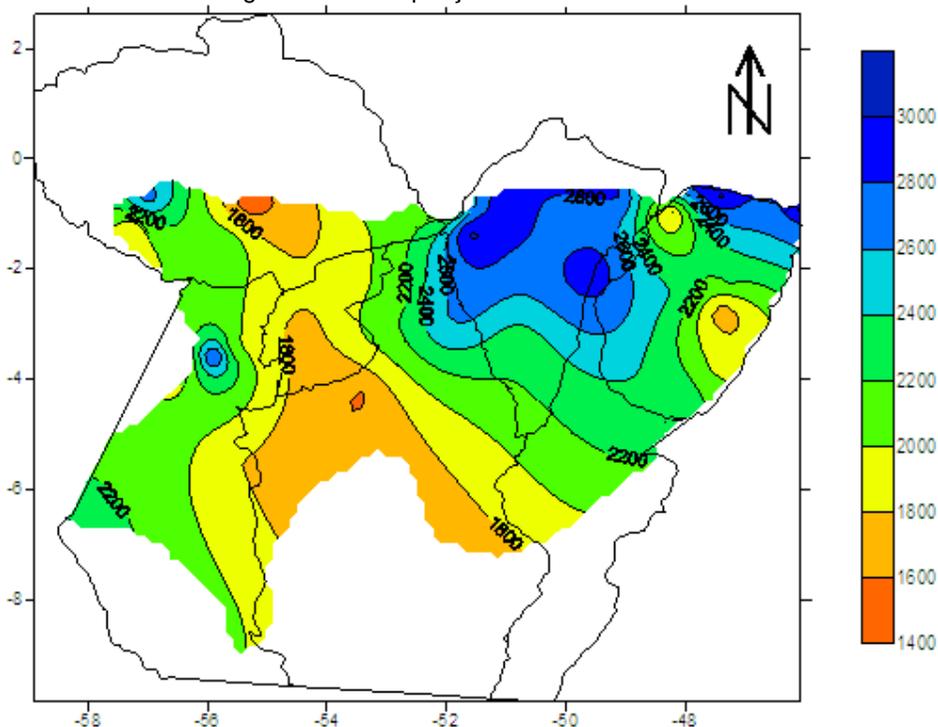


Figura 21 – Precipitação Média: Ano de 1985



Fonte: Dados da Pesquisa (2013)

Figura 22 – Precipitação Média: Ano de 1986



Fonte: Dados da Pesquisa (2013)

