

Universidade Federal do Pará
Instituto de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

Bruno Penna Hachem

**ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DA PRECIPITAÇÃO E DA VAZÃO
EM BACIAS HIDROGRÁFICAS AMAZÔNICAS.**

Orientador: Prof.^o Dr. Lindemberg Lima Fernandes

Belém
2016

Bruno Penna Hachem

**ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DA PRECIPITAÇÃO E DA VAZÃO
EM BACIAS HIDROGRÁFICAS AMAZÔNICAS.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará, para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Civil, na área de Concentração em Engenharia Hídrica, linha de pesquisa em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Lindemberg Lima Fernandes

Belém
2016

Bruno Penna Hachem

**ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DA PRECIPITAÇÃO E DA VAZÃO
EM BACIAS HIDROGRÁFICAS AMAZÔNICAS.**

Data da Defesa: 14/03/2016

Resultado: _____

BANCA EXAMINADORA:

Professor Dr. Lindemberg Lima Fernandes (Orientador)
Universidade Federal do Pará

Professor Dr. André Augusto Azevedo Montenegro Duarte
Universidade Federal do Pará

Professor Dr. Edson José Paulino da Rocha
Universidade Federal do Pará

Professora Dra. Érika da Justa Teixeira Rocha
Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Ceará

Belém/PA
2016

Aos meus pais, Cássio e Ruth, meus exemplos de vida.

A minha esposa, Brenda.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela sua presença constante em minha vida.

A meu pai, Cássio, a minha mãe, Ruth, sem os quais jamais poderia estar concluindo mais uma etapa da minha vida. Amo vocês!

À minha família, meu irmão, Hugo, minha cunhada Tonia, minha avó, Helena cada um ao seu modo, por me prestigiarem com amor e me apoiarem nessa caminhada.

A minha esposa, Brenda, pelo amor, carinho, amizade e constante incentivo durante a minha vida acadêmica, oferecendo o melhor de si para que eu me realizasse profissionalmente.

Ao meu professor orientador, Dr. Lindemberg Lima Fernandes, pelo compartilhamento de sua sabedoria, importante para a minha formação.

A todos os meus amigos e colegas da pós-graduação e do GAES que sempre estiveram comigo, nos estudos e nas brincadeiras, os meus sinceros agradecimentos pelo companheirismo e amizade.

Ao Grupo de Oração Amor e Fé, pelas orações em prol do sucesso desse trabalho.

Aos meus amigos e familiares que sempre torceram pela minha vitória

À CAPES, que financiou este trabalho e colabora constantemente no desenvolvimento técnico-científico do nosso país.

RESUMO

O objetivo desse trabalho foi analisar o comportamento da precipitação e da vazão, em duas Regiões hidrográficas do estado do Pará, no caso Calha Norte e Costa Atlântico Nordeste. Ambas possuem o mesmo regime pluviométrico e as características físicas das bacias são semelhantes, sendo distintas apenas no que se refere ao nível de preservação vegetal e área. Para esse trabalho foram utilizadas 7 estações fluviométricas e 7 pluviométricas na Calha Norte e 6 fluviométricas e 6 pluviométricas na Costa Atlântico Nordeste. Após a coleta dos dados no Hidroweb, os mesmos foram organizados em planilhas do software Microsoft Excel para aplicação dos testes de Mann Kendall e Spearman, os quais afirmaram que não há tendência nas séries analisadas para α de 5%. Foi detectado que a densidade de estações fluviométricas e pluviométricas está baixa, segundo os limites mínimos estabelecidos pela OMM.. A correlação linear de Pearson apresentou-se “forte” entre a precipitação e vazão das áreas estudadas, as quais também sofrem influência dos fenômenos climáticos (El Niño e La Niña). Foi possível considerar que na Região mais preservada o tempo de defasagem entre o máximo da precipitação e o máximo da vazão foi em média de 2 meses, enquanto na região com uma ação antrópica maior esse tempo foi em média de 1 mês.

Palavras Chave: Precipitação; Vazão; Comportamento; Tendência; Correlação.

ABSTRACT

The aim of this study was to analyze the behavior of precipitation and flow in two river regions of the state of Pará, where Northern Corridor and Coast Northeast Atlantic. Both have the same rainfall and physical properties of the bowls are similar, being different only in regard to level and vegetable preservation area. For this study, we used 7 gauged stations and 7 rainfall in the Northern Corridor and 6 fluviometric 6 and rainfall in Costa Northeast Atlantic. After collecting the data in HIDROWEB, they were organized in Microsoft Excel spreadsheets software for application of Mann Kendall and Spearman tests, which stated that there is no trend in the series analyzed ($\alpha=5\%$). Was detected that the density of fluviometric and rainfall stations is low , according to the thresholds established by WMO. The Pearson correlation coefficients showed up "strong" between precipitation and flow of the areas studied, which also suffer influence of climatic phenomena (El Niño and La Niña). It was possible to consider that in the most preserved region, the time lag between the maximum rainfall and the maximum flow rate averaged two months, while the region with greater human action this time was an average of 1 month.

Keywords : Precipitation ; Flow Rate; Behavior; Trend; Correlation.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA NO PLANETA	19
FIGURA 2 – CICLO HIDROLÓGICO	20
FIGURA 12 – DIVISÃO DO ESTADO DO PARÁ EM REGIÕES HIDROGRÁFICAS.	46
FIGURA 13 – REGIÃO HIDROGRÁFICA DA CALHA NORTE E SUA SUBDIVISÃO.....	47
FIGURA 16 - ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS E PLUVIOMÉTRICAS TRABALHADAS NA REGIÃO COSTA ATLÂNTICO NORDESTE.....	58

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - OCORRÊNCIAS DE EL NIÑO E LA NIÑA E SUAS RESPECTIVAS INTENSIDADES	27
TABELA 2 – DENSIDADE MÍNIMA DE ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS (MODELO ORIGINAL)	38
TABELA 3 – DENSIDADE MÍNIMA DE ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS (MODELO REVISADO)	38
TABELA 4 – DENSIDADE DE ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS NA AMAZÔNIA LEGAL (1982-2011)	38
TABELA 5 – DENSIDADE MÍNIMA DE ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS.	39
TABELA 6 – ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS E PLUVIOMÉTRICAS, TRABALHADAS NA REGIÃO DA CALHA NORTE	58
TABELA 7 - ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS E PLUVIOMÉTRICAS, TRABALHADAS NA REGIÃO COSTA ATLÂNTICO NORDESTE.....	59
TABELA 8 – DENSIDADE DE ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS E FLUVIOMÉTRICAS NAS REGIÕES ESTUDADAS.	60
TABELA 9 – CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DAS BACIAS ESTUDADAS.	64
TABELA 10 – RESULTADO DA TENDÊNCIA TEMPORAL PARA A REGIÃO DA CALHA NORTE.	65
TABELA 11 – RESULTADO DA TENDÊNCIA TEMPORAL PARA A REGIÃO DA COSTA ATLÂNTICO NORDESTE.	66
TABELA 12 – RESULTADO DE CORRELAÇÃO DE PEARSON PARA CADA REGIÃO.	84

LISTA DE GRÁFICOS E QUADROS

GRÁFICO 1 – PARTICIPAÇÃO DE CADA ESTADO DA AMAZÔNIA LEGAL, NO DESMATAMENTO.	44
GRÁFICO 2 – INCREMENTO DO DESMATAMENTO NO ESTADO DO PARÁ (2000–2011).	45
GRÁFICO 3 – MÉDIA MENSAL DA PRECIPITAÇÃO NA CALHA NORTE.	61
GRÁFICO 4 – MÉDIA MENSAL DA PRECIPITAÇÃO NA COSTA ATLÂNTICO NORDESTE.	61
GRÁFICO 5 – TENDÊNCIA DA PRECIPITAÇÃO NA CALHA NORTE.	65
GRÁFICO 6 – TENDÊNCIA DA VAZÃO NA CALHA NORTE.	66
GRÁFICO 7 – TENDÊNCIA DA PRECIPITAÇÃO NA COSTA ATLÂNTICO NORDESTE.	67
GRÁFICO 8 – TENDÊNCIA DA VAZÃO NA COSTA ATLÂNTICO NORDESTE.	67
GRÁFICO 9 – COMPORTAMENTO DA VAZÃO NA ESTAÇÃO TÍRIOS, NA SÉRIE DE 19 ANOS ESTUDADA.	68
GRÁFICO 10 - COMPORTAMENTO DA VAZÃO NA ESTAÇÃO BOCA DO INFERNO, NA SÉRIE DE 19 ANOS ESTUDADA.	69
GRÁFICO 11 - COMPORTAMENTO DA VAZÃO NA ESTAÇÃO ARAPARI, NA SÉRIE DE 19 ANOS ESTUDADA.	69
GRÁFICO 12 - COMPORTAMENTO DA VAZÃO NA ESTAÇÃO ALDEIA WAI-WAI, NA SÉRIE DE 19 ANOS ESTUDADA.	70
GRÁFICO 13 - COMPORTAMENTO DA VAZÃO NA ESTAÇÃO APALAI, NA SÉRIE DE 19 ANOS ESTUDADA.	70
GRÁFICO 14 - COMPORTAMENTO DA VAZÃO NA ESTAÇÃO CARAMUJO, NA SÉRIE DE 19 ANOS ESTUDADA.	71
GRÁFICO 15 - COMPORTAMENTO DA VAZÃO NA ESTAÇÃO GARGANTA, NA SÉRIE DE 19 ANOS ESTUDADA.	71
GRÁFICO 16 - COMPORTAMENTO DA PRECIPITAÇÃO NA ESTAÇÃO APALAI, NA SÉRIE DE 19 ANOS ESTUDADA.	72
GRÁFICO 17 - COMPORTAMENTO DA PRECIPITAÇÃO NA ESTAÇÃO ARAPARI, NA SÉRIE DE 19 ANOS ESTUDADA.	72
GRÁFICO 18 - COMPORTAMENTO DA PRECIPITAÇÃO NA ESTAÇÃO BOCA DO INFERNO, NA SÉRIE DE 19 ANOS ESTUDADA.	73
GRÁFICO 19 - COMPORTAMENTO DA PRECIPITAÇÃO NA ESTAÇÃO CACHOEIRA, NA SÉRIE DE 19 ANOS ESTUDADA.	73
GRÁFICO 20 - COMPORTAMENTO DA PRECIPITAÇÃO NA ESTAÇÃO CACHOEIRA, NA SÉRIE DE 19 ANOS ESTUDADA.	74

GRÁFICO 21 - COMPORTAMENTO DA PRECIPITAÇÃO NA ESTAÇÃO ORIXIMINÁ, NA SÉRIE DE 19 ANOS ESTUDADA.	74
GRÁFICO 22 - COMPORTAMENTO DA PRECIPITAÇÃO NA ESTAÇÃO VISTA ALEGRE, NA SÉRIE DE 19 ANOS ESTUDADA.	75
GRÁFICO 23 - COMPORTAMENTO DA VAZÃO NA ESTAÇÃO NOVA MOCAJUBA, NA SÉRIE DE 19 ANOS.	76
GRÁFICO 24 - COMPORTAMENTO DA VAZÃO NA ESTAÇÃO BADAJÓS, NA SÉRIE DE 19 ANOS ESTUDADA.	76
GRÁFICO 25 - COMPORTAMENTO DA VAZÃO NA ESTAÇÃO BOM JARDIM, NA SÉRIE DE 19 ANOS ESTUDADA.	77
GRÁFICO 26 - COMPORTAMENTO DA VAZÃO NA ESTAÇÃO FAZENDA MARINGÁ, NA SÉRIE DE 19 ANOS ESTUDADA.	77
GRÁFICO 27 - COMPORTAMENTO DA VAZÃO NA ESTAÇÃO SETE ILHAS, NA SÉRIE DE 19 ANOS ESTUDADA.	78
GRÁFICO 28 - COMPORTAMENTO DA VAZÃO NA ESTAÇÃO CAFEZAL, NA SÉRIE DE 19 ANOS ESTUDADA.	78
GRÁFICO 29 - COMPORTAMENTO DA PRECIPITAÇÃO NA ESTAÇÃO BADAJÓS, NA SÉRIE DE 19 ANOS.	79
GRÁFICO 30 - COMPORTAMENTO DA PRECIPITAÇÃO NA ESTAÇÃO CAPANEMA, NA SÉRIE DE 19 ANOS.	79
GRÁFICO 31 - COMPORTAMENTO DA PRECIPITAÇÃO NA ESTAÇÃO CASTANHAL, NA SÉRIE DE 19 ANOS ESTUDADA.	80
GRÁFICO 32 - COMPORTAMENTO DA PRECIPITAÇÃO NA ESTAÇÃO IGARAPÉ – AÇÚ, NA SÉRIE DE 19 ANOS ESTUDADA.	80
GRÁFICO 33 - COMPORTAMENTO DA PRECIPITAÇÃO NA ESTAÇÃO TARUARÁ – PONTE, NA SÉRIE DE 19 ANOS ESTUDADA.	81
GRÁFICO 34 - COMPORTAMENTO DA PRECIPITAÇÃO NA ESTAÇÃO VILA DO CONDE, NA SÉRIE DE 19 ANOS ESTUDADA.	81
GRÁFICO 35 – RELAÇÃO PRECIPITAÇÃO X VAZÃO, REGIÃO DA CALHA NORTE.	83
GRÁFICO 36 – RELAÇÃO PRECIPITAÇÃO X VAZÃO, REGIÃO DA COSTA ATLÂNTICO NORDESTE.	83
GRÁFICO 37 – CORRELAÇÃO PRECIPITAÇÃO X VAZÃO NOS 19 ANOS ANALISADOS, NA REGIÃO DA CALHA NORTE.	84

GRÁFICO 38 - CORRELAÇÃO PRECIPITAÇÃO X VAZÃO NOS 19 ANOS ANALISADOS, NA REGIÃO DA COSTA ATLÂNTICO NORDESTE.	84
GRÁFICO 39 – MÉDIA MÓVEL ANUAL X MÉDIA DA SÉRIE DE 19 ANOS, DA REGIÃO DA CALHA NORTE.	85
GRÁFICO 40 - MÉDIA MÓVEL ANUAL X MÉDIA DA SÉRIE DE 19 ANOS, DA REGIÃO DA COSTA ATLÂNTICO NORDESTE.	85
QUADRO 1 – REGIÕES HIDROGRÁFICAS BRASILEIRAS E SUAS ESPECIFICIDADES.	29

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVOS	17
	2.1 GERAL.....	17
	2.2 ESPECÍFICOS.....	17
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
	3.1 A IMPORTÂNCIA DOS RECURSOS HÍDRICOS	18
	3.2 O CICLO HIDROLÓGICO.....	19
	3.3 PRECIPITAÇÃO	21
	3.3.1 Formas de Precipitação	21
	3.3.2 Grandezas Físicas	21
	3.4 SISTEMAS ATMOSFÉRICOS ATUANTES NA REGIÃO AMAZÔNICA.	22
	3.4.1 Alta da Bolívia	22
	3.4.2 Zona de Convergência Intertropical – ZCIT	23
	3.4.3 Linhas de Instabilidade	23
	3.4.4 El Niño e La Niña	24
	3.5 REGIÃO HIDROGRÁFICA	27
	3.6 BACIA HIDROGRÁFICA.....	30
	3.7 ANÁLISE DE SÉRIES TEMPORAIS	32
	3.7.1 Aquisição de Dados Pluviométricos	32
	3.7.2 Aquisição de Dados Fluviométricos	34
	3.7.3 Controle dos Dados	36
	3.8 DENSIDADE MÍNIMA DE REDES CONFORME A OMM.....	37
	3.9 TESTES DE TENDÊNCIA NÃO PARAMÉTRICOS	39
	3.10 A RELAÇÃO DESMATAMENTO X PRECIPITAÇÃO	40
	3.11 A RELAÇÃO DESMATAMENTO X VAZÃO.....	41
	3.12 A RELAÇÃO PRECIPITAÇÃO X VAZÃO	42

3.13	O DESMATAMENTO NO ESTADO DO PARÁ.....	43
4	ÁREA DE ESTUDO.....	46
4.1	REGIÃO HIDROGRÁFICA DA CALHA NORTE	47
4.2	REGIÃO HIDROGRÁFICA DA COSTA ATLÂNTICA – NORDESTE.....	48
5	MATERIAS E MÉTODOS.....	50
5.1	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	50
5.1.1	<i>Coleta dos Dados.....</i>	<i>50</i>
5.1.2	<i>Plotagem das Estações.....</i>	<i>50</i>
5.2	ANÁLISE DE TENDÊNCIA DAS SÉRIES.....	50
5.2.1	<i>Testes de Tendências.....</i>	<i>50</i>
5.3	ANÁLISE DE CORRELAÇÃO ENTRE PRECIPITAÇÃO E VAZÃO NAS REGIÕES.....	52
5.4	ANÁLISE DAS CONDIÇÕES AMBIENTAIS DAS REGIÕES.....	54
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES	57
6.1	COLETA DE DADOS	57
6.2	ANÁLISE DE DENSIDADE MÍNIMA RECOMENDADA PELA OMM	59
6.3	ANÁLISE DAS REGIÕES ESTUDADAS.....	60
6.3.1	<i>Análise Pluviométrica.....</i>	<i>60</i>
6.3.2	<i>Análise da Ação Antrópica.....</i>	<i>62</i>
6.3.3	<i>Análise das Características Físicas</i>	<i>63</i>
6.4	ANÁLISE DE TENDÊNCIA DAS SÉRIES TEMPORAIS.....	64
6.5	ANÁLISE DO COMPORTAMENTO SAZONAL DA PRECIPITAÇÃO E DA VAZÃO.....	67
6.6	ANÁLISE DE CORRELAÇÃO ENTRE PRECIPITAÇÃO E VAZÃO.....	82
6.7	ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DOS FENÔMENOS CLIMÁTICOS (EL NIÑO E LA NIÑA).	85
7	CONCLUSÕES.....	87
	REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	89

1 INTRODUÇÃO

Segundo Baggioto (2013), vários são os fatores que determinam o armazenamento e o transporte da água, conseqüentemente, interferindo no ciclo hidrológico, como: intensidade; variabilidade temporal e espacial dos fenômenos hidrológicos que determinam a disponibilidade hídrica para todas as atividades, sejam elas humanas; econômicas ou naturais (ecossistemas).

O aumento da sazonalidade das chuvas em algumas regiões tropicais tem sido um tema intensamente debatido no domínio das alterações climáticas Globais. Secas mais intensas e frequentes na Amazônia, por exemplo, podem estar relacionadas com o desmatamento (Aragão et al. 2012). Por estas razões, as mudanças climáticas devem tornar-se um elemento de análise importante para a organização e o planejamento territorial e ambiental, devido à alta interferência, impacto e grau da repercussão no tempo e no espaço (COSTA ET AL. 2012).

Neste âmbito a análise estatística de tendências de séries temporais dos fenômenos hidrológicos é importante para alguns procedimentos como: a) calibrar modelos de chuva-vazão; b) definir a disponibilidade hídrica de uma sessão hidrológica; c) determinar medidas estruturais e não estruturais de controle de inundações. Além de outros estudos relativos à gestão de recursos hídricos que utilizam as séries históricas. (SANTANA, SILVA e SANTOS, 2012).

Ressalta-se que as taxas de desmatamento na Amazônia têm variado ao longo do tempo (Llapola *et al.* 2011). Segundo Reydon (2011) as causas históricas desse processo consistem em incentivos fiscais, projetos de colonização e o cenário macroeconômico recente, envolvendo o avanço das atividades agrícolas e a exploração madeireira. É provável que este fato tenha contribuído para a mudança climática da região, uma vez que as florestas tem uma influência direta sobre o clima, causando variações na temperatura e na umidade relativa do ar em diferentes escala (Delire *et al.* 2011). Neste cenário, segundo Aragão *et al.* (2012), o desmatamento é o principal elemento que provoca perturbações no ciclo hidrológico regional, com diminuições na precipitação local.

Por estar contido na maior bacia hidrográfica Nacional, a Amazônica, o estado do Pará é considerado privilegiado no que se refere a recursos hídricos, pois o mesmo possui uma das maiores reservas de água doce do mundo além de possuir

uma grande geração de energia hidrelétrica no contexto Nacional, o que gera para o Estado um desenvolvimento econômico satisfatório. (MENEZES, 2013)

Por outro lado o estado do Pará, devido suas características geográficas e de acesso através de estradas e rios, é visto como uma oportunidade de entrada das atividades agropecuárias, sendo essa talvez a principal atividade relacionada com o contexto do desflorestamento. Segundo o Projeto de Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite – PRODES (2014), o Pará atingiu uma área desmatada de 251.082,80 Km², o que equivale a 22,15% da sua área original de floresta, e corresponde a 33,54% do desmatamento na Amazônia Legal. A Secretaria de Estado de Meio Ambiente - SEMA (2013) ressalta que nos últimos anos houve uma queda das taxas do desmatamento no Estado, podendo-se perceber um avanço na política ambiental adotada, entretanto é visível a fragilidade das mesmas em relação aos processos de uso e apropriação do solo.

Alguns autores vem discutindo a relação entre a precipitação; a vazão e o desmatamento podendo-se considerar como os principais: “Tendência temporal da precipitação e do escoamento em grandes rios chineses desde 1951”, realizado por Xu, Milliman e Xu (2010), no qual foram analisadas as tendências, através do método de Mann Kendall, de precipitação e do escoamento em grandes rios chineses para posteriores cálculos e comparações, a fim de melhor quantificar os processos hidrológicos. Já, Romanoa, Petrangelia e Preziosi (2011), realizaram o estudo:” Análise espacial e temporal das chuvas no Rio Tibre Basin (Itália central) em relação à descarga Medições (1920-2010)”, no qual a precipitação diária e a vazão do rio na bacia do rio Tiber (Itália Central) foram analisados por meio de índices padronizados em escala anual, e a existência ou não de tendências foi verificada por meio do teste não paramétrico de Mann – Kendall; outro estudo “Variabilidade de longo prazo do fluxo do rio Danúbio e sua relação a temperatura do ar e precipitação”, foi desenvolvido por Szolgayova *et al.* (2013); e o estudo:” Chuva e Desmatamento no município de Colíder, Sul da Amazônia.” realizado por Bonini *et al.* (2014), no qual foi analisado como a destruição das florestas pode ter efeitos no ciclo hidrológico, refletindo diretamente nas taxas de precipitação.

Para Tucci (2009) as modificações naturais e artificiais na cobertura vegetal das bacias hidrográficas influenciam o seu comportamento hidrológico. Essas alterações produzem os mais variados impactos sobre o meio ambiente e a disponibilidade dos recursos hídricos

Nesse contexto, este trabalho visa uma análise, do comportamento da chuva e vazão, além de verificar se há ou não tendências nas séries temporais, através de métodos estatísticos. Essa análise irá abranger duas diferentes regiões hidrográficas do estado do Pará que são: Região Hidrográfica da Calha Norte e Região Hidrográfica Costa Atlântico Nordeste, as quais possuem diferentes estágios de preservação ambiental, onde a primeira mostra-se como a região mais preservada no Estado e a segunda como a menos preservada.

2 OBJETIVOS

2.1 GERAL

- Analisar o comportamento da precipitação e da vazão dos corpos hídricos em diferentes regiões hidrográficas do Estado do Pará, considerando a ação antrópica, através de métodos estatísticos.

2.2 ESPECÍFICOS

- Avaliar a distribuição espacial das estações pluviométricas e fluviométricas das Regiões estudadas, correlacionando com as recomendações da OMM;
- Analisar através de métodos não paramétricos as tendências em séries temporais pluviométricas e fluviométricas em duas regiões distintas do Estado do Pará;
- Verificar a influência dos fenômenos climáticos nas regiões Calha Norte e Costa Atlântico Nordeste; e
- Correlacionar precipitação e vazão nas Regiões, considerando as características pluviométricas, físicas e antrópicas de cada uma.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 A IMPORTÂNCIA DOS RECURSOS HÍDRICOS

Os recursos hídricos, ou como comumente chamados, a água, estabelece sua importância em diversas formas, seja no sentido de necessidade vital de todos os animais, como também em atividades econômicas, pois o uso desse indispensável recurso natural em setores da economia, como por exemplo, o industrial, o agrícola, vem se intensificando cada vez mais.

Apesar de toda sua importância, a água vem sofrendo intensos processos de contaminação e poluição, o que mostra a falta de conscientização por parte de toda a sociedade, a qual, em grande parte, não pratica de maneira real a conservação desse recurso.

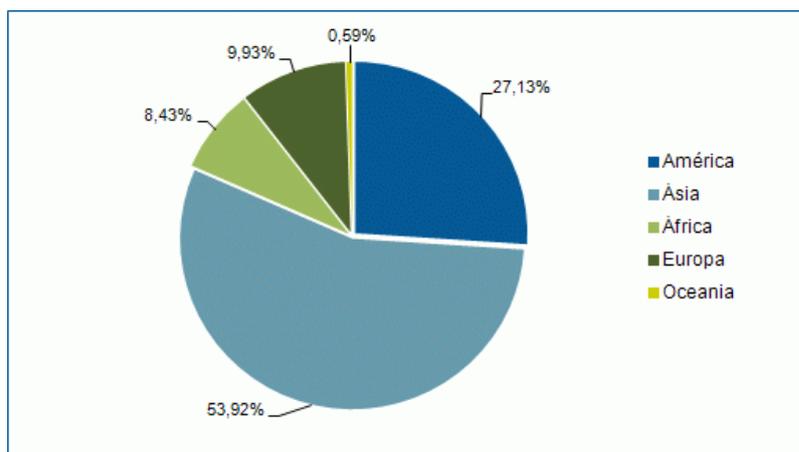
Hoje, no mundo, existem várias legislações sobre a utilização, conservação e fiscalização dos recursos hídricos, entretanto a dificuldade de exercer de fato o que está determinado, talvez seja a grande problemática de se evitar o uso indevido desse recurso tão importante para a manutenção de um ecossistema de uma maneira sustentável.

Com o uso incorreto desse recurso, a escassez de água começa a ser a realidade de muitas regiões do mundo, como em alguns Países do Continente Africano onde a média de consumo de água por pessoa é de dez a quinze litros por dia. Em contrapartida, em cidades como Nova York, o consumo alcança valores exagerados como dois mil litros por dia/pessoa. (COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB, 2014).

Para a Organização das Nações Unidas - (ONU, (2013), a realidade de falta de água em algumas regiões do mundo está diretamente associada às questões sociais, pois em estudos apresentados fica evidente que o controle sobre o uso da água, hoje, significa deter poder. As diferenças registradas entre Países desenvolvidos e em desenvolvimento evidenciam que a crise mundial dos recursos hídricos está relacionada às desigualdades sociais.