Figura 23 – Precipitação Média: Ano de 1987

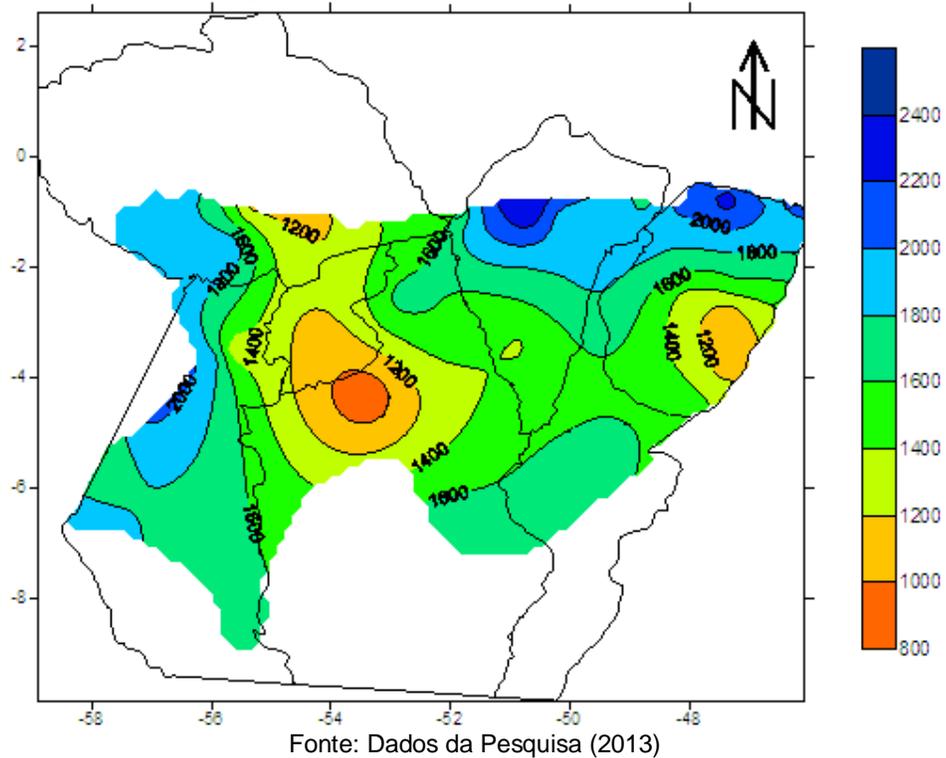


Figura 24 – Precipitação Média: Ano de 1988

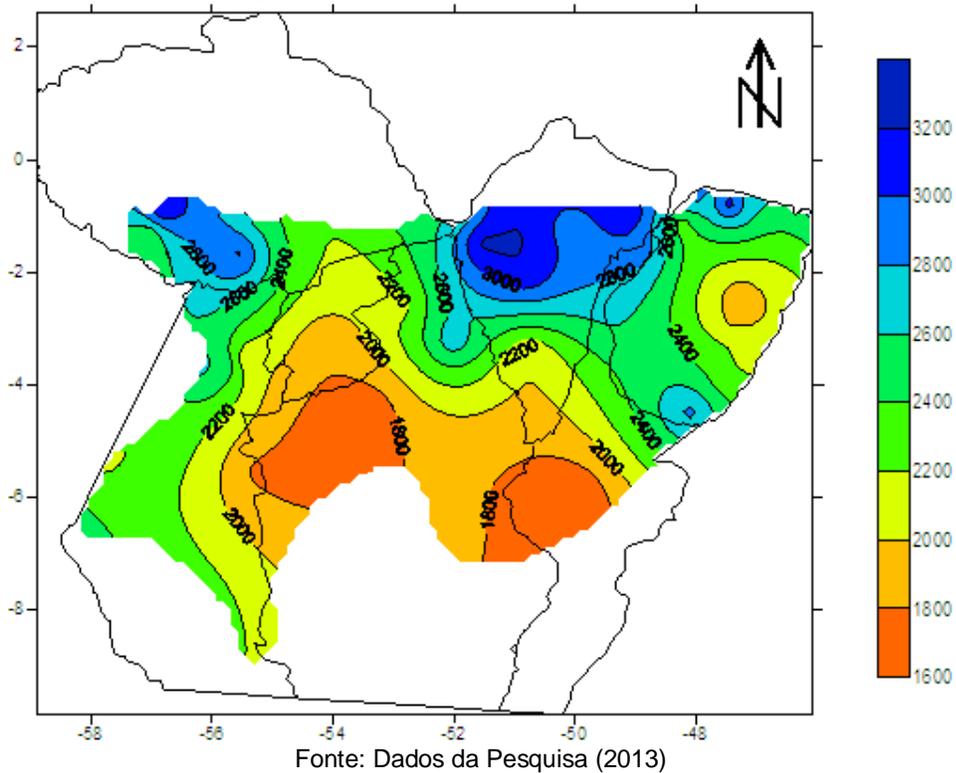


Figura 25 – Precipitação Média: Ano de 1989

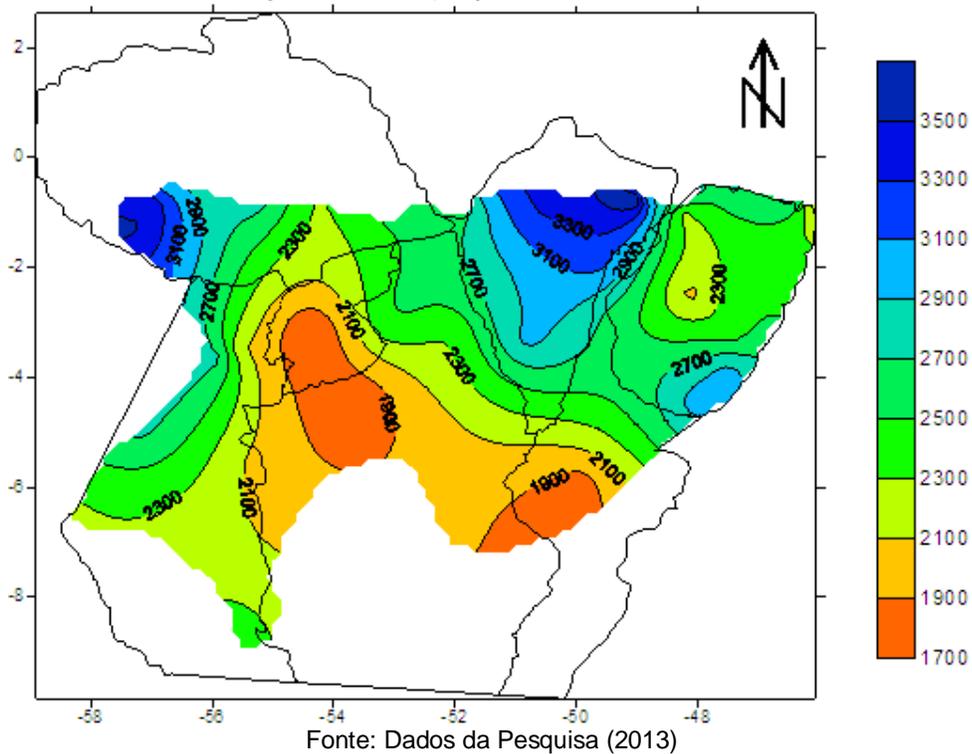


Figura 26 – Precipitação Média: Ano de 1990

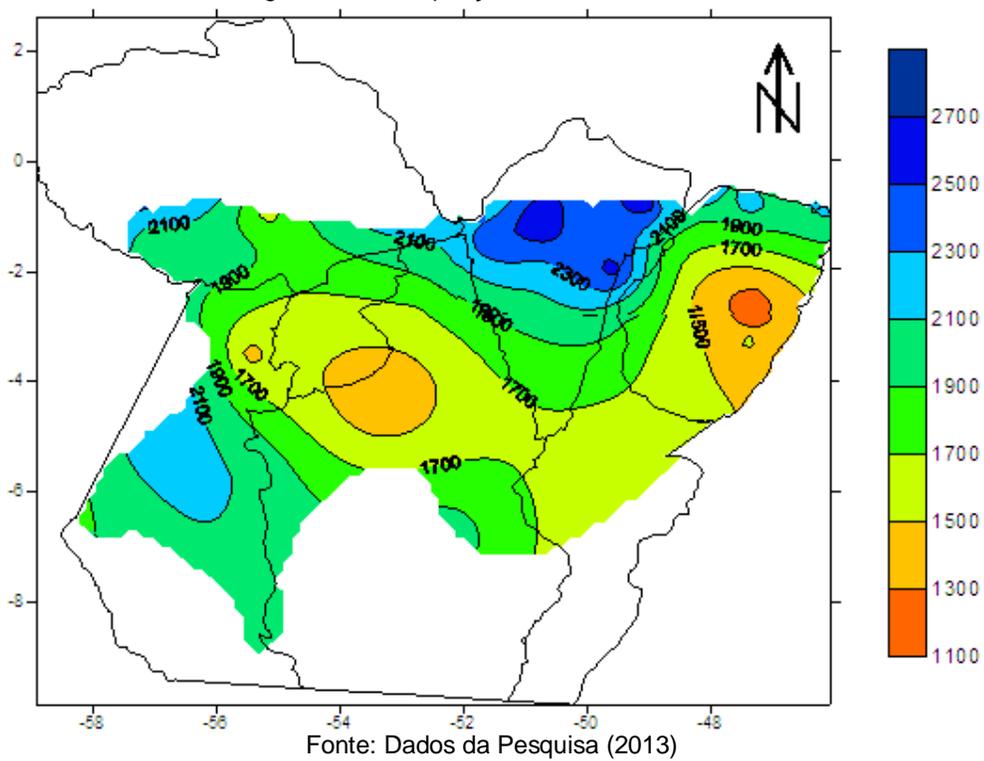


Figura 27 – Precipitação Média: Ano de 1991

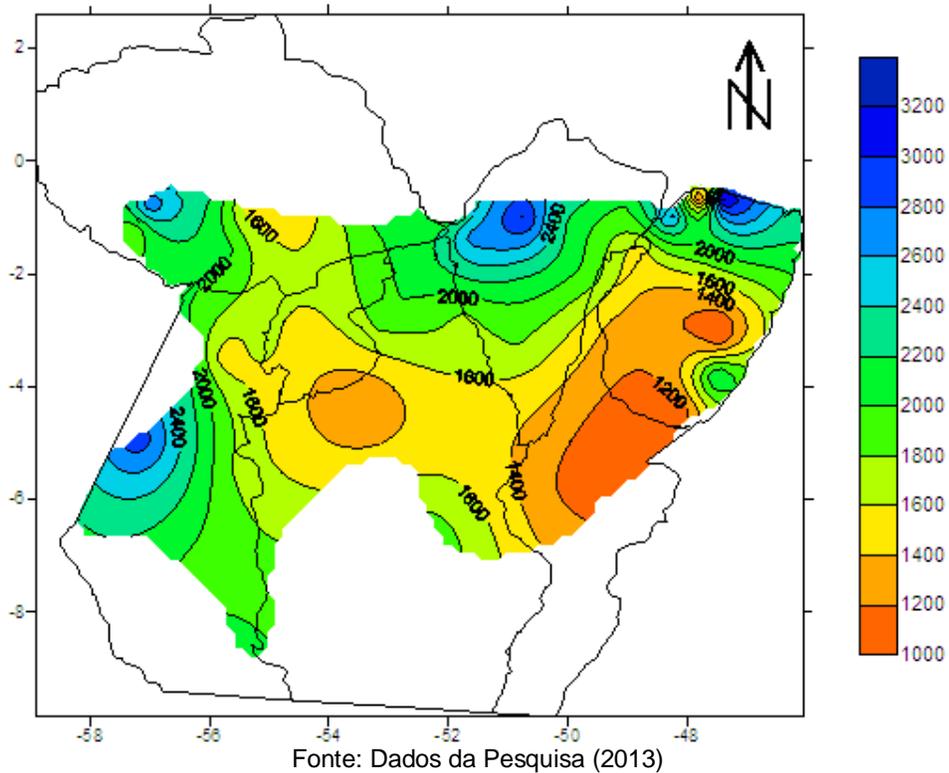


Figura 28 – Precipitação Média: Ano de 1992

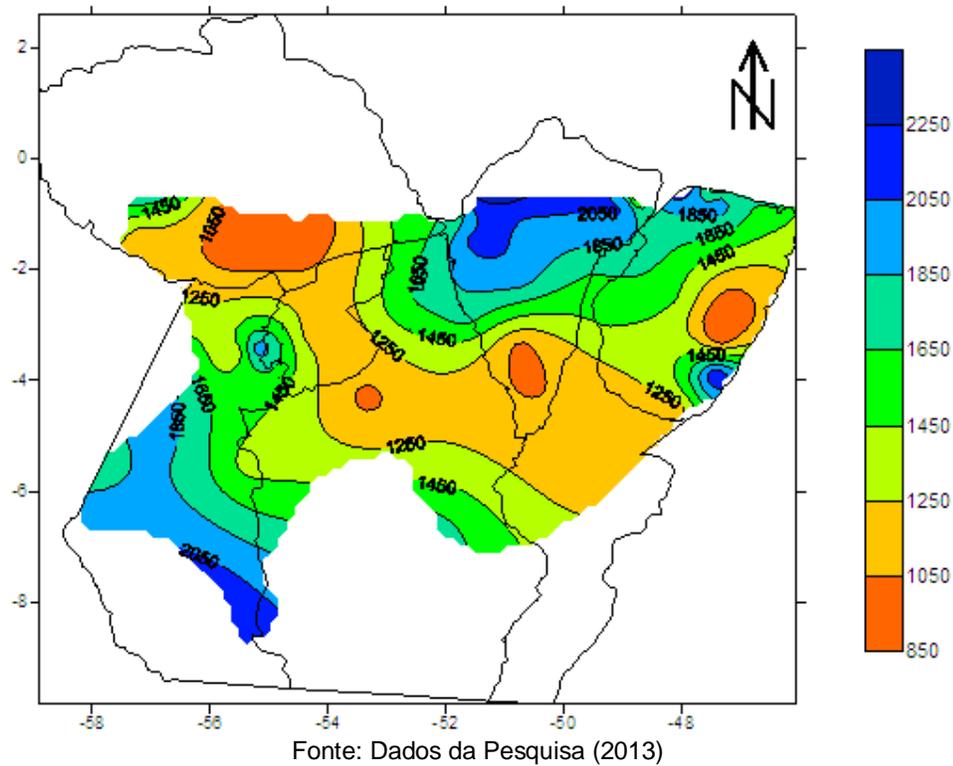


Figura 29 – Precipitação Média: Ano de 1993

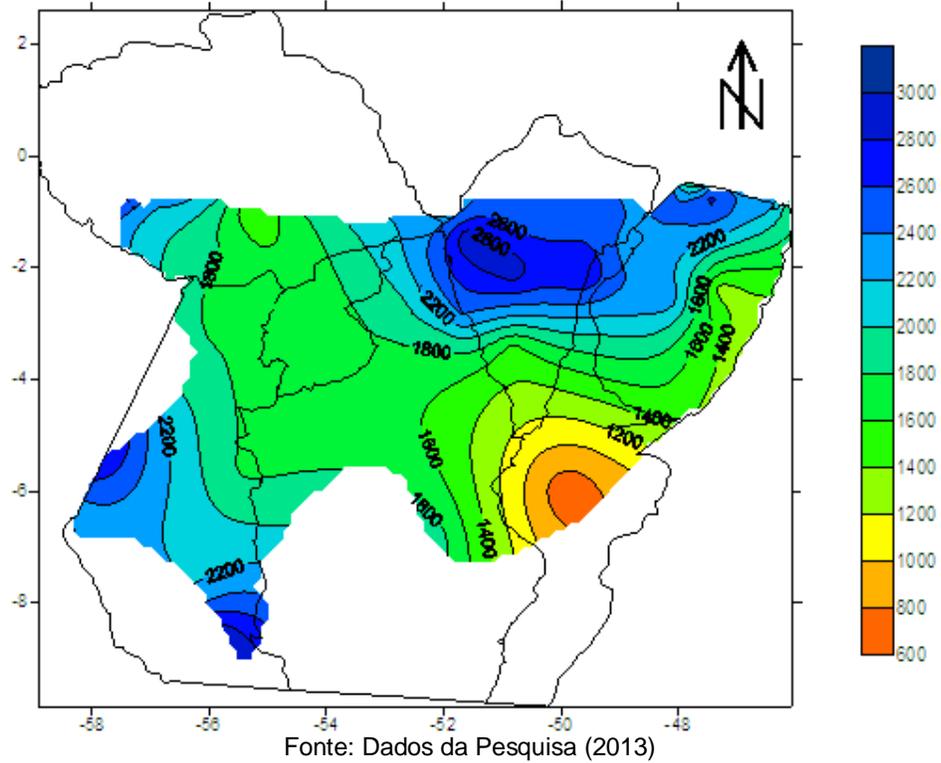


Figura 30 – Precipitação Média: Ano de 1994

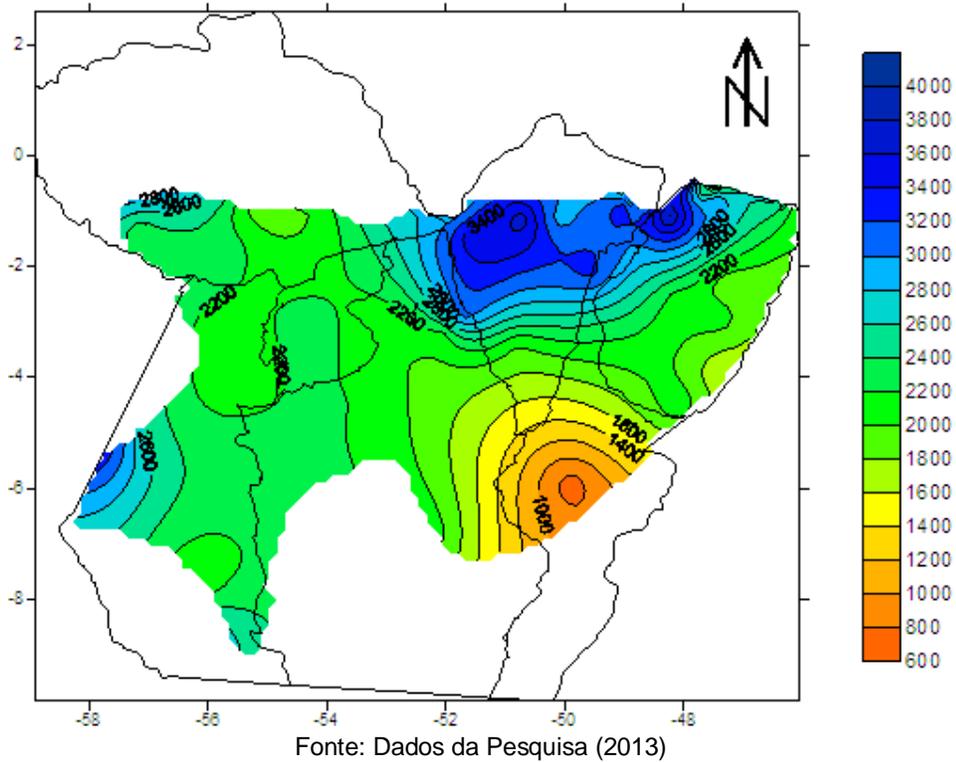
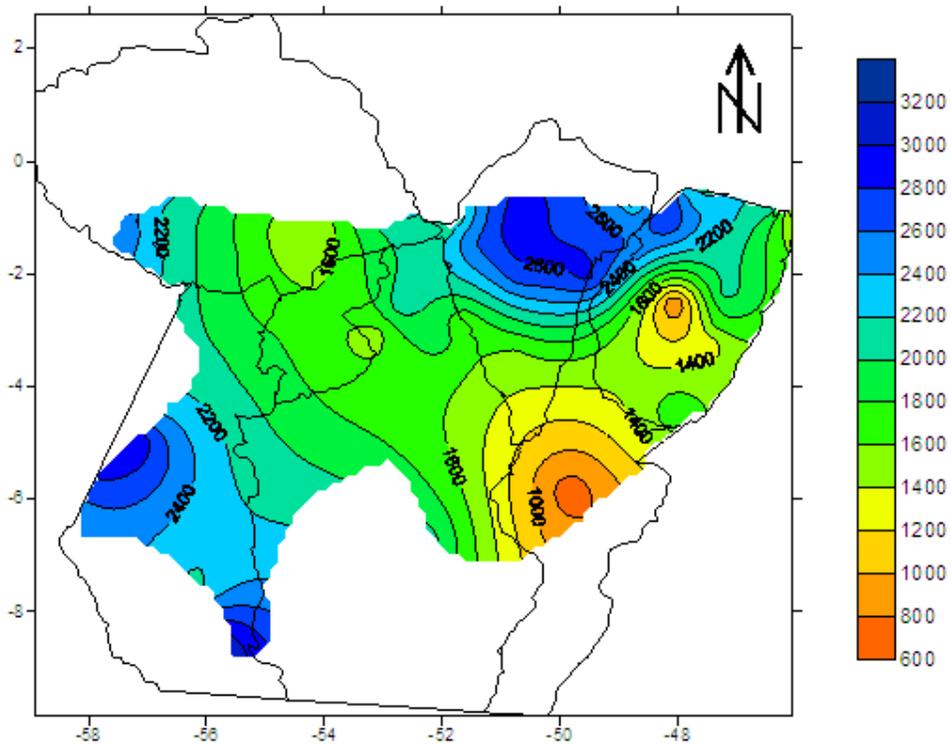
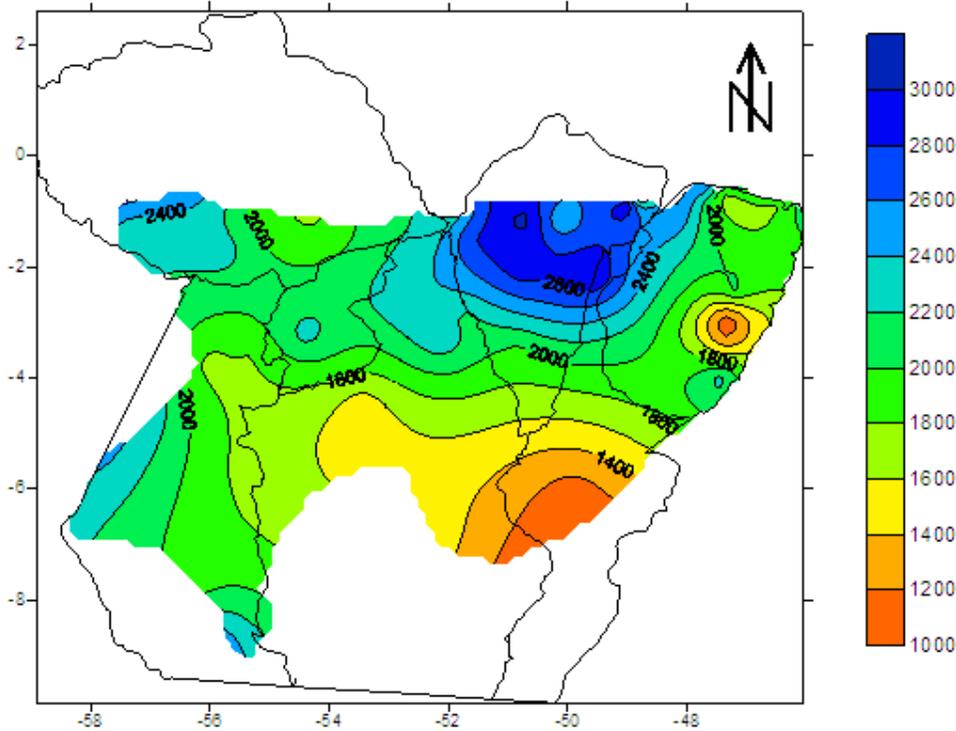