A não homogeneidade na distribuição dos recursos hídricos no mundo é real e decisiva para uma gestão e um planejamento correto com relação ao seu uso. Na Figura 1 podemos perceber essa não homogeneidade.

Figura 1 – Distribuição de água no Planeta



Fonte: PUC, 2014

Segundo Rebouças (2006), até mesmo o Brasil com a sua riqueza de recursos hídricos, já enfrenta problemas relacionados com a falta de água em algumas regiões, principalmente no nordeste do País. O Brasil, hoje, detém cerca de 12% de todo recurso hídrico mundial sendo que 80% desse total encontra-se na Amazônia, a qual possui uma grande índice de chuva e a maior vazão entre os rios do mundo.

3.2 O CICLO HIDROLÓGICO

Segundo Carvalho e Silva (2006), o conceito de ciclo hidrológico está relacionado ao movimento e à troca de água nos seus diferentes estados físicos, que ocorre na Hidrosfera, entre os oceanos, as calotas polares, as águas superficiais, as águas subterrâneas e a atmosfera. Este movimento permanente deve-se ao Sol, que fornece a energia para elevar a água da superfície terrestre para a atmosfera (evaporação), e à gravidade, que faz com que a água condensada precipite (precipitação) e que, uma vez na superfície, circule através de linhas de água que se reúnem em rios até atingir os oceanos (escoamento superficial) ou se infiltre nos solos e nas rochas, através dos seus poros, fissuras e fraturas (escoamento subterrâneo). Nem toda a água precipitada alcança a superfície terrestre, já que uma parte, na sua queda, pode ser interceptada pela vegetação e volta a evaporar-se.

A água que se infiltra no solo está sujeita a evaporação direta para a atmosfera e é absorvida pela vegetação, que através da transpiração, a devolve à atmosfera. Este processo chamado evapotranspiração.

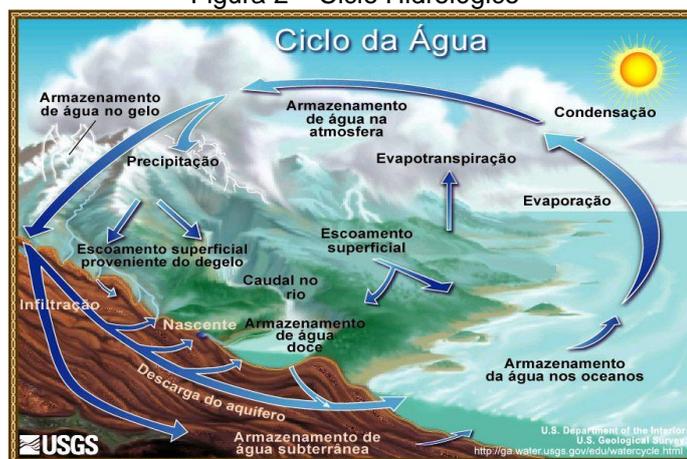
A água que continua a infiltrar-se e atinge a zona saturada, entra na circulação subterrânea e contribui para um aumento da água armazenada (recarga dos aquíferos)

Para Arcova, Cicco e Rocha (2003) uma das principais influências da floresta ocorre já no recebimento das chuvas pelas copas das árvores, quando se dá o primeiro fracionamento da água, onde uma parte é temporariamente retida pela massa vegetal e em seguida evaporada para a atmosfera, processo denominado de interceptação. A interceptação é a retenção de parte da precipitação acima da superfície do solo, podendo ocorrer devido à vegetação ou outra forma de obstrução ao escoamento. A cobertura florestal, através da interceptação, influencia a redistribuição da água da chuva, em que as copas das árvores formam um sistema de amortecimento, direcionamento e retenção das gotas que chegam ao solo, afetando a dinâmica do escoamento superficial e o processo de infiltração. Desse modo, o abastecimento das águas é favorecido e a variação de vazão ao longo do ano, reduzida, além do retardamento dos picos de cheia.

A quantidade de água e a velocidade com que ela circula nas diferentes fases do ciclo hidrológico são influenciadas por diversos fatores como, por exemplo, a cobertura vegetal, altitude, topografia, temperatura, tipo de solo e geologia.

O ciclo hidrológico pode ser considerado um sistema fechado, pois permanece constante em termos quantitativos, sem troca de matéria.. Na Ffigura 2, pode-se observar um esquema do ciclo hidrológico.

Figura 2 – Ciclo Hidrológico



Fonte: U.S. Geological Survey (USGS), 2011.

3.3 PRECIPITAÇÃO

É toda a água oriunda do vapor d'água atmosférico que alcança a superfície terrestre, seja no estado líquido ou sólido. Basicamente, a precipitação é formada pelo acúmulo de partículas, até as mesmas alcançarem peso suficiente para precipitar pela ação da gravidade. Segundo Collischonn (2006), a precipitação é a variável hidrológica que apresenta a maior variabilidade espacial.

A precipitação tem uma importante função em todos os meios, pois atuam como abastecedoras naturais de corpos hídricos, além de serem de extrema importância para atividades econômicas como: agricultura, geração de energia através de hidrelétricas e industriais. (LUCENA; *ET AL.*, 2012).

3.3.1 Formas de Precipitação

Conforme Das & Salkia (2009) as principais formas de precipitação são:

- Chuva ou pluvial: é a principal forma de precipitação, quando a altura pluviométrica é maior que 0,5mm. Pode ocorrer em diferentes intensidades como: fraca (2,5mm/h), moderada (<7,5mm/h) e forte (>7,5mm/h).
- Neve: composto por cristais de gelo, em formato de uma bola que pode atingir tamanhos variados.
- Chuvisco: precipitação fina com gotas de água de altura pluviométrica de até 0,5mm e intensidade até 1mm/h.
- Granizo: são gotas de chuva congelada, possui aspecto transparente e forma-se quando a chuva cai sob temperatura de congelamento com diâmetro maior que 5mm.

Especificamente, no Brasil a mais importante forma de precipitação é a chuva, seguida de granizo e neve. (LUCENA; *ET AL.*, 2012)

3.3.2 Grandezas Físicas

Segundo Garcez (2002), para a realização de um estudo hidrológico pluviométrico, se faz necessário a análise de dados, em cada área de ocorrência, para tanto alguns parâmetros foram padronizados, como:

- **Altura pluviométrica:** corresponde a espessura média da lâmina d'água precipitada que poderia recobrir a região atingida pela precipitação, considerando-se a referida região como plana e não ocorrendo infiltração, escoamento ou evaporação. A unidade de medida é mm de chuva.
- **Duração:** É o exato período de tempo que decorre do início ao final da chuva. Sua unidade de medida pode ser minuto, hora, dia, mês e ano.
- **Intensidade da precipitação:** É a relação entre a altura pluviométrica e a duração da precipitação. A unidade de medida é mm/h.
- **Frequência de probabilidade:** 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.

3.4 SISTEMAS ATMOSFÉRICOS ATUANTES NA REGIÃO AMAZÔNICA.

3.45.1 Alta da Bolívia

Ocorre pela formação de um anti-ciclone em altos níveis (200h Pa), durante os meses de verão (Julho a Dezembro). Tal fenômeno ocorre pelo fato de a região Amazônica estar inserida na circulação geral da alta troposfera presente na América do Sul. (FISCH, MARENGO e NOBRE 1998).

Este fenômeno possui essa denominação por situar-se sobre a região dos altiplanos Bolivianos. Para Marengo, (1992) as convecções que ocorrem na região Amazônica tem direta ligação com a formação deste anti-ciclone, pois a redução de escalas convectivas em alguns períodos de seca na região estavam relacionadas com o enfraquecimento do Alta da Bolívia.

A localização geográfica da Alta da Bolívia apresenta variação intra-sazonal e intra-anual, segundo Andrade (2007) a Alta da 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.

3.54.2 Zona de Convergência Intertropical – ZCIT

Segundo Andrade (2007), ocorre pela confluência dos ventos alísios de Nordeste e Sudeste. Este sistema atmosférico é considerado um dos mais importantes e influentes fenômenos que atuam na região. Está localizada em uma região de baixa pressão atmosférica e altos índices pluviométricos.

Quando há a ocorrência de ZCIT, geralmente, está associado a grandes volumes de chuva. Segundo a Secretaria Estadual de Meio Ambiente – SEMA, (2012) no estado do Pará, esse sistema é o maior causador de chuvas, no período entre os meses de dezembro a maio.

3.45.3 Linhas de Instabilidade

Para Loureiro, Gomes e Rocha (2006), as linhas de instabilidade se formam através das brisas marítimas que afetam principalmente a zona costeira norte/nordeste do continente Sul-americano, ocasionando um resfriamento/aquecimento entre o continente e o oceano, fazendo com que o ar quente continental desloque-se em direção ao mar e o ar frio oceânico desloque-se no sentido contrário.

É considerado como um importante sistema de mesoescala nas regiões tropicais, pois são responsáveis pela maior parte da precipitação (até 45%) dessas regiões.

As Linhas de Instabilidade normalmente possuem uma escala espacial da ordem de centenas de quilômetros e uma escala temporal que pode variar de uma hora a até mesmo um dia. Para Cohen, Dias e Nobre (1995) a classificação destas Linhas de Instabilidade conforme as características de sua penetração no continente são:

- Linha de Instabilidade Costeira (LIC): são aquelas cuja propagação horizontal, para o interior do continente alcança até 170 km.
- Linhas de Instabilidade com Propagação do Tipo 1 (LIP1): apresentam deslocamento horizontal entre 170 e 400km para dentro do continente.
- Linhas de Instabilidade com Propagação do Tipo 2 (LIP2): apresentam deslocamento horizontal, continente adentro, superior a 400km.

3.45.4 El Niño e La Niña

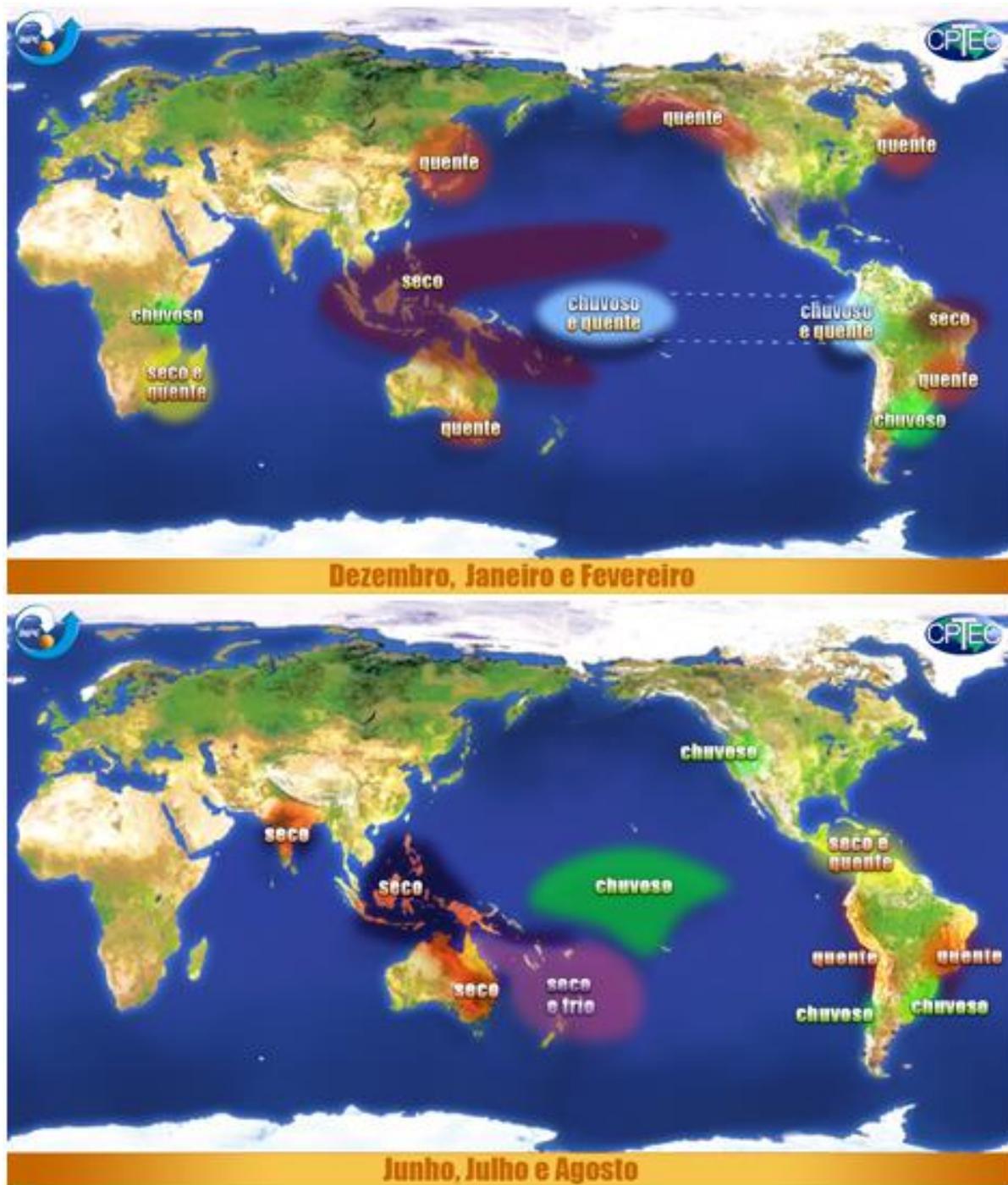
São fenômenos de origem oceânica caracterizados pelo aquecimento anormal das águas do oceano Pacífico, especificamente, nas porções central e leste, próximo da América do Sul. Só considera-se El Niño quando o aquecimento da água, ali presente, supera a média de 23 °C em proporções acima de 1°C. (Mendonca e Danni-Oliveira, 2007).

Com relação ao fenômeno La Niña, o mesmo possui características opostas ao do El Niño, pois se caracteriza pelo resfriamento anormal das águas do oceano Pacífico.

Segundo o Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos - CPTEC/INPE, (2009) esses fenômenos meteorológicos representam uma alteração do sistema oceano-atmosfera no Pacífico, o que pode ocasionar a mudança climática em todo o Planeta, pois provocam alterações na circulação da atmosfera nos níveis baixos e altos, tendo como consequência a alteração na distribuição das chuvas nas regiões.

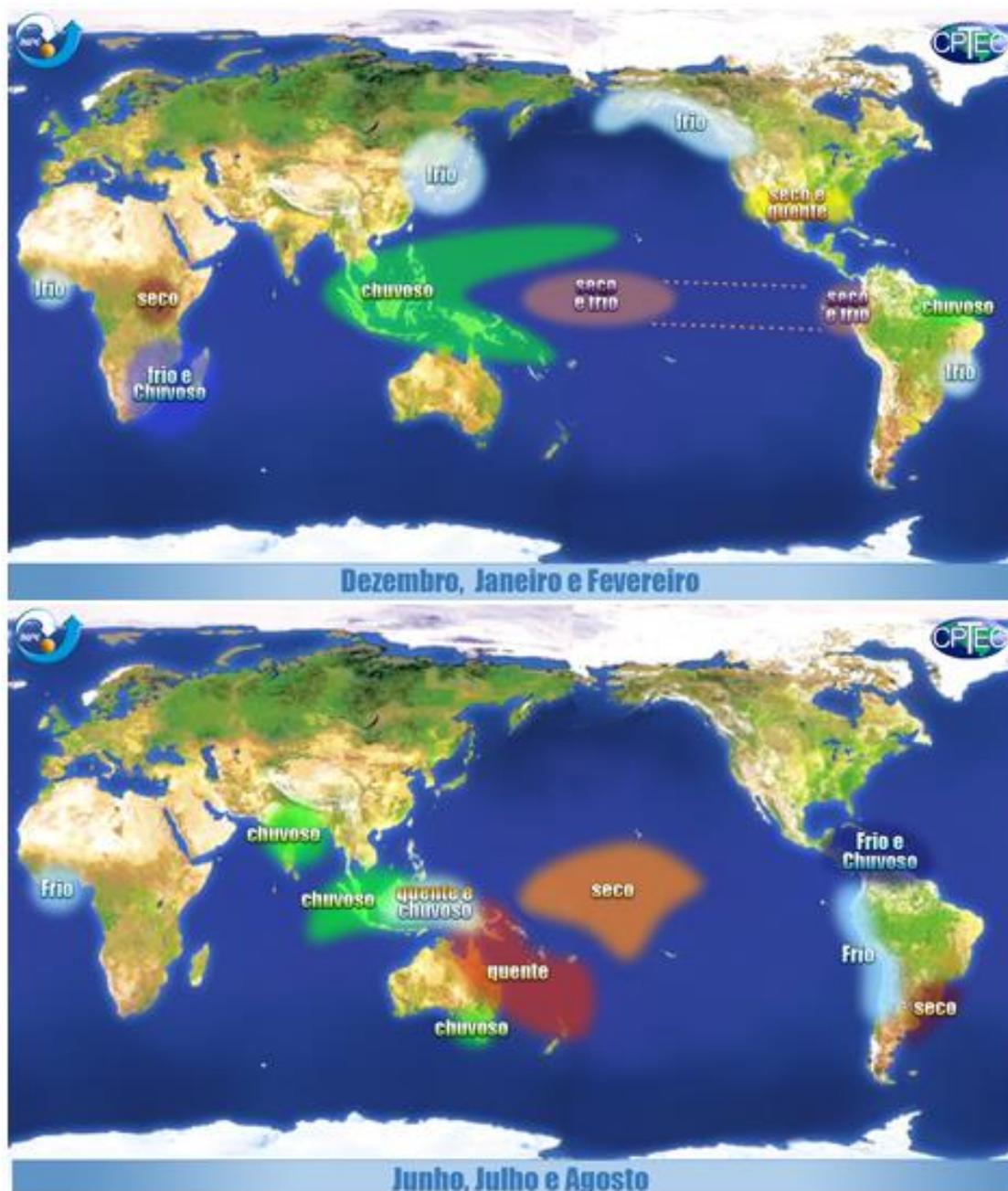
Os eventos de El Niño ocorrem de forma irregular, geralmente uma vez a cada três a seis anos. Durante um episódio de El Niño, as chuvas aumentam drasticamente em certas áreas do mundo, enquanto as secas graves ocorrem em outras regiões (Figura 3), e o fenômeno dura aproximadamente um ano. Já os episódios de La Niña produzem padrões climáticos opostos (Figura 4) aos encontrados durante um episódio de El Niño. (HOLMGREN; *ET AL.*, 2001).

Figura 3 - Efeitos Globais Ocasionados pelo El Niño



Fonte: CPTEC/INPE (2009)

Figura 4 - Efeitos Globais Ocasionados pelo La Niña



Fonte: CPTEC/INPE (2009)

Dentre os trabalhos que citam os anos de ocorrência do El Niño e La Niña, pode ser destacada a relação do CPTEC/INPE (2009), que além de relacionar todos os anos de ocorrência, também esboça a intensidade com que ocorreu o fenômeno no respectivo ano. Estes resultados podem ser mais bem visualizados na Tabela 1.

Tabela 1 - Ocorrências de El Niño e La Niña e suas respectivas intensidades

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: CPTEC/INPE, 2014.

Na Amazônia, especificamente, as ocorrências de La Niña apresentam como consequência uma abundância de chuva nas áreas norte e leste, enquanto que, as ocorrências de El Niño provocam consideravelmente diminuição da precipitação em toda a Amazônia. (ISHIHARA, *ET AL*, 2014).

3.5 REGIÃO HIDROGRÁFICA

Considera-se como região hidrográfica o espaço territorial compreendido por uma bacia, grupo de bacias ou sub-bacias hidrográficas contíguas com características naturais, sociais e econômicas homogêneas ou similares, com vistas

a orientar o planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos. (CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE - CONAMA, 2003).

O Brasil até o ano de 2002 era dividido em oito regiões hidrográficas. Entretanto com o objetivo de respeitar as diversidades sociais, econômicas e ambientais do País, o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (- CNRH) aprovou em 15 de outubro de 2003, a Resolução N° 32 que instituiu a nova Divisão Hidrográfica Nacional, composta por 12 regiões diferentes. Conforme mostrado na figura 5 abaixo.

Figura 5 – Regiões hidrográficas brasileiras



Fonte: ANA, 2014

O Quadro 1 abaixo, mostra as doze regiões hidrográficas brasileiras e suas especificidades

Quadro 1 – Regiões Hidrográficas brasileiras e suas especificidades.

Regiões Hidrográficas	Área (Km²)	População (hab.)	Rio(s) Principal(is)	Situação Ambiental	Bioma
Amazônica	7.008.370	9.694.728	Amazonas	Desmatamento intenso	Floresta Amazônica, Campos e Cerrado
Tocantins - Araguaia	918.822	8.600.000	Tocantins e Araguaia	Desmatamento intenso	Floresta Amazônica e Cerrado
Atlântico Nordeste Ocidental	274.301	6.244.419	Gurupi	Desmatamento intenso	Floresta Amazônica e Cerrado
Parnaíba	333.056	4.152.865	Balsas	Escassez hídrica	Caatinga e Floresta Tropical
Atlântico Nordeste Oriental	286.802	24.000.000	Jaguaribe	Desmatamento intenso	Floresta Atlântica, Caatinga e Cerrado
São Francisco	638.576	14.200.000	São Francisco	Escassez hídrica	Cerrado, Caatinga e Mata Atlântica
Atlântico Leste	388.160	15.066.543	Paraguaçu	Desmatamento intenso	Floresta Atlântica, Caatinga e Cerrado
Paraguai	363.445	2.200.000	Paraguai	Considerada reserva da Biosfera pela UNESCO	Cerrado e Pantanal
Paraná	879.873	61.300.000	Paraná, Parnaíba e Tietê	Desmatamento intenso	Mata Atlântica e Cerrado
Sudeste	214.629	28.200.000	Paraíba do Sul e Doce	Escassez Hídrica	Mata Atlântica
Uruguai	174.533	3.900.000	Uruguai	Desmatamento intenso	Mata Atlântica e Campos
Atlântico Sul	187.522	13.400.000	Itajaí e Capivari	Desmatamento intenso	Mata Atlântica

Fonte: Adaptado de MMA, 2014.

3.6 BACIA HIDROGRÁFICA

A bacia hidrográfica é uma área de captação natural da água de precipitação que faz convergir o escoamento para um único ponto de saída (foz do rio principal). Compõe-se de um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos de água que confluem até resultar em um leito único no seu exutório. (TUCCI, 2009).

Nesse contexto, bacia hidrográfica pode ser então considerada um sistema. Onde se realizam os balanços de entrada proveniente da chuva e saída de água através do exutório, permitindo que sejam delineadas bacias e sub-bacias, cuja interconexão se dá pelos sistemas hídricos., (PORTO e PORTO 2008).

Segundo Porto e Porto (2008), a questão da escala a ser utilizada depende do problema a ser solucionado. Pode ser delimitada a totalidade da bacia do Rio Amazonas, desde suas cabeceiras mais distantes na cordilheira andina até seu exutório do Oceano Atlântico, assim como podem ser delimitadas suas sub-bacias, maiores ou menores, dependendo da necessidade do problema a ser abordado. Diz-se que o tamanho ideal de bacia hidrográfica é aquele que incorpora toda a problemática de interesse

Sobre o território definido como bacia hidrográfica é que se desenvolvem as atividades humanas. Todas as áreas urbanas, industriais, agrícolas ou de preservação fazem parte de alguma bacia hidrográfica. Pode-se dizer que, no seu exutório, estarão representados todos os processos que fazem parte do seu sistema. O que ali ocorre é consequência das formas de ocupação do território e da utilização das águas que para ali convergem. (PORTO e PORTO, 2008).

Ao se analisar a precipitação e a vazão em uma bacia pode-se considerar que iniciada a precipitação pluviométrica, parte dela é interceptada pela vegetação, parte infiltra no solo e parte pode ser retida em depressões da superfície do terreno. Se a duração da chuva continuar, após o preenchimento dessas depressões, terá início o escoamento superficial propriamente dito. Assim, a água que escoar sob a superfície do solo, sem infiltrar, formará a enxurrada que irá compor, junto com o escoamento de base, os córregos, ribeirões, rios, lagos e reservatórios (ALENCAR, SILVA e OLIVEIRA, 2006).

O volume total de água transportado pelo canal de um curso de água é formado pelo escoamento superficial e pelo afluxo de água do subsolo, ou

escoamento de base. No entanto, o escoamento superficial resultante das precipitações é considerado o componente preponderante na formação de cheias ou aumento de vazões dos cursos de água (BARBOSA *ET AL.*, 2005).

A variação da vazão de um curso de água, decorrente de precipitação ocorrida em uma bacia de contribuição correspondente, pode ser avaliada, por exemplo, por meio de aparelhos apropriados, como os linígrafos, que registram as alturas das lâminas de água no decorrer do tempo (TUCCI, 2009). O conhecimento dessa grandeza interessa, sobretudo, pela possibilidade de ser correlacionada à vazão de um curso de água.

O volume de água decorrente do escoamento superficial depende de fatores de natureza geológica, climática e fisiográfica da região (Aalencar, sSilva e oOliveira, 2006), tais como: a área da bacia hidrográfica, a existência de declividades acentuadas e depressões retentoras de água, o tipo e o teor de água do solo, a cobertura vegetal e a quantidade e a intensidade de precipitação, entre outros.

Para Tucci (2009) a alteração da superfície da bacia pode ter impactos significativos sobre o escoamento. Esse impacto normalmente é caracterizado quanto ao efeito que provoca no comportamento das enchentes, nas vazões mínimas e na vazão média.

Castilho *et al.* (1999) verificaram que a quantidade de precipitação interceptada pela cobertura vegetal, constituída predominantemente de cana-de-açúcar, em uma grande bacia hidrográfica do Estado de São Paulo, é bastante expressiva, implicando redução da parcela de escoamento superficial representada no balanço hídrico dessa bacia.

Flanagan *et al.* (1988) pesquisaram, por intermédio de um simulador de chuvas, o efeito de várias intensidades de precipitação na infiltração, no escoamento superficial e na erosão, tendo constatado que os resultados obtidos foram influenciados pelas umidades iniciais presentes nos solos que receberam as precipitações artificiais.

Neste âmbito, segundo Baggioto *et al* (2013), a análise estatística de séries temporais dos fenômenos hidrológicos é importante para uma série de procedimentos em geral interdependentes: a) calibrar modelos de chuva-vazão; b) definir a disponibilidade hídrica de uma sessão hidrológica; c) determinar medidas estruturais e não estruturais de controle de inundações. Além de outros estudos relativos à gestão de recursos hídricos que utilizam as séries históricas.