Figura 31 – Precipitação Média: Ano de 1995



Fonte: Dados da Pesquisa (2013)

Figura 32 – Precipitação Média: Ano de 1996



Fonte: Dados da Pesquisa (2013)

Figura 33 – Precipitação Média: Ano de 1997

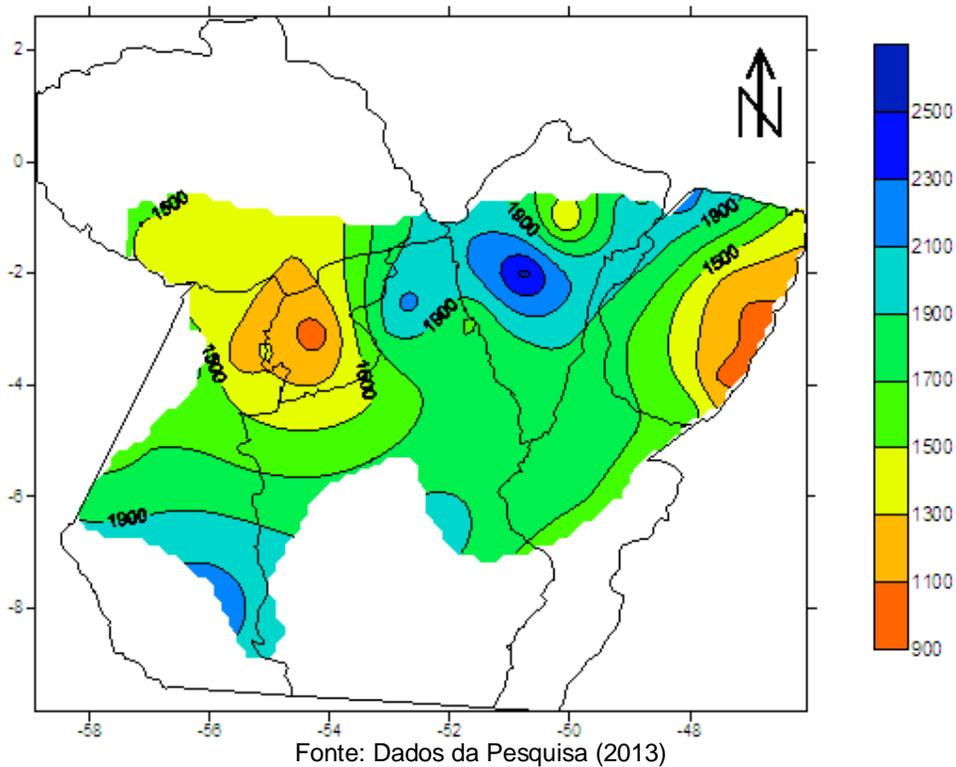


Figura 34 – Precipitação Média: Ano de 1998

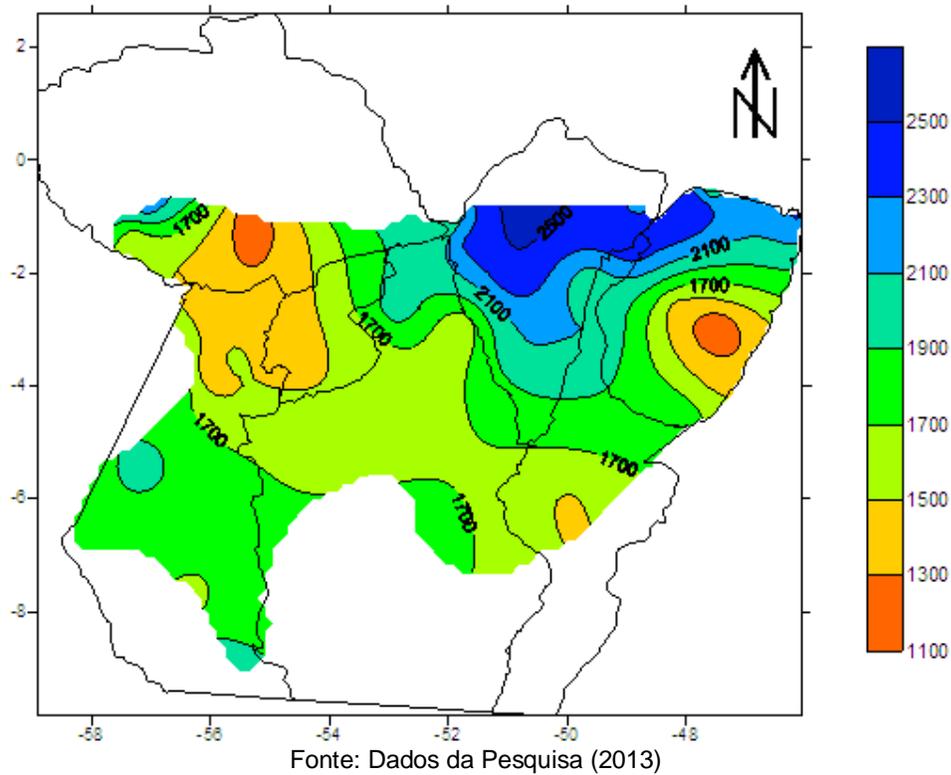


Figura 35 – Precipitação Média: Ano de 1999

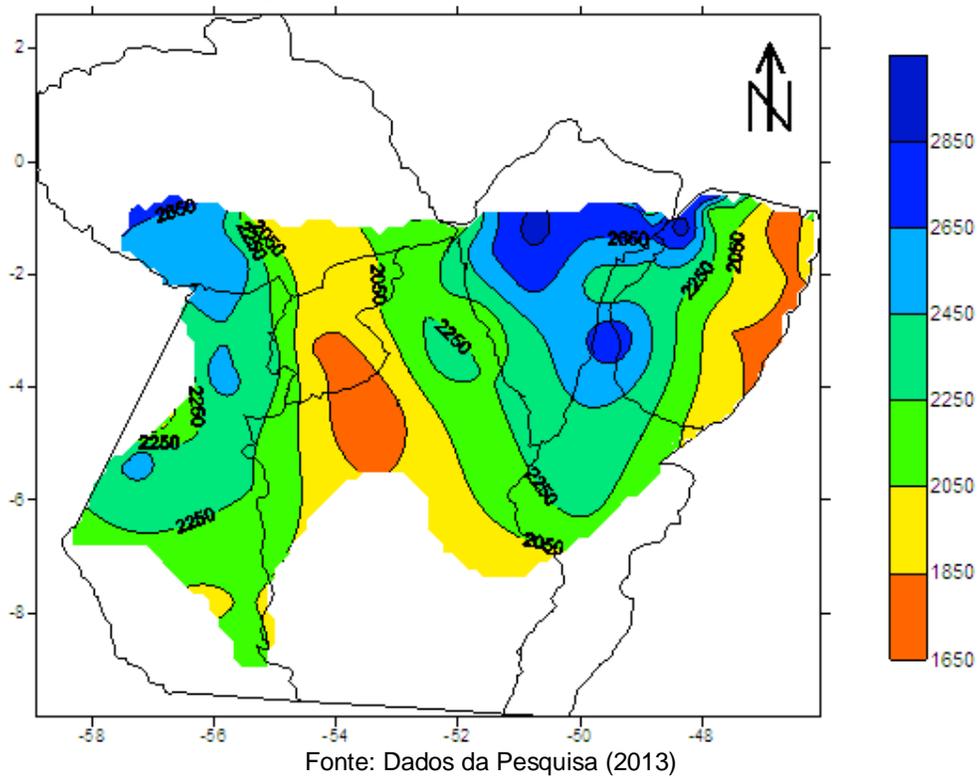


Figura 36 – Precipitação Média: Ano de 2000

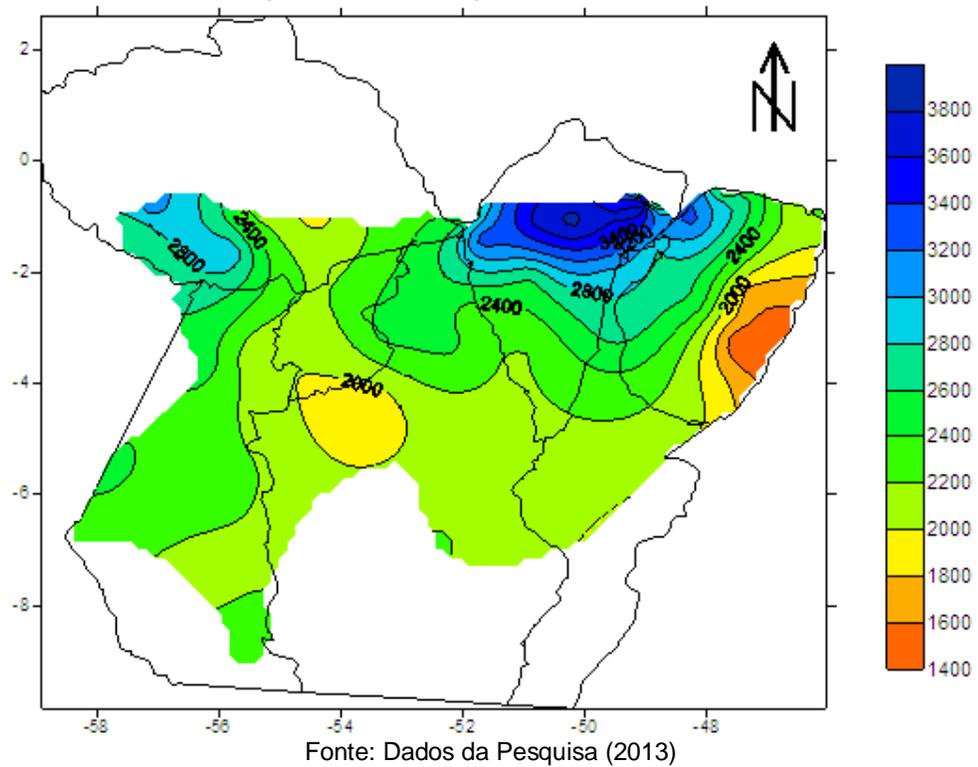


Figura 37 – Precipitação Média: Ano de 2001

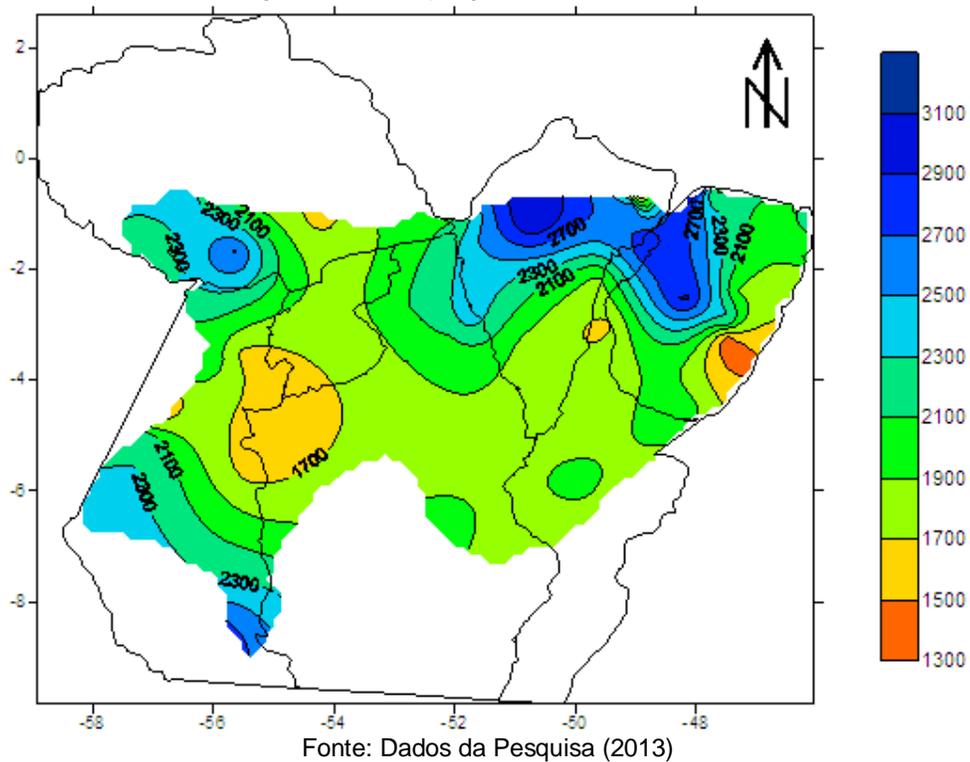


Figura 38 – Precipitação Média: Ano de 2002

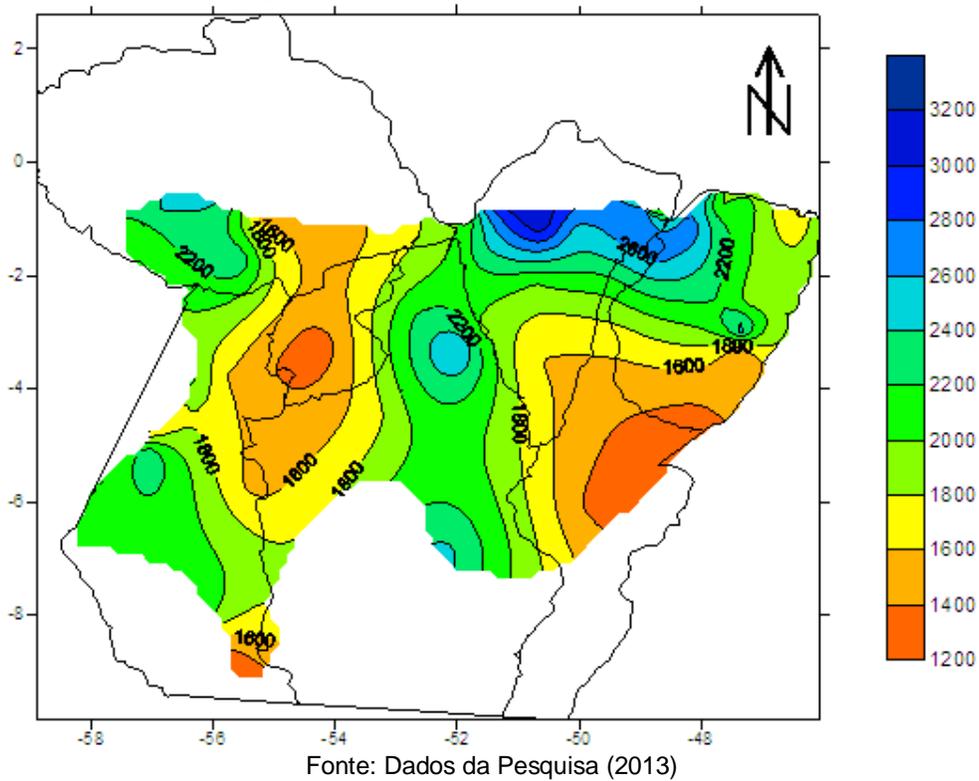
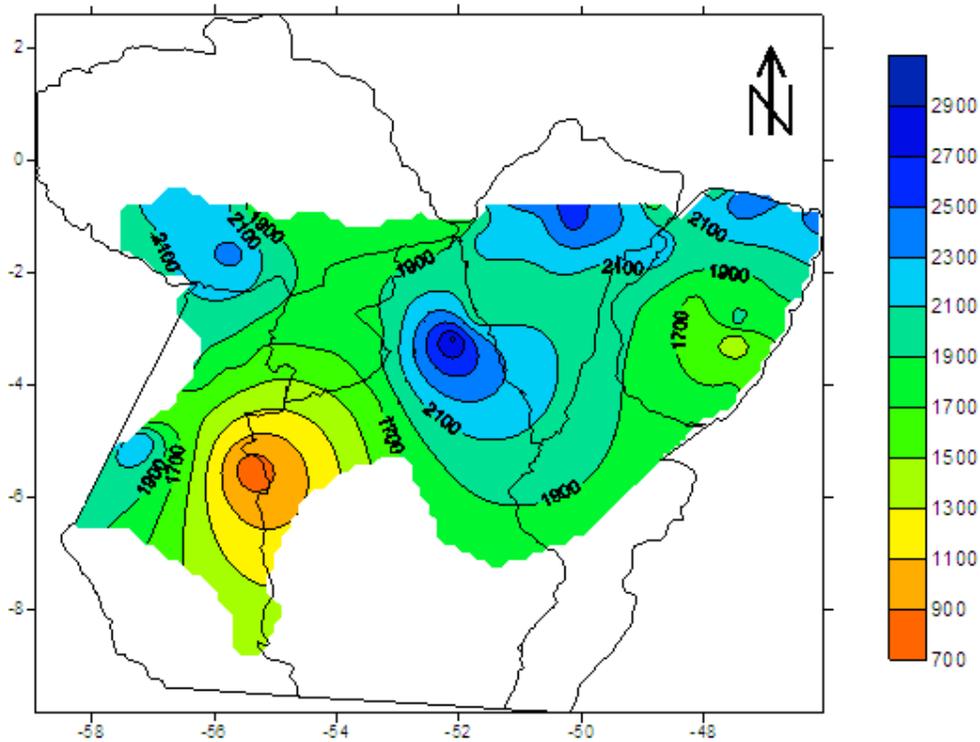
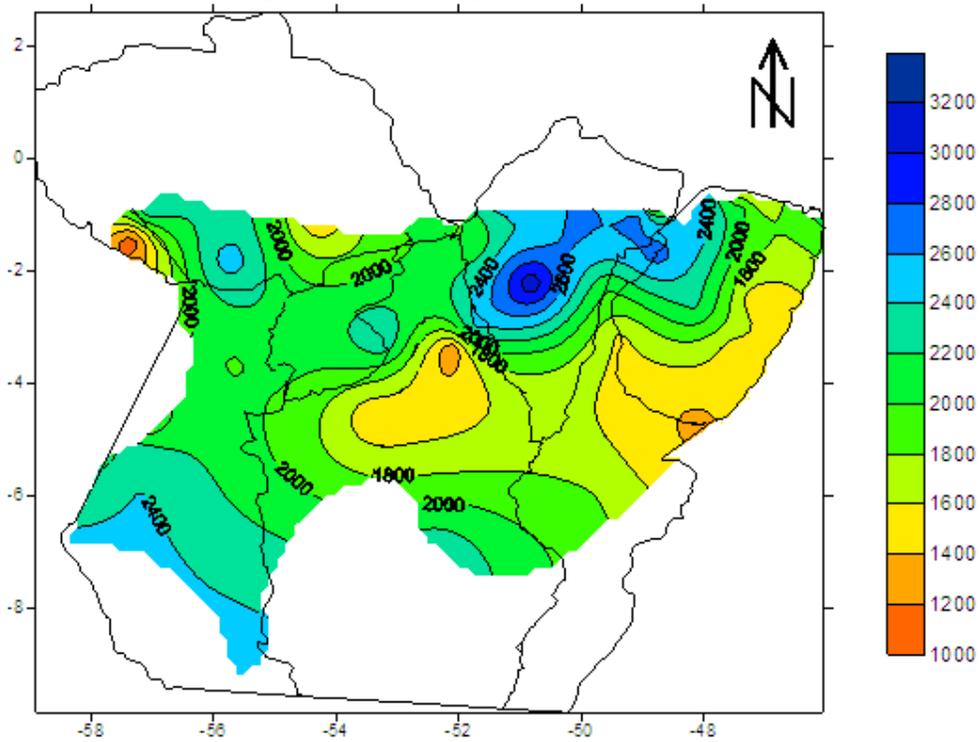


Figura 39 – Precipitação Média: Ano de 2003



Fonte: Dados da Pesquisa (2013)

Figura 40 – Precipitação Média: Ano de 2004



Fonte: Dados da Pesquisa (2013)

Figura 41 – Precipitação Média: Ano de 2005

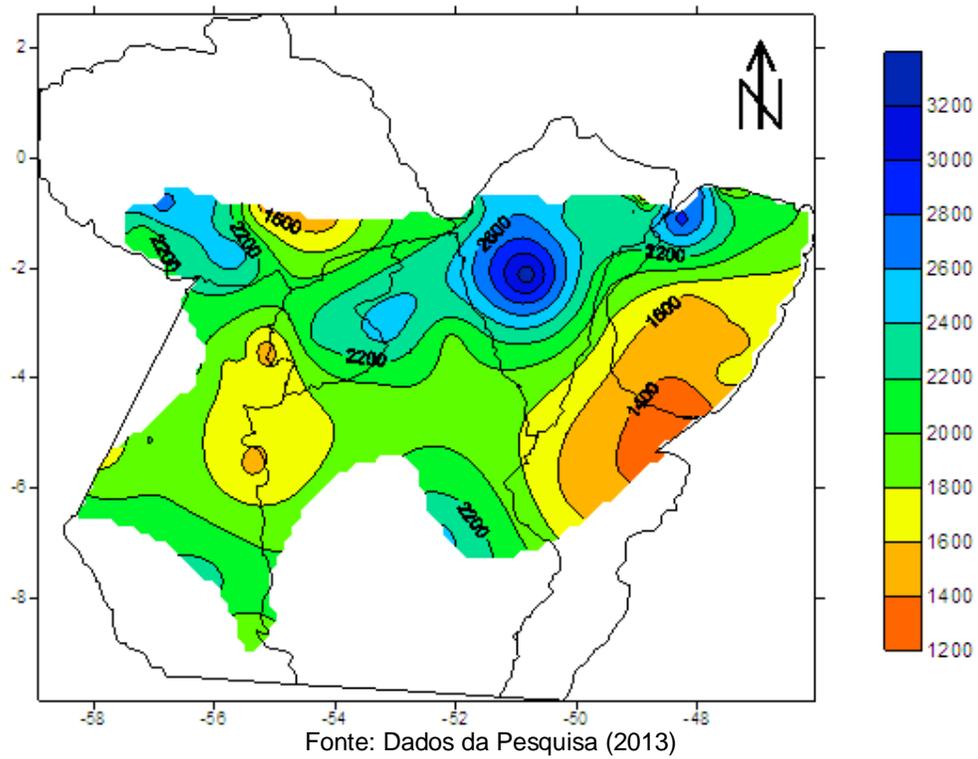


Figura 42 – Precipitação Média: Ano de 2006

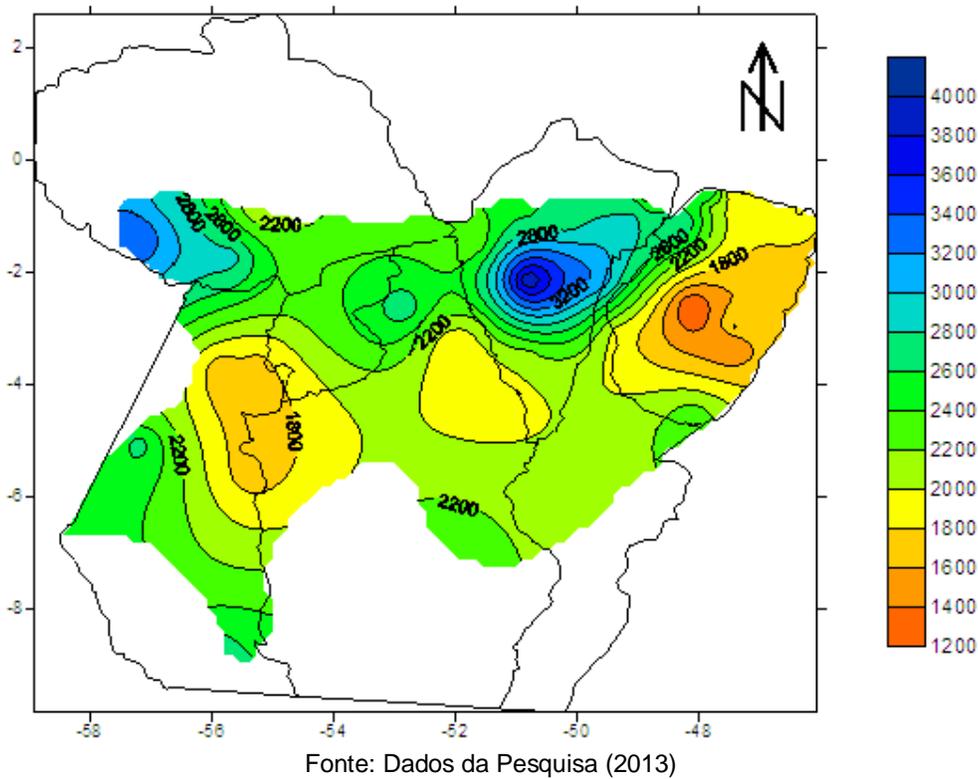


Figura 43 – Precipitação Média: Ano de 2007

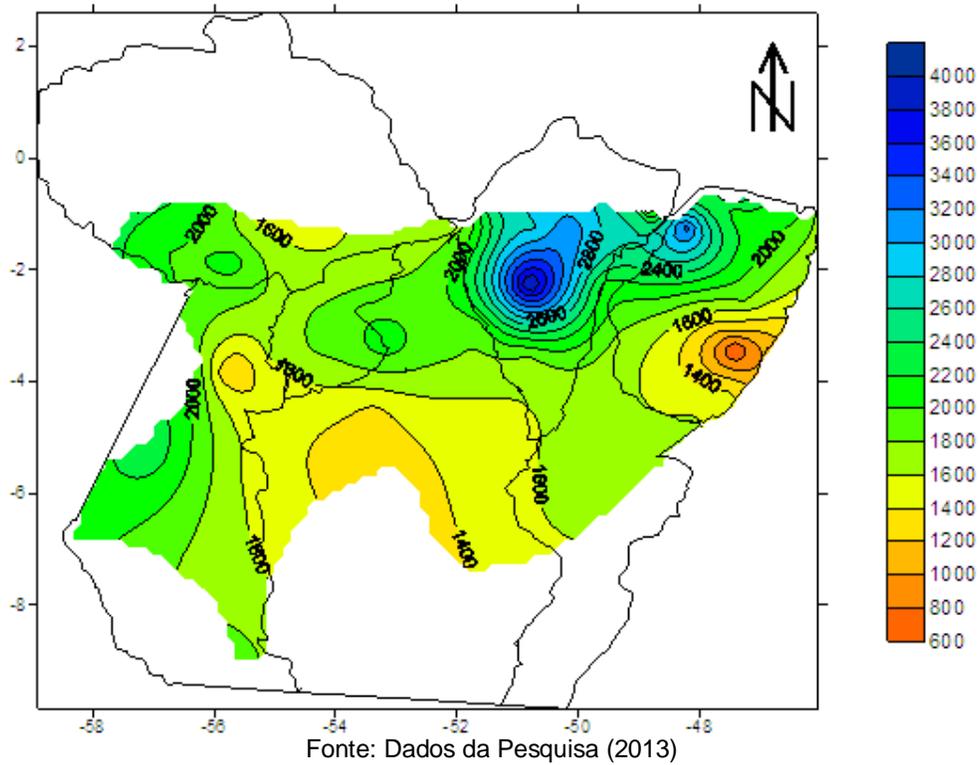


Figura 44 – Precipitação Média: Ano de 2008

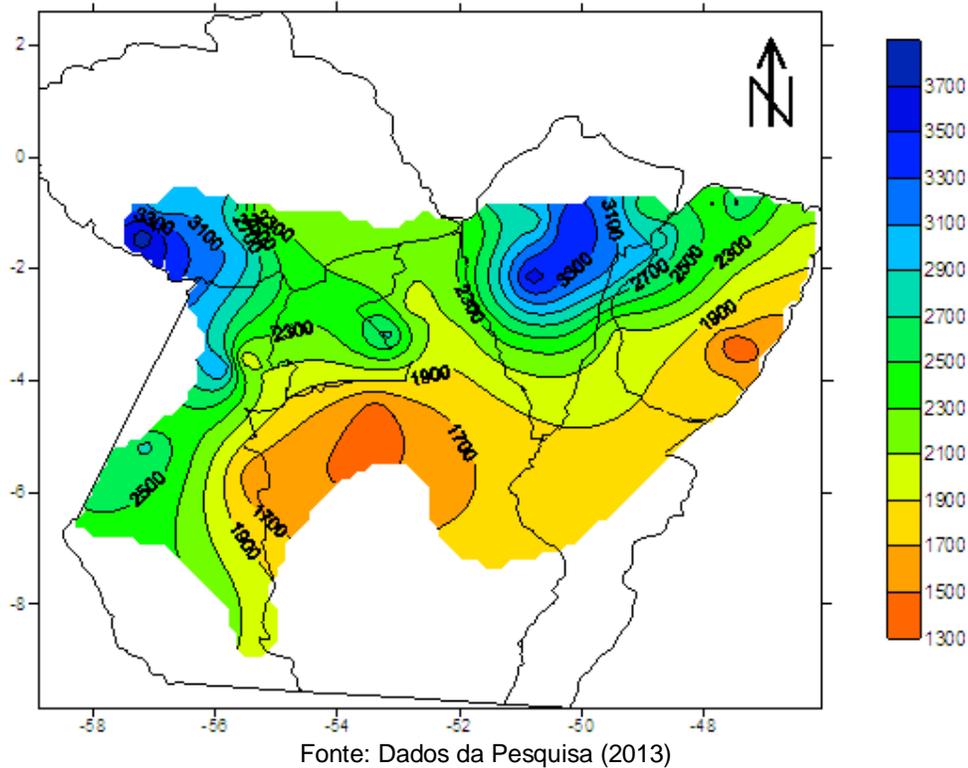


Figura 45 – Precipitação Média: Ano de 2009

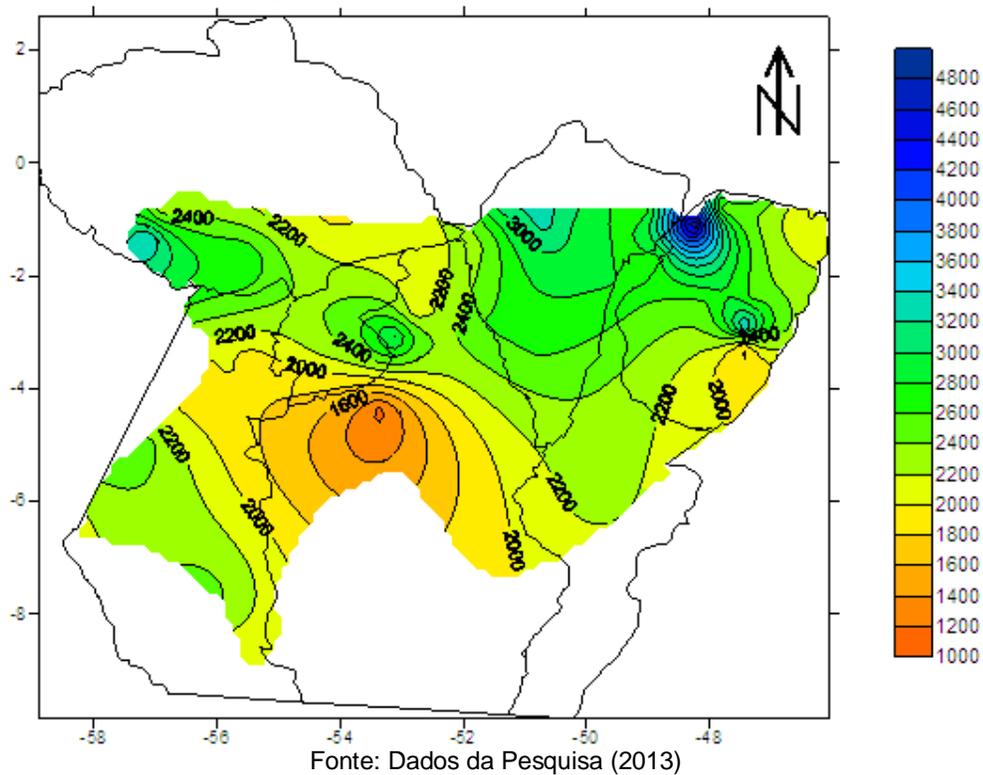


Figura 46 – Precipitação Média: Ano de 2010

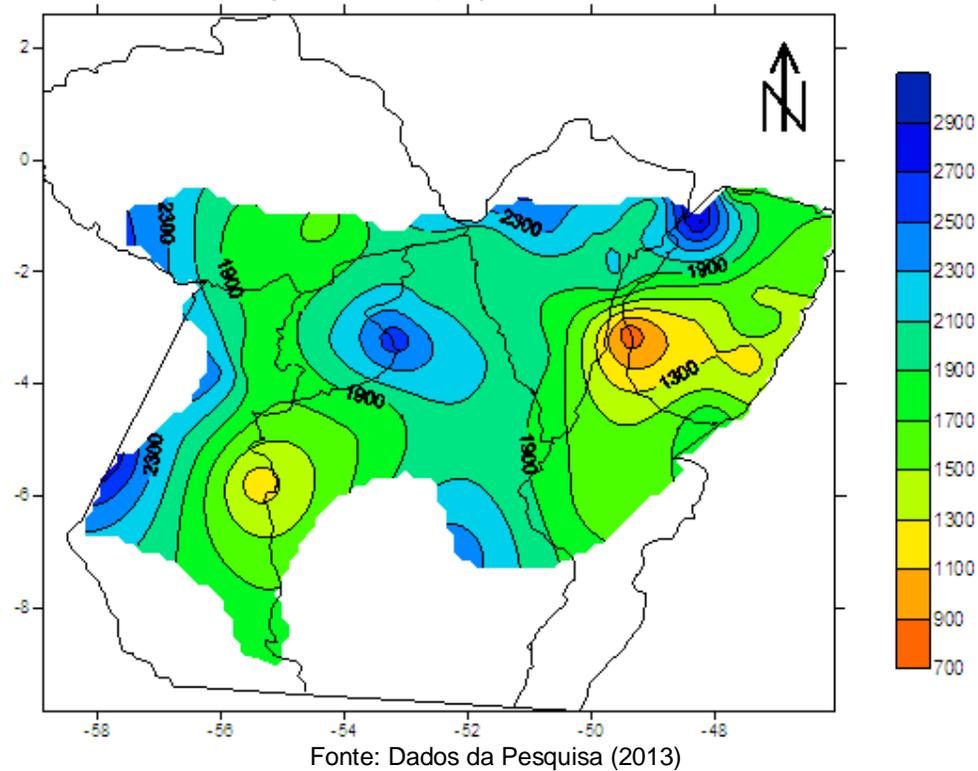
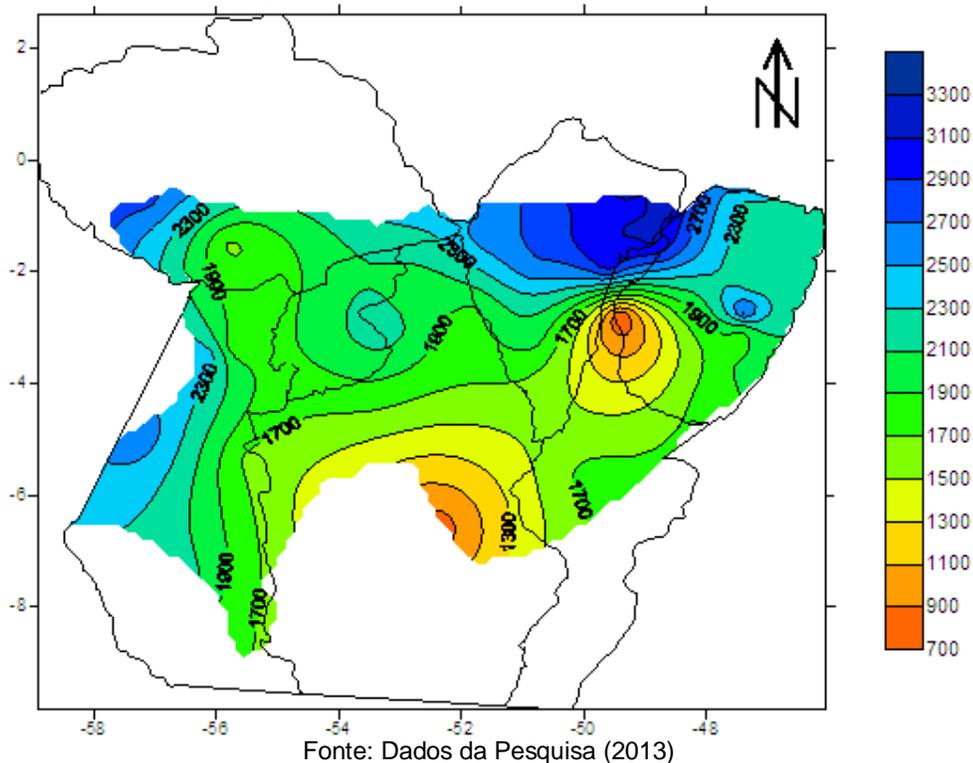