Na fFigura 6 pode-se observar um modelo de bacia hidrográfica.

Figura 6– Modelo de uma bacia hidrográfica.



Fonte: PUC, 2014.

3.7 ANÁLISE DE SÉRIES TEMPORAIS

Uma série temporal é um conjunto de observações ordenadas no tempo, não necessariamente igualmente espaçadas, que apresentam dependência serial, isto é, dependência entre instantes de tempo. (PUC, 2012).

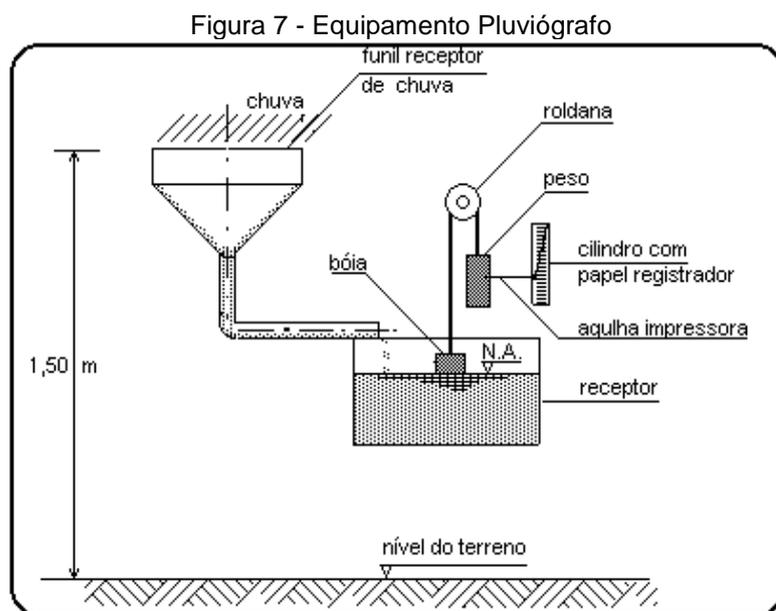
3.87.1 Aquisição de Dados Pluviométricos

Conforme Collischonn et. al. (2008), a aquisição de dados pluviométricos pode se dar de várias formas:

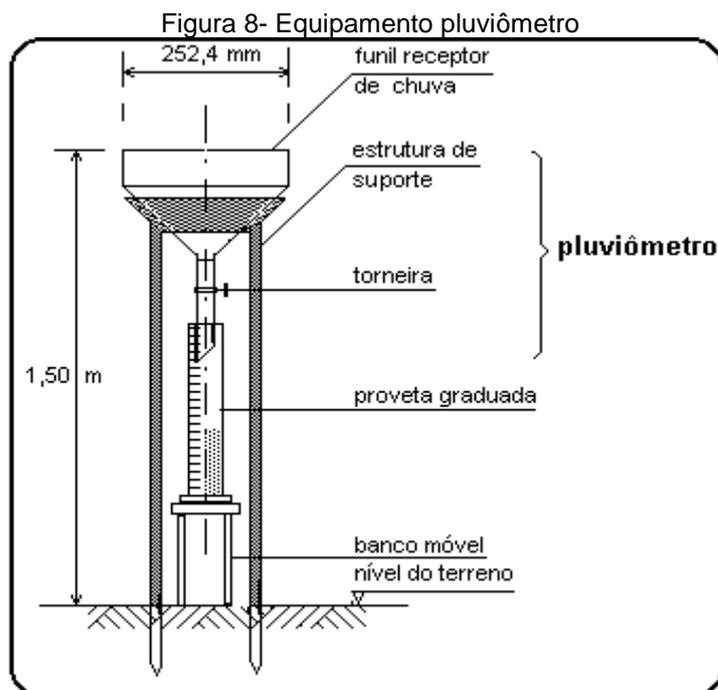
- Método tradicional do uso de aparelhos chamados pluviômetros (com leituras em intervalos fixos grandes) e pluviógrafos que possuem dados registrados automaticamente. Estes aparelhos possuem a vantagem de medirem com melhor precisão a chuva, mas a desvantagem de necessitarem de uma densidade alta para uma representação espacial. É ainda o método mais preciso.
- Uso de Radar Meteorológico: que mede a chuva com base na frequência e possui melhor distribuição espacial da chuva, apesar dos custos e necessidade de um permanente ajuste com base nos dados medidos pelos aparelhos tradicionais;

- Uso de satélite: medidas com base em satélites que estabelecem relações com variáveis meteorológicas estimadas por dispositivos existentes em satélites. Geralmente possui pouca precisão para áreas específicas.
- Reanálise: é o uso de modelos climáticos que se ajustam aos dados de campo e interpolam os campos de precipitação.

Segundo Garcez (2002), no Brasil a precipitação é medida normalmente através dos equipamentos: pluviômetros e pluviógrafos. Sendo os primeiros simples receptores de que recolhem água precipitada e armazenando-a convencionalmente para posterior medição volumétrica, através de provetas graduadas. Já os segundos são equipamentos que registram continuamente a chuva recolhida registrando, através de gráficos, os dados obtidos. Com isso é possível a identificação da intensidade da precipitação ao longo do tempo. Nas Figuras 7 e 8 podemos identificar os equipamentos pluviógrafo e pluviômetro, respectivamente.



Fonte: UFCG, 2014.



Fonte: UFCG, 2014

3.87.2 Aquisição de Dados Fluviométricos

A quantificação da vazão efluente nos rios de uma bacia hidrográfica consiste em uma importante ferramenta para a gestão de recursos hídricos, pois através de seu conhecimento se pode quantificar o consumo, avaliar a disponibilidade dos recursos hídricos e a partir destas informações, utilizar instrumentos de gestão como a outorga e cobrança pelo uso da água.

Existem duas formas de aquisição de dados fluviométricos, a automática e a convencional.

A primeira é utilizada visando à transmissão de dados em tempo real, onde os dados são coletados por um sistema denominado Telemetria nas estações automáticas, com a utilização de Plataformas de Coletas de Dados (- PCDs) na qual suas transmissões são efetuadas pelos satélites brasileiros (SCD e CBERS), utilizando-se da estrutura do INPE, em Cuiabá e em Cachoeira Paulista.

As variáveis hidrológicas são obtidas por uma diversidade de sensores automáticos e armazenadas "*in loco*" nas PCDs. Os dados são transmitidos remotamente pelos satélites que permitem a obtenção de um número maior de informações por dia aumentando a confiabilidade e permitindo avaliação quase "instantânea" da disponibilidade hídrica. Esse sistema melhora a avaliação do

potencial energético e permite a realização de balanço hídrico em tempo quase real, o que melhora o controle dos recursos hídricos, disponibiliza dados mais atualizados para a sociedade e propicia uma ampla conceituação do uso racional e múltiplo dos recursos hídricos (ANA, 2012). Na Figura 9 pode-se identificar uma estação fluviométrica automática.

Figura 9 – Estação fluviométrica automática.



Fonte: ANA, 2012

Já as estações fluviométricas convencionais são compostas por lances de réguas limnimétricas, cujos dados podem ser registrados por observadores, em cadernetas específicas, em duas leituras diárias, às 07:00hs e 17:00hs (ANA).

A Resolução Conjunta não condiciona à instalação de réguas limnimétricas, tampouco a realização de leituras convencionais. Entretanto, recomenda-se ao menos a instalação de lances de réguas na seção do rio para facilitar a observação das cotas durante a realização de medições de descarga líquida e sólida para a verificação do ajuste dos sensores de nível. Método do observador consiste na instalação de réguas medidoras nos rios, através dessa medição o observador visualiza diariamente. (ANA, 2012). Na Figura 10, pode-se observar uma estação fluviométrica convencional.

Figura 10 – Estação fluviométrica convencional.



Fonte: ANA, 2012

3.87.3 Controle dos Dados

Na realização de estudos hidrológicos alguns fatores são indispensáveis para que os resultados obtidos sejam satisfatórios e confiáveis, logo, fatores como: série de boa qualidade e longo período de tempo é de extrema importância para a realização eficaz de trabalhos com séries temporais (ZANETTI; *ET AL.*, 2006).

Na região amazônica a dificuldade de obtenção de dados de séries temporais satisfatórias, apresenta-se como o principal problema, pois em sua maioria as séries não possuem uma consistência temporal satisfatória. (ISHIHARA, *ET AL* 2014).

Segundo Tucci (2009), existem erros grosseiros nas observações e coletas 'dos dados, entre esses os mais comuns são:

- a) preenchimento errado do valor na caderneta de campo;
- b) soma errada do número de provetas, no caso de precipitação 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.

Baseado nesses constantes erros, os quais interferem de maneira direta no estudo hidrológico, alguns métodos para corrigir essas falhas foram desenvolvidos, conforme descritos abaixo.

3.8 DENSIDADE MÍNIMA DE REDES CONFORME A OMM

Segundo a Organização Mundial Meteorológica - OMM, (1984 e 1994) uma densidade mínima de estações por área de atividade deve ser determinada para que os dados possam ser coletados de maneira coerente.

Um adequado sistema de monitoramento de dados hidrometeorológicos é planejado de forma que dentro de certos níveis de precisão pré-estabelecidos, os parâmetros de projetos utilizados no planejamento, controle e gerenciamento dos recursos hídricos possam ser perfeitamente caracterizados e definidos, de forma direta, em qualquer ponto da bacia hidrográfica. Nessas condições seria possível afirmar que existe uma rede ótima de estações de monitoramento. (Junior e Koide, 2011).

O planejamento e o projeto de uma rede de monitoramento confundem-se com a análise da rede existente. Dificilmente se depara com regiões onde não há qualquer informação hidrológica oriunda de estações já instaladas. Nesse sentido, a OMM propõe o seguinte procedimento para análise e rearranjo de redes: a) definir a finalidade da rede sob o ponto de vista dos usos e usuários dos dados e informações geradas; b) descrever os seus objetivos específicos e as redes especialistas; c) definir as prioridades entre as redes analisadas; d) avaliar as redes existentes por intermédio de análises quantitativas e qualitativas tendo em vista os objetivos propostos na implantação da rede, além da avaliação comparativa com redes instaladas em outras bacias; e) elaborar projeto de rearranjo da rede visando a corrigir as distorções apresentadas na avaliação precedente; e f) avaliar se os custos financeiros para implementação do novo projeto são compatíveis com os recursos disponibilizados. (Junior e Koide, 2011).

No caso das estações pluviométricas, a OMM estabelece a densidade mínima de acordo com as zonas climáticas e geográficas, conforme mostrado na Tabela 2 abaixo.

Tabela 2 – Densidade mínima de estações pluviométricas (modelo original)

Características Fisiográficas	Limite das Normas para uma Rede Mínima área (em Km²) por estação	Limites das Normas Admissíveis em circunstâncias difíceis. área (em Km²) por estação
Regiões planas de zonas temperadas, mediterrâneas e tropicais;	600 - 900	900 - 3.000
Regiões tropicais de zonas temperadas e 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)

Após dez anos, visando a melhoria dos limites de densidade para as estações pluviométricas a OMM publicou um novo procedimento, conforme mostrado na Tabela 3.

Tabela 3 – Densidade mínima de estações pluviométricas (modelo revisado)

Unidades Fisiográficas	Densidade Mínima por Estação (Km²/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)

Na Tabela 4, abaixo, estão relacionados todos os estados que integram a Amazônia Legal, com suas respectivas áreas territoriais que estão dentro do bioma amazônico, quantificações de estações pluviométricas e densidade.

Tabela 4 – Densidade de Estações Pluviométricas na Amazônia Legal (1982-2011)

Estado	Área (Km²)	Nº de Estações	Densidade (Km²/estação)
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: Adaptado de Menezes, 2013.

No que se refere a estações pluviométricas a OMM em 1994, estabeleceu a densidade mínima dessas redes, conforme mostrado na Tabela 5.

Tabela 5 – Densidade mínima de estações fluviométricas.

Condições morfológicas do terreno	Densidade mínima de estações (Km ² /Estação)	Área dos rios principais (Km ²)
Zona Costeira	2.750	-
Relevo Montanhoso	1.000	100
Planícies Interiores	1.875	3.000 a 5.000
Ondulações Leves	1.875	3.000 a 5.000
Pequenas Ilhas	300	-
Área polar ou árida	20.000	10.000

Fonte: Adaptado de Junior e Koide, 2011.

Segundo Collischonn (2006), no Brasil a dificuldade de atendimento ao regulamento estabelecido pela OMM, é uma realidade. Devido a tal situação, os dados podem se tornar incertos para futuros resultado.

No estado do Pará, essa dificuldade também é real, pois dentre as suas 7 regiões hidrográficas, a que mais se aproxima do valor estabelecido pela OMM é a região Costa Atlântico Nordeste, entretanto ainda bem acima da área/estação regulamentada pela OMM. (MENEZES, 2013).

3.9 TESTES DE TENDÊNCIA NÃO PARAMÉTRICOS

Para Siegel e Castellan Jr. (2006) a tendência de uma série indica o seu comportamento “de longo prazo”, isto é, se ela cresce, decresce ou permanece estável, e qual o comportamento temporal destas mudanças.

A análise de tendência em séries temporais, normalmente são realizadas por testes estatísticos não-paramétricos. Estes envolvem a formulação de uma hipótese baseada na declaração do comportamento probabilístico da série da variável hidrológica em estudo. Tipicamente, são definidas duas hipóteses: a hipótese nula, denominada de H_0 , e a hipótese alternativa, descrita por H_1 . A rejeição ou não da hipótese formulada dependerá do tipo de teste e o nível de significância α definido previamente. (LOUREIRO, FERNANDES e ISHIHARA, 2015).

De forma geral, os sistemas ligados ao gerenciamento de recursos hídricos são planejados através da análise de dados hidrológicos. Entretanto, essas análises podem ser realizadas de uma maneira estacionária, ou seja, não considerando possíveis mudanças ambientais, estruturais, entre outras na região.

Segundo Yue *et al.* (2002), os principais testes estatísticos não paramétricos utilizados nos estudos hidrológicos são: Mann Kendall, Kendall Sazonal e Spearman's rho.

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, *apud* MENEZES, 2013).

3.10 A RELAÇÃO DESMATAMENTO X PRECIPITAÇÃO

A chuva é a variável meteorológica que influencia diretamente no equilíbrio dos recursos hídricos, e pode determinar o excesso ou a escassez desse recurso no solo de uma determinada região (Liberato e Brito, 2010). Além de ser essencial para as atividades vitais, é um dos agentes de controle mais importantes do ciclo hidrológico e as condições ecológicas e geográficas de paisagens (Rosa *et al.*, 2007), especialmente no que diz respeito à vegetação nativa.

O total de variações de precipitação mensal e anual reflete o comportamento da circulação atmosférica regional, ao longo do ano e eles estão inter-relacionados a fatores geográficos (locais ou regionais). Tais variações são reflexos intrínsecos da própria dinâmica da atmosfera, em face de que muitas intervenções humanas podem causar graves alterações ambientais (Buckeridge, 2008).

Segundo Souza *et al.*, (2006) as quantidades relativas de chuvas, o volume, os regimes sazonais ou diárias, a distribuição temporal e intensidades de chuvas individuais são características que afetam direta ou indiretamente as condições ambientais. Com a retirada das florestas os fluxos envolvidos no ciclo hidrológico se alteram ocasionando:

- A floresta absorve maior radiação de onda curta e reflete menos;
- A temperatura e a tensão de vapor nas áreas desmatadas variam mais;
- O volume evaporado diminui devido à redução da interceptação vegetal para retirada da vegetação da área; e
- Menor variação da umidade das camadas profundas do solo, tendo em vista que a floresta pode retirar umidade a profundidades superiores a 3,6m, enquanto a vegetação rasteira não ultrapassa 20 cm.

Com a redução da evaporação, pode-se esperar um efeito sobre a precipitação, mas o sistema climatológico local depende muito pouco da evaporação

da superfície da área. Quando a precipitação local é dependente, principalmente dos movimentos de massas de ar globais, o efeito da alteração da cobertura é mínimo.

Segundo Mooley e Parthasarathy (1983), na Índia, onde foram examinadas 306 estações entre os anos de 1871 e 1980, não houve uma evidência estatística de alterações de tendência, apesar das áreas cobertas pelos pastos, terem sofrido grandes desmatamentos ao longo dos anos.

Shuttleworth *et al* (1990), realizou vários ensaios com os Global Climate Models (– CGM), sobre o comportamento da Amazônia. Sobre esse assunto os resultados tem previsto a redução de até 50% na evapotranspiração e 20% na precipitação, devido a grande dependência que a região possui para com o ciclo hidrológico.

Já para McCulloch e Robinson (1993), os estudos anteriores não foram realizados com métodos estatísticos consistentes, e afirmam que não existem evidências de que o desmatamento afete a precipitação.

3.11 A RELAÇÃO DESMATAMENTO X VAZÃO

Bruijnzeel (1996), realizou um estudo em 94 bacias com áreas variando de 1 ha a 2.500ha, observou que:

- A redução da floresta aumenta a vazão média;
- O estabelecimento de floresta em áreas de vegetação esparsa diminui a vazão média;
- O crescimento de uma nova vegetação na área desmatada pode implicar em um aumento da vazão média pré-desmatamento; e
- Com a alteração de aproximadamente 10% da cobertura vegetal pode-se observar um aumento maior na vazão, para coberturas com eucaliptos, enquanto que para coberturas com vegetação rasteira esse aumento foi menor. Entretanto também se percebe que não era possível detectar a influência da vazão média quando o desmatamento era inferior a 20%.

Os resultados existentes sobre o assunto se referem a bacias pequenas, o que tende a dificultar o prognóstico sobre bacias maiores, devido a grande variação temporal e sazonal da precipitação; solo; cobertura; tipo de tratamento do solo e prática agrícola (BRUIJNZEEL, 1996). No entanto o mesmo autor retrata que em uma bacia no Sri Lanka com aproximadamente 1.100Km², no período de 1944 a

1981, a precipitação apresentava uma tendência de redução para o período, em contrapartida, houve um aumento da vazão para o mesmo período. Esse aumento foi devido a conversão de plantações de chá para culturas anuais e jardins residenciais sem o uso de medidas de conservação do solo.

É possível encontrar na bibliografia, experimentos que mostram o aumento ou a diminuição da vazão depois do desmatamento. O que pode caracterizar um caso ou outro depende das características do solo após o desmatamento. Quando as condições de infiltração após o desmatamento ficam deterioradas, por exemplo, o solo fica compactado, diminuindo a capacidade de infiltração e, conseqüentemente, aumentando o escoamento.

3.12 A RELAÇÃO PRECIPITAÇÃO X VAZÃO

Na sua constante movimentação, a água muda de estado, de posição com relação à Terra, em um ciclo que se convencionou chamar de ciclo hidrológico, cujas linhas principais são a precipitação, o escoamento superficial ou subterrâneo e a evaporação. O componente fundamental de análise do ciclo hidrológico é a bacia hidrográfica que é definida por uma área de captação natural de água da precipitação, a qual faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída, seu exutório (TUCCI, 2009). Com a comparação do fenômeno da vazão ao da precipitação que é o componente alimentador da fase terrestre do ciclo hidrológico e, portanto, um fator importante para os processos de escoamentos superficiais e subterrâneos, infiltração, evaporação, transpiração, recarga de aquíferos e vazão, o que se busca são resultados para solucionar questões que envolvem o gerenciamento de recursos hídricos, tais como a avaliação da disponibilidade de água em uma bacia hidrográfica e sua variação de ano para ano (JÚNIOR e LANDIM, 2014).

Segundo Santana, Silva e Santos (2012), a distribuição temporal e espacial da precipitação é a principal variável de entrada na bacia, que pode produzir alterações nas estatísticas das series de vazões líquida entre outras variáveis de resposta da bacia. Estas mudanças não alteram somente as vazões para uma bacia existente, mas também alteram os condicionantes naturais que dão sustentabilidade ao meio natural como a fauna e flora.

Ainda segundo Santana, Silva e Santos (2012), com a alteração destes condicionantes o escoamento proveniente das bacias também se altera. É importante observar que o efeito da modificação climática produzem alterações do ambiente da bacia que resulta em modificações desta parte do ciclo hidrológico, além das alterações dos valores absolutos de entrada na bacia hidrográfica.

De acordo com Tucci (2009), a alteração da precipitação apresenta impacto relativo diferenciado sobre a vazão da bacia hidrográfica, Esta condição ocorre devido à proporcionalidade como os valores de precipitação se relacionam com os de vazão. Nos anos mais úmidos o aumento de precipitação produz maior aumento da vazão já que a infiltração aumenta pouco e a evapotranspiração potencial diminui pelo aumento da chuva, o que aumenta o proporcionalmente mais o escoamento. No sentido contrario, nos anos secos, a redução de precipitação, aumento da evapotranspiração reduz em maior magnitude a vazão. Portanto, a anomalia da vazão (resposta da bacia hidrográfica) amplifica os efeitos na precipitação, se considerarmos apenas o efeito da anomalia da precipitação.

Istok e Boersma (1986) realizaram estudo com dados de chuva e de escoamento superficial para determinar a significância relativa das chuvas antecedentes no escoamento superficial em microbacias agrícolas do Norte dos Estados Unidos, durante eventos de chuvas de baixa intensidade (de 5 a 15 mm h⁻¹), concluindo que a umidade antecedente teve maior contribuição efetiva na quantidade de água escoada que a intensidade da precipitação.

3.13 O DESMATAMENTO NO ESTADO DO PARÁ

O estado do Pará, devido suas características geográficas e de acesso através de estradas e rios, é visto como uma oportunidade de entrada das atividades agropecuárias, sendo essa talvez a principal atividade relacionada com o contexto do desflorestamento. Na Figura 11 pode observar-se o arco do desmatamento na Amazônia.

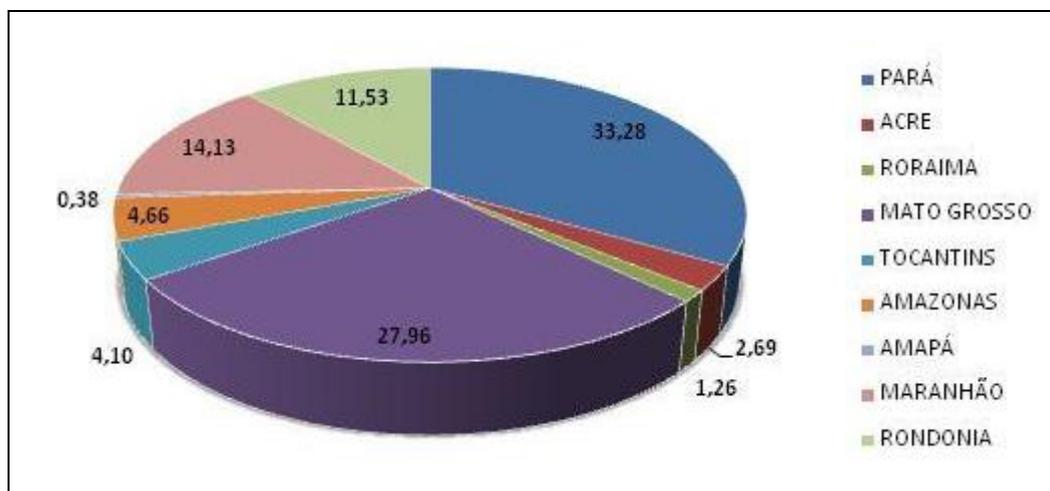
Figura 11 – O arco do desmatamento na Amazônia



Fonte: PRODES, 2014

Segundo o Projeto de Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite – PRODES (2014), o Pará atingiu uma área desmatada de 251.082,80 Km², o que equivale a 22,15% da sua área original de floresta, e corresponde a 33,28% do desmatamento na Amazônia Legal. Conforme se pode visualizar no Gráfico 1.

Gráfico 1 – Participação de cada estado da Amazônia Legal, no desmatamento.

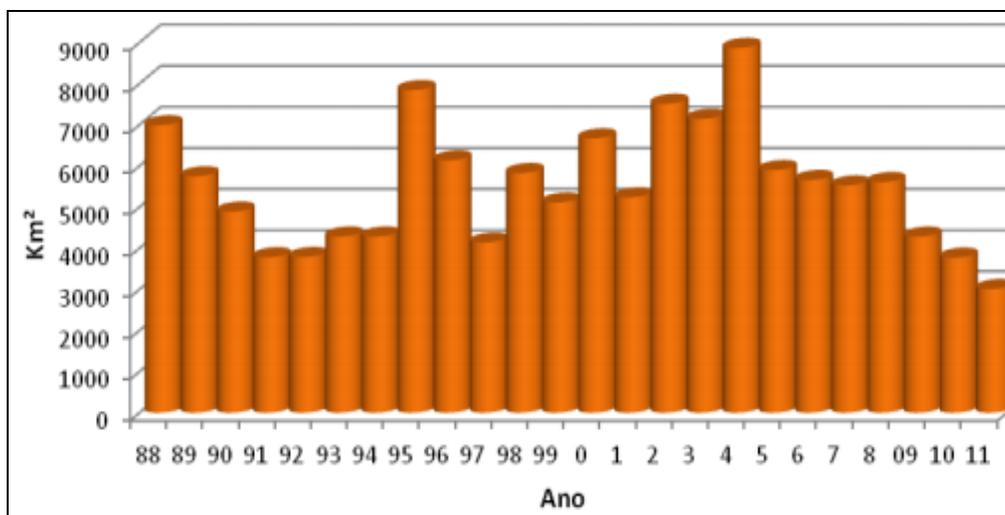


Fonte: PRODES, 2011.

Segundo a SEMA (2013), medidas de controle vem sendo tomadas como: o uso de geotecnologias no monitoramento do desmatamento; o Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm), lançado em 2004 e coordenado pela Casa Civil da Presidência da República; os acordos firmados entre a cadeia produtiva e o Ministério Público Federal – MPF; e o atual programa estadual Municípios Verdes, o qual propõe uma economia de baixo carbono e maior valor agregado. Através dessas medidas os incrementos no

desmatamento vem diminuindo e o estado do Pará acompanha essa diminuição. Conforme o Gráfico 2. abaixo.

Gráfico 2 – Incremento do desmatamento no estado do Pará (2000–2011).



Fonte: SEMA, 2013.

Atualmente o Estado volta a ser cenário de importantes obras de infraestrutura como a construção da hidrelétrica de Belo Monte, o asfaltamento das rodovias BR-163 (Cuiabá-Santarém) e BR-230 (Transamazônica) e a previsão de construção das UHEs São Luis do Tapajós, Cachoeira dos Patos, Cachoeira dos patos II, Jamanxim, Jatobá - no rio Tapajós - Marabá - no rio Tocantins - e Santa Isabel – rio Araguaia – assim como a construção e ampliação de portos, ferrovias e hidrovias. Com isso a pressão sobre as áreas florestais volta a ser intensificada.

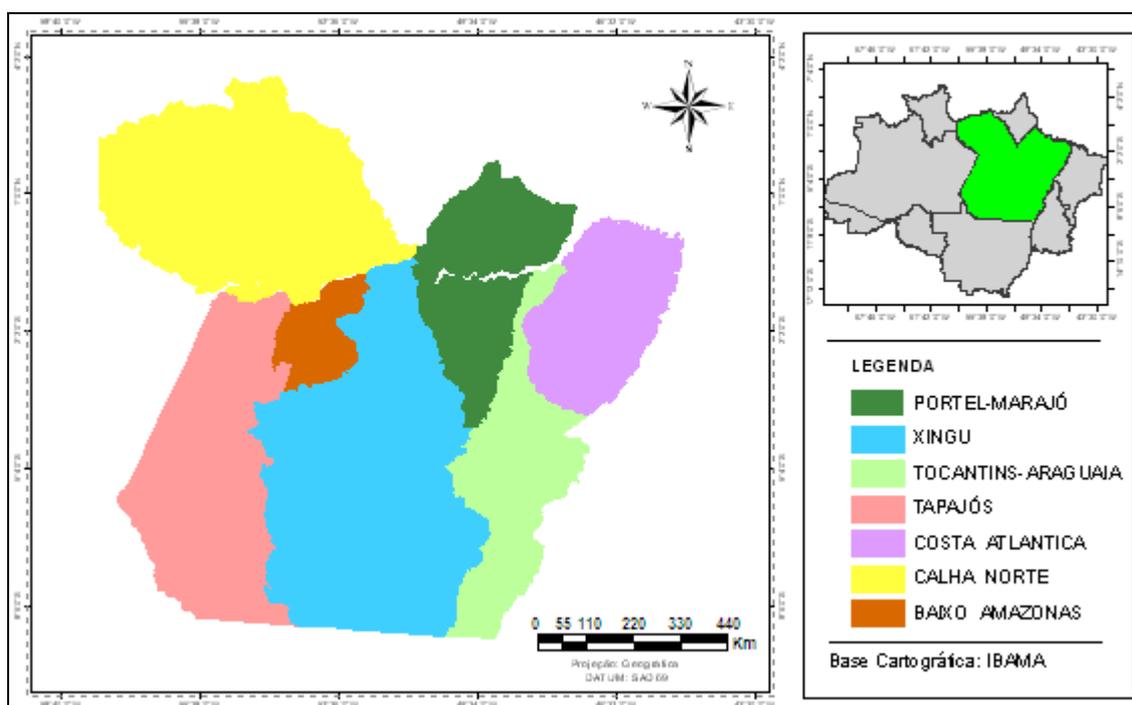
Segundo dados do Sistema de Alerta do Desmatamento (DETER) no período analisado, entre 2010 e 2012, foram desmatados 2.125,74 km², distribuídos da seguinte forma: 973,70 km² (2010), 609,58 km² (2011) e 542,45 km² (2012), respectivamente.

Para SEMA (2013), considerando-se considerar a queda das taxas do desmatamento no Estado, percebe-se um avanço na política ambiental adotada nos últimos anos, entretanto é visível a fragilidade das mesmas em relação aos processos de uso e apropriação ocupação do solo, seja pela expansão da agropecuária ou pelo investimento em infraestruturas. Outro ponto de fragilidade é o fato de apenas 10 municípios do Estado concentrarem a grande parte do arco do desflorestamento., entre eles está Jacareacanga classificado como base florestal, entretanto é o 7º município mais desmatado no Pará.

4 ÁREA DE ESTUDO

A área a ser estudada é representada por duas regiões hidrográficas do estado do Pará, a Região da Calha Norte e a Região da Costa Atlântico Nordeste. O Estado possui hoje sete regiões hidrográficas conforme a Política de Recursos Hídricos do estado do Pará – LEI N°6.381/2001. A Figura 12 apresenta a divisão do Estado.

Figura 3 – Divisão do estado do Pará em regiões hidrográficas.



Fonte: SEMA, 2012.

As duas diferentes regiões hidrográficas do estado do Pará, Região da Calha Norte e Região Costa Atlântico Nordeste, foram escolhidas levando-se em consideração os seguintes critérios: estágios de preservação ambiental, onde a primeira mostra-se como a região mais preservada no Estado e a segunda como a menos preservada; a espacialidade das estações pluviométricas e fluviométricas e a base de dados das estações a serem trabalhadas.

As duas Regiões possuem semelhanças no que se refere: a economia, pois ambas possuem a mineração, indústria, agropecuária e exploração madeireira como principais atividades econômicas; clima; umidade e precipitação, sendo os seis primeiros meses do ano os mais chuvosos e os seis últimos os mais secos. Da mesma forma, as Regiões também possuem diferenças no que se refere à área,

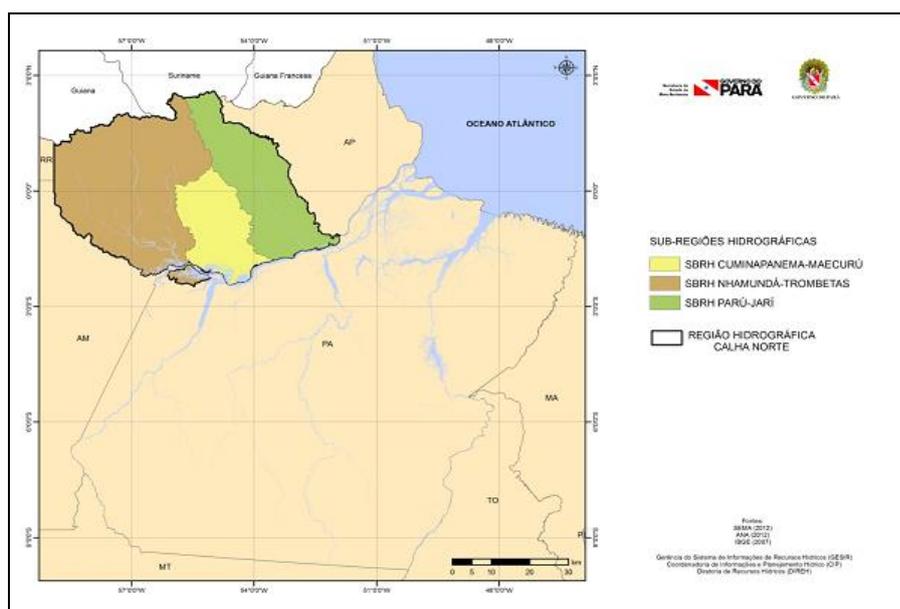
população e preservação, sendo a região da Calha Norte a detentora das maiores taxas, dessas características, em comparação à Costa Atlântico Nordeste.

Portanto, a escolha das referidas Regiões Hidrográficas para o presente estudo, tende a facilitar a correlação proposta no presente trabalho, tendo em vista as diferentes taxas de desmatamento entre as Regiões, além da quantidade de estações pluviométricas e fluviométricas, com base de dados semelhantes, o que tende a contribuir para uma análise satisfatória.

4.1 REGIÃO HIDROGRÁFICA DA CALHA NORTE

Localizada ao norte do rio Amazonas, a Região Hidrográfica Calha Norte possui uma área de 276.327,05 Km², que corresponde a 22,1% do estado, sendo constituída pelas bacias dos rios Nhamundá, Trombetas, Cuminapanema, Maecurú, Parú e Jarí. Tem como principais drenagens os rios com mesma denominação das bacias. É formada pelos seguintes municípios: Faro, Terra Santa, Oriximiná, Óbidos, Curuá, Alenquer, Monte Alegre, Prainha e Almeirim, sendo os mesmos de colonização antiga e tendo como a principal via de acesso o rio Amazonas. Possui três sub-regiões hidrográficas: Nhamundá –Trombetas; Cuminapanema – Maecurú e Parú – Jarí. (SEMA, 2013). Na Figura 13 abaixo é possível visualizar essa divisão.

Figura 43 – Região hidrográfica da Calha Norte e sua subdivisão.



Fonte: SEMA, 2012.

Em termos de economia, a mineração tem sido o setor de maior destaque seguido da indústria, agropecuária, exploração madeireira (clandestina) e o extrativismo.

Segundo SEMA (2013), essa Região é de extrema importância, pelo fato de ser uma zona fronteira. Sendo considerada uma área de baixa densidade demográfica, é a que apresenta a maior área preservada em todo o Estado, inclusive pelo predomínio de grandes extensões de terras indígenas e outras áreas institucionais. O clima da Região apresenta média mensal de temperatura do ar elevada, com mínima superior a 18°C e média térmica anual em torno de 26°C, com máxima de 31°C e mínima de 22,5°C.

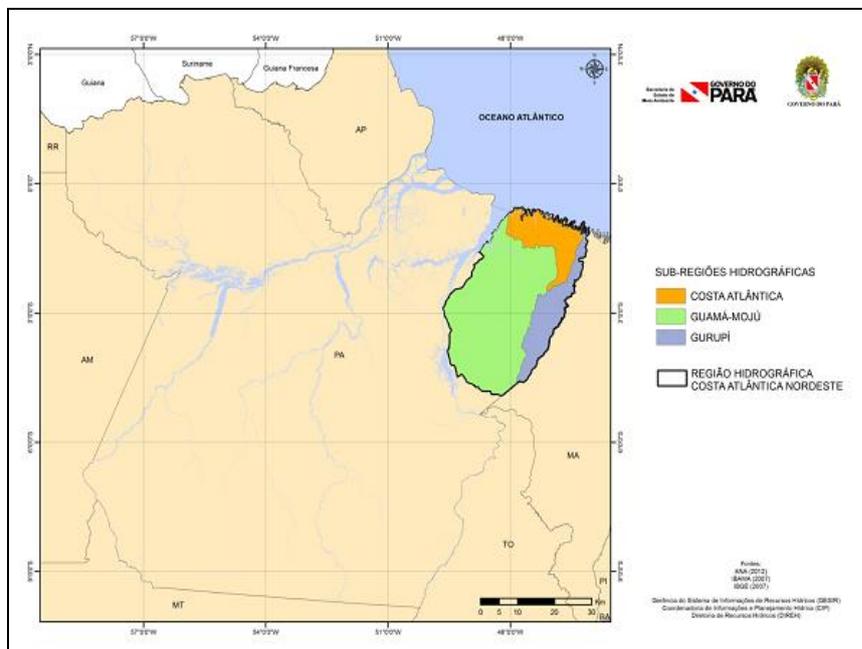
A umidade relativa apresenta valores acima de 70%, em quase todos os meses do ano. A precipitação média é em torno de 2.300mm, com distribuição irregular durante o ano. A estação de maior pluviosidade vai de Dezembro a Julho, tendo Março como mês mais chuvoso, enquanto que, a de menor vai de Julho a Novembro, sendo outubro o mês mais seco, apresentando total mensal abaixo de 60 mm.

4.2 REGIÃO HIDROGRÁFICA DA COSTA ATLÂNTICA – NORDESTE

A Região Hidrográfica da Costa Atlântica - Nordeste possui uma área de 121.051,60 Km², que corresponde a 10,1% do estado, sendo constituída pelas bacias dos rios Guamá-Moju, Gurupi e das bacias da região do Atlântico. Tem como principais drenagens os rios Guamá, Capim, Acará, Mojú, Aiu-Açu, Acará Miri, Camari, Piriá, Gurupi-Miri, Guajará, Rolim, Coaraci-Paraná, Uarim, Caeté, Pirabas, Maracanã, Marapanim, Mojuí e Maguari. É formada pelos seguintes municípios: Rondon do Pará, Dom Eliseu, Abel Figueiredo, Bom Jesus do Tocantins, Jacundá, Goianésia do Pará, Breu Branco, Moju, Igarapé-Miri, Abaetetuba, Barcarena, Viseu, Cachoeira do Piriá, Nova Esperança do Piriá, Paragominas, Ulianópolis, Dom Eliseu, Augusto Correa, Santa Luzia do Pará, Tracuateua, Bragança, Quatipuru, Bonito, Capanema, São João de Pirabas, Primavera, Peixe-Boi, Nova Timboteua, Salinópolis, Santarém Novo, Santa Maria do Pará, Igarapé-Açu, Maracanã, Magalhães Barata, São Francisco do Pará, Terra Alta, Marapanim, Castanhal, São João da Ponta, São Caetano de Odivelas, Vigia, Colares, Santo Antônio do Tauá, Santa Izabel do Pará, Curuçá, Santa Bárbara do Pará, Benevides, Ananindeua e

Belém, sendo os mesmos de colonização mais antiga no Estado. Possui três sub-regiões hidrográficas: Guamá – Moju; Gurupi e Costa Atlântica. (SEMA, 2013). Na Figura 14 abaixo é possível visualizar essa divisão.

Figura 4 – Região hidrográfica da Costa Atlântica - Nordeste e sua subdivisão



Fonte: SEMA, 2012.

Em termos de economia, a indústria, a agropecuária, exploração madeireira e a mineração são as principais fontes de renda da região.

É considerada a região de maior densidade demográfica, é a que apresenta a maior área devastada em todo o Estado, restando poucas áreas ainda preservadas da Floresta Tropical Úmida Primária. O clima da Região é equatorial amazônico, com temperaturas relativamente elevadas e médias em torno de 24°C e 27°C. As temperaturas máximas oscilam em torno de 34°C e 40°C e as mínimas entre 20°C e 22°C, o clima acaba sendo amenizado nas áreas próximas ao Oceano.

A precipitação é relativamente elevada nos meses de Janeiro a Julho e o período menos chuvoso corresponde aos meses de Julho a Dezembro. A precipitação média anual varia em torno de 2.300 a 2.500mm. A umidade relativa do ar se encontra por volta de 75 a 95%. A disponibilidade hídrica é também acentuada nos primeiros seis meses do ano e escassa nos demais. (SEMA, 2013).

5 MATERIAS E MÉTODOS

5.1 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

5.1.1 Coleta dos Dados

Nesse procedimento, foi realizado o levantamento, através do Hidroweb (sistema de dados oficiais da ANA), das estações pluviométricas e fluviométricas existentes nas regiões hidrográficas da Calha Norte e Costa Atlântico Nordeste, ambas no estado do Pará.

Após esse levantamento foram definidas as estações para o tratamento dos dados, levando-se em consideração: a série temporal, e a distribuição espacial das estações. Ressalta-se que foi analisada uma série temporal de 19 anos (1995-2013).

5.1.2 Plotagem das Estações

A realização da plotagens das estações pluviométricas e fluviométricas, em mapa georreferenciado do estado do Pará e sua divisão hidrográfica, foi realizado com o auxílio do software ARCGIS 10 a partir dos dados de longitude (x) e latitude (y).

5.2. ANÁLISE DE TENDÊNCIA DAS SÉRIES

5.2.1 Testes de Tendências

Foram utilizados os testes de tendência de Kendall e Spearman, para análise das séries temporais estudadas, com o auxílio do software Bioestat 5.0.

a) Mann Kendall

Segundo Yue, et al. (2002), é um teste não paramétrico sugerido pela Organização Meteorológica Mundial –OMM, para avaliação de tendências em séries temporais.

Apresenta como principal vantagem de utilização o fato de que os dados não necessitam estar em conformidade com qualquer distribuição particular. Para Gibbons e Coleman (2001) Mann Kendall é bastante eficiente para a análise de tendências em séries temporais hidrológicas, pois se trata de um teste que compara cada valor de uma série temporal com os outros valores restantes, sempre em ordem sequencial, o teste é baseado na estatística “S” definida pela Equação 01.

$$S = \sum_{j=i+1}^n (R_j - R_i) \quad (01)$$

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 pela Equação 02:

$$Var(S) = \frac{n \cdot (n - 1) \cdot (2n + 5)}{18} \quad (02)$$

A estatística do teste Z é dada pela equação 03:

$$Z = \begin{cases} \frac{S - 1}{\sqrt{Var(S)}} & \text{se } S > 0 \\ 0 & \text{se } S = 0 \\ \frac{S + 1}{\sqrt{Var(S)}} & \text{se } S < 0 \end{cases} \quad (03)$$

A hipótese nula de ausência de tendência (H_0), é rejeitada sempre que $|Z| > Z_{\alpha/2}$, em que α 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 ($Z < 0$). (MENEZES, 2013)

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.

b) 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), considerada como hipótese nula e H_1 (série com tendência), considerada a hipótese alternativa.

A estatística do teste de Spearman é dada pela Equação 04:

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^N d_i^2}{N^3 - N} \quad (04)$$

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 Equação 05, (GAUTHIER, 2001):

$$t = N \sqrt{\frac{N - 2}{1 - r_s^2}} \quad (05)$$

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

5.3 ANÁLISE DE CORRELAÇÃO ENTRE PRECIPITAÇÃO E VAZÃO NAS REGIÕES

Após o tratamento dos dados obtidos foram gerados gráficos de precipitação-tempo e vazão-tempo, com o auxílio do Microsoft Excel. Para correlacionar as variáveis em questão, foi utilizada a correlação linear de Pearson, software Bioestat 5.0.

a) *Pearson*

Para Figueiredo e Silva (2012) é uma medida de associação bivariada (força) do grau de relacionamento entre duas variáveis. A correlação mensura a direção e o grau da relação linear entre duas variáveis quantitativas o coeficiente de correlação de Pearson (r) é uma medida de associação linear entre variáveis, conforme a Equação 06:

$$r = \frac{1}{n-1} \sum \left(\frac{x_i - \bar{X}}{s_x} \right) \left(\frac{y_i - \bar{Y}}{s_y} \right) \quad (06)$$

Em termos estatísticos, duas variáveis se associam quando elas guardam semelhanças na distribuição dos seus escores. Mais precisamente, elas podem se associar a partir da distribuição das frequências ou pelo compartilhamento de variância. No caso da correlação de Pearson (r) vale esse último parâmetro, ou seja, ele é uma medida da variância compartilhada entre duas variáveis. Por outro lado, o modelo linear supõe que o aumento ou decréscimo de uma unidade na variável X gera o mesmo impacto em Y. Portanto, a correlação de Pearson (r) exige um compartilhamento de variância e que essa variação seja distribuída linearmente (MOORE, 2007).

O coeficiente de correlação Pearson (r) varia de -1 a 1. O sinal indica direção positiva ou negativa do relacionamento e o valor sugere a força da relação entre as variáveis. Uma correlação perfeita (-1 ou 1) indica que o escore de uma variável pode ser determinado exatamente ao se saber o escore da outra. No outro oposto, uma correlação de valor zero indica que não há relação linear entre as variáveis. (FIGUEIREDO E SILVA, 2012)

Todavia, como valores extremos (0 ou 1) dificilmente são encontrados na prática. Para Cohen (1988), valores entre 0,10 e 0,29 podem ser considerados pequenos; escores entre 0,30 e 0,49 podem ser considerados como médios; e valores entre 0,50 e 1 podem ser interpretados como grandes. Dancey e Reidy (2006) apontam para uma classificação ligeiramente diferente: $r = 0,10$ até $0,30$ (fraco); $r = 0,40$ até $0,6$ (moderado); $r = 0,70$ até 1 (forte).

Para análise de correlação entre precipitação e vazão foi escolhida uma estação fluviométrica e uma pluviométrica de cada Região em estudo. Ressalta-se que a escolha foi baseada na distribuição espacial das estações, logo foram escolhidas as estações mais próximas entre si, dentro da mesma Região.

5.4 ANÁLISE DAS CONDIÇÕES AMBIENTAIS DAS REGIÕES.

Segundo McCulloch e Robinson (1993) os estudos experimentais em bacias, utilizados para avaliar o impacto das suas modificações físicas podem ser realizado a partir de estudos experimentais com pares de bacias: Selecionando duas bacias de características similares. Uma é submetida a alteração do uso do solo, denominada de experimental e outra é mantida preservada denominada de bacia de controle.

Foi realizada uma análise das principais características ambientais das Regiões Calha Norte e Costa Atlântico Nordeste. Para isso, considerou-se as características: pluviométricas, físicas, e a ação antrópica presente em cada região.

As análises pluviométricas e de ação antrópica foram realizadas a partir de estudos existentes a cerca do assunto. Quanto à análise das características físicas, sabe-se que as mesmas constituem elementos de grande importância para avaliação de seu comportamento hidrológico, pois, ao se estabelecerem relações e comparações entre elas e os dados hidrológicos conhecidos, pode-se determinar, indiretamente, os valores das propriedades físicas em locais em que esses dados são desconhecidos (VILLELA e MATOS, 1975).

Villela e Mattos (1975) destacam os fatores mais importantes para caracterizar uma bacia hidrográfica:

a) Área de Drenagem

Á área de drenagem de uma sub-bacia é área plana (projeção horizontal) inclusive entre seus divisores topográficos. Ela é normalmente determinada por planimetria em mapas com escalas razoavelmente grandes e expressa em Km² ou Hectares.

b) O coeficiente de compacidade (K_c)

O coeficiente de compacidade (K_c) é a relação entre o perímetro da bacia e a circunferência do círculo, cuja área é igual à da área de drenagem da sub-bacia. Este índice, portanto, compara a bacia a um círculo.

O coeficiente é um número adimensional que varia com a forma da bacia, independente de seu tamanho. De modo que quanto maior a irregularidade da bacia maior será o coeficiente de compacidade. Como o coeficiente de compacidade igual à unidade corresponde a uma bacia circular, ele possibilita a indicação de maior ou menor ocorrência de cheias à medida que se aproxima ou afasta da unidade. A determinação do K_c pode ser feita por meio da Equação 07

$$K_c = 0,28 \times \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (07)$$

em que:

K_c = Coeficiente de compacidade adimensional;

P = Perímetro da bacia em km;

A = Área da bacia em km².

c) Fator de forma (F)

Relaciona a forma da bacia com um retângulo, correlacionando a razão entre a largura média e o comprimento axial da bacia da foz até o ponto mais distante do espigão. Quanto menor o fator de forma, menos suscetível a enchentes.

Para determinar o fator de forma utiliza-se a Equação 08:

$$F = \frac{A}{L^2} \quad (08)$$

em que:

F = Fator de forma, adimensional;

A = Área da bacia em km²;

L = comprimento axial da bacia em km.

d) Índice de circularidade (IC)

Relaciona a área da bacia com a área de um círculo de perímetro igual ao da área da bacia. Este valor tende para unidade à medida que a bacia se aproxima da forma circular e diminui conforme a mesma se torna mais alongada.

Para se determinar o índice de circularidade utiliza-se a Equação 09

$$IC = \frac{12,57 \times A}{P^2}$$

(09)

em que:

IC = Índice de Circularidade, adimensional;

A = Área da bacia em km²;

P = Perímetro da bacia em km.

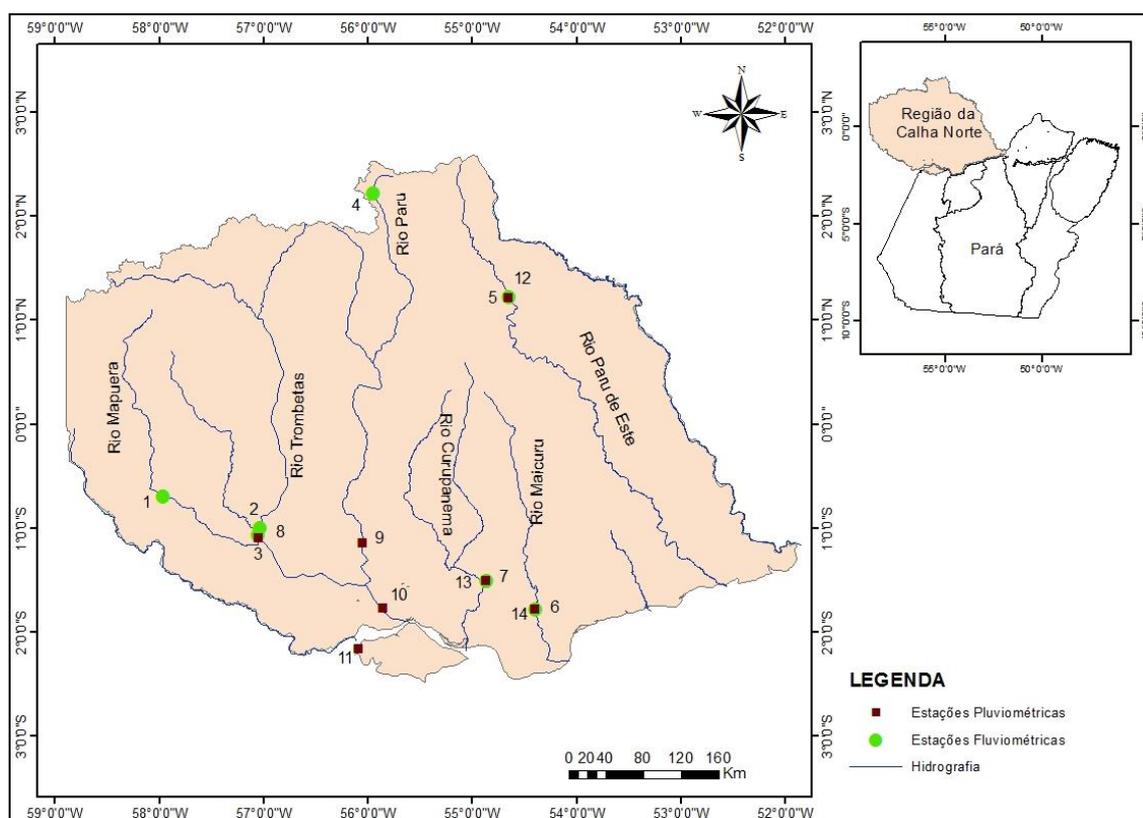
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1. COLETA DE DADOS

Com a definição das estações, os dados foram organizados em planilhas do programa Microsoft Excel 2010, na qual, cada estação foi organizada de acordo com o nome, código, latitude e longitude em graus decimais.

Ressalta-se que na Região Hidrográfica da Calha Norte existe 30 estações fluviométricas e 27 pluviométricas, enquanto que na Costa Atlântico Nordeste existem 16 estações fluviométricas e 67 pluviométricas, dentre essas foram escolhidas as estações com registros de dados suficientes para um resultado satisfatório. Pode-se visualizar as estações estudadas nas Figuras 15 e 16 e, Tabelas 6 e 7.