Figura 47 – Precipitação Média: Ano de 2011



#### 4.6 VOLUME ANUAL PRECIPITADO E TENDÊNCIA TEMPORAL

Com o auxílio do software Autocad 2013 os mapas de isoietas foram colocados em escala, isto para que as áreas entre as isoietas correspondessem a escala real. As áreas entre isoietas foram calculadas e multiplicadas pelas médias entre as respectivas isoietas que as compreendem desta forma foi possível encontrar o volume anual da precipitação para cada mapa que foi utilizado para verificar tendência. O resultado destes volumes são mostrados na Tabela 6.

Tabela 6 - Volume Anual Precipitado (Km<sup>3</sup>)

Ano	Volume (Km <sup>3</sup> )
1982	1131,34
1983	801,16
1984	1489,11
1985	1638,84
1986	1477,08
1987	976,25

1988	1399,34
1989	1573,38
1990	1133,01
1991	1126,43
1992	911,59
1993	1124,93
1994	1354,37
1995	1149,61
1996	1208,15
1997	994,26
1998	1219,81
1999	1354,74
2000	1506,57
2001	1280,09
2002	1202,79
2003	1186,75
2004	1177,43
2005	1294,59
2006	1355,85
2007	1149,48
2008	1374,48
2009	1545,93
2010	1205,99
2011	1219,01

Fonte: Dados da Pesquisa (2013)

#### Tendência: Mann-Kendall e Spearman

Considerando o nível de significância de 5 % e utilizando o valor de Z a partir da tabela padrão normal para o teste de Mann-Kendall e t da tabela da distribuição t de Student para o teste de Spearman, pode-se concluir que a série analisada não mostrou tendência, ou seja, deve-se aceitar a hipótese  $H_0$  de que os dados não apresentam tendência temporal (Tabela 7). Porém, existe uma grande variabilidade interanual da precipitação com valores mínimos registrados nos anos de 1983 e 1992, anos de ocorrência de forte El Niño e máximos em 1985 e 1989 anos de ocorrência do La Niña.

Tabela 7 - Análise de Tendência: Mann-Kendall e Spearman

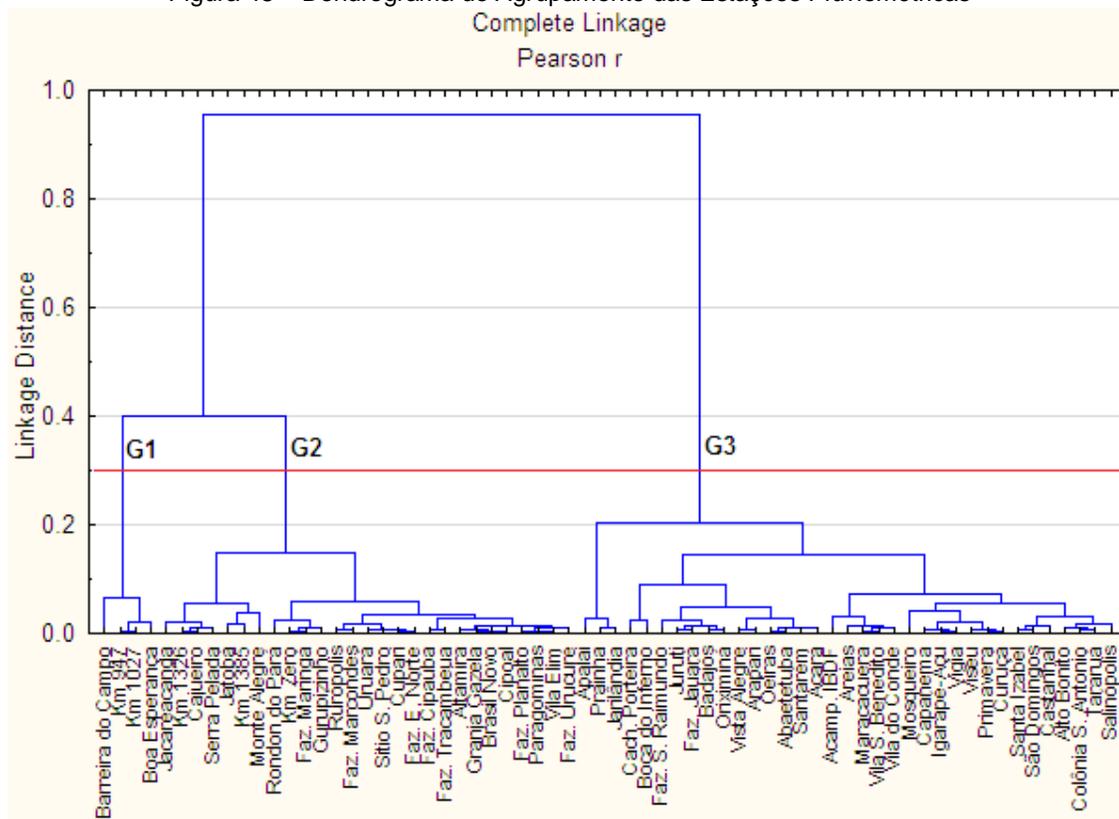
Região	Mann-Kendall	Spearman	Tendência
Estado do Pará	1,624	0,1364	Sem tendência

Fonte: Dados da Pesquisa (2013)

#### 4.7 REGIÕES HOMOGÊNEAS DE PRECIPITAÇÃO

Através da análise de agrupamento das precipitações mensais, foram definidos 3 grupos homogêneos (G1, G2 e G3) para o estado do Pará. O grupo G1 formado por 4 estações, o grupo G2 constitui-se de 27 estações e o grupo G3 possui 35 estações. O dendrograma obtido está representado na Figura 48, podendo-se observar que o corte realizado subjetivamente determinou a existência de três grupos homogêneos. A linha vermelha indica o ponto de corte do dendrograma para a formação dos grupos. A sequência de agrupamentos está apresentada na forma de dendrograma, em que no eixo das abscissas estão as estações e no eixo das ordenadas o nível de agregação.

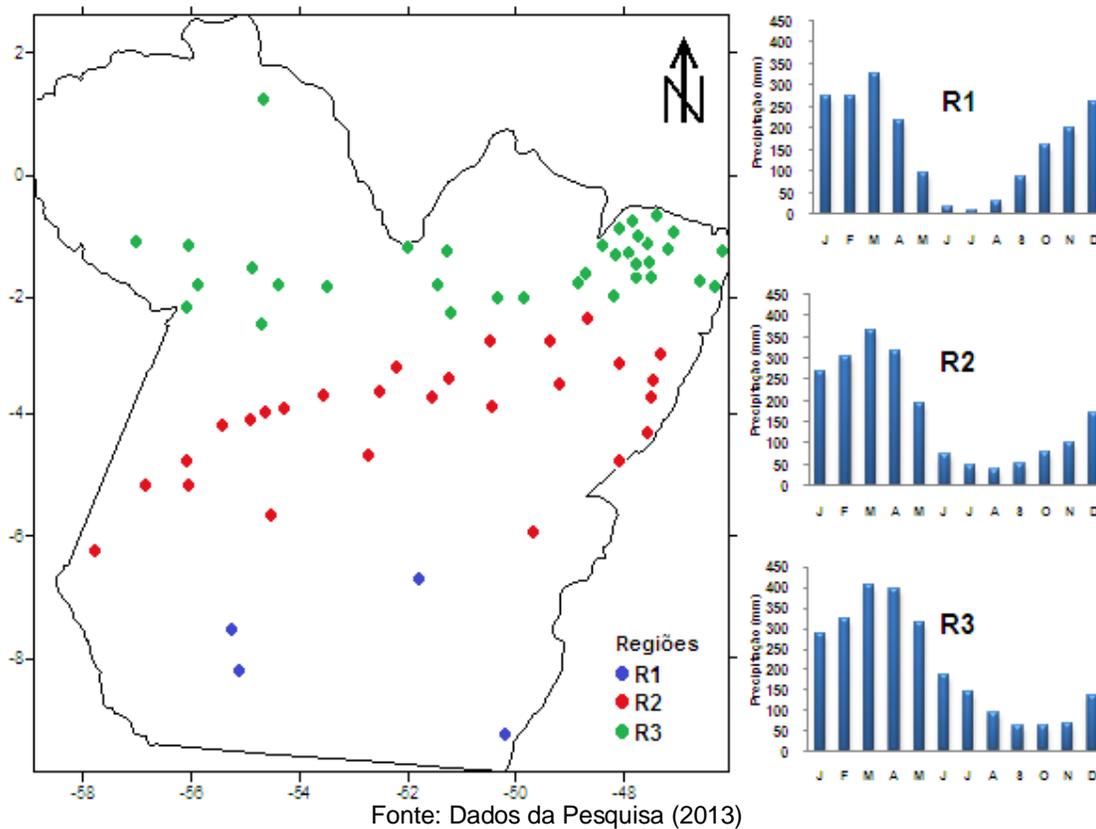
Figura 48 – Dendrograma de Agrupamento das Estações Pluviométricas



Fonte: Dados da Pesquisa (2013)

A distribuição das 66 estações nos 3 grupos homogêneos é mostrada na Figura 49, onde também se encontram os histogramas das precipitações médias para cada grupo.

Figura 49 – Espacialização das Estações Pluviométricas por Região Homogênea e Histogramas da Precipitação Média Mensal



Nas regiões R2 e R3 podemos observar através dos gráficos da precipitação média mensal, que os meses de março e abril são os mais chuvosos e segundo Rocha (2001) essas precipitações são moduladas pelo sistema ZCIT.

A Região 1 compreende as Microrregiões do Sudoeste e Sudeste Paraense. É a região com o menor volume pluviométrico, com precipitação média anual de 1955,64 mm. A região R2 possui total anual médio de precipitação de 2450,84 mm. Seu trimestre mais chuvoso Fevereiro-Março-Abril e o mais seco é Junho-Julho-Agosto. A região R3 compreende parte do Nordeste Paraense esta região apresenta a maior amplitude pluviométrica entre o trimestre mais chuvoso (fevereiro a abril) e o menos chuvoso (setembro a novembro). É a porção mais chuvosa do Estado com total anual em torno de 2750,98 mm.

Para as três regiões observa-se que possuem marcha sazonal, com aumento da precipitação a partir de dezembro e fim da estação chuvosa em maio. Apresentam um período chuvoso começando em Dezembro e terminando em Maio e um período seco que vai de junho a Novembro, isto ocorre porque segundo Ribeiro; *et al.* (1996) nesse período a região sofre influência da migração sazonal da ZCIT.