Figura 15 – Estações Fluviométricas e Pluviométricas trabalhadas na Região da Calha Norte



Fonte: Autor, 2016

Tabela 7 - Estações Fluviométricas e Pluviométricas, trabalhadas na Região Costa Atlântico Nordeste

Nº	Tipo	Nome	Código	Latitude	Longitude
1	Fluviométrica	Fazenda Maringá	31680000	-3:8:14	-48:5:5
2	Fluviométrica	Badajós	31700000	-2:30:46	-47:46:5
3	Fluviométrica	Cafezal	32550000	-2:46:18	-46:48:10
4	Fluviométrica	Sete Ilhas	32400000	-1:51:29	-46:42:32
5	Fluviométrica	Bom Jardim	31520000	-1:32:26	-47:3:56
6	Fluviométrica	Nova Mocajuba	32350000	-1:16:22	-46:53:22
7	Pluviométrica	Badajós	247000	-2:30:46	-47:46:5
8	Pluviométrica	Vila do Conde	148011	-1:33:56	-48:46:1
9	Pluviométrica	Castanhal	147007	-1:17:51	-47:56:22
10	Pluviométrica	Igarapé-Açu	147010	-1:7:57	-47:37:42
11	Pluviométrica	Capanema	147002	-1:12:13	-47:10:41
12	Pluviométrica	Tararua-Ponte	146005	-1:43:59	-46:35:56

Fonte: Adaptado da ANA, 2016

6.2 ANÁLISE DE DENSIDADE MÍNIMA RECOMENDADA PELA OMM

Em termos de relevo, a região da Calha Norte é formada em sua maior extensão por planícies e planaltos, enquanto a região Costa Atlântico Nordeste em sua maioria é formada por depressões e planaltos, além da zona costeira. As estações pluviométricas existentes no banco de dados da ANA para o Estado do Pará são estações sem registrador. Diante de tais características morfológicas e técnicas.

Com base nos limites de densidades para uma rede mínima recomendada pela OMM (1994), a região da Calha Norte se enquadrou em duas unidades fisiográficas, tanto para pluviometria quanto para fluviometria: planas e interiores e montanhosas/onduladas, referindo-se as estações pluviométricas e, planícies interiores e ondulações leves, referindo-se as estações fluviométricas. Para tais fisiografias o limite para uma rede mínima é de: 575 Km²/estação pluviométrica e 1875 Km²/estação fluviométrica.

Já a região Costa Atlântico Nordeste se enquadrou em zona costeira e montanhosa/ondulada para pluviometria e zona costeira e ondulação leve para fluviometria. Para tais fisiografias o limite para uma rede mínima fica entre: 575 a 900 Km²/estação pluviométrica e 1875 a 2750 Km²/estação fluviométrica.

Realizado os cálculos através das áreas de cada Região e do número de estações, alcançou-se o seguinte resultado apresentado na Tabela 08.

Tabela 8 – Densidade de Estações Pluviométricas e Fluviométricas nas Regiões estudadas.

	Densidade de Estações Fluviométricas (Km ² /Est.)	Densidade de Estações Pluviométricas (Km ² /Est.)
Calha Norte	9.211	10.234
Costa Atlântico Nordeste	7.566	1.807

Fonte: Autor (2016)

Após análise dos resultados obtidos é possível afirmar que ambas as Regiões possuem uma baixa densidade de estações pluviométricas e fluviométricas, não atendendo as recomendações do OMM, (1994). Sendo a região da Calha Norte, considerada a de menor monitoramento.

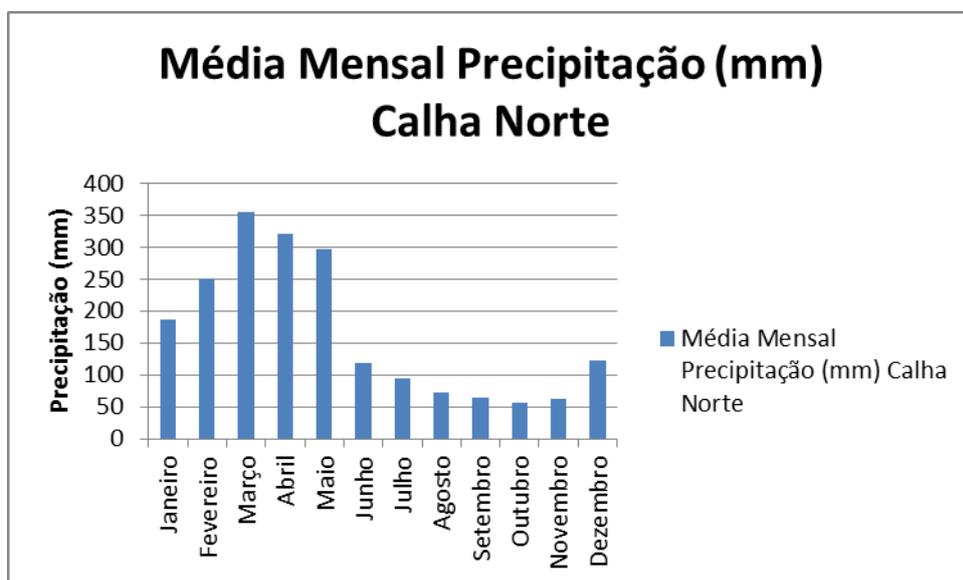
6.3 ANÁLISE DAS REGIÕES ESTUDADAS

Para possibilitar uma comparação dos resultados alcançados de forma mais consistente, é necessário que as Bacias a serem comparadas sejam similares em seus regimes hidrológicos, para tanto foram analisado os itens: pluviometria, através da verificação dos grupos de homogeneidade existentes no Estado do Pará; características físicas, calculando-se os valores de área da bacia, fator de forma, índice de circularidade e coeficiente de compacidade; e a ação antrópica, presente através das formas de uso e ocupação do solo, em cada Bacia.

6.3.1 Análise Pluviométrica

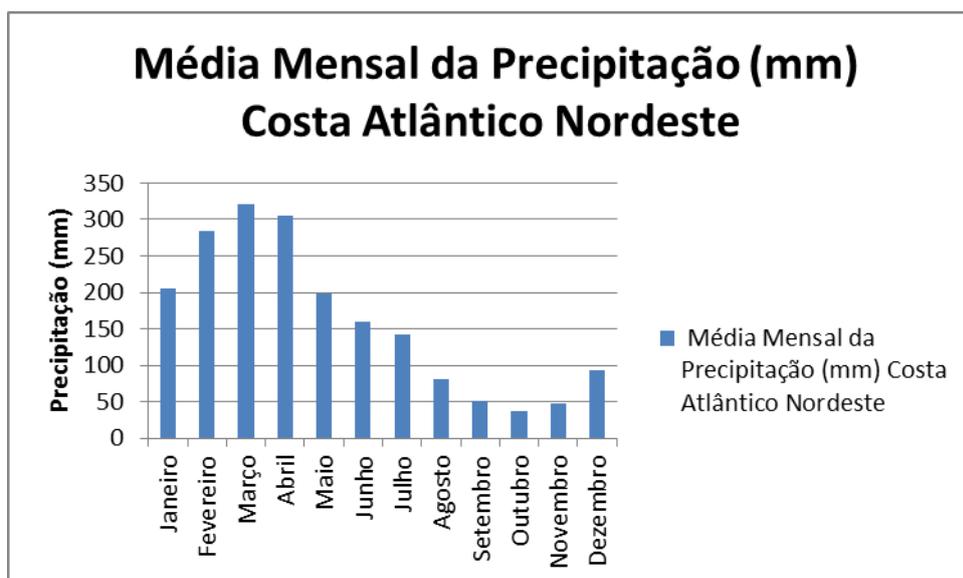
Para uma análise pluviométrica se fez necessário o cálculo das médias mensais de cada Região, para uma observação do comportamento da precipitação ao longo dos 12 meses, esse cálculo visa à elaboração da sistematização dos dados da série de precipitação em de gráficos, que foram a serem comparados com estudos já existentes sobre a homogeneidade da precipitação no Estado do Pará, c. Conforme os Gráficos 3 e 4.

Gráfico 3 – Média mensal da Precipitação na Calha Norte.



Fonte: Autor, 2016.

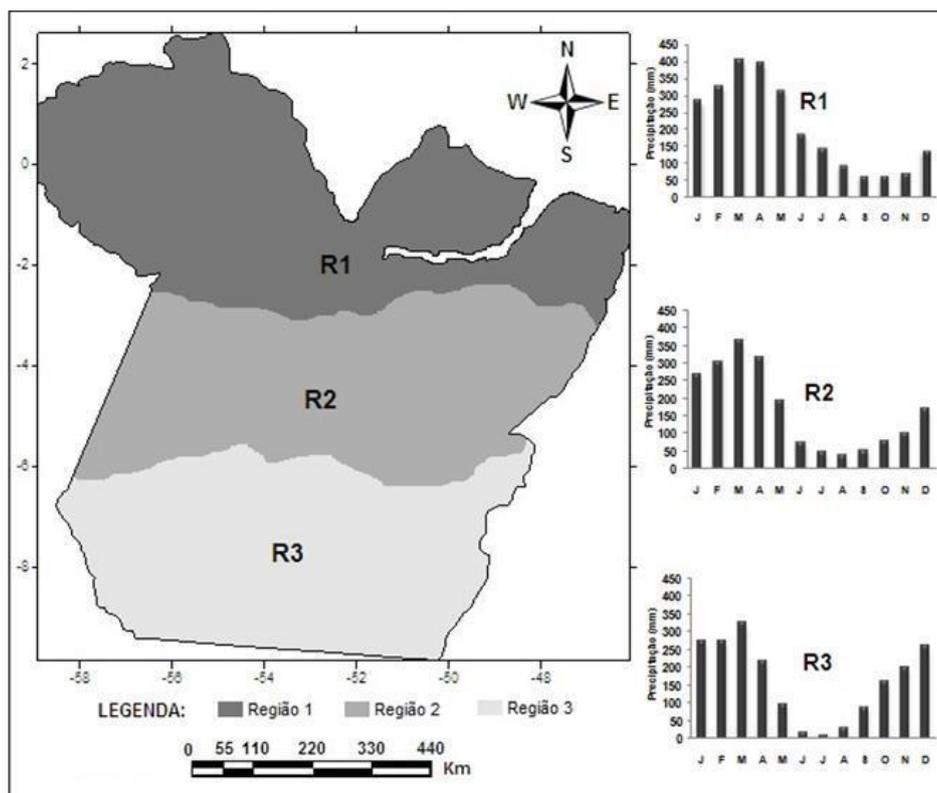
Gráfico 4 – Média mensal da Precipitação na Costa Atlântico Nordeste.



Fonte: Autor, 2016.

Segundo MENEZES, FERNANDES E ROCHA (2015) O Estado do Pará, possui 3 regiões homogêneas de precipitação, as áreas de abrangência de cada um dos grupos homogêneos estão delimitadas pelos tons de cinza, o que possibilitou a visualização da distribuição espacial dos mesmos. Este procedimento se mostrou bastante eficiente na tentativa de entender como está distribuída a precipitação em todo o Estado, pois uma área tão extensa como o Estado do Pará, não apresenta uma característica única na distribuição da precipitação, c. Conforme Figura 17.

Figura 17 – Divisão pluviométrica do Estado do Pará



Fonte: Menezes, Fernandes e Rocha (2015).

Como se pode observar a sazonalidade da precipitação nas regiões da Calha Norte e Costa Atlântico Nordeste, mostram que as mesmas apresentam um comportamento semelhante na precipitação mensal. Estando ambas as regiões na área de maior pluviosidade do Estado. A estação chuvosa nessas regiões compreende o trimestre de fevereiro, março e abril, sendo o mês de março o mais chuvoso, atingindo uma precipitação média acima de 400 mm, e o trimestre mais seco compreende os meses de setembro, outubro e novembro. Outubro é o mês que apresentou as menores precipitações, com média de 59 mm, para o período estudado.

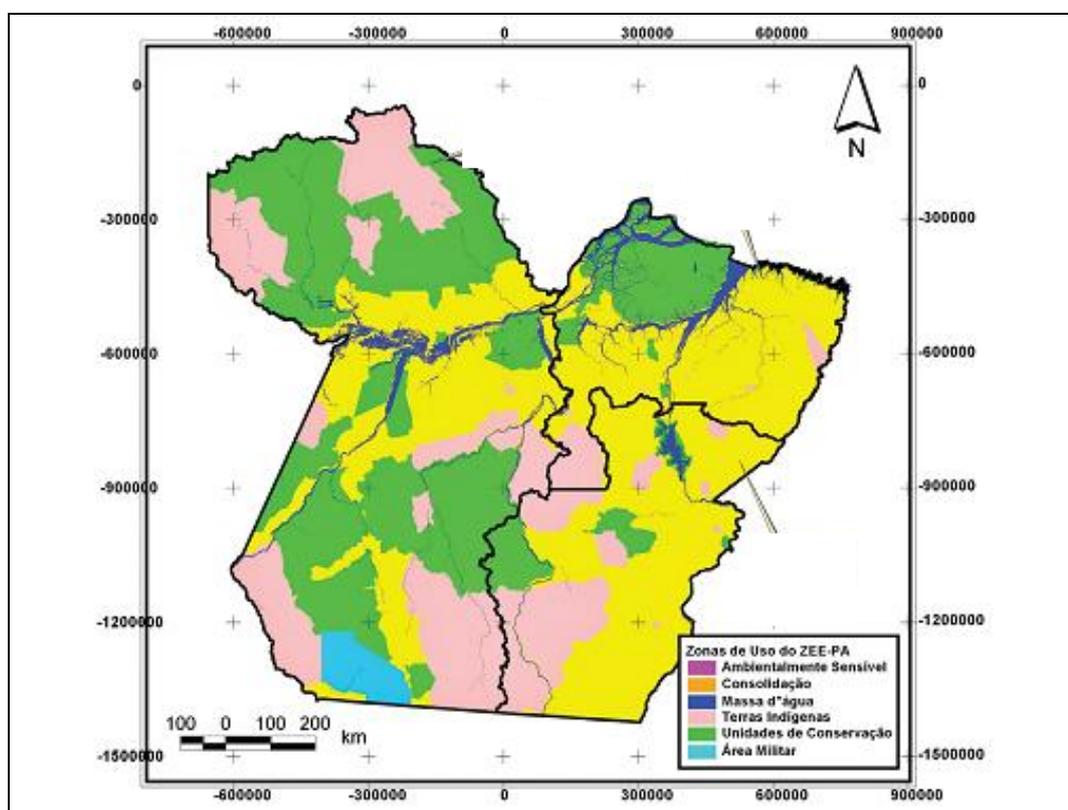
6.3.2 Análise da Ação Antrópica

Há uma divergência bastante significativa no que se refere à ocupação do solo entre as Regiões trabalhadas. De um lado a região da Calha Norte, considerada a mais preservada de todo o Estado do Pará, possui 5 Unidades de Conservação, criadas em 2006 pelo Governo do Estado. Somadas as 5 UC's totalizam uma área de aproximada de 22 milhões de hectares, sendo por isso considerado a maior área

protegida do Planeta, dentro de um único Estado. Ressalta-se o grande número de terras indígenas e outras áreas Institucionais, o que facilita a preservação local (SEMA, 2009).

Do outro lado a região Costa Atlântico Nordeste, considerada a menos preservada em todo o estado, possuindo um número reduzido de áreas preservadas. Tal situação deve-se ao fato dessa Região ser a mais densa populacionalmente, em todo o Estado. Nessa Região destaca-se a agropecuária muito presente, com pastagens e aquiculturas. Na Figura 18 pode-se observar a ocupação do solo das Regiões do Estado.

Figura 18 – Ocupação do solo do Estado do Pará.



Fonte: SEMAS (2013)

6.3.3 Análise das Características Físicas

As características físicas: área da bacia, fator de forma, índice de circularidade e coeficiente de compacidade, de cada bacia, estão contidas na Tabela 9.

Tabela 9 – Características físicas das bacias estudadas.

	Calha Norte	Costa Atlântico Nordeste
Área de drenagem (Km ²)	276327,05	121051,6
Fator de Forma	0,56	0,58
Índice de circularidade (Ic)	0,28	0,26
Coeficiente de Compacidade (Kc)	1,87	1,95

Fonte: Autor, 2016.

De acordo com os resultados, considera-se que a região da Calha Norte se mostra pouco suscetível a enchentes em condições normais de precipitação, ou seja, excluindo-se eventos de intensidades anormais, pelo fato de o coeficiente de compacidade apresentar o valor afastado da unidade (1,87) e, quanto ao seu fator de forma, exibir um valor baixo (0,56). Assim, há uma indicação de que a bacia não possui forma circular, com tendência de forma alongada. Tal fato pode ainda ser comprovado pelo índice de circularidade, possuindo um valor de 0,28.

Para a região Costa Atlântico Nordeste, considerou-se semelhante a Calha Norte, como sendo uma região com baixo risco de enchentes, com o coeficiente de compacidade afastado da unidade (1,95), com fator de forma baixo (0,58), logo, é possível indicar que a mesma possui uma tendência ao formato alongado, o que pode ser verificado pelo índice de circularidade possuir um valor de 0,26.

6.4 ANÁLISE DE TENDÊNCIA DAS SÉRIES TEMPORAIS

Em relação a análise de tendência considerando-se o nível de significância de 5%, se $|Z| > |Z_{\alpha/2}| = 1.96$ e utilizando os valores de “Z” e “t” a partir da tabela padrão normal para o teste de Mann-Kendall e a distribuição t de Student para o teste de Spearman, respectivamente, pode-se observar que a série analisada não apresentou tendência, logo, a hipótese nula H_0 (os dados não apresentam tendência temporal) deve ser aceita. Na Tabela 10 pode-se observar os resultados das análises de tendência temporal para a Região da Calha Norte.

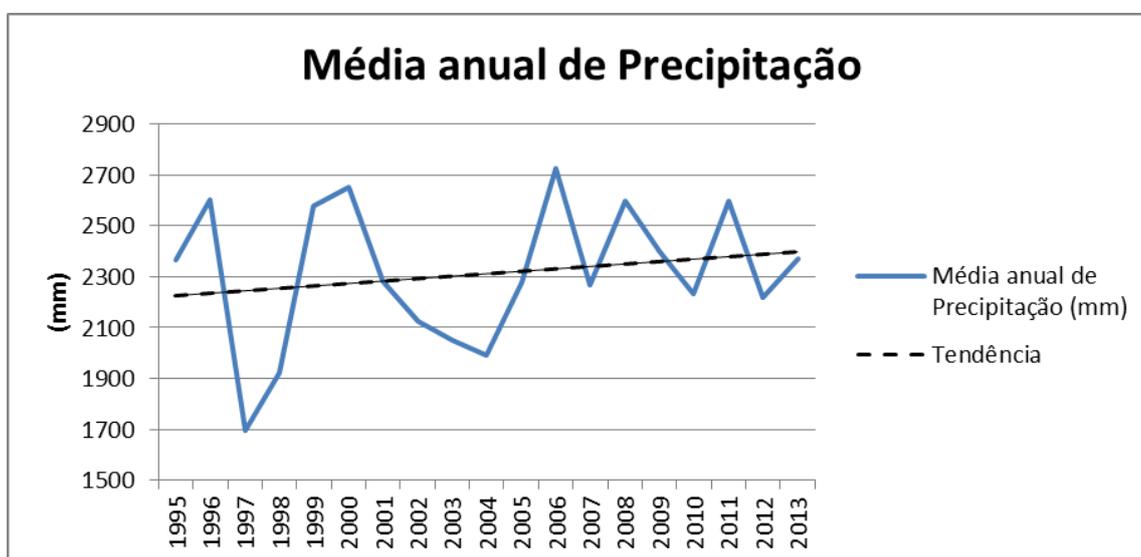
Tabela 10 – Resultado da tendência temporal para a região da Calha Norte.

Tipo	Estação	Valor de Z	Valor de rs
Fluviométrica	Tirios	0,8421	0,2519
Fluviométrica	Boca do Inferno	1.4344	0,2789
Fluviométrica	Arapari	1.3644	0,3018
Fluviométrica	Aldeia WAI-WAI	1.8542	0,3982
Fluviométrica	Apalai	0,7719	0,2054
Fluviométrica	Caramujo	0.8746	0,2018
Fluviométrica	Garganta	1.1545	0,2439
Pluviométrica	Apalai	-0,3149	-0,1123
Pluviométrica	Arapari	0,8047	0,1912
Pluviométrica	Boca do Inferno	-0,4548	-0,0614
Pluviométrica	Cachoeira	0,4548	0,1053
Pluviométrica	Juruti	1.7843	0,4912
Pluviométrica	Oriximiná	0,5248	0,1158
Pluviométrica	Vista Alegre	-1.0846	-0,2211

Fonte: Autor, 2016

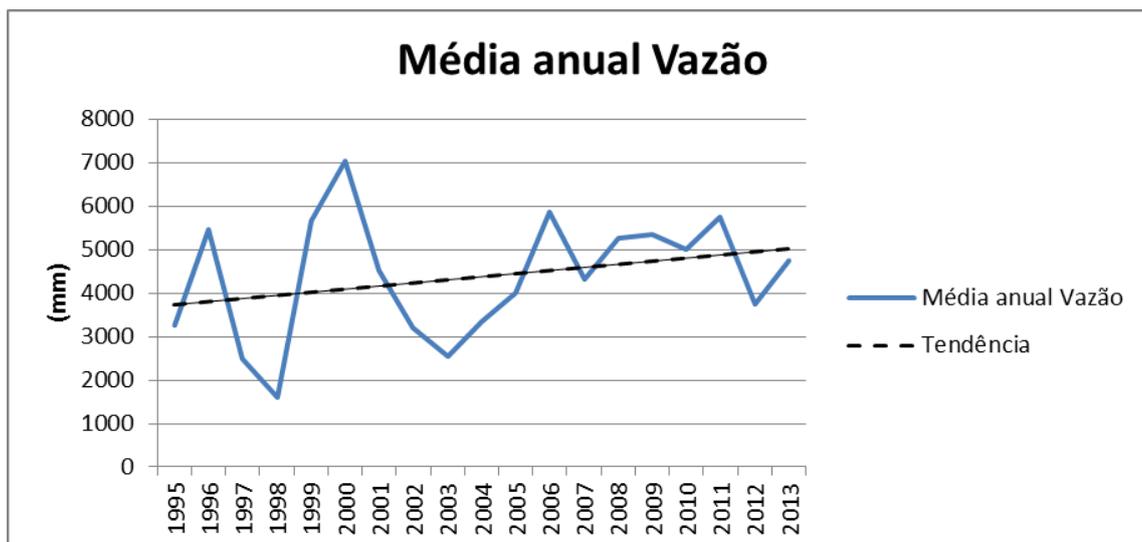
Nos Gráficos 5 e 6 observa-se a tendência da precipitação e da vazão na Região da Calha Norte, de modo geral, ambas apresentaram uma tendência positiva não significativa.

Gráfico 5 – Tendência da Precipitação na Calha Norte.



Fonte: Autor, 2016

Gráfico 6 – Tendência da Vazão na Calha Norte.



Fonte: Autor, 2016

Na Tabela 11 pode-se observar os resultados para os testes de tendência aplicados na Região da Costa Atlântico Nordeste.

Tabela 11 – Resultado da tendência temporal para a região da Costa Atlântico Nordeste.

Tipo	Estação	Valor de Z	Valor de rs
Fluviométrica	Nova Mocajuba	-1.0267	-0,2531
Fluviométrica	Badajós	0,3848	0,0351
Fluviométrica	Bom Jardim	-1.1545	-0,2333
Fluviométrica	Fazenda Maringá	-0,035	-0,0053
Fluviométrica	Sete Ilhas	0,2807	0,1588
Fluviométrica	Cafezal	-0,5948	-0,0825
Pluviométrica	Badajós	-0,1749	-0,0246
Pluviométrica	Capanema	0,8798	0,2212
Pluviométrica	Castanhal	1.2945	0,2526
Pluviométrica	Igarapé Açu	1.9387	0,5228
Pluviométrica	Tararuá - Ponte	1.9265	0,4748
Pluviométrica	Vila do conde	1.5744	0,4018

Fonte: Autor, 2016

Nos Gráficos 7 e 8 verifica-se a tendência da precipitação e da vazão na Região da Costa Atlântico Nordeste, de modo geral, ambas também apresentaram uma tendência positiva não significativa, como na Calha Norte.

Gráfico 7 – Tendência da Precipitação na Costa Atlântico Nordeste.

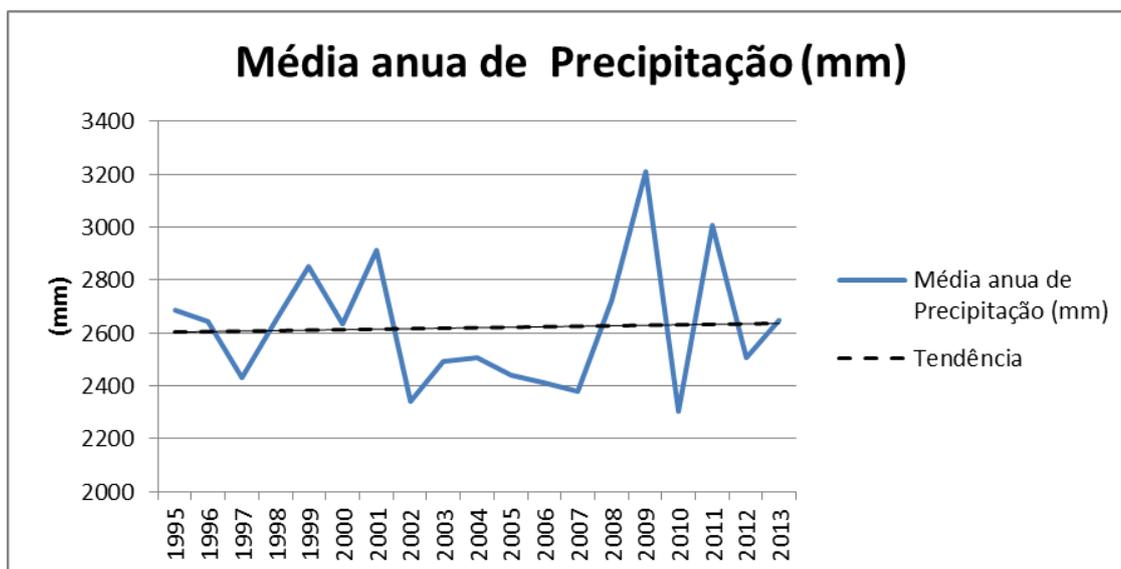
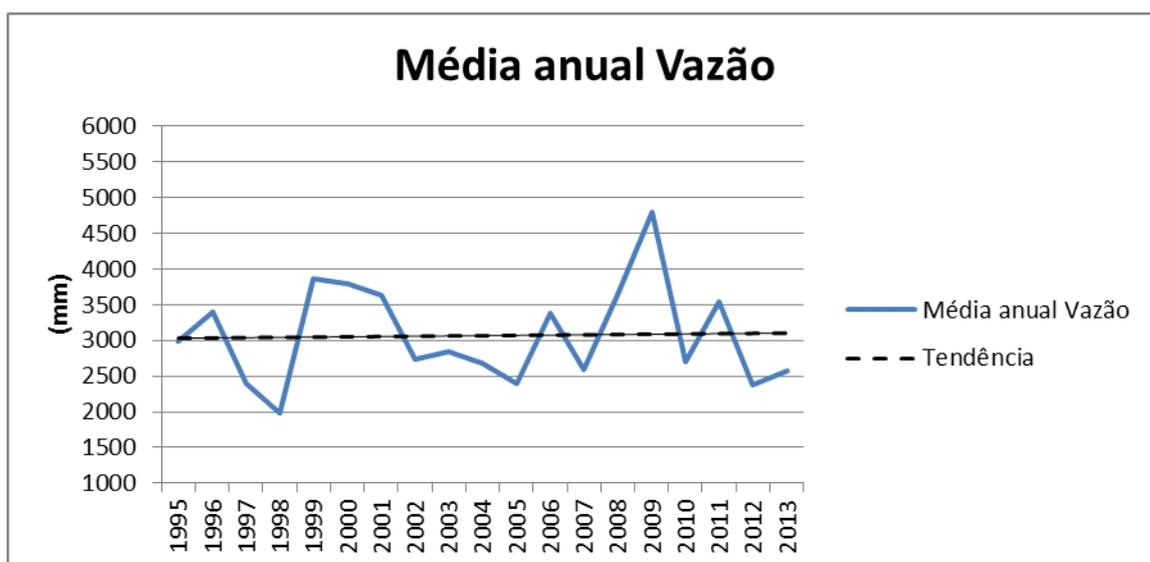


Gráfico 8 – Tendência da Vazão na Costa Atlântico Nordeste.



6.5 ANÁLISE DO COMPORTAMENTO SAZONAL DA PRECIPITAÇÃO E DA VAZÃO.

Após análise das regiões estudadas, verificou-se que a Região da Calha Norte e Costa Atlântico Nordeste, apresentaram um comportamento pluviométrico, e físico similar. Enquanto que o comportamento antrópico distinto, por uma possuir a cobertura vegetal mais preservada que outra.

No que se refere à pluviometria, ambas estão situadas na região de maior pluviosidade do Estado. Quanto às características físicas ambas apresentaram um baixo risco de enchentes tendo uma forma que tende ao alongado. Com relação às áreas, a Região da Calha Norte apresenta uma área, quase duas vezes maior que a da Região Costa Atlântico Nordeste.

Ressalta-se que os dados de vazão foram adquiridos em m^3/s , porém para viabilizar uma análise com a precipitação (que é dada em mm), foi realizada a conversão de m^3/s para mm, através da Equação 10, sugerida por Tucci (2009).

$$Q \text{ (mm)} = 31536 Q \text{ (m}^3\text{/s)} / A. \quad (10)$$

em que:

$Q \text{ (mm)}$ – Vazão a ser obtida em mm

$Q \text{ (m}^3\text{/s)}$ – Vazão em m^3/s

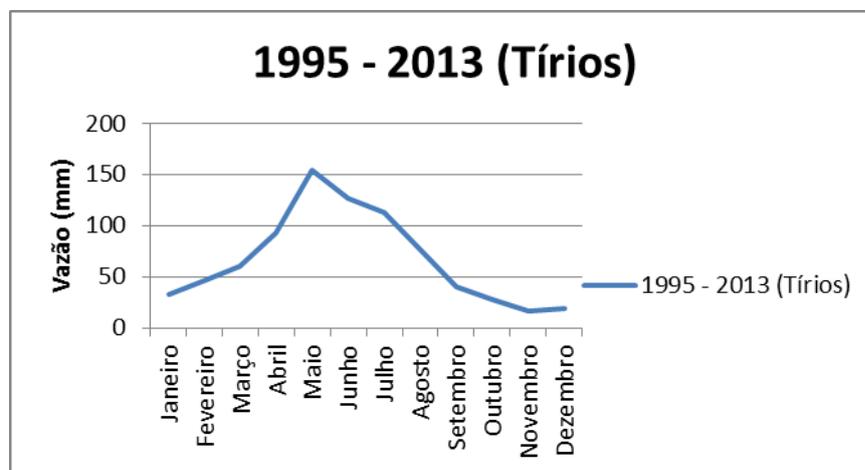
A – Área em Km^2

31536 – Coeficiente de conversão

Foi possível observar o comportamento fluviométrico e pluviométrico de cada Região levando-se em consideração a média de cada mês durante a série de 19 anos.

Os gráficos de 9 a 15, abaixo mostram os dados das estações fluviométricas da Região da Calha Norte destacando-se o comportamento dos hidrogramas com seu pico máximo ao longo dos anos.

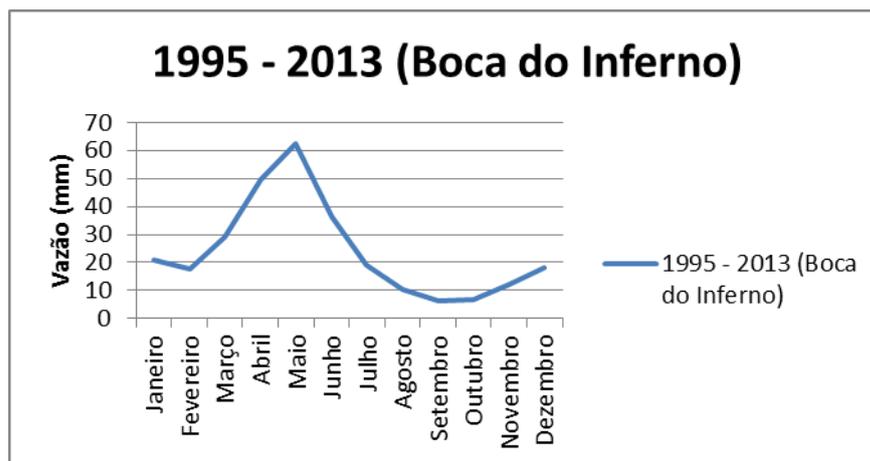
Gráfico 9 – Comportamento da Vazão na estação Tírios, na série de 19 anos estudada.



Fonte: Autor, 2016

A estação Tírios apresentou sua vazão máxima no mês de Maio (154,84 mm) enquanto sua mínima ficou em (16,55 mm) no mês de Novembro tendo sua vazão média em 67,5 mm com uma amplitude de 138,29 mm. Em termos quantitativos pode-se afirmar que a máxima está 129% acima da média enquanto a mínima está 76% abaixo.

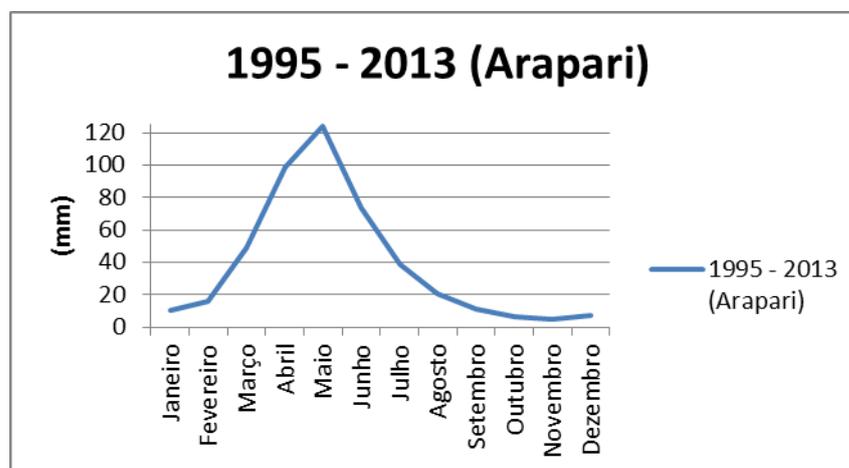
Gráfico 10 - Comportamento da Vazão na estação Boca do Inferno, na série de 19 anos estudada.



Fonte: Autor, 2016

A estação Boca do Inferno teve sua vazão média em torno de 24,10 mm alcançando seu máximo, no mês de Maio, de 62,64 mm, o qual representa 159% acima da referida média e seu mínimo, no mês de Outubro, de 6,35 mm, estando 74% abaixo da média com uma amplitude de 56,29 mm. Diferente das demais estações teve sua mínima registrada 1 mês antes que as demais Ressalta-se que sua localização na Bacia está mais próxima da foz do rio do que de sua nascente.

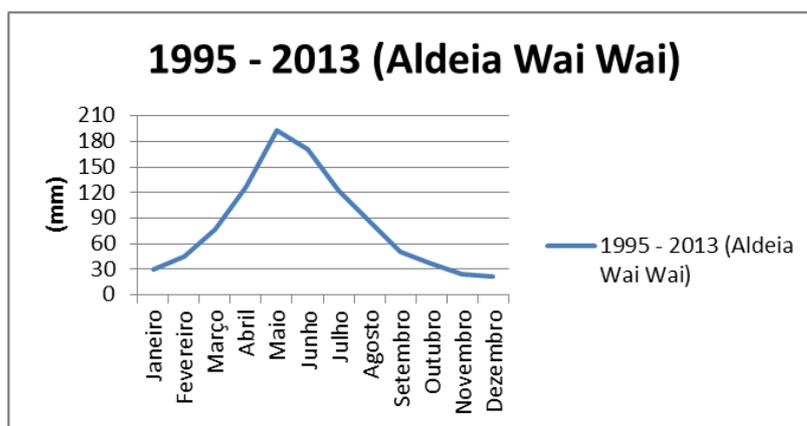
Gráfico 11 - Comportamento da Vazão na estação Arapari, na série de 19 anos estudada.



Fonte: Autor, 2016

A estação Arapari, alcançou seu pico máximo no mês de Maio (123,85 mm), e seu mínimo em Novembro (5,01 mm), tendo em média uma vazão de 38,38 mm com uma amplitude de 118,84 mm. Observou-se que a o seu máximo esteve 122% acima da média, enquanto seu mínimo 79,35% abaixo. A mesma apresenta-se localizada mais próxima da foz do que da nascente do rio em que está situada (Maicuru).

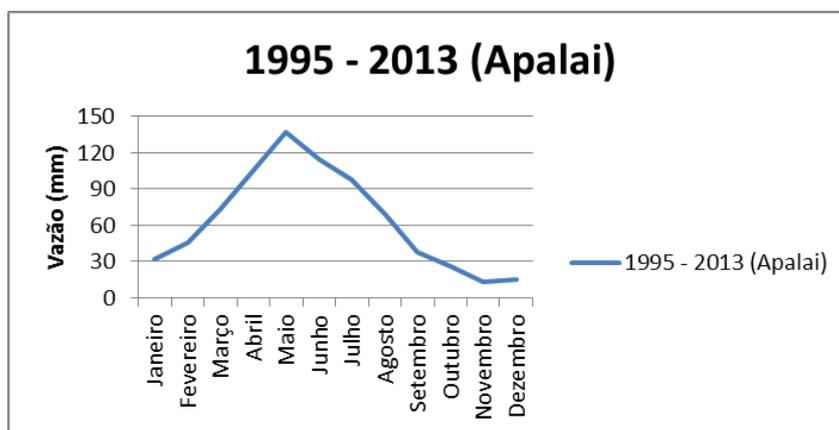
Gráfico 12 - Comportamento da Vazão na estação Aldeia Wai-Wai, na série de 19 anos estudada.



Fonte: Autor, 2016

A estação Aldeia Wai Wai, alcançou seu pico máximo no mês de Maio (193,33 mm), e seu mínimo em Dezembro (20,98 mm), tendo em média uma vazão de 81,7 mm com uma amplitude de 172,35 mm. Diferente das demais estações teve sua mínima registrada 1 mês depois que as demais. Observou-se que a o seu máximo esteve 136% acima da média, enquanto seu mínimo 74,3% abaixo da média. A apresenta-se localizada mais próxima da foz do que da nascente do rio Mapuera.

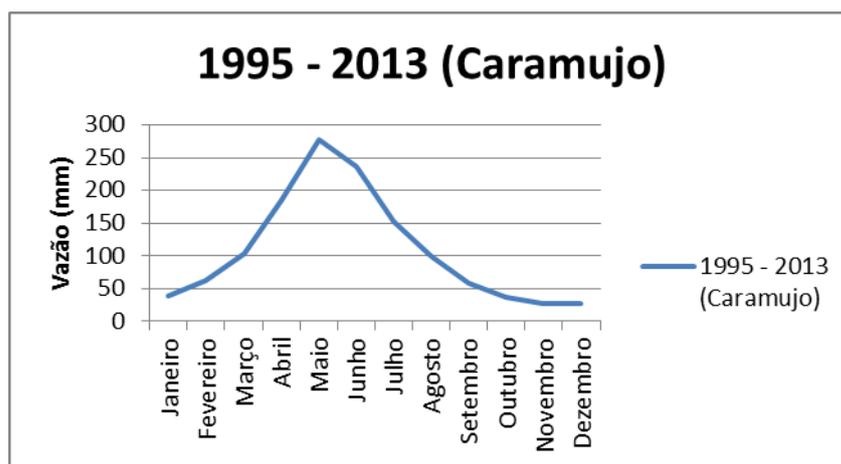
Gráfico 13 - Comportamento da Vazão na estação Apalai, na série de 19 anos estudada.



Fonte: Autor, 2016

A estação Apalai, alcançou seu pico máximo no mês de Maio (136,5 mm), e seu mínimo em Novembro (13,6 mm), tendo em média uma vazão de 64,03 mm com uma amplitude de 122,9 mm. Observou-se que a o seu máximo esteve 113% acima da média, enquanto seu mínimo 78,7% abaixo da média. A mesma se apresenta mais próxima da nascente do rio Paru de Este.

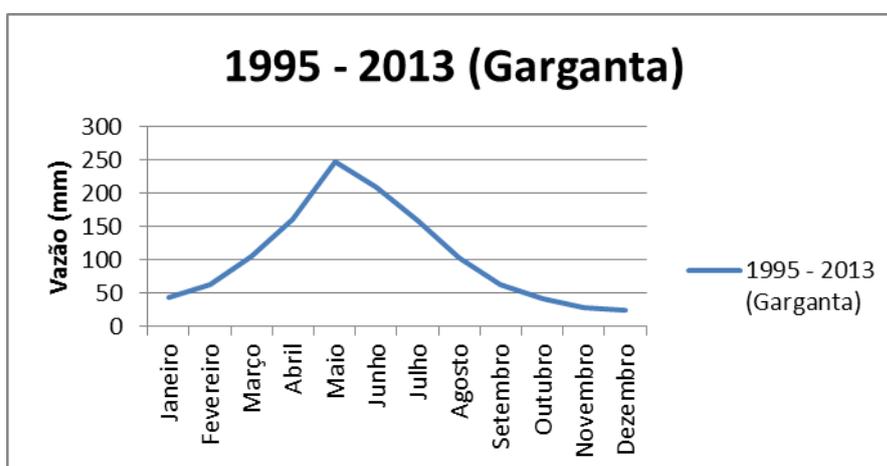
Gráfico 14 - Comportamento da Vazão na estação Caramujo, na série de 19 anos estudada.



Fonte: Autor, 2016

A estação Caramujo alcançou seu pico máximo no mês de Maio (276,85 mm), e seu mínimo em Novembro (26,53 mm), tendo em média uma vazão de 108,97 mm com uma amplitude de 250,32 mm. Observou-se que a o seu máximo esteve 154% acima da média, enquanto seu mínimo 76% abaixo. A mesma se apresenta na foz dos rios Trombetas e Mapuera, fator que justifica os valores mais elevados em relação às outras estações.

Gráfico 15 - Comportamento da Vazão na estação Garganta, na série de 19 anos estudada.



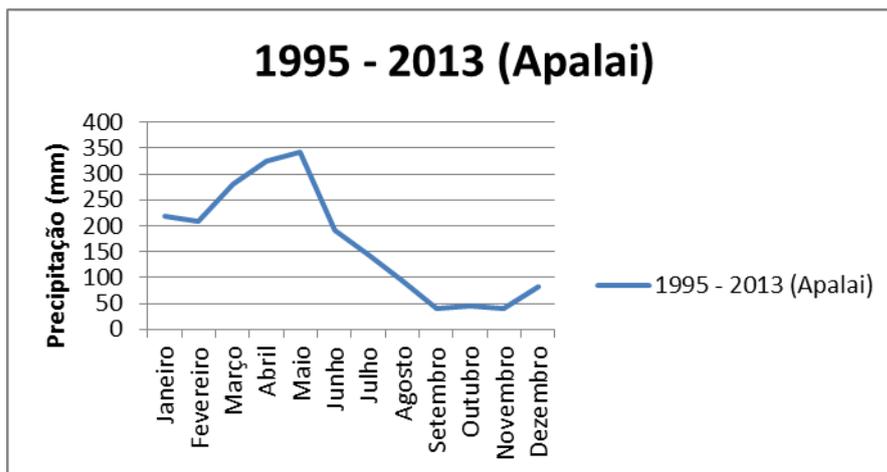
Fonte: Autor, 2016

A estação Garganta alcançou seu pico máximo no mês de Maio (246,83 mm), e seu mínimo em Novembro (23,42 mm), tendo em média uma vazão de 103,43 mm

com uma amplitude de 223,41 mm. Observou-se que a o seu máximo esteve 138,6% acima da média, enquanto seu mínimo 74,01% abaixo. A mesma localiza-se na foz do rio Trombetas.

Os gráficos de 16 a 22, abaixo mostram os dados das estações pluviométricas da Região da Calha Norte.

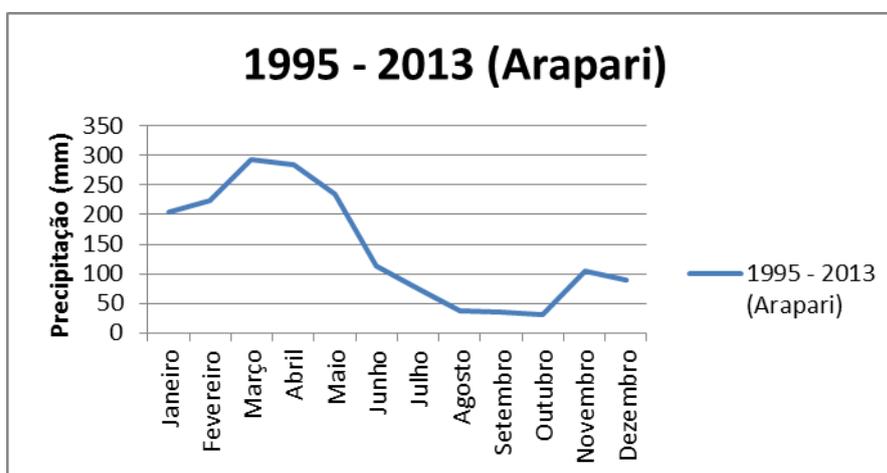
Gráfico 16 - Comportamento da Precipitação na estação Apalai, na série de 19 anos estudada.



Fonte: Autor, 2016

A estação Apalai apresentou sua precipitação máxima no mês de Março (342,8mm) enquanto sua mínima ficou em (40,38mm) no mês de Outubro tendo sua precipitação média em 167,9mm com uma amplitude de 302,42mm. Em termos quantitativos pode-se afirmar que a máxima apresentou-se 103,9% acima da média enquanto a mínima está 75,9% abaixo.

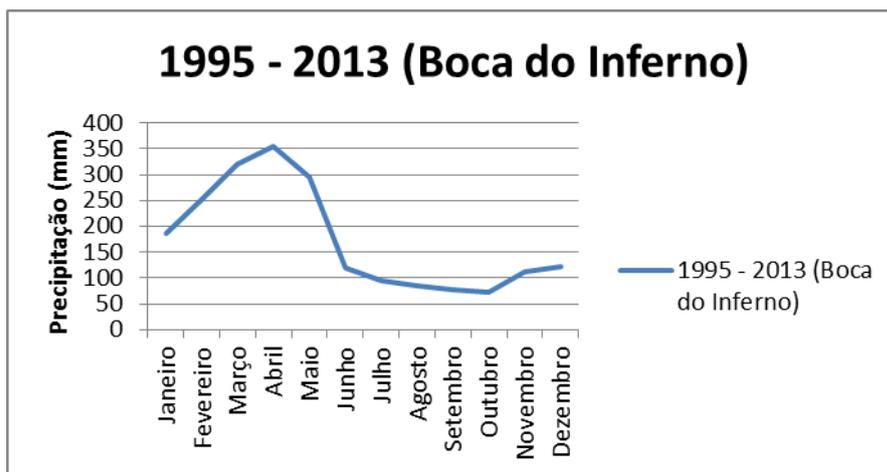
Gráfico 17 - Comportamento da Precipitação na estação Arapari, na série de 19 anos estudada.



Fonte: Autor, 2016

A estação Arapari apresentou sua precipitação máxima no mês de Março (292,5mm) enquanto sua mínima ficou em (90mm) no mês de Outubro tendo sua precipitação média em 145,03mm com uma amplitude de 202,5mm. Observa-se que a precipitação máxima apresentou-se 101,6% acima da média enquanto a mínima está 37,9% abaixo.

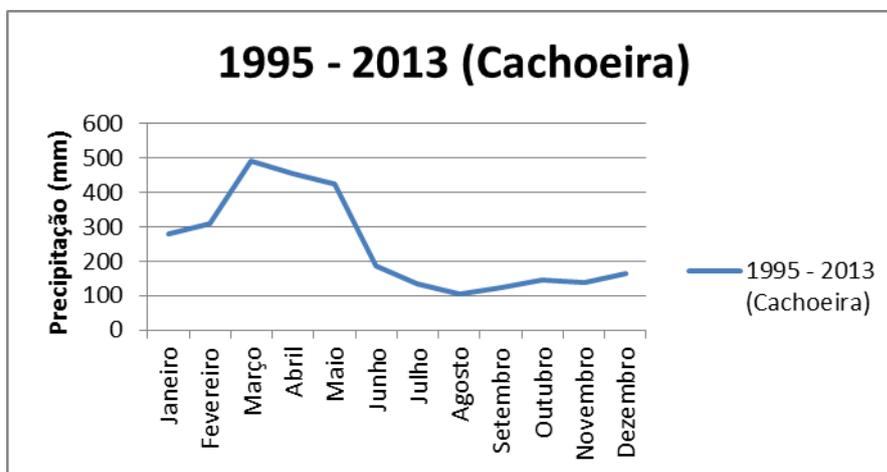
Gráfico 18 - Comportamento da Precipitação na estação Boca do Inferno, na série de 19 anos estudada.



Fonte: Autor, 2016

A estação Boca do Inferno apresentou sua precipitação máxima no mês de Março (353mm) enquanto sua mínima ficou em (57mm) no mês de Outubro tendo sua precipitação média em 181,76mm com uma amplitude de 296 mm. Observa-se que a precipitação máxima apresentou-se 94,2% acima da média enquanto a mínima está 68,6% abaixo.

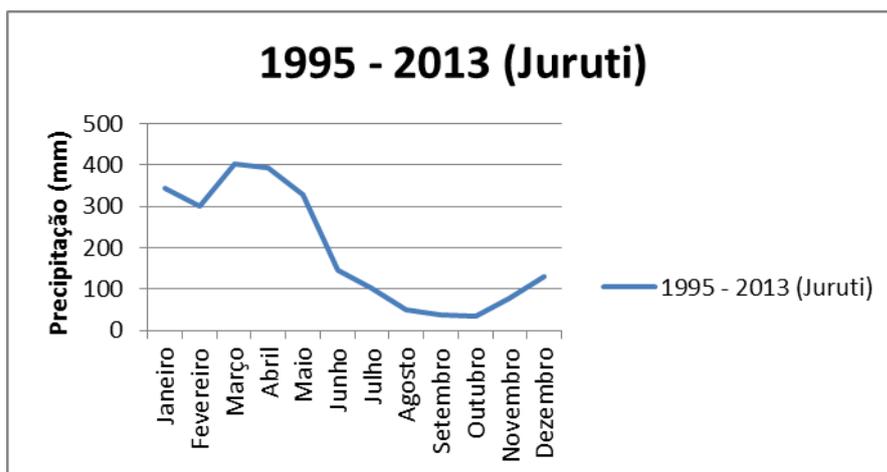
Gráfico 19 - Comportamento da Precipitação na estação Cachoeira, na série de 19 anos estudada.



Fonte: Autor, 2016

A estação Cachoeira alcançou seu pico máximo no mês de Março (489,9 mm), e seu mínimo em Agosto (123,7 mm), tendo em média uma precipitação de 246 mm com uma amplitude de 366,2mm. Diferente das demais estações apresentou seu pico mínimo 2 meses antes das demais. Observou-se que a o seu máximo esteve 99% acima da média, enquanto seu mínimo 48,8% abaixo.

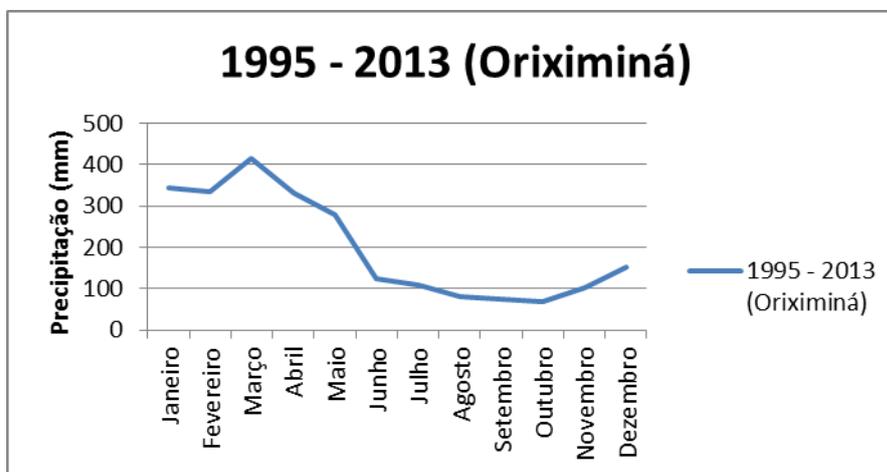
Gráfico 20 - Comportamento da Precipitação na estação Cachoeira, na série de 19 anos estudada.



Fonte: Autor, 2016

A média observada na estação Juruti foi de 197,6mm, com uma amplitude de 345,2mm, tendo seu máximo alcançado o valor de 402,6mm e seu mínimo 57,4mm, nos meses de Março e Outubro, respectivamente. Pode-se afirmar que o seu pico máximo esteve 102,3% acima da média observada, enquanto seu valor mínimo apresentou-se 70,95% abaixo.