## 5 CONCLUSÕES

Após a análise dos resultados, pode-se concluir que:

- ✓ Apesar do Estado do Pará ser o segundo maior estado brasileiro em termos de extensão, a densidade de postos pluviométricos, para o período analisado não atende as recomendações da OMM, apresentando baixa densidade de postos pluviométricos, é uma área que requer um melhor monitoramento;
- ✓ A distribuição espacial dos postos pluviométricos mostrou-se bastante irregular, onde a Região Hidrográfica Costa Atlântica é a que detém o maior percentual de estações, portanto é a que possui um melhor monitoramento;
- ✓ A sazonalidade da precipitação mostrou que o regime de chuva no Pará exhibe máximos anuais durante os meses do verão (Dezembro-Janeiro-Fevereiro) e outono (Março-Abril-Maio) e estão associados aos fenômenos ZCIT e ZCAS. Os mínimos anuais ocorrem durante os meses de inverno (Junho-Julho-Agosto) e primavera (Setembro-Outubro-Novembro);
- ✓ Os testes de Mann-Kendall e Spearman não detectaram tendências significativas de mudança no regime pluviométrico anual do Estado, mas foram observadas oscilações interanuais relacionadas aos fenômenos El Niño e La Niña;
- ✓ O agrupamento das estações pluviométricas em grupos homogêneos mostrou-se bastante interessante na tentativa de entender como está distribuída a chuva na área do Estado do Pará, pois uma área tão extensa não apresenta uma característica única em sua distribuição. A análise de agrupamento mostrou que o Estado do Pará pode ser dividido, quanto à precipitação, em três regiões pluviometricamente homogêneas.

## REFERÊNCIAS

ABREU, F. A. M; DUARTE, A. M; RIBEIRO, M. R; LIMA, A. R. C; SOUZA, W. J. **The Hydrologic Cycle: an Open or a Closed System?**. Revista Geográfica, n. 137. Enero – Junio, 2005.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil, 2011**. Disponível em: <<http://conjuntura.ana.gov.br>>. Acesso em Mar. 2012.

\_\_\_\_\_. **Sistema de Informações Hidrológicas**. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br>>. Acesso em Jan. 2013.

ALEXANDRE, G. R; BAPTISTA, M. B; NAGHETTINI, M. **Estudo para Identificação de Tendências do Regime Pluvial na Região Metropolitana de Belo Horizonte a partir de Métodos Estatísticos**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Vol. 15, n. 2, p. 115 – 126, 2010.

ANTOLIK, M. S. **An Overview of the National Weather Service's Centralized Statistical Quantitative Precipitation Forecasts**. Journal of Hydrology, 239, p. 306 – 337, 2000.

ALCÂNTARA, C. R; *et al.* **Verification of the Role of the Low Level Jets in Amazon Squall Lines**. Atmospheric Research. 100 (2011) 36 – 44, 2010.

\_\_\_\_\_. **Linha de Instabilidade na Amazônia: Estudo de Caso e Importância das Características do Perfil do Vento na sua Formação e Desenvolvimento**. Ciência e Natura UFSM, 33 (2). p. 197 – 226, 2011.

ANDRADE, L. S. **Variabilidade Decadal da Zona de Convergência Intertropical e sua Influência na Pluviosidade da Região Norte do Brasil**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Alagoas – UFAL, 2007.

BARBOSA, S. E. S; *et al.* **Geração de Modelos de Regionalização de Vazões Médias de Longo Período e Mínimas de Sete Dias para a Bacia do Rio do Carmo, Minas Gerais**. Engenharia Sanitária e Ambiental, Vol. 10, n. 1, 2005.

BLAIN, G. C. **Considerações Estatísticas Relativas a Oito Séries de Precipitação Pluvial da Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo**. Revista Brasileira de Meteorologia, Vol. 24, n.1. São Paulo, 2009.

BORGES, A. C. **Topografia Aplicada a Engenharia Civil**. Editora Edgard Blucher, Vol. 2, 232p., 1992.

COLLISCHONN, B. **Uso de Precipitação Estimada por Satélite em um Modelo Hidrológico Distribuído**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, 2006.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS – CPRM. **Atlas Pluviométrico do Brasil: Precipitações Médias Anuais**. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br>>. Acesso em Jun. 2011.

\_\_\_\_\_. **Geodiversidade do Estado do Pará**. Programa Geologia do Brasil. Belém: CPRM, 258p, 2013.

COMISSÃO MUNDIAL DE BARRAGENS – CMB. **Relatório Final: Usina Hidrelétrica de Tucuruí (Brasil)**. 297p, 2000.

COELHO, A; SILVA, M. **Desmatamento e Focos de Queimada no Estado do Pará: Municípios Críticos no Período de Janeiro de 2010 a Outubro de 2012**. Belém-Pa: Instituto de Desenvolvimento Econômico, Social e Ambiental do Pará (IDESP), 2012.

COSTA, H. C; *et al.* **Espacialização e Sazonalidade da Precipitação Pluviométrica do Estado de Goiás e Distrito Federal**. Revista Brasileira de Geografia Física, 01 (2012), p. 87 – 100, 2012.

COSTA, R. F; *et al.* **Variabilidade Diária da Precipitação em Regiões de Floresta e Pastagem na Amazônia**. Acta Amazônica 28(4): 395 – 408, 1998.

CORREA, F. W. S; *et al.* **Impacto das Modificações da Cobertura Vegetal no Balanço de Água na Amazônia: Um Estudo com Modelo de Circulação Geral da Atmosfera (MCGA)**. Revista Brasileira de Meteorologia, Vol. 21, n. 3a, p. 153 – 167, 2006.

FERREIRA, D. B. S. **Eventos Extremos da Zona de Convergência Intertropical Sobre o Atlântico Durante o Período Chuvoso da Amazônia Oriental**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Pará – UFPA, 2008.

FEARNSIDE, P. M. **Desmatamento na Amazônia Brasileira: História, Índices e Consequências**. Megadiversidade, Vol. 1, n. 1, p. 113 – 123, 2005.

FISCH, G; MARENGO, J. A; NOBRE, C. A. **Uma Revisão Geral Sobre o Clima da Amazônia**. Revista Acta Amazônica, Vol. 28 (2): 101 – 126, 1998.

FIGUEROA, S. N; NOBRE, C. A. **Precipitations Distribution Over Central and Western Tropical South American**. Climanalise, Vol.5, n. 6, p. 36 - 48, 1990.

FILHO, T. K; ASSAD, E. D; SCHUBNELL, P. R; LIMA, R. **Regiões Pluviometricamente Homogêneas**

FURLAN, D. N. **Variabilidade Temporal e Espacial das Chuvas e do Balanço Hídrico no Estado de Rondônia: Caracterização e Análise de Tendência**. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo – USP, 2009.

GAUTHIER, T. D. **Detecting Trends Using Spearman's Rank Correlation Coefficient**. Environmental Forensics, Vol. 2, p. 359 362, 2001.

GUIMARÃES, P. L; *et al.* **Mapas Médios Climatológicos do Estado do Pará**. XI Congresso Brasileiro de Meteorologia. Rio de Janeiro – RJ, 2000.

HAMED, K. H. **Trend Detection in Hydrologic Data: the Mann-Kendall Trend Test Under the Scaling Hypothesis**. Journal of Hydrology, Muscat – Omã, Vol. 349, p. 350 – 363, 2008.

HOLMGREN, M; *et al.* **El Niño Effects on the Dynamics of Terrestrial Ecosystems**. TRENDS in Ecology & Evolution, Vol. 16, n. 2, p. 89 – 94, 2001.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. **Climatologia de Precipitação**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br>>. Acesso em Fev. 2012.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. **El Niño e La Niña**. Disponível em: <<http://enos.cptec.inpe.br>>. Acesso em Jan. 2012.

\_\_\_\_\_. **Taxas Anuais do Desmatamento - 1988 até 2012**. Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br>>. Acesso em Jan. 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Censo Agropecuário 2006**. Rio de Janeiro – RJ. p. 1 – 146, 2006.

\_\_\_\_\_. **Pesquisa Agrícola Municipal**. Sistema de Recuperação Automática de Dados (SIDRA), 2007. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br>>. Acesso em Dez. 2012.

\_\_\_\_\_. **Projeto Levantamento da Cobertura e Uso da Terra: Potencial Florestal do Estado do Pará.** Relatório Técnico. Rio de Janeiro, 2007. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em Abr. 2012.

\_\_\_\_\_. **Mapas Temáticos: Uso da Terra no Pará.** Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>> Acesso em Maio de 2012.

\_\_\_\_\_. **Censo Demográfico 2010.** Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em Jan. 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS NÃO RENOVÁVEIS - IBAMA. **Ecossistemas Brasileiros: A Ocupação da Amazônia.** Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br>>. Acesso em Mai. 2012.

\_\_\_\_\_. **Downloads: Shape Files.** Centro de Sensoriamento Remoto. Disponível em: <<http://siscom.ibama.gov.br>>. Acesso em Mai. 2012.

ISHIHARA, J. H. **Avaliação Quantitativa e Espacial da Precipitação na Amazônia Brasileira (Amazônia Legal) – no Período de 30 anos, de 1978 a 2007.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Pará. 2010.

JÚNIOR, J. C. F. M, *et al.* **Distribuição Espacial da Frequência de Chuvas na Região Hidrográfica do Atlântico, Leste de Minas Gerais.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e ambiental, Vol. 10, n. 2, p. 417 – 425, 2006.

KUNDZEWICZ, Z. W & ROBSON, A. J. **Change Detection in Hydrological Records – A Review of the Methodology.** Hydrological Sciences Journal, 49 (1), 2004.

KOUSKY, V.E. **Diurnal Rainfall Variation in Northeast Brazil.** Monthly Weather Review, Vol.108, n. 4, p. 488 - 498, 1980.

LINDEN, R. **Técnicas de Agrupamento.** Revista de Sistemas de Informação, n. 4, p. 18 – 36, 2009.

LOUREIRO, R. S; *et al.* **Análise de uma Linha de Instabilidade Costeira na Região Leste do Estado do Pará.** Revista Brasileira de Meteorologia, Vol. 21, n. 3b, p. 258 – 270, 2006.

LUCENA, J. A; *et al.* **Análise da Variabilidade da Precipitação Pluviométrica como Subsídio para o Planejamento Agrícola em Caicó/RN.** Revista Brasileira de Climatologia, Vol. 10, Ano 8, p. 121 – 135, 2012.

MARENGO, J. A. **Interdecadal variability and Trends of Rainfall Across the Amazon Basin.** Theoretical and Applied Climatology, Vol. 78. p. 79 – 96, 2004.

\_\_\_\_\_. **On the Hydrological Cycle of the Amazon Basin: A Historical Review and Current State-of-the-art.** Revista Brasileira de Meteorologia. Edição Especial LBA, Vol. 21, n. 3a, p. 1 – 19, 2006.

MARENGO, J. A; *et al.* **Relatório: Riscos das Mudanças Climáticas no Brasil.** Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE e Met Office Hadley Centre – MOHC, 56p. 2011.

MARCUZZO, F. F. N; GOULARTE, E. R. P. **Caracterização do Ano Hidrológico e Mapeamento Espacial das Chuvas nos Períodos Úmidos e Seco do Estado do Tocantins.** Revista Brasileira de Geografia Física, Vol. 06, n. 01, p. 91 – 99, 2013.

MILLIGAN, G. W; COOPER, M. **An Examination of Procedures for Determining the Number of Clusters in a Data Set.** Psychometrika, Vol. 50, n. 2, p. 159 – 179, 1985.

MIRANDA, E. E; GOMES, E. G; GUIMARÃES, M. **Mapeamento e Estimativa da Área Urbanizada do Brasil com Base em Imagens Orbitais e Modelos Estatísticos.** Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.urbanizacao.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em Dez. 2012.

MODARRES, R & SILVA, V. P. R. **Rainfall Trends in Arid and Semi-Arid Regions of Iran.** Journal of Arid Environments, Vol. 70, p. 344 – 355, 2007.

MOLION, L. C. B. **Climatologia Dinâmica da Região Amazônica: Mecanismos de Precipitação.** Revista Brasileira de Meteorologia, Vol. 2, p. 107 – 117, 1987.

MORAES, B. C; *et al.* **Variação Espacial e Temporal da Precipitação no Estado do Pará.** Revista Acta Amazônica, Vol. 35 (2): (207-214), 2005.  
NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION – NOAA. **Hydrologic Cycle.** Disponível em: <<http://www.mwrfc.noaa.gov>>. Acesso em Ago. 2011.