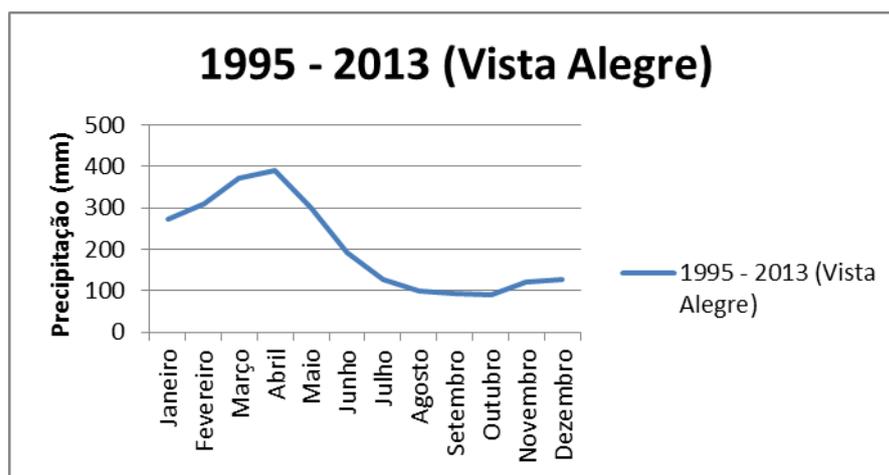
Gráfico 21 - Comportamento da Precipitação na estação Oriximiná, na série de 19 anos estudada.



Fonte: Autor, 2016

Na estação Oriximiná, observou-se uma precipitação média de 202,5mm, com uma amplitude de 374,92mm tendo sido marcado 416,3mm e 40,38mm como seu máximo e mínimo, nos meses de Março e Outubro, respectivamente. Ressalta-se que seu máximo alcançou um valor de 105% acima da média e seu mínimo de 80,05% abaixo.

Gráfico 22 - Comportamento da Precipitação na estação Vista Alegre, na série de 19 anos estudada.



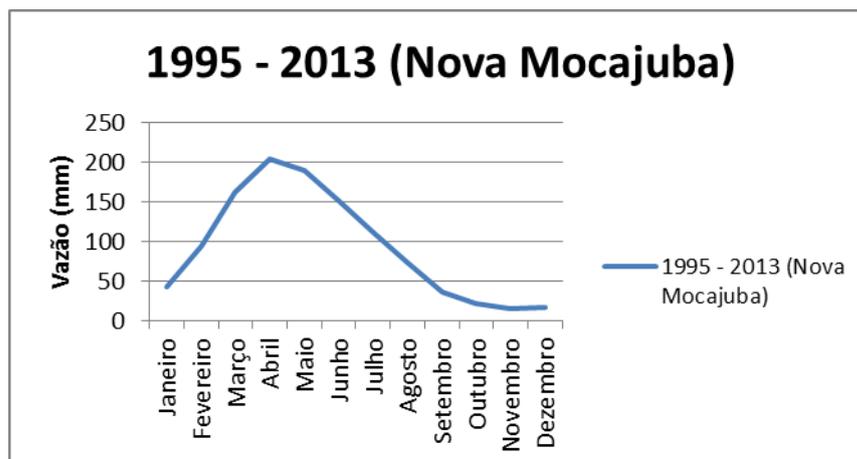
Fonte: Autor, 2016

A média observada na estação Vista Alegre foi de 207mm, com uma amplitude de 280,83mm, tendo seu máximo alcançado o valor de 371,8mm e seu mínimo 90,97mm, nos meses de Março e Outubro, respectivamente. Pode-se afirmar que o seu pico máximo esteve 79,6% acima da média observada, enquanto seu valor mínimo apresentou-se 56,05% abaixo.

Como se observou nos gráficos acima supracitado, da Região da Calha Norte, as estações de precipitação e vazão, em sua maioria, apresentaram seus picos máximos nos meses de Março e Maio, respectivamente, enquanto seus mínimos foram registrados, em sua maioria, nos meses de Outubro e Novembro, respectivamente. Foi possível indicar também que as estações localizadas mais próximas a montante da bacia tiveram precipitação e vazão menores do que as estações localizadas na foz. Indica-se uma defasagem em média, em relação ao pico máximo e mínimo de precipitação e vazão de 2 meses na maioria das estações.

Os gráficos de 23 a 28, abaixo mostram os dados das estações fluviométricas da Região da Costa Atlântico Nordeste.

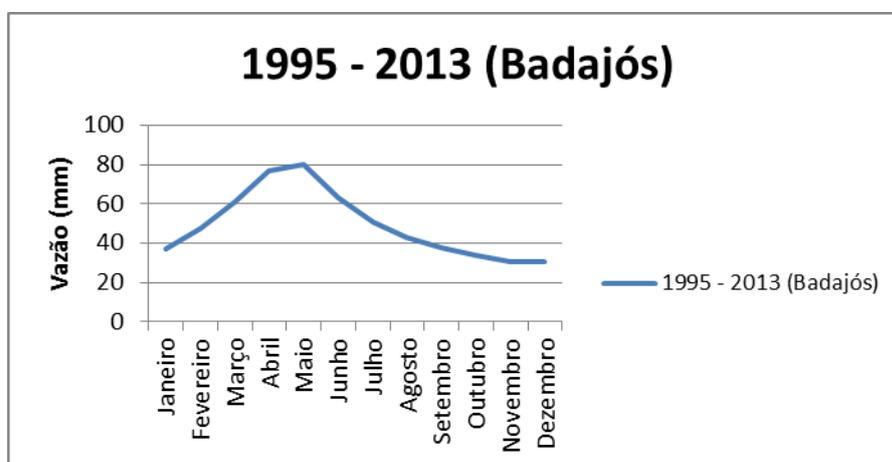
Gráfico 23 - Comportamento da Vazão na estação Nova Mocajuba, na série de 19 anos.



Fonte: Autor, 2016

A estação Nova Mocajuba, alcançou seu pico máximo no mês de Abril (204,78mm), e seu mínimo em Novembro (14,23 mm), tendo em média uma vazão de 92,98 mm com uma amplitude de 190,55mm. Observou-se que a o seu máximo esteve 119% acima da média, enquanto seu mínimo 84,72% abaixo. A mesma se apresenta no centro do rio Caeté, isto é, na parte central entre nascente e foz.

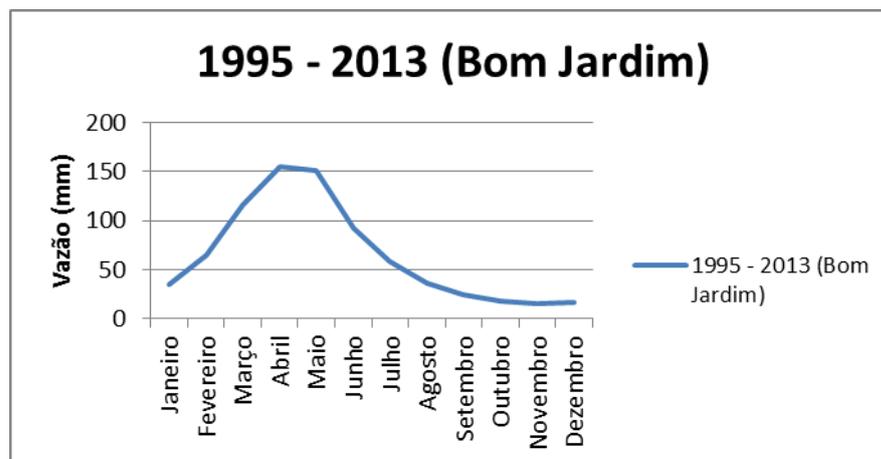
Gráfico 24 - Comportamento da Vazão na estação Badajós, na série de 19 anos estudada.



Fonte: Autor, 2016

A estação Badajós apresentou sua vazão máxima no mês de Maio (79,87 mm) enquanto sua mínima ficou em (30,32 mm) no mês de Novembro tendo sua vazão média em 49,32 mm com uma amplitude de 30,55mm. Diferente das demais estações apresentou seu pico máximo 1 mês depois que as demais estações. Em termos quantitativos pode-se afirmar que a máxima está 61,90% acima da média enquanto a mínima está 38,5% abaixo.

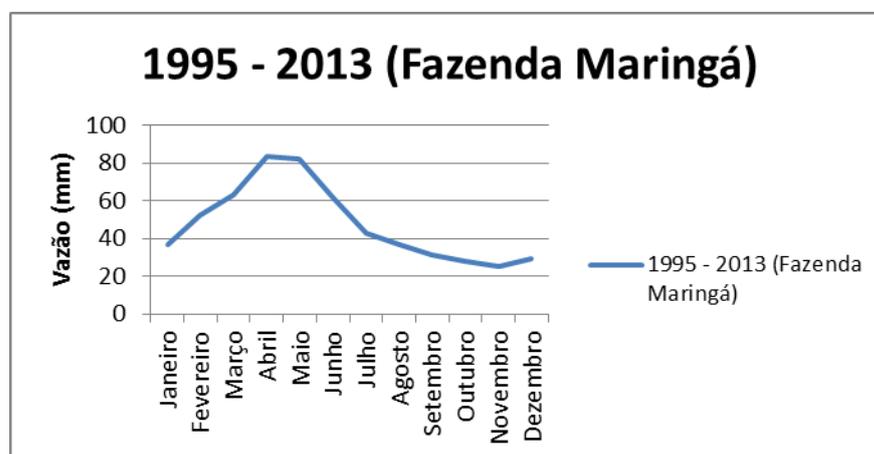
Gráfico 25 - Comportamento da Vazão na estação Bom Jardim, na série de 19 anos estudada.



Fonte: Autor, 2016

A estação Bom Jardim, alcançou seu pico máximo no mês de Abril (155,73 mm), e seu mínimo em Novembro (15,44 mm), tendo em média uma vazão de 65,58 mm com uma amplitude de 140,29mm. Observou-se que a o seu máximo esteve 137% acima da média, enquanto seu mínimo 76,45% abaixo. A mesma se apresenta no centro do rio Guamá.

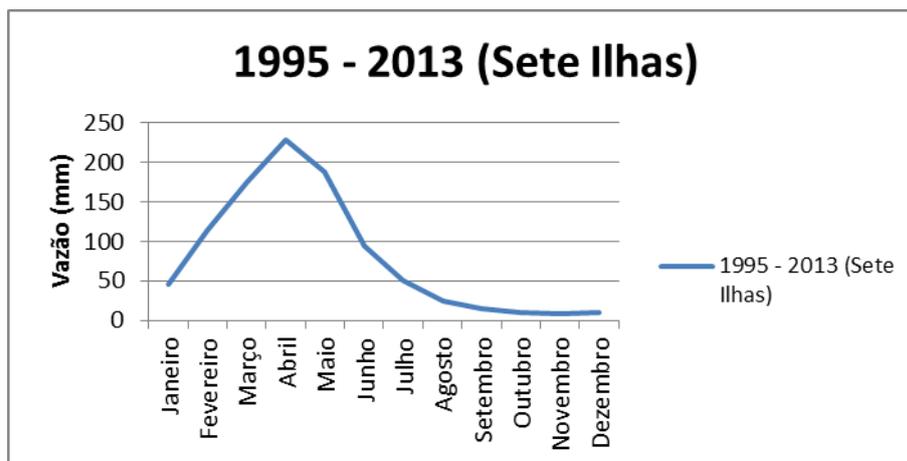
Gráfico 26 - Comportamento da Vazão na estação Fazenda Maringá, na série de 19 anos estudada.



Fonte: Autor, 2016

A estação Fazenda Maringá apresentou sua vazão máxima no mês de Abril (83,31 mm) enquanto sua mínima ficou em (25,48 mm) no mês de Novembro tendo sua vazão média em 47,75 mm com uma amplitude de 57,83mm. Em termos quantitativos pode-se afirmar que a máxima está 74,18% acima da média enquanto a mínima está 46,4% abaixo. A mesma está localizada no centro do Rio Capim.

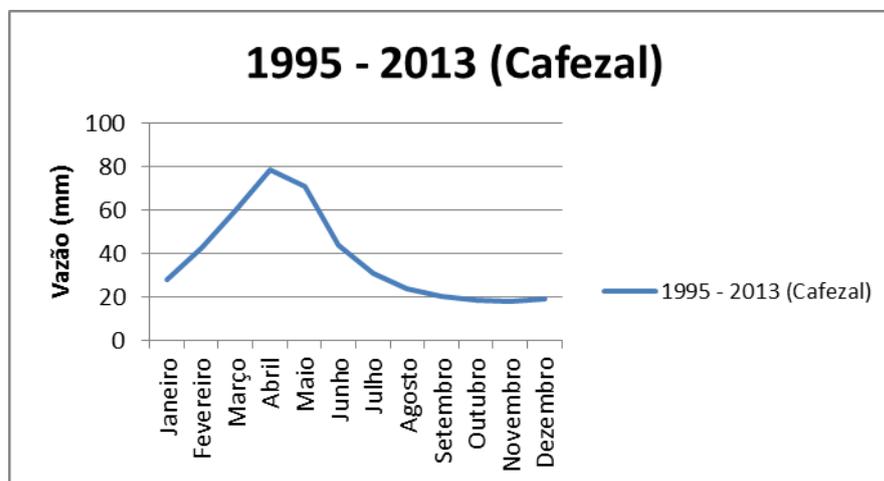
Gráfico 27 - Comportamento da Vazão na estação Sete Ilhas, na série de 19 anos estudada.



Fonte: Autor, 2016

A estação Sete Ilhas, alcançou seu pico máximo no mês de Abril (227,84mm), e seu mínimo em Novembro (8,25 mm), tendo em média uma vazão de 80,23 mm com uma amplitude de 219,59mm. Observou-se que a o seu máximo esteve 184% acima da média, enquanto seu mínimo 89,72% abaixo. A mesma se apresenta a sua localização no centro do Rio Piriá, isto é, entre nascente e foz .

Gráfico 28 - Comportamento da Vazão na estação Cafezal, na série de 19 anos estudada.

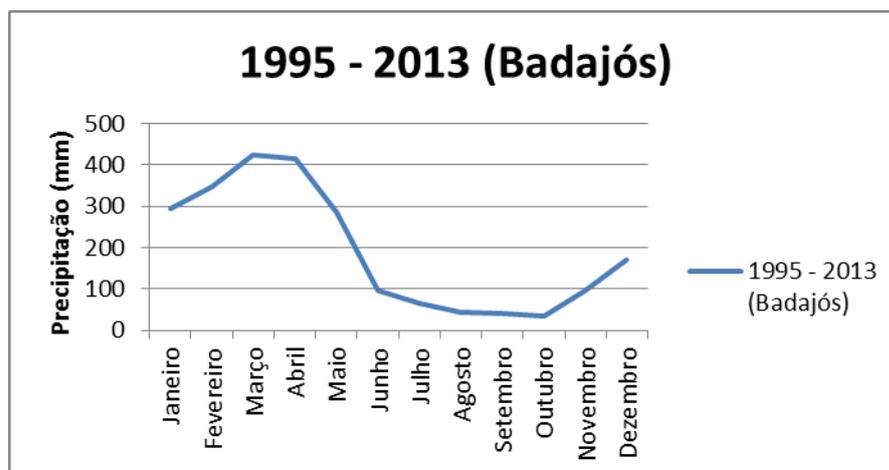


Fonte: Autor, 2016

A estação Cafezal apresentou sua vazão máxima no mês de Abril (78,57 mm) enquanto sua mínima ficou em (17,79 mm) no mês de Novembro tendo sua vazão média em 37,74 mm com uma amplitude de 60,78mm. Em termos quantitativos pode-se afirmar que a máxima está 108% acima da média enquanto a mínima está 52,8% abaixo. A mesma está localizada próxima a nascente do Rio Uraim.

Os gráficos de 29 a 34, abaixo mostram os dados das estações pluviométricas da Região da Costa Atlântico Nordeste.

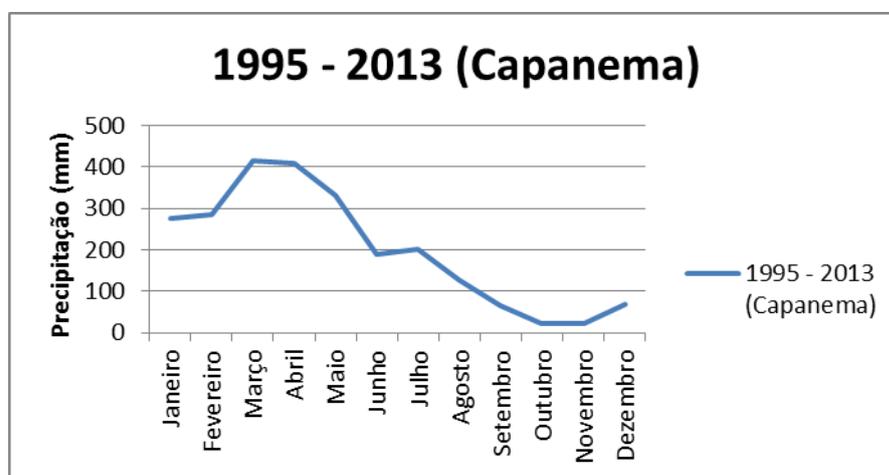
Gráfico 29 - Comportamento da precipitação na estação Badajós, na série de 19 anos.



Fonte: Autor, 2016

A estação Badajós alcançou seu pico máximo no mês de Março (425 mm), e seu mínimo em Outubro (35,87 mm), tendo em média uma precipitação de 194,41mm com uma amplitude de 389,13mm. Observou-se que a o seu máximo esteve 118% acima da média, enquanto seu mínimo 81,55% abaixo.

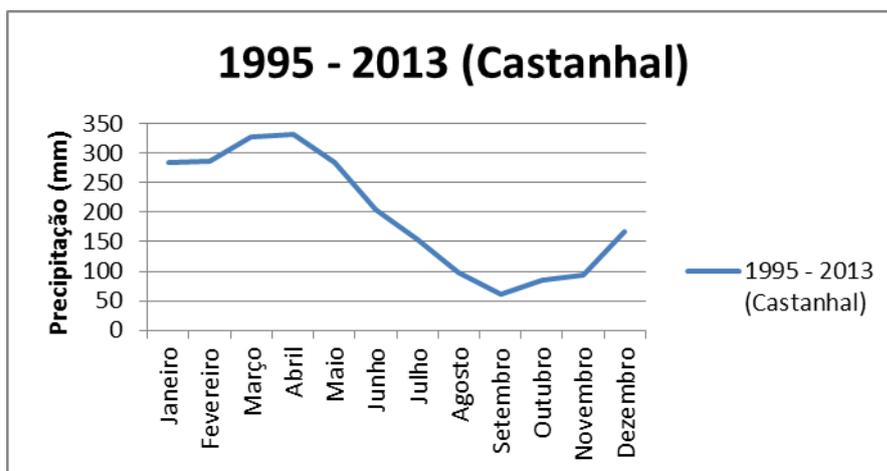
Gráfico 30 - Comportamento da precipitação na estação Capanema, na série de 19 anos.



Fonte: Autor, 2016

Pode-se observar que a estação Capanema teve uma média de 201,4mm, com uma amplitude de 395,03mm, podendo-se registrar seu máximo de 416,7 mm no mês de Março e seu mínimo de 21,67mm no mês de Outubro. Ressalta-se que seu pico máximo esteve 106,9% acima da média registrada, enquanto seu mínimo esteve 89,24% abaixo da média.

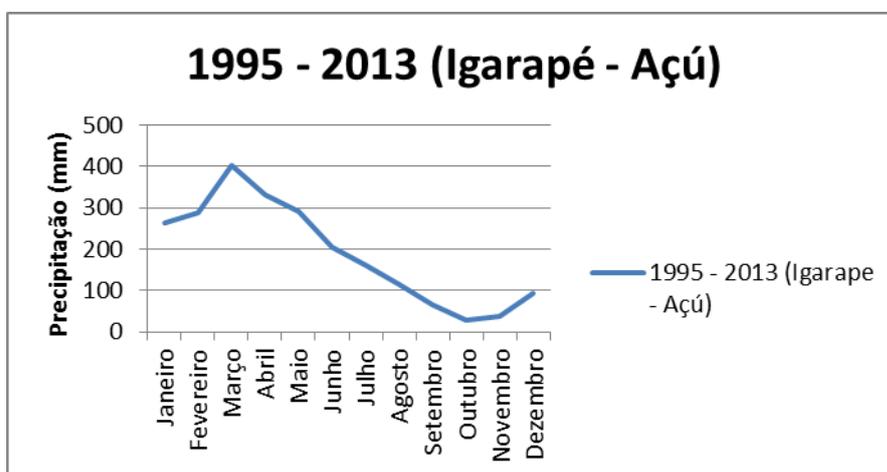
Gráfico 31 - Comportamento da precipitação na estação Castanhal, na série de 19 anos estudada.



Fonte: Autor, 2016

A estação Castanhal alcançou seu pico máximo no mês de Março (332,5mm), e seu mínimo em Setembro (60,7 mm), tendo em média uma precipitação de 198,52mm com uma amplitude de 271,8mm. Diferente das demais estações da região apresentou seu mínimo 1 mês antes das demais. Observou-se que a o seu máximo esteve 67,48% acima da média, enquanto seu mínimo 69,42% abaixo.

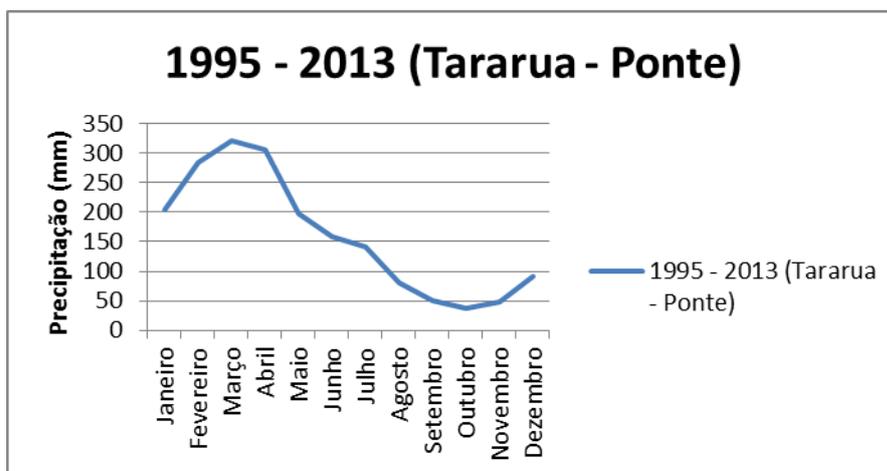
Gráfico 32 - Comportamento da precipitação na estação Igarapé – Açú, na série de 19 anos estudada.



Fonte: Autor, 2016

Observou-se que a estação Igarapé-Açú teve uma média de 190,28mm, com uma amplitude de 373,48mm podendo-se registrar seu máximo de 402,18 mm no mês de Março e seu mínimo de 28,7mm no mês de Outubro. Ressalta-se que seu pico máximo esteve 111% acima da média registrada, enquanto seu mínimo esteve 84,9% abaixo da média.

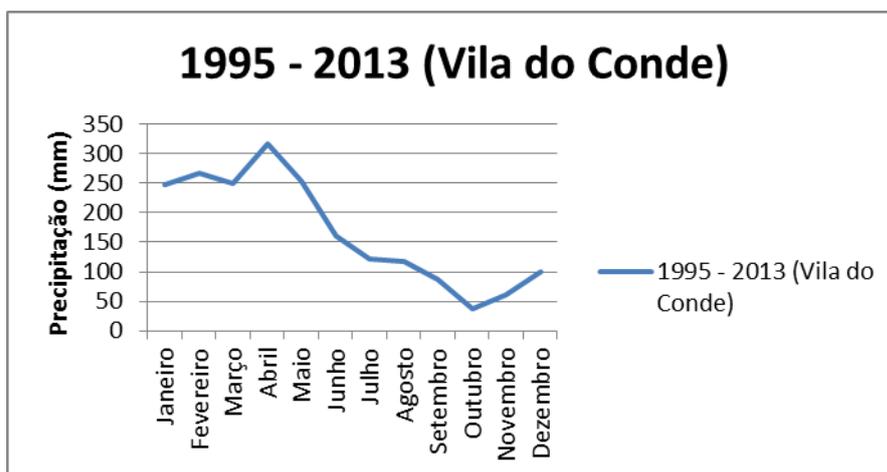
Gráfico 33 - Comportamento da precipitação na estação Taruará – Ponte, na série de 19 anos estudada.



Fonte: Autor, 2016

A estação Tararuá-Ponte apresentou sua precipitação média igual a 160,20mm, com uma amplitude de 283,93mm, tendo atingido seu máximo no mês de Março (320,2mm) e seu mínimo no mês de Outubro (36,27mm). Observou-se que seu pico máximo esteve 99,87% acima da media enquanto seu mínimo esteve 77,3% abaixo da média.

Gráfico 34 - Comportamento da precipitação na estação Vila do Conde, na série de 19 anos estudada.



Fonte: Autor, 2016

Observou-se que a estação Vila do Conde teve uma média de 168,2mm, com uma amplitude de 278,13mm, podendo-se registrar seu máximo de 316 mm no mês de Março e seu mínimo de 37,87mm no mês de Outubro. Ressalta-se que seu pico máximo esteve 87,87% acima da média registrada, enquanto seu mínimo esteve 77,48% abaixo da média.

Como se observou nos gráficos acima, da Região da Costa Atlântico Nordeste, as estações de precipitação e vazão, em sua maioria, apresentaram seus picos máximos nos meses de Março e Abril, respectivamente, enquanto seus mínimos foram registrados, em sua maioria, nos meses de Outubro e Novembro, respectivamente. Indica-se uma defasagem em média, em relação ao pico máximo e mínimo de precipitação e vazão de 1 mês na maioria das estações.

Através dos gráficos de fluviometria das duas regiões, é possível observar que na Região da Calha Norte o tempo necessário para alcançar a amplitude máxima (pico), é superior, em média 1 mês, em relação aos resultados apresentados nos gráficos da Região Costa Atlântico Nordeste.

É de conhecimento geral, que a conservação da vegetação implica no maior armazenamento da água oriunda da precipitação, por parte da vegetação, logo o tempo de concentração da bacia em galescoamento superficial dependendo das características geológicas se apresenta maior em áreas sem vegetação conservada,, atingindo sua amplitude máxima em um menor tempo, pois há uma diminuição do processo de infiltração.