NOBRE, C. A; *et al.* **Amazonian Deforestation and Regional Climate Change.** Journal of Climate, Vol. 4, p. 957 – 988, 1991.

OLIVEIRA, L. F. C; *et al.* **Comparação de Metodologias de Preenchimento de Falhas de Séries Históricas de Precipitação Pluvial Anual.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Vol. 14, n. 11, p. 1186 – 1192, 2010.

ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL - OMM. **Guia de Prácticas Hidrológicas. Aquisición y Proceso de Datos.** 4ª edição, N° 168. Genebra, 1984.

\_\_\_\_\_. **Guia de Prácticas Hidrológicas. Capítulo 20: Diseño y Evaluación de Redes Hidrológicas.** 5ª edição, N° 168. Genebra, 1994. 781p.

PEREIRA, V. L; *et al.* **Análise do Setor de Energia Elétrica do Estado do Pará: Uma Aplicação da Matriz de Insumo-Produto.** Amazônia: Ciência & Desenvolvimento, Vol. 4, n. 7, 2008.

PRUSKI, F. F; *et al.* **Precipitação Média Anual e Vazão Específica Média de Longa Duração, na Bacia do São Francisco.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Vol. 8, n. 2-3, 2004.

RAMESH, S. V; CHANDRAMOULI, V. **Improved Weighting Methods, Deterministic and Stochastic Data-driven Models for Estimation of Missing Precipitation Records.** Journal of Hydrology, 312, p. 191 – 206, 2005.

RIBEIRO, A; *et al.* **Análise do Regime Pluviométrico da Região Amazônica a partir de Dados de Onze Localidades.** Revista Brasileira de Meteorologia. Vol. 11, pp. 25 – 35, 1996.

ROCHA, E. J. P. **Balço de Umidade e Influência de Condições de Contorno Superficiais Sobre a Precipitação da Amazônia.** Tese de Doutorado. INPE, São José dos Campos, 2001.

SALGUEIRO, J. P. B; MONTENEGRO, S. M. G. L. **Análise da Distribuição Espacial da Precipitação na Bacia do Rio Pajéu em Pernambuco Segundo o Método Geoestatístico.** Revista Tecnologia, Vol. 29, p. 174 – 185, 2008.

SEN, P. K. **Estimates of the regression coefficient based on Kendall's Tau,** Journals American Statistical Association, 63, 1379-1389, 1968.

SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE – SEMA. **Roteiro Metodológico para Elaboração de Plano de Manejo das Unidades de Conservação Estaduais do Pará.** Belém: SEMA, 2009.

\_\_\_\_\_. **Divisão do Estado do Pará em Regiões Hidrográficas Segundo a Proposta de Gerenciamento dos Recursos Hídricos do Estado do Pará.** Disponível em: <[http:// www.para30graus.pa.gov.br](http://www.para30graus.pa.gov.br)>. Acesso em Jul. 2011.

\_\_\_\_\_. **Política de Recursos Hídricos do Estado do Pará.** Belém: SEMA, 2012, p. 117.

\_\_\_\_\_. **Relatório Técnico: Mapas de Precipitação Mensal e Anual do Pará.** Diretoria de Recursos Hídricos. Belém: SEMA/ RPCH, 2013.

SECRETARIA DE ESTADO DE AGRICULTURA – SAGRI. **Levantamento da Realidade Agrícola do Estado do Pará.** Emater-PA: Série Documentos, Vol. 05, p. 65, 1996.

SECRETARIA EXECUTIVA DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E MEIO AMBIENTE DO PARÁ. **Macrozoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Pará.** Diretoria de Meio Ambiente. Belém: SECTAM, 2004, p. 132.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação.** 4ª Edição. Editora da UFRGS/ABRH. Porto Alegre – RS, 2009. 944p.

VIANA, D. R. **Comportamento Espaço-Temporal da Precipitação na Região Sul do Brasil Utilizando Dados TRMM e SRTM.** Dissertação de Mestrado. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE. 2009.

VIEIRA, P. R. **Monitoramento para o Controle e Gestão dos Recursos Hídricos.** Revista Águas do Brasil, Ano 1, n. 3, p. 22 – 25, 2011.

VILLELA, S. M & MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada.** Editora: MCGRAW-HILL do Brasil. São Paulo-SP, 1975, 245p.

WONG, C. L; et al. **Variability of Rainfall in Peninsular Malaysia.** Hydrology and Earth System Sciences Discussions, 6, 5471–5503, 2009.

ZANETTI, S. S; OLIVEIRA, V. P. S; PRUSKI, F. F. **Validação do Modelo ClimaBR em Relação ao Número de Dias Chuvosos e a Precipitação Total Diária.** Engenharia Agrícola, Vol. 26, n. 1, 2006.

ZANDONADI, L & PASCOALINO, A. **Distribuição Temporo-Espacial das Chuvas nas Bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá (PCJ).** Revista Geonorte, Vol. 2, n. 4, p. 830 – 843, 2012.

YUE, S; *et al.* **Power of the Mann-Kendall and Spearman's rho Tests for detecting Monotonic Trends in Hydrological Series.** Journal of Hydrology. Canadá, Vol. 259, p. 254 – 271, 2002.

**ANEXOS**

**ANEXO A – Estações Pluviométricas Utilizadas no Estudo por Região Hidrográfica.**

<b>Região Hidrográfica Costa Atlântica-Nordeste</b>							
<b>Nº</b>	<b>Código</b>	<b>Estação</b>	<b>Município</b>	<b>Latitude</b>	<b>Longit.</b>	<b>Status</b>	<b>Período</b>
1	148009	Acará	Acará	-1,96	-48,21	Ativa	1980-2011
2	146008	Alto Bonito	Viseu	-1,82	-46,34	Ativa	1976-2011
3	247000	Badajós	São Domingos do Capim	-1,51	-47,77	Ativa	1972-2011
4	349001	Cachoeira Tracambeua	Moju	-3,51	-49,20	Ativa	1982-2011
5	147002	Capanema	Capanema	-1,20	-47,18	Ativa	1966-2011
6	147007	Castanhal	Castanhal	-1,30	-47,94	Ativa	1972-2011
7	147011	Colônia Santo Antonio	Irituia	-1,65	-47,49	Ativa	1982-2011
8	047003	Curuçá	Curuçá	-0,74	-47,85	Ativa	1981-2011
9	247003	Fazenda Jauará	Aurora do Pará	-1,03	-47,75	Ativa	1982-2011
10	247004	Fazenda São Raimundo	Ipixuna do Pará	-1,42	-47,53	Ativa	1982-2011
11	347002	Fazenda Planalto	Paragominas	-3,45	-47,46	Ativa	1982-2011
12	348001	Fazenda Maringá	São Domingos do Capim	-3,16	-48,10	Ativa	1982-2011
13	248001	Fazenda Urucuré	Acará	-2,41	-48,68	Ativa	1982-2011
14	347001	Gurupizinho	Paragominas	-3,74	-47,50	Ativa	1980-2011
15	147010	Igarapé-Açu	Igarapé-Açu	-1,13	-47,63	Ativa	1980-2011
16	447001	Km Zero PA 70	Dom Eliseu	-4,29	-47,55	Ativa	1982-2011
17	148012	Mosqueiro	Belém	-1,09	-48,39	Ativa	1982-2011
18	347000	Paragominas	Paragominas	-3,01	-47,34	Ativa	1980-2011
19	047004	Primavera	Curuçá	-0,92	-47,09	Ativa	1982-2011
20	047002	Salinópolis	Salinópolis	-0,62	-47,35	Ativa	1977-2011
21	148003	Santa Izabel do Pará	Santa Izabel do Pará	-1,30	-48,17	Ativa	1972-2011
22	147008	São Domingos do Capim	São Domingos do Capim	-1,68	-47,77	Ativa	1975-2011
23	146005	Tararuá-Ponte	Viseu	-1,73	-46,60	Ativa	1972-2011
24	048006	Vigia	Vigia	-0,86	-48,11	Ativa	1982-2011
25	249002	Vila Elim	Moju	-2,80	-49,37	Ativa	1980-2011
26	146009	Viseu	Viseu	-1,23	-46,19	Ativa	1980-2011

<b>Região Hidrográfica Portel-Marajó</b>							
27	151001	Acampamento IBDF	Portel	-1,79	-51,43	Ativa	1980-2011
28	151002	Areias	Melgaço	-1,21	-51,26	Ativa	1982-2011
29	250000	Cipoal	Portel	-2,79	-50,45	Ativa	1977-2011
30	350000	Fazenda Estrela do Norte	Portel	-3,85	-50,46	Ativa	1977-2011
31	351000	Granja Gazela	Portel	-3,42	-51,26	Ativa	1977-2011
32	151000	Jarilândia	Alenquer	-1,12	-52,00	Ativa	1980-2011
33	251000	Maracacuera Florestal	Portel	-2,25	-51,18	Ativa	1977-2011
34	149003	Oeiras do Pará	Oeiras do Pará	-2,00	-49,86	Ativa	1982-2011
35	250001	Vila São Benedito	Bagre	-1,99	-50,36	Ativa	1982-2011
<b>Região Hidrográfica Calha Norte</b>							
36	815400	Apalai	Almerim	1,22	-54,66	Ativa	1980-2011
37	154000	Arapari	Monte Alegre	-1,77	-54,40	Ativa	1972-2011
38	154001	Boca do Inferno	Alenquer	-1,50	-54,87	Ativa	1975-2011
39	157000	Cachoeira da Porteira	Oriximiná	-1,09	-57,05	Ativa	1975-2011
40	256001	Juruti	Juruti	-2,15	-56,08	Ativa	1982-2011
41	155000	Oriximiná	Oriximiná	-1,76	-55,86	Ativa	1968-2011
42	156000	Vista Alegre	Oriximiná	-1,13	-56,05	Ativa	1977-2011
<b>Região Hidrográfica Tapajós</b>							
43	455002	Cupari	Aveiro	-4,18	-55,43	Ativa	1977-2011
44	657000	Jacareacanga	Itaituba	-6,23	-57,77	Ativa	1982-2011
45	556000	Jatobá	Itaituba	-5,15	-56,86	Ativa	1972-2011
46	455003	Km 1385	Itaituba	-4,75	-56,08	Ativa	1980-2011
47	655001	Km 1027	Itaituba	-7,50	-55,26	Ativa	1982-2011
48	555000	Km 1326	Itaituba	-5,18	-56,06	Ativa	1980-2011
49	455004	Rurópolis	Aveiro	-4,08	-54,90	Ativa	1982-2011
<b>Região Hidrográfica Xingu</b>							
50	352001	Altamira	Altamira	-3,21	-52,21	Ativa	1927-2011
51	651001	Boa Esperança	São Felix do	-6,70	-51,80	Ativa	1976-2011

			Xingu				
52	352005	Brasil Novo	Altamira	-3,61	-52,54	Ativa	1982-2011
53	554000	Cajueiro	Altamira	-5,65	-54,52	Ativa	1975-2011
54	351002	Fazenda Cipaúba	Senador José Porfírio	-3,72	-51,57	Ativa	1981-2011
55	855000	Km 947	Itaituba	-8,19	-55,12	Ativa	1977-2011
56	452000	Monte Alegre do Xingu	Altamira	-4,67	-52,72	Ativa	1976-2011
<b>Região Hidrográfica Tocantins-Araguaia</b>							
57	950001	Barreira do Campo	Santana do Araguaia	-9,23	-50,21	Ativa	1980-2011
58	549004	Serra Pelada	Marabá	-5,93	-49,67	Ativa	1982-2011
59	148010	Abaetetuba	Abaetetuba	-1,74	-48,86	Ativa	1980-2011
60	448000	Rondon do Pará	São Domingos do Capim	-4,78	-48,06	Ativa	1980-2011
61	148011	Vila do Conde	Barcarena	-1,63	-48,75	Ativa	1980-2011
<b>Região Hidrográfica Baixo Amazonas</b>							
62	454001	Fazenda Marcondes	Itaituba	-3,96	-54,64	Ativa	1982-2011
63	153000	Prainha	Prainha	-1,80	-53,48	Ativa	1980-2011
64	254000	Santarém	Santarém	-2,44	-54,71	Ativa	1968-2011
65	354000	Sítio São Pedro	Santarém	-3,89	-54,32	Ativa	1977-2011
66	353000	Uruará	Prainha	-3,68	-53,55	Ativa	1977-2011