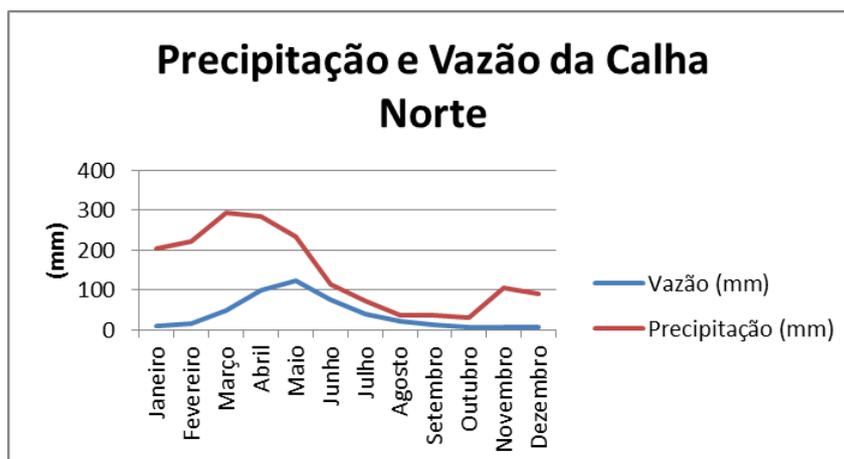
Para tanto, pode-se considerar que a falta da cobertura vegetal pode ter implicado em uma diminuição do armazenamento da água na Região da Costa Atlântico Nordeste devido o escoamento superficial ser mais acelerado, enquanto que na Região da Calha Norte, a qual está mais conservada ambientalmente, não houve essa redução.

No que se refere à pluviometria pode-se observar que em ambas as regiões o comportamento se manteve o mesmo.

6.6 ANÁLISE DE CORRELAÇÃO ENTRE PRECIPITAÇÃO E VAZÃO

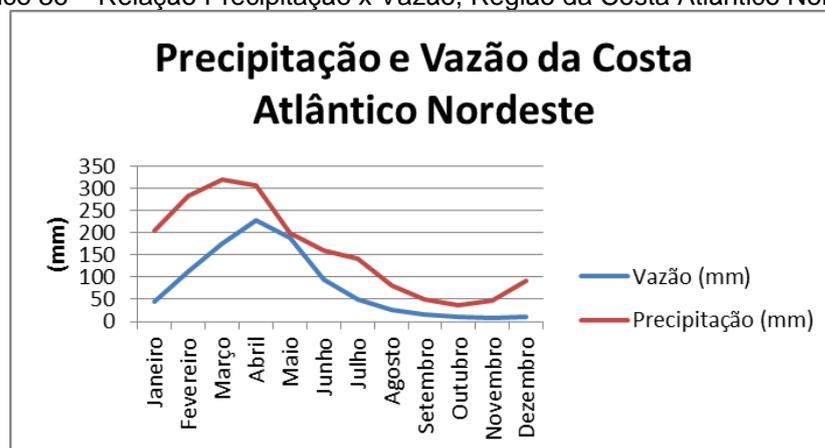
Verificou-se a proximidade das estações fluviométricas e pluviométricas de cada Região, e a posição que melhor representava-se o escoamento da bacia, tendo uma localização mais próxima a foz de um Rio, para a escolha de uma estação de cada tipo em cada área estudada, visando o melhor entendimento da relação Precipitação x Vazão. Logo, foram escolhidas para a Região da Calha Norte: Arapari (fluviometria) e Arapari (pluviometria); e para a Região Costa Atlântico Nordeste: Sete Ilhas (fluviometria) e Taruará - Ponte (pluviometria), conforme os gráficos 35 e 36.

Gráfico 35 – Relação Precipitação x Vazão, Região da Calha Norte.



Fonte: Autor, 2016

Gráfico 36 – Relação Precipitação x Vazão, Região da Costa Atlântico Nordeste.



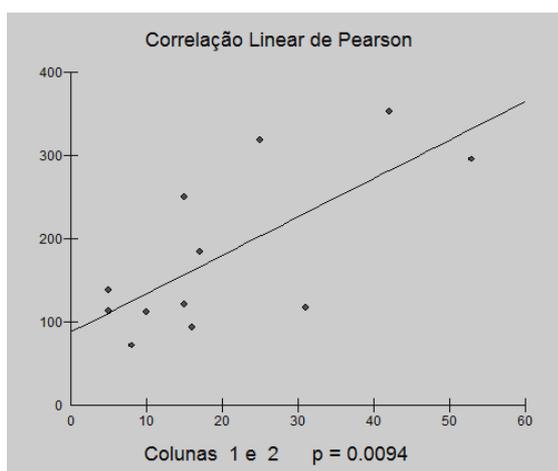
Fonte: Autor, 2016

Observou-se que o comportamento da precipitação e da vazão é semelhante em ambas as Regiões estudadas, pois o aumento da precipitação é acompanhado pelo aumento da vazão, assim como o decréscimo de precipitação também influencia no mesmo comportamento da vazão. Constatou-se que na Região da Calha Norte a contribuição da precipitação para a vazão, através do escoamento superficial ficou representada em 29,39%, enquanto que para Região da Costa Atlântico Nordeste essa contribuição foi de 45,36%, pelos quais, pode-se afirmar que na área mais preservada esse valor apresenta-se menor, pois o escoamento superficial é menor pela infiltração gerada pela vegetação. Observou-se que na Região da Calha Norte o tempo entre a precipitação máxima e a vazão máxima é mais longo em relação à Região da Costa Atlântico Nordeste.

Para uma análise numérica desse comportamento, foi aplicado aos valores de precipitação e vazão, das estações escolhidas, o teste de correlação linear de

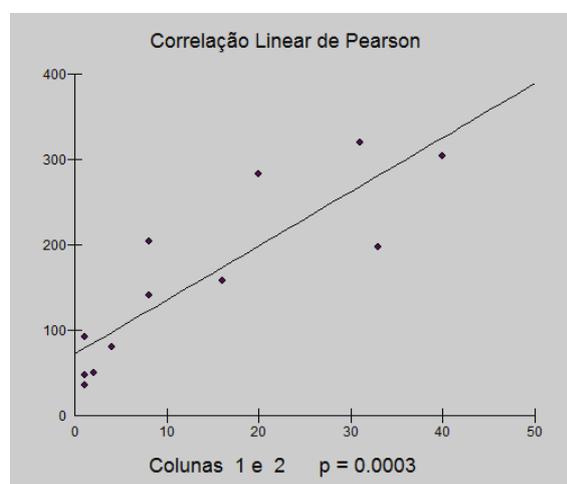
Pearson, pelo qual se pode verificar os gráficos de dispersão 37 e 38, da Região da Calha Norte e da Costa Atlântico Nordeste, respectivamente. A tTabela 12 mostra os valores de “r” encontrados para cada Região.

Gráfico 37 – Correlação Precipitação x Vazão nos 19 anos analisados, na Região da Calha Norte.



Fonte: Autor, 2016

Gráfico 38 - Correlação Precipitação x Vazão nos 19 anos analisados, na Região da Costa Atlântico Nordeste.



Fonte: Autor, 2016

Tabela 12 – Resultado de correlação de Pearson para cada Região.

	Calha Norte	Costa Atlântico Nordeste
r (Pearson)	0,7119	0,8680

Fonte: Autor, 2016

Com a análise dos resultados obtidos, pode-se verificar que a associação e a linearidade das variáveis são consideradas, “forte”, ou seja, em ambas as Regiões estudadas a precipitação e a vazão apresentam uma forte correlação.

6.7 ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DOS FENÔMENOS CLIMÁTICOS (EL NIÑO E LA NIÑA).

A análise da influência ou não dos fenômenos climáticos El Niño e La Niña, na precipitação das Regiões da Calha Norte e Costa Atlântico Nordeste, foi calculada a média móvel das estações estudadas em cada região, e comparada com a média pluviométrica obtida na série de 19 anos da região. Nos gráficos 39 e 40, abaixo, é possível observar o comportamento pluviométrico.

Gráfico 39 – Média Móvel anual x média da série de 19 anos, da Região da Calha Norte.



Fonte: Autor, 2016

Gráfico 40 - Média Móvel anual x média da série de 19 anos, da Região da Costa Atlântico



Fonte: Autor, 2016

Na Região da Calha Norte, é possível perceber a atuação do El Niño nos anos de 1997/1998; de 2002/2005 tendo como consequência uma redução da

precipitação em relação à sua média. Já o La Niña, se mostra presente nos anos de 2000/2001 e 2007, causando um aumento da precipitação na Região. Para a Região da Costa Atlântico Nordeste, é notório a atuação do El Niño nos anos de 2002/2005 mostrando uma redução da precipitação em relação à sua média. Já o La Niña, também se mostra presente nos anos de 1996/1998 e 2007/2008, quando há um aumento da precipitação na Região.

7. CONCLUSÕES

Com a análise dos resultados obtidos, pode-se considerar que:

- ✓ As que Regiões estudadas estão contidas no segundo maior Estado brasileiro, em termos territoriais, porém ambas apresentaram uma baixa densidade de estações fluviométricas e pluviométricas em suas áreas segundo limites mínimos estabelecidos pela OMM. Sendo a Região da Calha Norte a que apresenta o pior monitoramento. Logo, se faz necessário um melhor monitoramento em ambas as Regiões.

- ✓ Quanto aos resultados apresentados das séries de Os dados pluviométricos e fluviométricos, analisados, não apresentaram tendências significativas, segundo os testes de Mann Kendall e Spearman.

- ✓ Pode-se considerar que a Região da Calha Norte, devido ser a mais preservada o tempo necessário para a vazão alcançar a sua amplitude máxima (pico), isto é, relacionado ao tempo de concentração da bacia, é superior em relação aos gráficos da Região Costa Atlântico Nordeste. Para tanto, pode-se considerar que a falta da cobertura vegetal pode ter implicado em uma diminuição do armazenamento da água na Região da Costa Atlântico Nordeste devido o escoamento superficial ser mais acelerado.

- ✓ Ambas as Regiões sofrem influência dos fenômenos climáticos (El Niño e La Niña), observado na relação na observação feita nos gráficos de precipitação x tempo, em cada Região, destacando-se nítido o aumento da precipitação nos anos em que ocorreu o La Niña, e a redução da precipitação nos anos em que ocorreu o El Niño.

- ✓ A análise de correlação de Pearson mostrou que há uma correlação “forte” entre a precipitação e a vazão, relação direta. Além dos gráficos mostrarem que quando há o aumento da precipitação, ocorre o aumento da vazão nas duas Regiões.

✓ O impacto da ação antrópica sobre o comportamento hidrológico de bacias é fundamental na preservação e uso dos recursos hídricos. A literatura apresenta artigos de bacias experimentais demonstrando que a falta de preservação, produz aumento do escoamento. Para tanto, esses artigos referem-se a pequenas bacias, devendo-se abranger essa análise para bacias maiores, incluindo-se nesse contexto bacias da região Amazônica.

✓ Para trabalhos futuros, sugere-se estudos que avalie os impactos sociais, econômicos e ambientais em regiões hidrográficas com antropizações diferentes relacionada as variações climáticas.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ABREU, F. A. M; *et al.* **The Hydrologic Cycle: an Open or a Closed System?**. Revista Geográfica, n. 137. Enero – Junio, 2005

Agência Nacional de Água – ANA. Disponível em<<http://www2.ana.gov.br/Paginas/portais/bacias/parana.aspx>>, 2013. Acessado em 03 de out. de 2014.

_____. Disponível em< <http://www2.ana.gov.br/>>, 2013. Acessado em 03 de out. de 2014.

_____, **Orientações para Operação de Estações Hidrométricas**. Disponível em<<http://arquivos.ana.gov.br/infohidrologicas/cadastro/OrientacoesParaOperacaoDeEstacoesHidrometricas-VersaoJun12.pdf>>, 2012. Acessado em 15 de Set. de 2014.

ALENCAR, D. B. S, SILVA, C. L., OLIVEIRA, C. A. S., **Influência da precipitação no escoamento superficial em uma microbacia hidrográfica do Distrito Federal**, Scielo, V. 26, n° 01, 2006. Disponível em<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69162006000100012>, acessado em 19 de jan. de 2015.

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.

ARAGÃO, L. E. O. C.; *et al.* **Interactions between rainfall, deforestation and fires during recent years in the Brazilian Amazonia**. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, London, v. 363, n. 1498, p. 1779-1785, 2012.

ARCOVA, F. C.S.; CICCIO, V.; ROCHA, P.A.B. **Precipitação efetiva e interceptação das chuvas por floresta de Mata Atlântica em uma microbacia experimental em Cunha – São Paulo**. Revista *Árvore*, Viçosa, v. 27, n.2 - Março/Abril. 2003

BACELAR, L.A. P, **O papel das florestas no regime hidrológico das bacias hidrográficas**. Universidade Federal de Ouro Preto, MG. 2005.

BAGGIOTO, C. *et al.*, **Análise de séries temporais de chuvas e vazões da bacia hidrográfica do rio Camaquã.**, Simpósio de Ensino Pesquisa e Extensão, 2013.

BARBOSA, S.E.S; *et al*; **Geração de modelos de regionalização de vazões máximas, médias de longo período e mínimas de sete dias para a bacia do rio do Carmo, Minas Gerais**, Scielo, V. 10, nº 01, 2005. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1413-41522005000100008&script=sci_arttext>, acessado em 19 de jan. de 2015.

BONINI, I.; *et al.* **Rainfall and Deforestation in the Municipality of Colíder, Southern Amazon**, Revista Brasileira de Meteorologia, v.29, n.4, 483 - 493, 2014.

BRASIL. Ministério de Ciência e Tecnologia. Ministério do Meio Ambiente. Sistema Deter: detecção de desmatamento em tempo real, mar. 2013. Disponível em <<http://www.inpe.br/deter/>> Acesso em: 28 de Set. de 2014.

_____. Ministério de Ciência e Tecnologia. Projeto de Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite – PRODES. Disponível em <<http://www.obt.inpe.br/prodes/index.php>>, 2011. Acessado em 08 de Out. de 2014.

_____. Ministério do Meio Ambiente. Avaliação Ambiental Integrada da Bacia Hidrográfica. Disponível em <file:///C:/Users/Bruno%20Hachem/Downloads/Avalia%C3%A7%C3%A3o%20Ambiental%20Integrada_MMA.pdf>, 2006. Acessado em 08 de Out. de 2014.

BRUIJNZEEL, L.A. **Hydrology of Moist Tropical Forests and Effects of Conversion: a State of Knowledge Review**. 1996, Humid Tropics Programme, IHP-UNESCO, Paris, and Vrije Universiteit, Amsterdam, 224 pp.

BUCKERIDGE, M. S. **Biologia e Mudanças Climáticas no Brasil**. São Carlos: Rima, 316p, 2008.

CARVALHO, D.F. e SILVA, L.D.B. Disponível em<<http://www.cbmet.com/cbm-files/14-d169cd381c2e83b726df2d24732a254d.pdf>>, 2006. Acessado em 09 de set. de 2014.

CASTILHO, C.P.G.; TEIXEIRA FILHO, J.; LULU, J. **Interceptação de chuvas na cultura de cana-de-açúcar(Saccharum officinarum spp.)**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 8., 1999, Belo Horizonte. *Resumos...* Belo Horizonte: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1999. p.84.

CHEVALLIER, P. Aquisição e processamento de dados. In: TUCCI, C.E.M. **Hidrologia**. 2ª ed. Porto Alegre, 2001. cap 13, p. 500-520.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blucher, 1975.

COHEN, J. **Statistical power analysis for the behavioral sciences**. Hillsdale, NJ, Erlbaum, 1988

COHEN, J. C. P.; DIAS, S. M. A. F.; NOBRE, C. A.: **Environmental conditions associated with Amazonian squall lines: a case study**. *Mon. Wea. Rev.*, v.123, n. 11, pp. 3163 – 174, 1995.

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.

COLLISCHONN, B.; COLLISCHONN, W. TUCCI, C.E.M. Daily hydrological modeling in the Amazon basin using TRMM rainfall estimates *Journal of Hydrology* (2008) 360, 207216,2008Disponível em<<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0022169408003806>>>. Acessado em: 10 de set. de 2014.

Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB. Disponível em<<http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/%C3%81guas-Superficiais/37-O>>

Problema-da-Escassez-de-%C3%81gua--no-Mundo>, 2014. Acessado em 06 de set. de 2014.

Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA, Resolução 32 de 15 de outubro de 2003. Disponível em <[file:///C:/Users/Bruno %20Hachem/ Downloads/ resolucao_32--.pdf](file:///C:/Users/Bruno%20Hachem/Downloads/resolucao_32-.pdf)>, 2003. Acessado em 03 de out. de 2014.

COSTA, A. O.; SALGADO, C. M.; DINALI, Y. T. **Caracterização da precipitação no médio vale do Rio Paraíba do Sul Fluminense (RJ)**. Revista Geonorte, Manaus, v. 2, n. 5, Edição Especial 2., p. 1000-1013, 2012.

CPTEC/INPE (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos). Dados de 2014. Disponível em: <<http://www.cptec.inpe.br/>>. Acessado em: 30 de Ago. de 2014.

DANCEY, C. e REIDY, J. **Estatística Sem Matemática para Psicologia: Usando SPSS para Windows**. Porto Alegre, Artmed, 2006.

DAS, Madan Mohan; SALKIA, Mimi Das. Hydrology. 1º New Delhi: Phi, 2009. 325 p. Disponível em: <[http://books.google.com.br/books?id=ydfDKrPep7YC&printsec=frontcover &dq=inauthor:%22Das+%26+Saikia%22&hl](http://books.google.com.br/books?id=ydfDKrPep7YC&printsec=frontcover&dq=inauthor:%22Das+%26+Saikia%22&hl)>. Acessado em: 15 de set. de 2014.

DELIRE, C.; *et al.* **Vegetation Dynamics Enhancing Long-Term Climate Variability Confirmed by Two Models**. Journal of Climate, Boston, v.24, n. 9, p. 2238-2257, 2011.

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.

FIGUEIREDO, D.B.F, e SILVA J.A; **O coeficiente de Pearson**, Revista da Universidade Federal de Pernambuco, 2012.

FISCH, G., MARENGO, J. A., NOBRE, C. A. **Uma revisão geral sobre o clima da Amazônia. Acta Amazônica** 28(2): 101-126. 1998.

FLANANGAN, D.C.; FOSTER, G.R.; MOLDENHAUER, W.C. **Storm pattern effect on infiltration, runoff and erosion. Transaction of the ASAE**, St. Joseph, v.31, n.2, p.11-26, 1988.

FURLAN, D. N. **Variabilidade temporal e espacial das chuvas e do balanço hídrico no estado de Rondônia: caracterização e análise de tendência**, 2009. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=000158&pid=S0102-7786201400040000200023&lng=pt>. Acessado em 12 de Set. de 2014.

GARCEZ, L. N.; ALVAREZ, G. A. **Hidrologia**. 2º ed., São Paulo: Edgard Blucher, 2002.

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

GIBBONS, R. D., COLEMAN, D. E. **Statistical Methods for Detection and Quantification of Environmental Contamination**, Wiley-Interscience, July 2001.

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 Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. **Censo Demográfico**. Comunicação Social, 2012.

Instituto de Desenvolvimento Econômico e Social – IDESP. Disponível em <<http://www.idesp.pa.gov.br/pdf/artigos/desmatamentofocosqueimadas.pdf>>, 2011. Acessado em 24 de Set. de 2014.

ISHIHARA, J. H. *et al.* **Quantitative and Spatial Assessment of Precipitation in the Brazilian Amazon (Legal Amazon) — (1978 to 2007)**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Vol. 19, nº 1, pag. 29-39, 2014.

ISTOK, J.D.; BOERSMA, L. **Effect of antecedent rainfall on runoff during low-intensity rainfall.** *Journal of Hydrology*, Amsterdam, v.88, p.329-42, 1986.

JUNIOR, N.C. e LANDIM, P.M.B. **Análise da chuva e vazão na Bacia hidrográfica do Rio Pardo.** *Revista de Geociências*, v.33, n.2, pág. 244-260, 2014.

JUNIOR, W.C.G. e KOIDE, S. **Avaliação de Redes de Monitoramento Fluviométrico, Utilizando o Conceito de Entropia.** *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. Vol. 17, 2011.

LAPOLA, D. M.; *et al.* **Impacts of Climate Change and the End of Deforestation on Land Use in the Brazilian Legal Amazon.** *Earth Interactions*, Boston, v. 15, n. 16, p. 1-29, 2011.

LIBERATO, A. M.; BRITO, J. I. B. Influência de mudanças climáticas no balanço hídrico da Amazônia Ocidental. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 3, n. 3, p. 170-180, 2010.

LOUREIRO, G.E. FERNANDES, L. L.; ISHIHARA, J. H. **Spatial and Temporal Variability of Rainfall in the Tocantins-Araguaia Hydrographic Region.** *Acta Scientiarum*, v. 37, n. 1, 2015.

LOUREIRO, R.S. GOMES, R.G., ROCHA, E.J.P., **Análise de uma linha de instabilidade costeira na região leste do estado do Pará.** *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.21, n.3b, pag. 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. **Interannual variability of surface climate in the Amazon basin.** *International Journal of Climatology*, 12(8): 853-863 1992.

McCulloch J.S.G., Robinson M. 1993 **History of forest hydrology**. Journal of Hydrology, 150: 189-216.

MARENGO, J. A, ALVES, L. M., **Tendências hidrológicas da Bacia do Rio Paraíba do Sul.**, Revista Brasileira de Meteorologia, v.20, n.2, 215-226, 2005.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I.M. **Climatologia: noções básicas e climas no Brasil**. Oficina de textos, São Paulo, 2007.

MENEZES, F.P. **Avaliação Espacial E Sazonal da Precipitação no Estado do Pará**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Pará. 2013.

MENEZES, F.P.; FERNANDES, L.L; ROCHA, E.J.P. **O Uso da Estatística para Regionalização da Precipitação no Estado do Pará, Brasil**. Revista Brasileira de Climatologia, ISSN 1980-055x, 2015.

Ministério de Meio Ambiente – MMA. Disponível em <http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/6333F3D1/DivisHidrogNac_luiz_duboc1.pdf>, 2014. Acessado em 03 de Out. de 2014.

MOOLEY, D.A., PARTHASARATHY, B. and Pant, G.B., 1986. **Relationships between Indian summer monsoon rainfall and location of the ridge at 500mb level along 75°E**. J. Climate Appl. Meteorol.

MOORE, D. S. ,**The Basic Practice of Statistics**. New York, Freeman, 2007

FIGUEIREDO, N. M, BLANCO, C. J. C., **Simulação de Vazões e Níveis de Água Médios Mensais para o Rio Tapajós Usando Modelos ARIMA**, Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v.19, n.3, 2014.

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

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

Organização das Nações Unidas – ONU. Disponível em<<http://www.onu.org.br/a-onu-em-acao/a-onu-em-acao/a-onu-e-a-agua/>>, 2013. Acessado em 13 de set.de 2014.

Pontifícia Universidade Católica – PUC. Disponível em<http://www2.dbd.puc-rio.br/pergamum/tesesabertas/0124945_03_cap_04.pdf>, 2012. Acessado em 10 de Set. de 2014.

PORTO, M.F. A e PORTO, R.L., **Gestão de bacias hidrográficas, 2008.** Disponível em<http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S010340142008000200004&script=sci_arttext>. Acessado em 12 de Set. de 2014.

Projeto de Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite (PRODES), 2014. Disponível em:<<http://www.obt.inpe.br/prodes/index.php>>. Acessado em 28 de Jan. de 2015.

PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D.; KOETZ, M. **Estudo da vazão em cursos d'água.** Viçosa: Ufv, 2006.

REBOUCAS, A. C. et al. **Águas Doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação.** Escrituras Editora – 3a Edicao, Sao Paulo, 2006.

REYDON, B. P. **O desmatamento da floresta amazônica: causas e soluções. Política Ambiental,** Belo Horizonte, v. 1, n. 8, p. 143-155, 2011.

ROMANO, E.; PETRANGELI, A. B.; PREZIOSI, E. **Spatial and Time Analysis of Rainfall in the Tiber River Basin (Central Italy) in relation to Discharge Measurements (1920-2010).** Science Direct, v. 7, p. 258-263, 2011.

ROSA, D. B.; *ET AL*, distribuição espacial das chuvas na porção centro-oeste do Estado de Mato Grosso - Brasil. **Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros**, Três Lagoas, v. 1 n. 5, p. 127-152, 2007.

SÁ, R. L.; **Inventário de Dados Fluviométricos do Estado do Espírito Santo**, Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Espírito Santo, 2011.

SANTANA, T, SILVA, B e SANTOS, A. **Análise de tendências de longo prazo em séries de vazões: estudo de caso na Bacia do Alto Rio Grande (MG)**, 2012.

SANTOS, I. *ET AL*. **Hidrometria Aplicada**, Curitiba: Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, 2001

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>>, 2012. Acesso em 22 de Set. 2014.

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

_____. Disponível em <<http://www.sema.pa.gov.br/diretorias/recursos-hidricos/gesir/>>, 2013. Acessado em 08 de Out. de 2014.

SHUTTLEWORTH, W.J., et al. 1990. **The theoretical relation-ship between foliage temperature and canopy resistance in sparse crops**. Quart. J. Royal Meteorol. Soc. 116, 497 – 519.

SIEGEL, S.; CASTELLAN JR. N. J., **Estatística não paramétrica para ciências do comportamento**, 2. Ed., Porto Alegre, Artmed, 2006.

SOUSA, R. R.; *ET AL.* Estudo da variabilidade pluviométrica no extremo norte do Estado de Mato Grosso entre os anos de 1990 a 1996. **Revista Geoambiente On-Line**, Jataí, v. 1, n. 7, p. 89-107, 2006.

SZOLGAYOVA, E.; *et al.* **Long term variability of the Danube River flow and its relation to precipitation and air temperature**. Journal of Hydrology. V. 519, p. 871-880, 2013.

THOMPSON, J.R. et al., **Climate change uncertainty in environmental flows for the Mekong River**. Journal des Sciences Hydrologiques, 2014.

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

Universidade Federal de Campo Grande – UFCG. Disponível em <www.dec.ufcg.edu.br>, 2014. Acessado em 09 de set. de 2014.

U.S. Geological Survey Disponível em <<http://www.usgs.gov/>>, 2011. Acessado em 09 de set. de 2014.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill, 1975.

XU, K.; MILLIAMON, J. D.; XU, H. **Temporal trend of precipitation and runoff in major Chinese Rivers since 1951**. Journal Elsevier, v. 73, p. 219-232, 2010.

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.

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.